

**PERANCANGAN *LEAN PRODUCTION* DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM ANALYSIS TOOLS (VALSAT)* DAN PEMODELAN *DISCRETE EVENT SIMULATION (DES)* PADA PROSES PRODUKSI *BOLLARD***  
**(Studi Kasus di CV. Mega Jaya Logam Klaten)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata 1  
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



**Disusun Oleh:**

**Nama : Catur Endah Sulistiyoningrum**

**No. Mahasiswa : 14522457**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2018**

## SURAT KETERANGAN PENELITIAN



**INDUSTRI PENGECORAN LOGAM DAN PERMESINAN**  
**CV. MEGA JAYA LOGAM**

Bakalan Baru, Ceper, Klaten, Jawa Tengah 57465  
 Telp/Fax. 0272 555764, Email : megajayalogam@yahoo.com




---

### SURAT KETERANGAN MELAKSANAKAN PENELITIAN

No. 020/SKMP/10/MJL/18

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Bambang Setiawan, SE  
 Jabatan : Direktur  
 Perusahaan : CV. MEGA JAYA LOGAM  
 Alamat : Bakalanbaru, Ceper, Klaten

Dengan ini menerangkan bahwa mahasiswa :

Nama : Catur Endah Sulistiyoningrum  
 NIM : 14522457  
 Program Studi : Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri  
 Universitas : Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

Adalah benar telah melakukan penelitian dalam rangka penulisan skripsinya yang berjudul **Perancangan Lean Production Dengan Pendekatan Value Streamanalysis Tools (Valsat) Dan Pemodalan Discrete Event Simulation (DS) Pada Proses Produksi Bollard di CV. MEGA JAYA LOGAM Klaten** pada bulan April – September 2018.

Demikian surat keterangan ini di buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Klaten, 08 Oktober 2018

CV. Mega Jaya Logam

( Bambang Setiawan, SE )

## PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah, saya akui bahwa karya ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang setiap salah satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 7 Oktober 2018

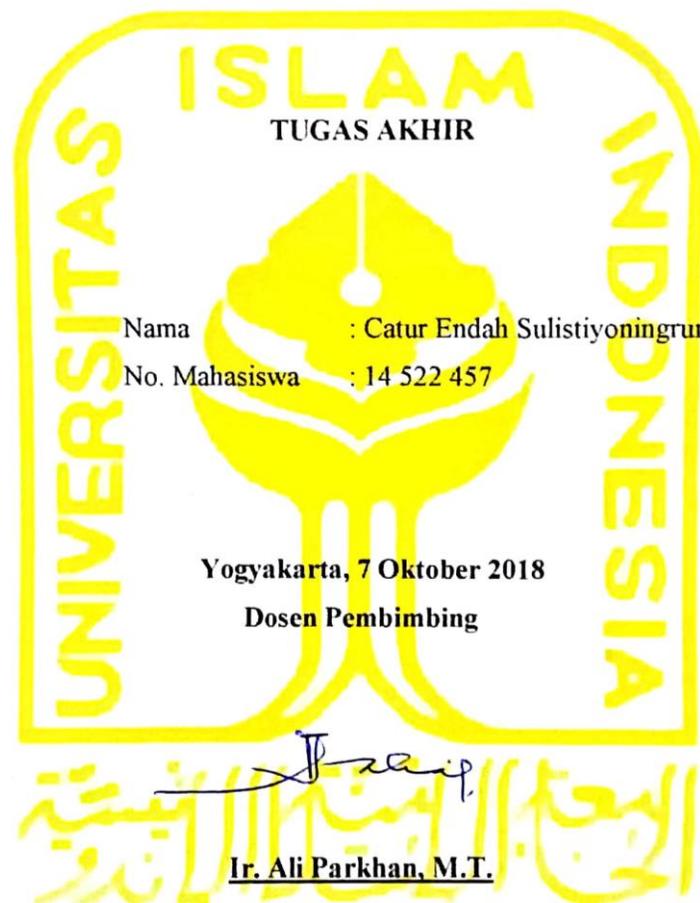


Catur Endah Sulistiyoningrum

14522457

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PERANCANGAN *LEAN PRODUCTION* DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM ANALYSIS TOOLS (VALSAT)* DAN PEMODELAN *DISCRETE EVENT SIMULATION (DES)* PADA PROSES PRODUKSI *BOLLARD*  
(Studi Kasus di CV Mega Jaya Logam Klaten)



## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**PERANCANGAN *LEAN PRODUCTION* DENGAN PENDEKATAN *VALUE STREAM ANALYSIS TOOLS (VALSAT)* DAN PEMODELAN *DISCRETE EVENT SIMULATION (DES)* PADA PROSES PRODUKSI *BOLLARD*  
(Studi Kasus di CV. Mega Jaya Logam Klaten)**

### TUGAS AKHIR

Oleh

Nama : Catur Endah Sulistiyoningrum

No. Mahasiswa : 14 522 457

Telah dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 24 Oktober 2018

Tim Penguji

Ir. Ali Parkhan, M.T

Ketua

Sri Indrawati, S.T., M.Eng

Anggota I

Joko Sulistio, S.T., M.Sc

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri  
Universitas Islam Indonesia



Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Alhamdulillahirobbil'alamin.**

*Saya persembahkan hasil karya ini*

*kepada Kedua Orang Tuaku tercinta (Bapak Muhadi dan Ibu Siti Maryam)  
yang tak pernah berhenti dalam memberikan do'a, motivasi, semangat, air mata  
dan pengorbanan yang Sangat tinggi*

*Teruntuk kakak-kakak saya :*

*Ajar Kartika Puji Lestari*

*Prastiyo Hadi Prayitno*

*Zuni Asih Nurhidayati*

*Terimakasih untuk do'a, dukungan, dan motivasinya.....*

*Teruntuk semua Guru-guru saya*

*yang telah memberikan ilmu-ilmu yang sangat berharga..*

*Semoga ilmu Bapak Ibu Guru akan selalu menjadi pahala jariyah di akhirat  
nanti...*

*Teruntuk semua sahabat, teman, dan motivator-motivator menakjubkan*

*yang dikirim Allah Subhanahu wa ta'ala untuk saya...*

*Terimakasih atas segala bentuk motivasi yang diberikan*

**Alhamdulillah, Segala Puji Bagi Allah**

**Tuhan Semesta Alam**

## HALAMAN MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

“*Karena sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan.*” (QS. Al-Insyirah: 5-6)

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

“*niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.*” (QS. Al-Mujaadilah: 11)

إِنَّا فَتَحْنَا لَكَ فَتْحًا مُّبِينًا

“*Sesungguhnya kami telah memberikan kepadamu kemenangan yang nyata.*”  
(QS. Al-Fath:1)

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh*

*Alhamdulillah* *rabbi'l'alamiin*, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Perancangan *Lean Production* Dengan Pendekatan *Value Stream Analysis Tools (VALSAT)* Dan Pemodelan *Discrete Event Simulation (DES)* Pada Proses Produksi *Bollard***” dengan baik. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita Rasullullah Muhammad shallallahu ‘alaihi wa salam beserta keluarga dan para sahabat, serta pengikutnya yang telah menyampaikan syafaat-Nya kepada kita semua.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Industri untuk menyelesaikan studi Strata-1 pada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungannya baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan penuh rasa syukur penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Taufiq Immawan, S.T., M.M., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
4. Bapak Ir. Ali Parkhan, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bantuan dan arahnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak H. Bambang Setiawan, SE selaku pimpinan CV. Mega Jaya Logam yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir di CV. Mega Jaya Logam, serta jajaran staff yang telah membantu selama masa penelitian.

6. Kedua orang tuaku yang selalu memberikan dukungan, doa dan kasih sayang sehingga penyelesaian tugas akhir ini dapat terlaksana dengan lancar, serta ketiga kakakku yang selalu memberikan perhatian, dukungan, semangat, dan motivasi.
7. Seluruh keluarga besar Teknik Industri angkatan 2014 yang telah menemani perjuangan untuk mencapai kesuksesan masa depan, terutama sahabat mulai dari awal masuk perkuliahan Dwi Adi Purnama, Mei Setiawati, Febri Wahyudi, dan Ummu Fathiah.
8. Keluarga asisten Laboratorium Pemodelan dan Simulasi Industri angkatan 2014 yang telah menemani perjuangan dari awal masuk laboratorium Rimadilla Rizqy Linauliyamara, Roki Prayoga, Rafi Dio, dan Imam Arifin, serta keluarga asisten angkatan 2015 yang selalu memberikan dukungan dan motivasinya, terutama Kevin Basu Dewa dan Adam Mulia yang telah memberikan banyak bantuan dalam kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Semua pihak yang telah memberi semangat dan memberi segala masukan dalam menjalankan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu penulis menyampaikan permohonan maaf sebesar-besarnya serta sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca pada umumnya. Aamiin Ya Robbal'aalamin.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh*

Yogyakarta, 7 Oktober 2018  
Penulis

Catur Endah Sulistiyoningrum

## ABSTRAK

*Saat ini perkembangan industri di Indonesia semakin berkembang pesat sejak mulai dibangunnya industri yang memproduksi kebutuhan hidup masyarakat, salah satunya yaitu industri manufaktur. CV. Mega Jaya Logam merupakan industri manufaktur skala kecil menengah yang menghasilkan produk-produk pengecoran logam, salah satunya bollard. Berdasarkan wawancara dengan pemilik perusahaan, terdapat permasalahan yang terkadang dihadapi oleh perusahaan yaitu ketidakmampuan perusahaan dalam memenuhi target pesanan pelanggan. Masalah ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kurang rampingnya proses produksi yang dijalankan saat ini karena masih terdapat aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai tambah yang dapat berdampak pada lamanya waktu penyelesaian produksi. Sehingga untuk menganalisis dan mengeliminasi pemborosan sepanjang aliran proses produksi dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Value Stream Analysis Tools (VALSAT) dan pemodelan Discrete Event Simulation (DES). Hasil yang diperoleh diantaranya berdasarkan hasil waste assessment model pemborosan yang dominan terjadi adalah waste motion sebesar 17.86%, waiting sebesar 15.89%, dan inventory sebesar 16.50%. Berdasarkan output VALSAT yaitu mapping tools yang terpilih untuk mengeliminasi pemborosan dominan adalah PAM dengan skor 558.90. Berdasarkan analisis PAM, pada kondisi aktual kategori aktivitas NNVA memiliki persentase waktu yang sangat tinggi yaitu 90.84% atau selama 15486.31 menit, kemudian untuk NVA selama 46.99 menit atau 0.28% dari total waktu keseluruhan, dan aktivitas VA selama 1514.56 menit atau sebesar 8.88% dari total waktu keseluruhan. Pada kondisi usulan, persentase waktu aktivitas NNVA dapat dikurangi menjadi 11103.03 menit. Hal ini juga didukung terjadinya penurunan lead time penyelesaian pada hasil simulasi model usulan, dimana pada simulasi kondisi awal lead time penyelesaian proses produksi adalah 11980.97 menit menjadi 8778.28 menit pada hasil simulasi kondisi usulan. Sehingga dengan menerapkan usulan perbaikan melalui process activity mapping, usulan kaizen, dan pendekatan simulasi dapat menurunkan 26.73% lead time penyelesaiannya dari kondisi awal.*

**Kata Kunci:** *Lean Production, Value Stream Analysis Tools, Process Activity Mapping, Pemodelan Discrete Event Simulation*

## DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN.....	i
SURAT KETERANGAN PENELITIAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
HALAMAN MOTTO .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
ABSTRAK .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
BAB II.....	6
LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Kajian Deduktif.....	6
2.1.1 Definisi dan Konsep <i>Lean</i> .....	6

2.1.2 <i>Lean Manufacturing</i> .....	8
2.1.3 Konsep Pemborosan dalam <i>Lean</i> .....	10
2.1.4 <i>Waste Assessment Model (WAM)</i> .....	13
2.1.5 <i>Value Stream Mapping (VSM)</i> .....	19
2.1.6 <i>Value Stream Analysis Tools (VALSAT)</i> .....	21
2.1.7 <i>Pemodelan Discrete Event Simulation (DES)</i> .....	24
2.1.8 <i>Software Flexsim</i> .....	29
2.2 <i>Kajian Induktif</i> .....	30
<b>BAB III</b> .....	<b>35</b>
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>35</b>
3.1 <i>Diagram Alir Penelitian</i> .....	35
3.2 <i>Model Konseptual</i> .....	37
3.3 <i>Objek Penelitian</i> .....	37
3.4 <i>Identifikasi Masalah</i> .....	37
3.5 <i>Penentuan Lingkup Penelitian</i> .....	38
3.6 <i>Studi Literatur dan Studi Lapangan</i> .....	38
3.7 <i>Pengumpulan Data</i> .....	38
3.8 <i>Pengolahan Data</i> .....	40
3.8.1 <i>Tahap Define</i> .....	40
3.8.2 <i>Tahap Measure</i> .....	41
3.8.3 <i>Tahap Analyse</i> .....	44
3.8.4 <i>Tahap Improve</i> .....	44
3.9 <i>Analisa Hasil dan Pembahasan</i> .....	44
3.10 <i>Komparasi Kondisi Aktual dengan Kondisi Usulan</i> .....	44
3.11 <i>Kesimpulan dan Saran</i> .....	45

3.12 <i>K-Chart</i> Penelitian .....	45
BAB IV .....	47
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....	47
4.1 Pengumpulan Data .....	47
4.1.1 Gambaran Umum Perusahaan.....	47
4.1.2 Sejarah Perusahaan .....	47
4.1.3 Visi dan Misi Perusahaan.....	48
4.1.4 Layout Produksi .....	49
4.1.5 <i>Bill of Material</i> Produk .....	51
4.1.6 Data Historis Produksi .....	54
4.1.7 Proses Produksi .....	55
4.1.8 Data <i>Manpower</i> .....	61
4.1.9 Data Waktu Siklus .....	61
4.1.10 Data <i>Experfit</i> .....	73
4.1.11 Data Inventori <i>Work In Process</i> (WIP).....	74
4.1.12 Data Jadwal Kerja .....	76
4.1.13 Data <i>Available Time</i> (A/T) dan <i>Uptime</i> (U/T).....	77
4.1.14 Waktu Kedatangan.....	78
4.2 Pengolahan Data .....	79
4.2.1 Perhitungan <i>Cycle Time</i> dan <i>Lead Time</i> .....	79
4.2.2 <i>Value Stream Mapping</i> (VSM) .....	80
4.2.3 Identifikasi Pemborosan.....	80
4.2.4 <i>Value Stream Analysis Tools</i> (VALSAT) .....	88
4.2.5 Pemodelan <i>Discrete Event Simulation</i> (DES).....	110
BAB V.....	131

PEMBAHASAN .....	131
5.1 Analisis <i>Current State Value Stream Mapping</i> .....	131
5.1.1 Aliran Informasi.....	131
5.1.2 Aliran Fisik .....	132
5.3 Analisis Hasil Identifikasi Pemborosan .....	136
5.2 Analisis <i>Value Stream Analysis Tools (VALSAT)</i> .....	139
5.3 Analisis <i>Detailed Mapping Tools</i> .....	139
5.5 Usulan Perbaikan .....	142
5.5.1 Analisis 5W 1 H pada Jenis Pemborosan .....	142
5.5.2 Perbaikan melalui konsep Kaizen.....	143
5.5.3 Perbaikan Berdasarkan <i>Process Activity Mapping</i> .....	148
5.6 Analisis <i>Proposed State VSM</i> .....	163
5.6 Analisis Model Simulasi .....	167
BAB VI .....	171
PENUTUP.....	171
6.1 Kesimpulan .....	171
6.2 Saran.....	172
DAFTAR PUSTAKA .....	173
LAMPIRAN.....	176

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 " <i>Seven Plus One</i> " Tipe Pemborosan .....	11
Tabel 2. 2 Kriteria pembobotan keterkaitan pemborosan .....	14
Tabel 2. 3 Contoh tabel rekapitulasi hasil kuesioner .....	15
Tabel 2. 4 Simbol hubungan skor keterkaitan .....	16
Tabel 2. 5 Matriks hubungan antar pemborosan.....	16
Tabel 2. 6 Nilai matriks keterkaitan antar pemborosan .....	17
Tabel 2. 7 <i>Value Stream Analysis Tools</i> (VALSAT).....	23
Tabel 2. 8 Komparasi Penelitian .....	32
Tabel 3. 1 Konversi skor keterkaitan antar pemborosan.....	41
Tabel 3. 2 <i>Waste Relationship Matrix</i> .....	42
Tabel 4. 1 Bentuk cetakan masing-masing <i>part</i> dari <i>Harbour 35 T</i> .....	52
Tabel 4. 2 Data historis pemesanan <i>bollard</i> .....	54
Tabel 4. 3 Data <i>Manpower</i> .....	61
Tabel 4. 4 Hasil Uji Normalitas dengan SPSS .....	62
Tabel 4. 5 Uji Kecukupan Data Waktu Siklus .....	63
Tabel 4. 6 Data Waktu Siklus .....	65
Tabel 4. 7 Persentase pengerjaan <i>bollard</i> .....	72
Tabel 4. 8 Pembagian waktu pengerjaan <i>bollard</i> .....	72
Tabel 4. 9 Data <i>experfit</i> .....	73
Tabel 4. 10 Data <i>Work In Process</i> (WIP) .....	74
Tabel 4. 11 Jadwal Kerja.....	76
Tabel 4. 12 Data <i>Available Time</i> dan <i>Uptime</i> .....	77
Tabel 4. 13 Waktu kedatangan.....	78
Tabel 4. 14 Kriteria pembobotan keterkaitan pemborosan .....	81
Tabel 4. 15 Hasil rekapitulasi kuesioner keterkaitan pemborosan .....	82
Tabel 4. 16 Rekapitulasi skor kuesioner pemborosan.....	84
Tabel 4. 17 <i>Waste relationship matrix</i> .....	85

Tabel 4. 18 Konversi skala numerik .....	85
Tabel 4. 19 <i>Waste Matrix Value</i> .....	86
Tabel 4. 20 Klasifikasi jenis pertanyaan .....	86
Tabel 4. 21 Hasil perhitungan <i>waste assessment model</i> .....	87
Tabel 4. 22 Pemilihan <i>tools value stream</i> .....	88
Tabel 4. 23 Hasil perkalian bobot <i>tools value stream</i> .....	89
Tabel 4. 24 Hasil rekapitulasi pemilihan tools VALSAT .....	89
Tabel 4. 25 Detail proses, sub proses, dan aktivitas .....	90
Tabel 4. 26 <i>Process Activity Mapping (PAM)</i> .....	98
Tabel 4. 27 Rekapitulasi PAM .....	110
Tabel 4. 28 Data Object <i>Fixed Resources</i> .....	113
Tabel 4. 29 Input validasi jumlah output .....	124
Tabel 4. 30 Data <i>throughput</i> sistem nyata dan model simulasi .....	126
Tabel 4. 31 Perhitungan data selisih output sistem nyata dan simulasi .....	127
Tabel 4. 32 Tabulasi perhitungan nilai <i>Chi-Square</i> .....	129
Tabel 5. 1 Ringkasan dari analisis <i>current state VSM</i> .....	135
Tabel 5. 2 Perbandingan kondisi nyata dan usulan .....	138
Tabel 5. 3 Analisis <i>Process Activity Mapping (PAM)</i> .....	140
Tabel 5. 4 Analisis perbaikan dengan 5W1H .....	142
Tabel 5. 5 Usulan perbaikan dengan penerapan Kaizen .....	144
Tabel 5. 6 <i>Process Activity Mapping (PAM)</i> Perbaikan.....	149
Tabel 5. 7 Hasil Rekapitulasi PAM pada Kondisi Usulan.....	163
Tabel 5. 8 Perbandingan <i>uptime</i> dan <i>cycle time</i> pada kondisi aktual dan usulan .....	164
Tabel 5. 9 Input data model awal dan model simulasi.....	167
Tabel 5. 10 Perhitungan data selisih output model awal dan model usulan .....	169

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 PMI Manufaktur Indonesia dari Nikkei .....	1
Gambar 2. 1 <i>Lean Production Methods</i> .....	9
Gambar 2. 2 Keterkaitan antar waste .....	14
Gambar 2. 3 Bangun model, verifikasi dan validasi .....	27
Gambar 2. 4 <i>Simplified version of Validation and Verification Paradigm</i> .....	28
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> penelitian .....	36
Gambar 3. 2 Model konseptual penelitian .....	37
Gambar 3. 3 K-Chart Penelitian.....	46
Gambar 4. 1 Layout Perusahaan .....	50
Gambar 4. 2 Struktur <i>Bill of Material Bollard Harbour</i> .....	51
Gambar 4. 3 <i>Bollard tipe Harbour (Prototype)</i> .....	54
Gambar 4. 4 Alur proses produksi <i>bollard</i> .....	57
Gambar 4. 5 Hasil Pembobotan Pemborosan .....	88
Gambar 4. 6 Ranking pemilihan <i>tools VALSAT</i> .....	90
Gambar 4. 7 Layout Model Simulasi .....	123
Gambar 5. 1 Klasifikasi aktivitas VA, NVA, NNVA .....	140
Gambar 5. 2 Perbandingan jumlah aktivitas pada kondisi aktual dan usulan.....	166
Gambar 5. 3 Perbandingan jumlah aktivitas VA, NVA, dan NNVA pada kondisi aktual dan usulan .....	166
Gambar 5. 4 Perbandingan persentase aktivitas VA, NVA, dan NNVA pada kondisi aktual dan usulan .....	167

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Keterkaitan antar pemborosan .....	176
Lampiran 2. Daftar pertanyaan <i>Waste Assessment Questionnaire</i> (WAQ) .....	178
Lampiran 3. Hasil wawancara WAQ .....	182
Lampiran 4. Hasil pembobotan awal .....	186
Lampiran 5. Bobot tiap jenis pemborosan .....	188
Lampiran 6. Perkalian antara bobot dengan hasil kuesioner WAQ .....	190
Lampiran 7. <i>Current State Value Stream Mapping</i> .....	192
Lampiran 8. <i>Future State Value Stream Mapping</i> .....	193

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi saat ini, perkembangan industri di Indonesia semakin berkembang pesat sejak mulai dibangunnya industri yang memproduksi kebutuhan hidup masyarakat. Industri manufaktur salah satunya, merupakan industri yang kegiatannya mengubah atau mentransformasikan dari bahan baku menjadi barang jadi atau barang setengah jadi. Bagi perekonomian nasional, industri manufaktur menyumbang kontribusi yang positif, dimana hal ini didukung dengan nilai indeks manajer pembelian atau *purchasing manager index* (PMI) Indonesia yang cukup tinggi yaitu sebesar 50.7 pada bulan September 2018 (Nikkei, 2018). Fakta ini menandakan bahwa keberadaan industri manufaktur di Indonesia ekspansif yang didukung dengan permintaan pasar yang kuat, tidak terkecuali industri manufaktur yang bergerak pada bidang pengecoran logam dan permesinan.



Gambar 1. 1 PMI Manufaktur Indonesia dari Nikkei

(Sumber: Nikkei, HIS Markit)

CV. Mega Jaya Logam merupakan salah satu industri manufaktur yang berfokus pada bidang pengecoran logam dan permesinan. Sistem produksi yang diterapkan oleh perusahaan adalah *Make-To-Order* (MTO) dan *Make-To-Stock* (MTS). Akan tetapi sistem produksi yang lebih dominan diterapkan adalah MTO, dimana pangsa pasarnya adalah dari pemerintah langsung. Produk utama dari perusahaan ini adalah *bollard* dan *manhole cover* yang mana produk tersebut 70% telah terpasang di Indonesia.

Menurut hasil wawancara secara langsung dengan Bambang Setiawan, selaku direktur CV. Mega Jaya Logam, dalam memenuhi permintaan pelanggan yang bervariasi terkadang perusahaan menghadapi beberapa masalah salah satunya yaitu kemampuan perusahaan yang terkadang kurang maksimal dalam memenuhi target waktu pesanan pelanggan. Sebagian besar pelanggan berasal dari pemerintah yang seringkali menginginkan produk tersedia dalam waktu produksi yang cepat. Perusahaan juga mengeluhkan bahwa kapasitas perusahaan cukup kewalahan dalam memenuhi tenggat waktu produksi sesuai yang diharapkan pelanggan.

Masalah terkait kurang maksimalnya memenuhi waktu produksi sesuai target pelanggan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kebergantungan beberapa proses produksi pada kondisi cuaca pada hari tersebut, jika kondisi cuaca cenderung hujan dan lembab, maka hal ini akan memperlambat proses pembuatan cetakan. Selain itu, faktor lainnya dapat disebabkan adanya kesalahan operator (*human error*) saat bekerja dan adanya kerusakan mesin. Perusahaan ini memiliki lokasi produksi yang terpisah, yaitu area produksi dan area *finishing* dimana keduanya memiliki jarak yang cukup jauh dalam transportasi barang yang masih dalam proses.

Menghadapi permasalahan tersebut, perusahaan sangat dituntut untuk segera memenuhi tenggat waktu produksi sesuai permintaan pelanggan, salah satu caranya dengan melakukan proses produksi yang efisien. Namun pada kenyataannya, selama proses produksi berlangsung masih terdapat aktivitas-aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, masih ada pemborosan yang terjadi seperti adanya transportasi yang tidak diperlukan, seringkali terdapat pergerakan yang tidak diperlukan, dan pemborosan lainnya. Aktivitas-aktivitas yang tidak diperlukan tersebut akan berdampak pada efisiensi proses produksi dan berakibat pada *due date* penyelesaian karena jalannya proses produksi menjadi terhambat.

Pemborosan terjadi disebabkan oleh aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non-value added*) sepanjang aliran proses. Untuk mengkaji lebih lanjut permasalahan terkait pemborosan yang terjadi dalam aliran proses produksi dan dampaknya terhadap sistem secara keseluruhan, dapat dilakukan dengan pendekatan *lean thinking* dan pemodelan *Discrete Event Simulation* (DES). Konsep *lean thinking* bertujuan untuk meminimasi atau menghilangkan aktivitas yang tidak bernilai tambah sehingga dapat melancarkan aliran proses produksi dan memberikan nilai tambah pada produk. Sedangkan pemodelan DES bertujuan untuk menganalisis bagaimana performansi sistem sebelum dan sesudah penerapan *lean thinking* pada proses produksi. Apabila perubahan *input* dilakukan secara langsung pada proses produksi, maka permasalahan dapat menjadi semakin kompleks karena antar elemen masing-masing yang saling berkaitan. Sehingga pemodelan DES juga diperlukan untuk mengakomodir kendala tersebut, dan pemodel dapat mengetahui apakah rancangan usulan perbaikan yang diberikan dapat berpengaruh secara efisien untuk sistem yang bermasalah tersebut. Dengan demikian, aliran proses produksi yang ramping akan berdampak pada kecepatan proses produksi dan dapat meningkatkan efisiensi selama produksi berjalan.

Dalam penelitian ini, beberapa alat yang digunakan yaitu *Value Stream Mapping*, *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT), dan pemodelan *Discrete Event Simulation* dengan software Flexsim 6.0. Selanjutnya dapat diperoleh rekomendasi perbaikan untuk mengatasi permasalahan pemborosan yang terjadi dalam aliran proses produksi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah

1. Jenis pemborosan apa yang dominan terjadi selama proses produksi berlangsung?
2. Berapa total waktu pada setiap aktivitas *value added*, *non-value added*, dan *necessary non-value added* berdasarkan analisis *detailed mapping tools*?
3. Bagaimana rancangan usulan perbaikan yang dapat diterapkan pada proses produksi di CV. Mega Jaya Logam?
4. Bagaimana perbandingan kondisi antara simulasi model awal dengan simulasi model usulan yang sudah menerapkan rancangan perbaikan pada proses produksi?

### 1.3 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan Batasan ruang lingkup agar penelitian dapat lebih terarah dan tersusun dengan baik. Adapun batasan masalah penelitian ini adalah

1. Penelitian dilakukan pada CV. Mega Jaya Logam, Ceper, Klaten.
2. Objek yang diteliti adalah proses produksi pada CV. Mega Jaya Logam.
3. Penelitian ini hanya sebatas mengidentifikasi dan menganalisis pemborosan, sampai memberikan usulan perbaikan produksi.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui jenis pemborosan yang dominan terjadi pada proses produksi.
2. Dapat mengetahui total waktu pada setiap aktivitas *value added, non-value added*, dan *necessary non-value added* berdasarkan analisis *detailed mapping tools*.
3. Dapat merancang usulan perbaikan yang dapat diterapkan pada proses produksi di CV. Mega Jaya Logam
4. Dapat mengetahui perbandingan kondisi pada simulasi model awal dengan simulasi model usulan yang sudah menerapkan rancangan perbaikan pada proses produksi.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Perusahaan mampu mengetahui dan mengantisipasi akar pemborosan yang dominan terjadi pada proses produksinya.
2. Perusahaan dapat mengetahui bagaimana kondisi aktual pada produksi.
3. Perusahaan dapat merancang perbaikan pada produksinya berdasarkan usulan perbaikan yang telah diberikan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Pada laporan penelitian ini akan disusun sistematika penulisan seperti berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini akan menguraikan secara singkat mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah yang dihadapi, tujuan penelitian, batasan masalah yang ditemui, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi konsep dan prinsip dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah penelitian, dasar-dasar teori untuk mendukung kajian yang akan dilakukan. Disamping itu juga memuat uraian tentang hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang ada hubungannya dengan penelitian yang dilakukan.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menguraikan tentang objek penelitian, kerangka dan bagan aliran penelitian, teknik yang dilakukan, analisis model, bahan atau materi penelitian yang digunakan, data yang akan dikaji dan cara analisis yang dipakai dan sesuai dengan bagan alir yang telah dibuat.

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bagian ini menjelaskan secara singkat tentang data-data yang dikumpulkan dan pengolahan yang dilakukan terhadap data-data yang telah didapatkan

### **BAB V PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan secara singkat hasil dari pengolahan data dan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

### **BAB VI PENUTUP**

Bab ini merupakan bab terakhir dari penelitian tugas akhir ini, dimana berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian tugas akhir ini.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## BAB II

### LANDASAN TEORI

Landasan teori dalam penelitian ini meliputi konsep dasar mengenai konsep *lean thinking*, *lean production*, pemodelan *discrete event simulation* (DES), *value stream mapping* (VSM), *waste assessment model* (WAM), dan *value stream analysis tools* (VALSAT)

#### 2.1 Kajian Deduktif

Kajian deduktif berisi penjelasan teori penunjang yang digunakan sebagai landasan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada dan menjawab rumusan masalah yang dikaji.

##### 2.1.1 Definisi dan Konsep *Lean*

*Lean* adalah pendekatan secara keseluruhan dalam upaya memperlancar aliran (*flow*), dengan meminimasi hingga menghilangkan segala jenis aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah atau dapat disebut sebagai pemborosan (*waste*). Segala sesuatu yang diletakkan di tempat dan waktu yang tepat, dan dalam jumlah yang benar merupakan fokus dari konsep *lean*. Melalui pengurangan hingga penghilangan pemborosan akan menghasilkan sistem yang memiliki tingkat fleksibilitas lebih tinggi terhadap perubahan.

Menurut Vincent Gaspersz (2007), *lean* merupakan usaha yang berkelanjutan untuk meminimasi dan mengeliminasi pemborosan, sehingga nilai tambah produk (barang atau jasa) dapat meningkat dan kebutuhan pelanggan dapat terpenuhi dengan nilai yang diberikan tersebut. Sedangkan dalam APICS Dictionary (2005), definisi *lean* yaitu “sebagai suatu filosofi bisnis yang berlandaskan pada minimasi penggunaan sumber daya dalam berbagai aktivitas perusahaan, dimana sumber daya tersebut termasuk juga didalamnya adalah waktu.” Konsep *lean* berfokus pada dua hal, yaitu identifikasi elemen

tidak bernilai tambah, kemudian mengeliminasi elemen tersebut baik dalam proses perancangan, produksi maupun operasi, dan manajemen *supply chain*.

Dalam buku “*Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*”, Vincent Gaspersz (2007) menjelaskan bahwa rasio nilai tambah terhadap pemborosan di perusahaan Jepang memperoleh nilai sekitar 50%, kemudian sekitar 57% diperoleh perusahaan Toyota Motor, dan sebesar 30% dicapai oleh perusahaan-perusahaan terbaik di Amerika Utara. Sedangkan di Indonesia sendiri, perusahaan-perusahaan terbaik yang ada baru memperoleh nilai sekitar 10%, yang mana nilai tersebut masih dalam kategori rasio yang rendah dan belum dapat disebut sebagai perusahaan *lean*. Perusahaan termasuk dalam kategori *lean* jika nilai rasio nilai tambah terhadap pemborosannya minimal 30%.

Vincent Gaspersz (2007) mengemukakan lima prinsip pada konsep *Lean*, yaitu: “identifikasi nilai produk (barang dan/atau jasa) berdasar perspektif pelanggan, identifikasi proses pada pemetaan value stream pada setiap produk, mengeliminasi pemborosan dari aktivitas-aktivitas pada aliran *value stream*, pengorganisasian agar material, informasi, dan produk dapat mengalir secara lancar dan efisien sepanjang proses value stream menggunakan sistem Tarik (*pull system*), berkelanjutan dalam mencari berbagai teknik dan alat peningkatan untuk mencapai keunggulan dan peningkatan secara terus menerus.”

Womack, Jones, & Ross (1990) dalam buku “*Lean Thinking*”, mendefinisikan *lean* sebagai “suatu proses yang terdiri dari mendefinisikan nilai bagi konsumen, menetapkan value stream dan menghilangkan pemborosan, melakukan *onepiece flow* (penggunaan *value stream*), dan menerapkan sistem Tarik (proses pelayanan harus dilihat dari sudut pandang dan kebutuhan konsumen).”

Konsep *lean* dapat diterapkan hampir pada seluruh sektor dan bidang, salah satunya sebagian besar diterapkan di bidang industri manufaktur. Konsep *lean* yang diterapkan di industri manufaktur dapat disebut sebagai *Lean Manufacturing*. Dalam industri manufaktur, konsep *lean* dapat dibagi lagi sesuai dengan fokus bidang lainnya yang ada dalam industri, misalnya *lean* yang diterapkan di bidang produksi dikenal sebagai *Lean Production*, *lean* yang diterapkan di bidang logistik maka dikenal sebagai *Lean Logistics*, dan bidang-bidang lainnya.

### 2.1.2 *Lean Manufacturing*

*Lean Manufacturing* merupakan pendekatan mengenai bagaimana suatu operasi dapat memenuhi permintaan pelanggan secara cepat dengan kualitas yang baik tanpa adanya pemborosan. Adapun penerapan *lean manufacturing* dalam suatu industri manufaktur bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja dari industri tersebut. Selain itu, *lean manufacturing* bertujuan dalam mengurangi dan menghilangkan aktivitas yang tidak bernilai tambah dari suatu proses sepanjang *value stream*, sehingga mampu menghasilkan proses yang bernilai nilai tambah (Jakfar, Setiawan, & Masudin, 2014).

Penerapan konsep *lean* pada industri manufaktur tepatnya di rantai produksi memiliki beberapa dampak positif, diantaranya adalah:

1. Dapat mengurangi pemborosan pada rantai produksi.
2. Dapat memperbaiki tata letak fasilitas perusahaan dalam meningkatkan fleksibilitas
3. Menciptakan sistem produksi yang lebih handal
4. Dapat mengurangi persediaan, WIP, dan kebutuhan luas rantai untuk persediaan
5. Menciptakan system pengiriman material yang lebih tepat.

Selain itu, konsep *lean* dapat diterapkan dalam upaya mengurangi pemborosan dan meningkatkan produktivitas pada sistem produksi. Dalam hal ini, konsep *lean production* akan menciptakan sistem produksi yang cepat dengan mengeliminasi semua kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Matt & Rauch (2013), terdapat 43 metode atau *tools* dari *lean production* yang dapat diterapkan pada suatu industry dengan skala industry berbeda, dapat dilihat pada Gambar 2. 1 berikut.

Type	Lean Production methods	micro	small	medium	large
Machinery and equipment	Low Cost Automation	○	◐	◑	●
	OOE Overall Equipment Effectiveness	○	◐	◑	●
	Preventive Maintenance	○	◐	◑	●
	Setup Time Reduction (SMED)	○	◐	◑	●
	Total Productive Maintenance	○	◐	◑	●
Material flow and layout	Cellular Manufacturing	○	◐	◑	●
	First in first out (FIFO)	○	◐	◑	●
	One-piece-flow	○	◐	◑	●
	Simulation software (e.g. MatFlow)	○	◐	◑	●
	Optimization of the supply chain	○	◐	◑	●
	Value Stream Mapping	○	◐	◑	●
Organization and staff	Work station design	○	◐	◑	●
	5S	○	◐	◑	●
	Autonomous work groups	○	◐	◑	●
	Benchmarking	○	◐	◑	●
	Ideas Management	○	◐	◑	●
	Job rotation	○	◐	◑	●
	Lean Office (Administration)	○	◐	◑	●
	Kaizen (CIP-Meetings)	○	◐	◑	●
Production planning and control	Standardisation	○	◐	◑	●
	Just in Sequence	○	◐	◑	●
	Just in Time	○	◐	◑	●
	Kanban	○	◐	◑	●
	Line Balancing and Muda reduction	○	◐	◑	●
	Milkrun	○	◐	◑	●
	PPS Simulation software	○	◐	◑	●
Quality	Economic (optimal) lot size	○	◐	◑	●
	Visual Management	○	◐	◑	●
	FMEA	○	◐	◑	●
	Poka Yoke	○	◐	◑	●
	Quality Circles	○	◐	◑	●
	Quality Function Deployment	○	◐	◑	●
	Six-Sigma	○	◐	◑	●
	Statistical Process Control (SPC)	○	◐	◑	●
Supplier Development	○	◐	◑	●	
	Total Quality Management	○	◐	◑	●
	Zero Defect (Jidoka)	○	◐	◑	●

unsuitable    less suitable    suitable    well suitable    very suitable  
 ○            ◐            ◑            ●            ●

Gambar 2.1 *Lean Production Methods*

(Sumber: (Matt &amp; Rauch, 2013))

Berdasarkan Gambar 2.1 diatas, dari 43 *tools* yang dapat digunakan dalam metode *lean production* beberapa *tools* diantaranya yang cocok untuk diterapkan dalam industri skala medium yaitu *value stream mapping* dan *simulation software*. Kedua metode ini dapat digunakan untuk meminimasi pemborosan dalam sistem produksi sehingga produktivitas dapat meningkat pula. Adapun dalam konsep *lean*, terdapat tiga aktivitas yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Value Added Activitiy*, yaitu semua aktivitas yang bernilai tambah mulai dari input bahan baku (*raw material*) sampai transformasi proses menjadi produk jadi atau produk setengah jadi, yang mana sesuai dengan kebutuhan konsumen. Sebagai

contoh, salah satu aktivitas yang termasuk dalam kategori ini adalah proses operasi terhadap suatu produk, seperti pemotongan, pengecatan, bending dan proses operasi lainnya.

2. *Non-Value-Added Activity*, yaitu semua aktivitas yang tidak memberi nilai tambah pada produk dalam mulai dari mentransformasikan bahan baku menjadi produk jadi, dan kurangnya dalam menggunakan waktu, sumber daya, dan tempat yang ada. Sebagai contoh, salah satu aktivitas yang tidak memberi nilai tambah adalah menunggu (*delay*) seperti menunggu kedatangan material atau menunggu material untuk diproses selanjutnya.
3. *Necessary Non-Value-Added Activity*, yaitu semua aktivitas yang tidak bernilai tambah pada produk dalam perubahan bahan baku menjadi barang jadi, akan tetapi diperlukan dalam proses produksi. Salah satu contohnya yaitu aktivitas transportasi atau pemindahan barang.

### 2.1.3 Konsep Pemborosan dalam *Lean*

Pemborosan (*waste*) adalah segala sesuatu yang tidak memberikan nilai tambah, baik itu berupa aktivitas, fisik, maupun dalam wujud lainnya di sepanjang *value stream*. Dalam suatu aliran proses, pemborosan memiliki dampak yang negatif terhadap kelancaran aliran (*flow*) tersebut, yang mana ia dapat menghambat dan mengganggu segala sesuatu yang ada dalam aliran tersebut. Sehingga aliran tersebut tidak berjalan secara efisien dan efektif. Pemborosan dalam suatu aliran proses dapat berupa aktivitas-aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value-added activities*). Aktivitas-aktivitas yang sia-sia tersebut apabila tidak dihilangkan maka akan menurunkan tingkat efisiensi dan efektifitas dari proses kerja di sistem tersebut. Sehingga aktivitas tidak bernilai tambah perlu diminimasi dan dihilangkan segera.

Berdasarkan perspektif *lean*, segala pemborosan tersebut harus dieliminasi agar nilai produk dan *customer value* dapat meningkat. Terdapat dua jenis tipe pemborosan yaitu *Type One Waste* dan *Type Two Waste* (Gaspersz, 2007). Definisi *Type One Waste* adalah “aktivitas kerja yang tidak menciptakan nilai tambah dalam proses transformasi input menjadi output sepanjang *value stream*, namun aktivitas tersebut pada saat sekarang tidak dapat dihindarkan karena berbagai alasan, dan *Type One Waste* termasuk aktivitas tidak bernilai tambah (*non-value-adding work or activity*).” Secara umum Gaspersz

(2007) mengemukakan "seven plus one" tipe pemborosan, yaitu jenis-jenis pemborosan menurut akar penyebabnya atau dengan cara mengidentifikasi bentuk-bentuk pemborosan yang dapat dilihat dari akar penyebabnya, seperti dalam Tabel 2. 1 berikut.

Tabel 2. 1 "Seven Plus One" Tipe Pemborosan

<b>Tipe</b>	<b>Pemborosan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Akar penyebab</b>
1.	Produksi yang berlebihan ( <i>overproduction</i> )	memproduksi lebih dari kebutuhan pelanggan, memproduksi terlalu cepat atau terlalu awal dari waktu kebutuhan pelanggan.	Tidak ada komunikasi yang jelas, tidak tepatnya penghargaan dan sistem balas jasa, tidak memenuhi kebutuhan pelanggan
2.	<i>Delay</i> (waktu tunggu)	Adanya keterlambatan atau waktu tunggu dari aktivitas menunggu mesin, bahan baku, peralatan, perawatan, dan aktivitas lainnya	Lamanya waktu <i>changeover</i> produk, Cara kerja yang tidak konsisten,
3.	Transportasi	Penyaluran material maupun orang dari proses-proses yang berurutan dengan jarak yang terlalu jauh menyebabkan bertambahnya waktu untuk menangani material.	tidak terstruktur nya organisasi stasiun kerja, perawatan pabrik yang buruk, buruknya tata letak perusahaan, tidak adanya koordinasi selama dalam proses, banyaknya tempat penyimpanan material.
4.	Proses	Segala proses atau aktivitas kerja tambahan yang tidak perlu dilakukan.	Pemakaian alat yang tidak tepat, buruknya perawatan peralatan, urutan proses kerja bertipe seri atau secara berurutan sehingga antar prosesnya bergantung dengan proses lainnya.
5.	Inventori	Adanya penyimpanan yang berlebihan mengakibatkan masalah yang ada di sistem menjadi tidak terlihat, dan mengakibatkan aktivitas tambahan dalam inventori yang tidak perlu dilakukan. Selain itu juga mengakibatkan <i>paperwork</i> berlebihan, ekstra ruang	kurang tepatnya prediksi kebutuhan, fungsi alat yang tidak bekerja dengan baik, ketidakmampuan <i>supplier</i> , lamanya waktu <i>changeover</i> produk, tidak seimbang nya aliran proses kerja.

<b>Tipe</b>	<b>Pemborosan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Akar penyebab</b>
		untuk penyimpanan, dan biaya ekstra untuk menangani material.	
6.	Gerakan	Setiap gerakan yang dihasilkan oleh orang maupun mesin yang tidak menambah nilai produk, serta mengakibatkan biaya dan waktu bertambah.	Buruknya tatanan stasiun kerja dan tata letak perusahaan, tidak tentunya cara kerja yang dijalankan, desain mesin yang buruk.
7.	<i>Defective Products</i>	Cacat, <i>rework</i> , ketidakpuasan pelanggan, dan pengembalian dari pelanggan.	Ketidakmampuan dalam proses, tidak cukupnya training, tidak ada SOP kerja
7 + 1	<i>Defective Design</i>	desain yang tidak sesuai dan tidak memenuhi kebutuhan pelanggan, dan adanya fitur tambahan yang seharusnya tidak perlu ditambahkan..	Desain yang terlalu berlebihan dan kekurangan data mengenai kebutuhan desain dari pelanggan.

Selain dari dasar jenis pemborosan tersebut, Vincent Gaspersz (2007) juga memaparkan jenis pemborosan dalam versi lainnya dan dapat disingkat sebagai “DOWNTIME”, dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. *Defect* (D), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena kecacatan atau kegagalan produk baik barang maupun jasa.
- b. *Overproduction* (O), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena produksi melebihi kuantitas yang dipesan oleh pelanggan.
- c. *Waiting* (W), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena menunggu informasi, material, tools, mesin, dan lainnya.
- d. *Not Utilizing Employees, knowledge, skills, and abilities* (N), merupakan jenis pemborosan sumber daya manusia yang terjadi karena tidak menggunakan pengetahuan, ketrampilan, dan kemampuan karyawan secara optimal.
- e. *Transportation* (T), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena transportasi yang berlebihan sepanjang proses *value stream* baik dari manusia, produk, material, informasi, dan lainnya.
- f. *Inventories* (I), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena inventori yang berlebihan baik untuk material, produk, informasi, dan lainnya.

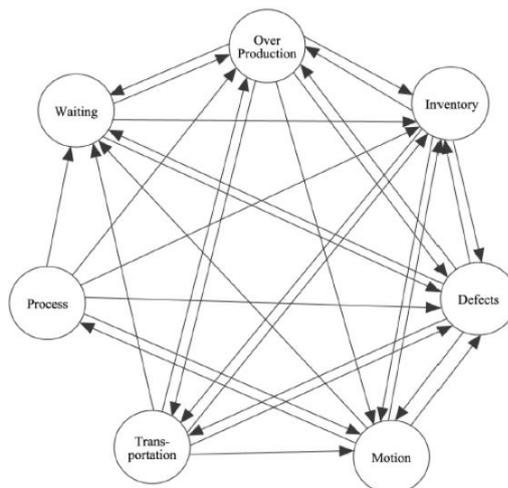
- g. *Motion* (M), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena pergerakan dari manusia, material, dan peralatan yang tidak diperlukan dan lebih banyak daripada yang seharusnya sepanjang *value stream*.
- h. *Excess Processing* (E), merupakan jenis pemborosan yang terjadi karena langkah-langkah proses yang lebih panjang daripada yang seharusnya sepanjang *value stream*

#### **2.1.4 Waste Assessment Model (WAM)**

Untuk mengetahui pemborosan yang paling dominan dan membutuhkan perbaikan dengan segera perlu dilakukan identifikasi pemborosan. Pada tahap identifikasi ini dibutuhkan suatu model untuk memudahkan dan menyederhanakan dalam proses pencarian permasalahan pemborosan. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Waste Assessment Model* (WAM) yang terdiri dari *Waste Relationship Matrix* (WRM) dan *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ). Model ini memiliki kelebihan berupa matriks yang sederhana dan kuesioner yang mencakup banyak hal dan mampu memberikan kontribusi untuk mencapai hasil yang akurat dalam mengidentifikasi hubungan antar pemborosan yang ada dan juga penyebab terjadinya *waste* (Rawabdeh, 2005). Kemudian hasil dari identifikasi menggunakan *Waste Assessment Model* dapat diketahui pemborosan yang dominan.

##### **A. Seven Waste Relationship**

*Waste Assessment Model* menggambarkan hubungan antar jenis pemborosannya, dimana terdapat tujuh pemborosan yang pertama kali dikembangkan oleh Taichi Ohno (1988) antara lain *Defect* (D), *Overproduction* (O), *Waiting* (W), *Transportation* (T), *Inventory* (I), *Motion* (M), dan *Processing* (P). Ketujuh jenis pemborosan tersebut bersifat saling berpengaruh terhadap jenis pemborosan lainnya. Keterkaitan atau hubungan antar masing-masing waste dapat diilustrasikan melalui Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2. 2 Keterkaitan antar waste

Sumber: (Rawabdeh, 2005)

Masing-masing hubungan atau keterkaitan jenis pemborosan dapat disimbolkan dengan “\_”. Sebagai contoh, jenis pemborosan *Transportation* (T) memiliki hubungan atau dapat mempengaruhi jenis pemborosan waiting (W), maka hubungan tersebut dapat disimbolkan dengan T\_W.

Perhitungan keterkaitan antar jenis pemborosan dilakukan secara diskusi dengan pihak perusahaan dan penyebaran kuesioner dengan menggunakan kriteria pembobotan yang dikembangkan oleh Rawabdeh (2005), dapat dilihat pada Tabel 2. 2 berikut.

Tabel 2. 2 Kriteria pembobotan keterkaitan pemborosan

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
1	Apakah <i>i</i> menghasilkan <i>j</i>	a. Selalu	4
		b. Kadang-kadang	2
		c. Jarang	0
2	Bagaimanakah jenis hubungan antara <i>i</i> dan <i>j</i>	a. Jika <i>i</i> naik, maka <i>j</i> naik	2
		b. Jika <i>i</i> naik, maka <i>j</i> tetap	1
		c. Tidak tentu tergantung keadaan	0
3	Dampak terhadap <i>j</i> karena <i>i</i>	a. Tampak secara langsung dan jelas	4
		b. Butuh waktu untuk muncul	2
		c. Tidak sering muncul	0
4	Menghilangkan dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> dapat dicapai dengan cara	a. Metode <i>Engineering</i>	2
		b. Sederhana dan langsung	1

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
5	Dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> terutama mempengaruhi	c. Solusi instruksional	0
		a. Kualitas produk	1
		b. Produktivitas sumber daya	1
		c. <i>Lead time</i>	1
		d. Kualitas dan produktifitas	2
		e. Kualitas dan <i>lead time</i>	2
		f. Produktifitas dan <i>lead time</i>	2
6	Sebesar apa dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> akan meningkatkan <i>lead time</i>	g. Kualitas, produktifitas, dan <i>lead time</i>	4
		a. Sangat tinggi	4
		b. Sedang	2
		c. Rendah	0

Selanjutnya, hasil dari identifikasi keterkaitan antar pemborosan dihitung dalam pembobotan, di hasil akhir akan diketahui skor keseluruhan dari masing-masing hubungan. Skor keseluruhan diperoleh dari penjumlahan bobot masing-masing pertanyaan dari masing-masing hubungan. Contoh tabel perhitungan pembobotan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Contoh tabel rekapitulasi hasil kuesioner

<i>Quest.</i>	1		2		3		4		5		6		Skoe Total
	Jwb	Bbt											
O_I													
O_D													
O_M													
O_T													

Tabel 2. 3 di atas terdiri dari enam kolom yang berbeda, dimana kolom ini mengindikasikan jenis pertanyaan sesuai Tabel 2. 2. Skor total keseluruhan setiap masing-masing hubungan kemudian dikonversikan dalam bentuk simbol hubungan berdasarkan rentang *range* yang dapat dijelaskan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Simbol hubungan skor keterkaitan

<i>Range</i>	<i>Type of Relationship</i>	<i>Simbol</i>
17 - 20	<i>Absolutely Necessary</i>	A
13 - 16	<i>Especially Important</i>	E
9 - 12	<i>Important</i>	I
5 - 8	<i>Ordinary Closeness</i>	O
1 - 4	<i>Unimportant</i>	U
0	<i>No Relation</i>	X

Sumber: (Rawabdeh, 2005)

Selanjutnya hasil dari konversi ini akan digunakan dalam pembuatan *waste relationship matrix* (WRM).

### B. *Waste Relationship Matrix* (WRM)

*Waste Relationship Matrix* merupakan matriks yang digunakan untuk menganalisa kriteria pengukuran (Rawabdeh, 2005). Baris pada matriks menunjukkan efek suatu *waste* dengan enam *waste* lainnya, sedangkan kolom pada matriks menunjukkan *waste* yang dipengaruhi oleh *waste* lainnya. Diagonal dari matriks ditempatkan dengan nilai *relationship* tertinggi, dan secara *default*, tiap jenis *waste* akan memiliki hubungan pokok dengan *waste* itu sendiri. *Waste* matriks menggambarkan hubungan nyata diantara jenis-jenis *waste*. Hasil dari WRM akan menjadi input untuk penilaian *waste* yang dominan dari hasil output *Waste Assesment Questionnaire* (WAQ).

Berdasarkan skor total yang telah dikonversikan sesuai dengan tipe hubungannya, kemudian skor tersebut dimasukkan ke dalam tabel matriks hubungan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Matriks hubungan antar pemborosan

F/T	O	I	D	M	T	P	W
O	A						
I		A					
D			A				
M				A			
T					A		
P						A	
W							A

Setelah nilai dimasukkan ke dalam tabel matriks, kemudian skor berupa simbol tersebut dikonversikan kembali dalam bentuk numerik atau angka. Selanjutnya skor

numerik tersebut dijumlahkan secara vertikal dan horizontal, serta dihitung persentase skor secara keseluruhan untuk mengetahui persentase pemborosan masing-masing.

Tabel 2. 6 Nilai matriks keterkaitan antar pemborosan

F/T	O	I	D	M	T	P	W	Skor	%
<b>O</b>	10	8	6	6	8	0	6		
<b>I</b>	8	10	6	8	8	0	0		
<b>D</b>	6	6	10	6	8	0	8		
<b>M</b>	6	4	4	10	0	6	4		
<b>T</b>	4	4	4	6	10	0	4		
<b>P</b>	4	4	8	6	0	10	6		
<b>W</b>	4	4	6	0	0	0	10		
<b>Skor</b>									
<b>%</b>									

Hasil persentase pada Tabel 2.6 tersebut akan diolah menjadi input untuk penilaian pemborosan yang dominan dari hasil *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ).

### C. *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ)

*Waste Assessment Questionnaire* (WAQ) digunakan untuk mengidentifikasi dan mengatasi pemborosan yang terjadi pada aliran produksi melalui kuesioner. Pada kuesioner WAQ terdiri dari 68 butir pertanyaan yang berbeda, dimana setiap butir pertanyaan kuesioner akan menggambarkan suatu aktivitas, kondisi, atau sifat yang dapat menimbulkan suatu jenis pemborosan tertentu. Pertanyaan-pertanyaan dalam kuesioner dikelompokkan menjadi empat kategori yaitu *man*, *machine*, *material*, dan *method*, yang mana masing-masing pertanyaan saling berhubungan antar kategorinya. Daftar pertanyaan kuesioner dapat dilihat pada Lampiran 1.

Selanjutnya jawaban kuesioner disesuaikan dengan hasil observasi di kondisi actual. Pada daftar pertanyaan, beberapa pertanyaan ditandai dengan kata “*from*” dimana pertanyaan ini menjelaskan bahwa jenis pemborosan yang ada saat ini dapat mempengaruhi munculnya jenis pemborosan lainnya. Selain itu, beberapa pertanyaan lainnya ditandai dengan kata “*to*” dimana pertanyaan ini menjelaskan bahwa jenis pemborosan yang ada saat ini terjadi karena dipengaruhi oleh jenis pemborosan lainnya. Setiap detail pertanyaan tersebut dikategorikan menjadi dua kategori, yaitu kategori A dan kategori B. Untuk masing-masing kategori memiliki tiga pilihan jawaban, dimana

untuk kategori A terdapat jawaban Ya dengan bobot 1, jawaban Sedang dengan bobot 0.5, dan jawaban Tidak dengan bobot 0. Sedangkan untuk kategori B terdapat jawaban Ya dengan bobot 0, jawaban Sedang dengan bobot 0.5, dan jawaban Tidak dengan bobot 1. Hasil dari kuesioner selanjutnya diproses dengan suatu algoritma yang terdiri dari beberapa langkah yang telah dikembangkan untuk menilai dan meranking pemborosan. Adapun langkah-langkah perhitungan skor pemborosan untuk mendapatkan hasil ranking pemborosan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Mengklasifikasikan dan menghitung seluruh jumlah pertanyaan kuesioner berdasarkan pertanyaan “*from*” dan pertanyaan “*to*” pada masing-masing jenis pemborosan.
- b. Bobot pada masing-masing pertanyaan diinputkan berdasarkan hasil *Waste Relationship Matrix* (WRM).
- c. Efek dari variasi jumlah pertanyaan untuk setiap jenis pertanyaan dihilangkan dengan cara membagi setiap bobot dalam setiap barisnya dengan jumlah pertanyaan yang telah dikelompokkan sebelumnya ( $N_i$ ).
- d. Jumlah skor setiap kolom jenis pemborosan dihitung beserta frekuensi ( $F_j$ ) dari munculnya nilai setiap kolom pemborosan dimana untuk nilai 0 (no) diabaikan. Untuk persamaan rumusnya sebagai berikut:

$$S_j = \sum_{k=1}^k \frac{W_{j,k}}{N_i}; \text{ untuk tiap jenis pemborosan } j$$

Dimana:

$S_j$  = skor tiap kolom pemborosan

$W_{j,k}$  = konversi nilai *matrix value* terhadap pemborosan

$N_i$  = jumlah pertanyaan

- e. Nilai dari hasil kuesioner WAQ diinputkan ke dalam setiap bobot pada tabel dengan cara mengalikan nilai hasil kuesioner WAQ tersebut dengan jumlah pertanyaan pada masing-masing baris.
- f. Total skor untuk setiap nilai bobot dihitung pada kolom pemborosan, beserta frekuensi untuk nilai bobot pada kolom pemborosan dimana untuk nilai 0 (no) diabaikan. Untuk persamaan rumusnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$S_j = \sum_{k=1}^k X_k \times \frac{W_{j,k}}{N_i}$$

Dimana:

$S_j$  = total nilai bobot pemborosan

$X_k$  = nilai jawaban tiap butir pertanyaan (1, 0.5, atau 0)

- g. Menghitung indikator awal ( $Y_j$ ) yang berupa numerik untuk tiap pemborosan, dimana indikator tersebut menjelaskan bahwa setiap jenis pemborosan yang terjadi dipengaruhi oleh pemborosan lainnya. Persamaannya sebagai berikut:

$$Y_j = \frac{S_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j}; \text{ untuk tiap jenis tipe pemborosan } j$$

Dimana:

$Y_j$  = indikator awal tiap pemborosan

$F_j$  = frekuensi tiap kolom pemborosan

- h. Menghitung nilai akhir pemborosan ( $Y_{j\text{final}}$ ) dengan menginputkan faktor probabilitas pengaruh antar jenis pemborosan ( $P_j$ ) berdasarkan total pertanyaan “from” dan pertanyaan “to” pada *Waste Relationship Matrix*, Selanjutnya nilai akhir tersebut direpresentasikan dalam persentase sehingga dapat diperoleh peringkat level masing-masing pemborosan. Untuk persamaan rumusnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$Y_{j\text{final}} = Y_j \times P_j = \frac{S_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j} \times P_j; \text{ untuk tiap jenis pemborosan } j$$

Dimana:

$Y_{j\text{final}}$  = *final waste factor*

$P_j$  = probabilitas pengaruh antar jenis pemborosan

### 2.1.5 Value Stream Mapping (VSM)

*Value Stream Mapping* pertama kali diperkenalkan Taichi Ohno dari *Toyota Production System* 1988 sebagai “*Material and Information Flow Mapping*”. Selanjutnya oleh John Shook dan Mike Rother menyebutnya sebagai *Value Stream Mapping*. *Value Stream* adalah seluruh aktivitas baik yang bernilai tambah maupun yang tidak bernilai tambah, yang dibutuhkan dalam proses transformasi suatu produk melalui dua aliran utama, yaitu aliran produksi dari bahan baku ke pelanggan dan rancangan aliran dari konsep ke penerapannya (Rother & Shook, 2003). Dalam pendekatan *lean manufacturing*, *value stream mapping* merupakan alat yang sangat penting dalam memberikan gambaran secara

nyata, dimana bertujuan untuk mengidentifikasi aktivitas tambahan yang tidak bernilai tambah dalam suatu aliran.

*Value stream mapping* (VSM) merupakan alat grafik dalam *lean manufacturing* dimana menggunakan symbol, metrics, dan panah, untuk menggambarkan dan meningkatkan aliran inventori dan informasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk atau jasa sampai diantar ke konsumen. VSM dapat menggambarkan aliran proses di perusahaan dalam mengidentifikasi faktor-faktor seperti:

- a. Waktu aktivitas yang bernilai tambah
- b. Waktu aktivitas yang tidak bernilai tambah
- c. Waktu siklus
- d. Waktu *changeover* (waktu untuk pergantian alat, pemrograman, setup alat, dll)

VSM juga mampu menggambarkan mengenai parameter *operational leadtime*, *yield*, *uptime*, *frequency* pengiriman, jumlah *manpower*, ukuran *batch*, jumlah persediaan, waktu *setup*, waktu proses, dan efisiensi proses secara keseluruhan. Sehingga, melalui penggunaan VSM ini dapat diidentifikasi pemborosan yang terjadi pada sepanjang aliran tersebut. Ada beberapa elemen yang dibutuhkan dalam VSM antara lain:

- a. Konsumen dan permintaan konsumen
- b. Langkah proses
- c. Parameter proses
- d. Persediaan / Inventori
- e. *Supplier* dan aliran material
- f. Aliran fisik dan aliran informasi
- g. Total *lead time*

Menurut Tilak et al. (2010), VSM terdiri dari dua tipe yang dapat membantu untuk memberikan perbaikan nyata, yaitu:

- a. *Current State Map*, merupakan konfigurasi *value stream* produk saat ini, menggunakan ikon dan terminologi spesifik untuk mengidentifikasi pemborosan yang terjadi dan area untuk perbaikan atau peningkatan.
- b. *Future State Map*, merupakan *blueprint* untuk transformasi *lean* yang diinginkan di masa yang akan datang.

### 2.1.6 Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

VALSAT merupakan salah satu metode untuk merancang suatu *value stream* yang efektif, sehingga dapat diimplementasikan pada perusahaan. Selain itu, menurut Daonil (2012) metode VALSAT ini memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat memberikan pengukuran subyektif dan obyektif yang dapat diterapkan dalam berbagai posisi *value stream*, *tool* khusus yang dapat mengakomodasi jika terdapat jaringan kompleks yang sulit untuk dipisahkan, mengantisipasi kemungkinan duplikasi atau tiruan yang dilakukan oleh kompetitor karena memberikan kesempatan untuk menganalisa terobosan utama, dan dapat memasukkan dua level *value stream* dalam proses analisa.

Menurut Monden (2011), secara garis besar ada tiga jenis kegiatan yang dilakukan dalam industri manufaktur, yaitu aktivitas *value added*, *non-value added*, dan *necessary but non-value added*. Pada umumnya dalam VALSAT terdapat tujuh macam *detailed mapping tools* (Hines & Rich, 1997), yaitu:

a. *Process Activity Mapping* (PAM)

PAM digunakan untuk mengidentifikasi *lead time* dan produktivitas baik aliran material maupun aliran informasi. Konsep dasar PAM adalah memetakan setiap tahap aktivitas mulai dari operasi, transportasi, inspeksi, *delay*, dan *storage*, kemudian dikelompokkan ke dalam tipe-tipe aktivitas mulai dari *value added*, *non-value added*, dan *necessary but non-value added*. Pemetaan ini bertujuan untuk membantu memahami aliran proses yang ada, mengidentifikasi pemborosan dan efisiensi proses, mengidentifikasi perbaikan aliran penambahan nilai (Hines & Rich, 1997).

b. *Supply Chain Response Matrix* (SCRM)

SCRM adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara inventori dan *lead time* pada jalur distribusi, sehingga dapat diketahui level tingkat persediaan pada waktu distribusi di tiap area rantai pasok. Selanjutnya fungsi tersebut dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan manajemen untuk memprediksi kebutuhan stok apabila dihubungkan dengan pencapaian *lead time* yang pendek. Hal ini bertujuan untuk memperbaiki tingkat pelayanan pada setiap jalur distribusi dengan biaya rendah (Hines & Rich, 1997).

c. *Production Variety Funnel (PVF)*

Teknik pemetaan secara visual dengan memetakan jumlah variasi produk pada tiap tahapan proses manufaktur. PVF dapat digunakan sebagai alat untuk identifikasi titik dimana sebuah produk generic diproses menjadi beberapa produk yang spesifik. Selain itu, PVF juga dapat digunakan untuk menunjukkan area bottleneck pada desain proses untuk merencanakan perbaikan kebijakan inventori. (Hines & Rich, 1997)

d. *Quality Filter Mapping (QFM)*

QFM digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan dengan cacat kualitas pada rantai pasok yang ada. Dapat digambarkan tiga jenis kualitas, yaitu *product defect* atau cacat fisik produk yang lolos ke konsumen, *scrap defect* atau cacat yang masih dalam internal perusahaan, dan *service defect* atau permasalahan yang dirasakan konsumen terkait cacat kualitas pelayanan. (Hines & Rich, 1997)

e. *Demand Amplification Mapping (DAM)*

DAM digunakan untuk menggambarkan secara visual perubahan permintaan di sepanjang rantai pasok. Kondisi ini mengikuti konsep *low of industrial dynamics*, yaitu permintaan yang ditransferkan sepanjang rantai pasok melalui rangkaian kebijakan order. Sehingga inventori akan mengalami variasi yang semakin meningkat dalam setiap pergerakan mulai dari hilir sampai ke hulu. (Hines & Rich, 1997)

f. *Decision Point Analysis (DPA)*

DPA dapat memberikan gambaran berbagai pilihan sistem produksi yang berbeda, dengan *trade off* antara lead time masing-masing pilihan dengan tingkat inventori yang diperlukan untuk menampung selama proses *lead time*. DPA merupakan titik dalam rantai pasok dimana permintaan actual akan memberikan kesempatan untuk melakukan *forecast driven push* (Hines & Rich, 1997)

g. *Physical Structure (PS)*

Physical Structure merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui dan memahami bagaimana kondisi rantai pasok dalam lini produksi. Pemetaan ini dibutuhkan untuk mengetahui bagaimana kondisi industri yang sebenarnya, operasi kerja yang ada di dalamnya, serta memberi arahan perhatian untuk area kerja yang

belum mendapatkan perhatian yang cukup dalam proses pengembangan (Hines & Rich, 1997).

Menurut Hines & Rich (1997), terdapat pembandingan dari ketujuh *detailed mapping tools* yang telah diuraikan diatas, dapat dilihat pada Tabel 2. 7 berikut.

Tabel 2. 7 *Value Stream Analysis Tools (VALSAT)*

No	Jenis Waste	<i>Detailed Mapping Tools</i>						
		PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
1	<i>Defect</i>	L			H			
2	<i>Over Production</i>	L	M		L	M	M	
3	<i>Waiting</i>	H	H	L		M	M	
4	<i>Transportation</i>	H						L
5	<i>Inventory</i>	M	H	M		H	M	L
6	<i>Motion</i>	H	L					
7	<i>Excess Processing</i>	H		M	L		L	
	<i>Overall Structure</i>	L	L	M	L	H	M	H

Sumber: (Hines & Rich, 1997)

Dimana:

- H = *High correlation and usefulness* (faktor pengali = 9)  
M = *Medium correlation and usefulness* (faktor pengali = 3)  
L = *Low correlation and usefulness* (faktor pengali = 1)

Setiap jenis pemborosan pada masing-masing jenis *mapping tools* pada Tabel 2.7 memiliki skala ordinal *low* (L), *medium* (M), dan *high* (H), dimana selanjutnya masing-masing skala tersebut diubah menjadi skala numerik 1 untuk skala *low*, 3 untuk skala *medium*, dan 9 untuk skala *high*. Skala tersebut kemudian dikalikan dengan bobot pemborosan yang diperoleh dari hasil *Waste Assessment Model* (WAM). Sehingga dari ketujuh jenis pemborosan dapat diperoleh nilai akhir dari masing-masing pemborosan. Selanjutnya dapat dipilih *mapping tools* berdasarkan nilai yang tertinggi. *Mapping tools* terpilih tersebut akan digunakan untuk analisis lebih lanjut.

## 2.1.7 Pemodelan *Discrete Event Simulation* (DES)

### A. Definisi Sistem dan Pendekatan Sistem

Menurut Murdick (1991) sistem merupakan beberapa perangkat elemen yang saling terkait dengan mengoperasikan data dan memiliki tujuan bersama untuk menghasilkan suatu informasi tertentu. Setiap sistem terdiri dari beberapa elemen, dan tiap-tiap elemen terdiri atas elemen-elemen yang lebih kecil atau dapat disebut sebagai sub sistem. Subsistem yaitu sistem yang lebih rendah atau dua tingkat hirarki dalam suatu sistem, Contoh: sistem transportasi udara, subsistem-nya adalah: ruang pengendali, peralatan, pesawat, terminal.

Dalam melakukan studi sistem, sistem dikategorikan menjadi 2, yaitu sistem *diskret* dan sistem *kontinyu*. *Sistem diskret* mempunyai arti bahwa jika keadaan variabel-variabel dalam sistem berubah seketika waktu. Sedangkan *Sistem kontinyu* mempunyai arti bahwa keadaan variabel-variabel dalam sistem berubah secara terus menerus (kontinyu) mengikuti jalannya waktu (Ackoff, 1962).

Suatu sistem dapat dimodelkan melalui pendekatan sistem terlebih dahulu. Pemodelan sistem merupakan suatu tahapan awal dari simulasi komputer dan merupakan tahapan yang sangat kritis. Sebab berhasil tidaknya suatu simulasi ditentukan pada berhasil tidaknya pemodelan dalam memodelkan sistem nyata. Pada hakekatnya simulasi hanyalah perwujudan lain dari pada model sistem yang sudah barang tentu tergantung pada bentuk aslinya.

Dalam memodelkan suatu sistem, tidak ada yang mampu menggambarkan secara utuh tentang sistem nyata, karena tidak semua bagian dari sistem dapat digambarkan. Hal tersebut dapat diatasi dengan upaya penyederhanaan pada sistem nyatanya, dimana dapat diwujudkan dalam bentuk batasan dan asumsi yang diberlakukan pada sistem tersebut.

### B. Definisi Model

Model merupakan bentuk representasi dari sebuah sistem nyata. Apabila model yang diformulasikan sederhana maka solusinya cukup diperoleh secara analitis atau dapat disebut dengan model analitik. Akan tetapi jika sistem yang dikaji sangat kompleks dan tidak dapat diselesaikan dengan model matematis maupun analitis, maka solusinya harus

menggunakan teknik komputasi numeris atau dapat disebut dengan model simulasi. Dari sistem yang sama dapat dibangun model yang sederhana sampai model yang kompleks tergantung pada persepsi, kemampuan, dan sudut pandang analis/peneliti sistem yang bersangkutan (Ackoff, 1962).

### C. Simulasi

Simulasi merupakan metode dan aplikasi untuk menggambarkan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata. Pada umumnya, simulasi dilakukan pada komputer dengan perangkat lunak tertentu (Law & Kelton, 1991). Pada dasarnya simulasi hanya merupakan alat pendukung keputusan (*decision support system*), sehingga interpretasi hasil sangat tergantung pada si pemodel.

Menurut Banks, Carson, dan Nelson (1996), simulasi merupakan suatu solusi analitis dari sebuah sistem yang digunakan untuk memecahkan berbagai masalah atau menguraikan persoalan dalam kehidupan nyata yang penuh dengan ketidakpastian, ketika solusi matematis terlalu kompleks untuk digunakan, dan dengan metode tertentu serta lebih ditekankan pada pemakaian komputer untuk mendapatkan solusinya.

Metode simulasi telah banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja suatu sistem produksi manufaktur maupun sistem pelayanan/jasa. Simulasi digunakan untuk menggambarkan dan menganalisa perilaku dari sebuah sistem, menanyakan pertanyaan bagaimana jika (*“what if”*) tentang sistem nyata, dan membantu dalam proses *design of real systems* (Nashrulhaq, Nugraha, & Imran, 2014). Model simulasi adalah alternatif yang tepat dalam menggambarkan suatu sistem yang kompleks, terutama ketika model matematik analitik sulit dilakukan (Law A. M., 2007).

Dalam membangun model simulasi, terdapat beberapa langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut (Altiok & Melamed, 2007):

1. Menganalisis masalah yang menjadi fokus penelitian dan mengumpulkan informasi yang diperlukan.
2. Mengumpulkan data-data, baik data primer maupun data penunjang.
3. Membangun model sesuai dengan data yang dikumpulkan dan logika di sistem nyatanya.
4. Melakukan verifikasi model, kemudian dilanjutkan validasi model.

5. Mendesain dan membuat scenario simulasi.
6. Melakukan analisis output dari hasil simulasi
7. Membuat rekomendasi akhir.

Adapun simulasi yang dijalankan tergantung pada jenis model simulasi yang digunakan, dimana terdapat beberapa kategori model simulasi. Pada dasarnya, model simulasi dikelompokkan dalam tiga dimensi yaitu:

- a. Model Simulasi Statis dengan Model Simulasi Dinamis

Model simulasi statis digunakan untuk mempresentasikan sistem pada saat tertentu atau sistem yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu. Sedangkan model simulasi dinamis digunakan jika sistem yang dikaji dipengaruhi oleh perubahan waktu.

- b. Model Simulasi Deterministik dengan Model Simulasi Stokastik

Jika model simulasi yang akan dibentuk tidak mengandung variabel yang bersifat random, maka model simulasi tersebut dikatakan sebagai simulasi deterministik. Pada umumnya sistem yang dimodelkan dalam simulasi mengandung beberapa input yang bersifat random, maka pada sistem seperti ini model simulasi yang dibangun disebut model simulasi stokastik.

- c. Model simulasi Kontinu dengan Model Simulasi Diskrit

Untuk mengelompokkan suatu model simulasi apakah diskret atau kontinyu, sangat ditentukan oleh sistem yang dikaji. Suatu sistem dikatakan diskret jika variabel sistem yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu, sedangkan sistem dikatakan kontinyu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu.

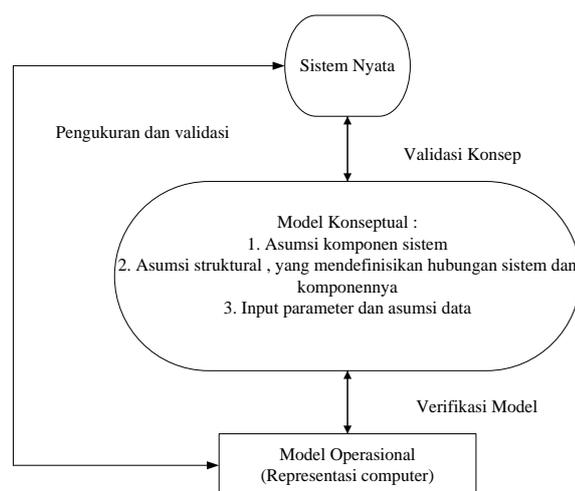
Berdasarkan kategori tiga dimensi tersebut, model simulasi yang akan difokuskan dalam penelitian ini adalah *Discrete Event Simulation (DES)*. *Discrete-event system simulation* adalah pemodelan sistem di mana variabel status sistem hanya berubah pada serangkaian titik waktu tertentu. Model simulasi dianalisa dengan metode numerik dibandingkan dengan metode analitis. Metode analisis menggunakan penalaran deduktif matematika untuk "menyelesaikan" model. Sebagai contoh, diferensial kalkulus dapat digunakan untuk menghitung kebijakan biaya minimum untuk beberapa model persediaan. Metode numerik menggunakan prosedur komputasi untuk "memecahkan" model matematika. Dalam kasus model simulasi, yang menggunakan metode numerik,

model "dijalankan" daripada dipecahkan — yaitu, riwayat buatan dari sistem dihasilkan dari asumsi model, dan observasi dikumpulkan untuk dianalisis dan untuk memperkirakan sistem yang sebenarnya. ukuran performa. Model simulasi dunia nyata agak besar, dan jumlah data yang disimpan sangat luas, sehingga berjalan seperti itu biasanya dilakukan dengan bantuan computer (Banks, Carson, & Nelson, 1996).

#### D. Verifikasi dan Validasi

Model merupakan representatif dari sistem nyata yang pada kenyataan sulit untuk memasukkan semua variabel dalam model yang kita buat, sehingga tidak ada model yang secara absolut benar, dan tidak ada korespondensi satu-satu antara model dengan refrensi sistemnya. Oleh karena itulah model-model biasanya harus diuji yaitu dengan uji validasi dan verifikasi. *Verifikasi* adalah kegiatan untuk memastikan bahwa program komputer dari model komputerisasi telah dilakukan dengan benar (Surgent, 2013). Dengan kata lain *verifikasi* merupakan suatu langkah untuk meyakinkan bahwa model berkelakuan/bersifat seperti yang dikehendaki pemodel dan bisa dijalankan di komputer.

Validasi adalah upaya pengujian bahwa model komputerisasi yaitu penerapan dari sistem nyata memiliki akurasi yang tepat terhadap aplikasi yang dimaksud dari model (Surgent, 2013). Suatu pendekatan yang paling nyata dalam suatu validasi yaitu membandingkan model dengan output dari sistem nyatanya. Secara sederhana hubungan antara verifikasi dengan validasi dapat dilihat pada (Banks, Carson, & Nelson, 1996).

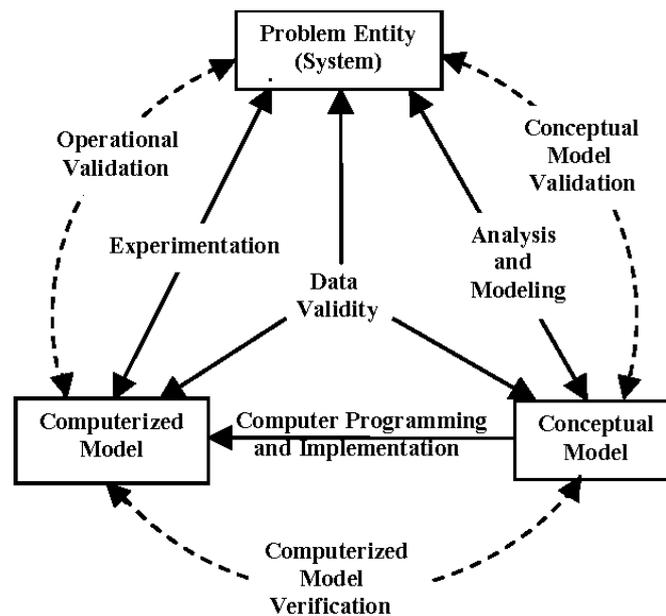


Gambar 2. 3 Bangun model, verifikasi dan validasi

(Sumber: (Banks, Carson, & Nelson, 1996))

Adapun dua tujuan umum dalam validasi yaitu sebagai berikut:

1. Menghasilkan model yang representatif terhadap perilaku sistem nyata untuk dapat digunakan sebagai substitusi dari sistem nyata dalam melakukan eksperimen terhadap suatu kebijakan tertentu.
2. Meningkatkan kredibilitas model, sehingga model dapat digunakan oleh para manajer dan para pengambil keputusan lainnya.



Gambar 2. 4 *Simplified version of Validation and Verification Paradigm*

Sumber: (Barlas, 2002)

Gambar 2. 4. menggambarkan paradigma yang berhubungan dengan verifikasi dan validasi dalam proses pengembangan model. *Conceptual Model Validation* didefinisikan sebagai penentu bahwa teori-teori dan asumsi yang mendasari model konseptual adalah tepat dan bahwa model representasi dari masalah di sistem nyata masuk akal untuk tujuan yang ingin dicapai. *Computerized Model Verification* didefinisikan untuk memastikan bahwa pemrograman komputer dan pelaksanaan model konseptual telah berjalan sesuai harapan pemodel. *Data Validity* didefinisikan untuk memastikan bahwa data yang telah dikumpulkan untuk membangun model, mengevaluasi model dan pengujian, serta melakukan desain eksperimen dalam menyelesaikan permasalahan telah memadai dan benar (Barlas, 2002).

### 2.1.8 Software Flexsim

*Flexsim* adalah perangkat lunak yang tepat dan mudah dioperasikan untuk simulasi. mesin simulasi lengkap dan inovatif yang tersembunyi dibelakang kontrol *drag* dan *drop*, daftar *drop-down* dan banyak keistimewaan intuitif lainnya yang membuat *Flexsim* dapat diakses untuk siapa saja yang ingin bereksperimen dengan model. Semua model simulasi dibuat dengan skala dan ditampilkan menggunakan 3D visual, dengan begitu kita dapat melihat dan mengenali bottleneck di lini produksi atau defisiensi lain dalam sistem dengan lebih mudah. *Flexsim* juga memberikan para pembuat keputusan sebuah *tools* yang membantu mengkonfirmasi pengamatan mereka, dengan laporan statistik yang mengesankan dan analisis yang ada di dalam *software*. *Flexsim* dapat memecahkan masalah pada manufaktur, pelayanan kesehatan. *Material handling*, pertambangan logistik, packaging, aerospace, gudang dll. Keunggulan *Flexsim*:

- 1) Perangkat lunak yang tepat dan mudah dioperasikan.
- 2) Semua model simulasi dibuat dengan skala dan ditampilkan menggunakan 3D visual.

Dalam memodelkan suatu sistem nyata dengan menggunakan *software Flexsim*, terdapat beberapa langkah dasar yaitu:

- 1) Membuat *layout* menggunakan obyek yang tersedia pada *object library*
- 2) Membuat koneksi *port* antar objek-objek yang telah dibuat.
- 3) Mengatur visualisasi model, perilaku obyek, dan logika model.
- 4) Melakukan *run* simulasi dari model yang telah dibuat sesuai sistem nyatanya.
- 5) Analisa output dari hasil simulasi yang telah dijalankan.

Dalam *software Flexsim*, terdapat empat obyek dasar (*fixed resources*) untuk membangun model, yaitu *source*, *queue*, *processor* dan *sink*.

#### 1) *Source*

*Source* digunakan untuk memperkenalkan *flowitem* ke model. Tingkat kedatangan *flowitem* berdasarkan waktu *inter-arrival*, jadwal kedatangan atau *sequence*-nya. Hampir semua model akan dimulai dengan *source*.

- 2) Sink digunakan sebagai suatu poin keluar untuk *flowitem*. *Flowitem* hanya dapat keluar/ 'exit' dari model melalui Sink. Lalu kesempatan terakhir untuk merekam catatan informasi tentang *flowitem* ada di *trigger onentry* pada Sink.

### 3) Antrian/*Queue*

Antrian digunakan untuk menampung *flowitem* untuk operasi *downstream*. Antrian digunakan di model dimanapun barang barang dalam pengolahan (WIP) ada diantara proses. Antrian mungkin berupa meja, keranjang, garis atau ruang tunggu.

### 4) *Processor*

*Processor* digunakan kapanpun saat operasi dilakukan di *flowitem*. *Processor* dapat berupa mesin atau stasiun: semua yang akan memerlukan banyak waktu untuk merekayas *flowitem*. *Flowitem* harus tinggal di dalam *processor* untuk serangkaian waktu dan proses waktu ditambah beberapa waktu terhalang (*blocked*). Waktu *idle* dapat juga termasuk waktu menunggu operator, waktu menunggu transporter dan waktu menunggu *processor* untuk reparasi jika terjadi kerusakan.

## 2.2 Kajian Induktif

*Lean* merupakan salah satu pendekatan yang menarik untuk dijadikan sebagai langkah perbaikan, dan tidak sedikit para peneliti yang memilih topik *lean* untuk diimplementasikan di beberapa kasus permasalahan. Dalam penelitian ini, telah dikaji terlebih dahulu penelitian sebelumnya yang terkait dan masih berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian tersebut berupa jurnal dan tugas akhir, yang mana topik penelitiannya membahas tentang *Lean Manufacture* yang diintegrasikan dengan pemodelan simulasi dan beberapa metode terkait pendekatan *lean*.

Dalam penelitian K. H. Al-Khafaji, M. R. Al-Rufaifi (2012) Penelitian tersebut bertujuan untuk mempelajari efek dari pergantian produksi tipe tradisional ke penerapan Teknik modern untuk meningkatkan aliran produksi dan pemenuhan permintaan dengan mengurangi line intersection dengan penggunaan optimal fasilitas yang ada. Hasil yang dicapai penelitian tersebut menunjukkan bahwa model usulan yang menerapkan konsep *lean production* membuktikan bahwa model tersebut dapat mengurangi WIP dengan persentase 52%.

Pada penelitian Dyah Lintang Trenggonowati (2016) menggunakan pendekatan simulasi untuk mengatasi permasalahan terkait ketidakmampuan perusahaan dalam memenuhi permintaan konsumen. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini

yaitu dilakukan penambahan 1 mesin cutting plasma, 2 operator *marking*, 1 drilling, dan 1 grinding dengan nilai rata-rata output optimal yang dihasilkan sebesar 9290.8 unit.

Selain itu, pada penelitian Evi Febianti, Bobby Kurniawan, Ian Alviansyah (2017) juga menggunakan pendekatan simulasi untuk membandingkan nilai PCE dan mereduksi aktivitas yang tidak mengoptimalkan produksi, dan merancang simulasi untuk perbandingan output antara kondisi eksisting dan usulan. Penelitian tersebut menggunakan pendekatan *lean manufacturing*, VALSAT, dan *Big Picture Mapping*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa diperoleh waste tertinggi yaitu waiting sebesar 24%, dengan total lead time proses produksi 906,9 jam. Model usulan simulasi menunjukkan nilai PCE mengalami peningkatan waktu produksi dari 76,11% menjadi 81,19%, dan scenario usulan yang terpilih adalah model 1 yang dapat mengoptimalkan output dari 44 unit menjadi 47 unit.

Stadnicka & Antonelli (2015) melakukan penelitian dengan pendekatan *Value Stream Analysis* untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan, serta *computer simulations* untuk memperhitungkan semua hasil dari VSM dan menganalisis data mengenai proses pembuatan sleeve dari hasil VSA. Hasil dari penelitian ini yaitu terjadi peningkatan tingkat utilitas dari kondisi *current state map* dari 36.61% pada PIS dan 36.33% pada PES menjadi 71.84% pada kondisi *future state map*. Omogbai & Salonitis (2016) juga melakukan penelitian dengan pendekatan *lean manufacturing* dan pemodelan *Discrete Event Simulation*, dimana hasil yang dicapai yaitu terjadi peningkatan performansi kualitas dari parameter scrap yang berkurang sebesar 178%, adanya peningkatan performansi setup dan produksi *just in time* sebesar 50%, peningkatan suplai *just in time* dan efisiensi operator sebesar 50%, dan adanya peningkatan utilitas mesin sebesar 20%.

Amr Mahfouz, John Crowe, dan Amr Arisha (2011) juga melakukan penelitian dengan menggunakan VSM dan pendekatan simulasi, dimana bertujuan untuk Untuk mengembangkan kerangka kerja dengan menggunakan simulasi dan pemodelan sebagai lapisan terpadu antara peta arus nilai saat ini dan yang akan datang. Penelitian ini menekankan potensi penggunaan teknologi simulasi dalam penerapan praktek lean, dan menunjukkan bagaimana simulasi dapat bertindak sebagai lapisan katalis dalam pemetaan value stream untuk memberikan keadaan masa depan yang lebih akurat saat

proses implementasi lean dilakukan. Dengan menggunakan TDC sebagai studi kasus terapan, makalah ini menyajikan kerangka kerja yang menggunakan simulasi kejadian diskrit sebagai lapisan integratif antara pemetaan arus nilai saat ini dan yang akan datang untuk manajemen lean. Kerangka ini menjelaskan aktivitas nilai dan aktivitas non-nilai saat ini di perusahaan dan melalui simulasi telah menyoroti kegiatan yang harus digunakan saat mengembangkan peta negara di masa depan.

Pada penelitian Wei Xia dan Jiwen Sun (2013) bertujuan untuk mendeskripsikan sebuah karakteristik dari penerapan VSM yang didukung dengan pemodelan DES untuk mendedikasikan proses manufaktur tubular. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sebuah model komprehensif untuk proses manufaktur tubular, dan beberapa scenario yang dirancang untuk mendapatkan kondisi future state yang optimal.

Berikut Tabel 2. 8 merupakan perbandingan dari penelitian-penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 8 Komparasi Penelitian

No	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode
1.	K. H. Al-Khafaji, M. R. Al-Rufai	Mempelajari efek dari pergantian produksi tipe tradisional ke penerapan Teknik modern untuk meningkatkan aliran produksi dan pemenuhan permintaan dengan mengurangi <i>line intersection</i> dengan penggunaan optimal fasilitas yang ada.	<i>Value Stream Mapping</i> , Pemodelan Simulasi (ARENA)
2.	Evi Febianti, Bobby Kurniawan, Ian Alviansyah	Membandingkan nilai PCE dan mereduksi aktivitas yang tidak mengoptimalkan produksi, dan merancang simulasi untuk perbandingan <i>output</i> antara kondisi eksisting dan usulan	<i>Lean Manufacturing</i> , Identifikasi 7 Wastes, VALSAT, Simulasi, <i>Big Picture Mapping</i>

No	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode
3.	Amr Mahfouz, John Crowe, Amr Arisha	Untuk mengembangkan kerangka kerja dengan menggunakan simulasi dan pemodelan sebagai lapisan terpadu antara peta arus nilai saat ini dan yang akan datang.	<i>Value Stream Mapping, Simulasi</i>
4.	Wei Xia, Jiwen Sun	Mendeskripsikan sebuah karakteristik dari penerapan VSM yang didukung dengan pemodelan DES untuk mendedikasikan proses manufaktur tubular	<i>Value Stream Mapping, Discrete Event Simulation</i>
5.	Stadnicka & Antonelli	Mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan yang terjadi pada proses produksi sleeve, dan memperhitungkan semua hasil dari VSM dan menganalisis data mengenai proses pembuatan sleeve dari hasil VSA dengan pendekatan <i>computer simulation</i> .	<i>Value Stream Mapping, Computer Simulations</i>
6.	Omogbai & Salonitis	Penelitian ini untuk mengembangkan pendekatan yang objektif dan kuantitatif untuk memprediksi kemungkinan dampak perbaikan dalam praktik <i>lean</i> , dan salah satu cara untuk mencapai hal ini adalah melalui pemodelan <i>discrete event simulation</i> (DES)	<i>Lean manufacturing dan pemodelan Discrete Event Simulation</i>
7.	Dyah Lintang Trenggono wati	Untuk mengatasi permasalahan terkait ketidakmampuan	Simulasi dengan <i>software Promodel</i>

No	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode
		perusahaan dalam memenuhi permintaan konsumen	
.8.	Catur Endah Sulistiyoningrum	Menganalisis pemborosan yang dominan terjadi dan meningkatkan efisiensi proses produksi melalui pendekatan kosnep <i>lean</i> dan pemodelan DES	<i>Value Stream Mapping, Waste Assesment Model, VALSAT, Discrete Event Simulation</i>

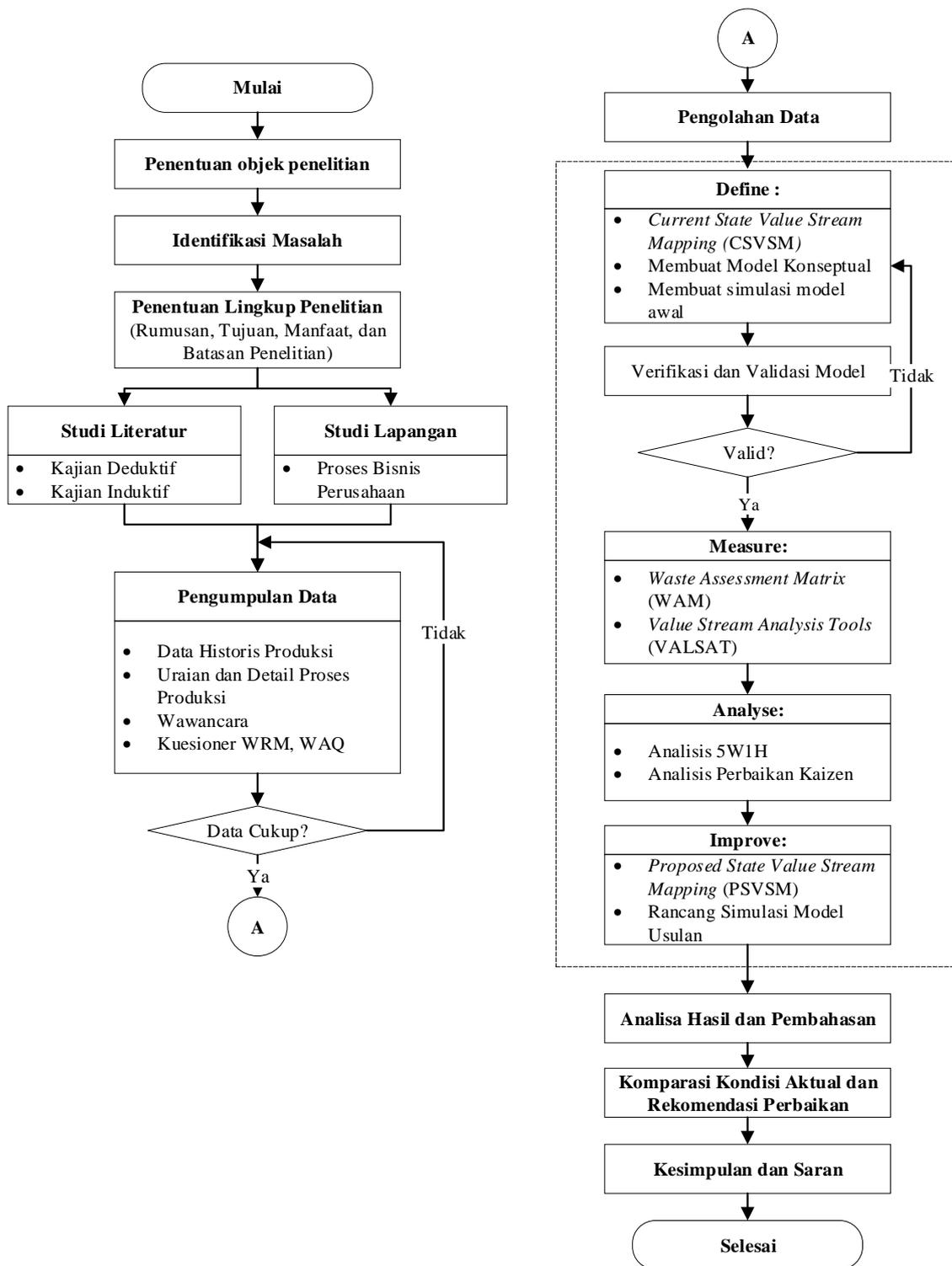
Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini akan merancang lean production pada suatu proses produksi dengan pendekatan *value stream analysis tools* untuk mengetahui secara detail pemborosan apa yang dominan terjadi di sepanjang aliran proses produksi. Pada lingkup VALSAT ini, juga digunakan beberapa alat lain seperti value stream mapping untuk memetakan alur proses produksi serta mengetahui penempatan perbaikan yang akan dilakukan. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan pemodelan *Discrete Event Simulation* (DES) untuk mengetahui kondisi awal dari sistem nyata serta dampak yang diberikan oleh usulan perbaikan sebelum diterapkan pada sistem nyatanya.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

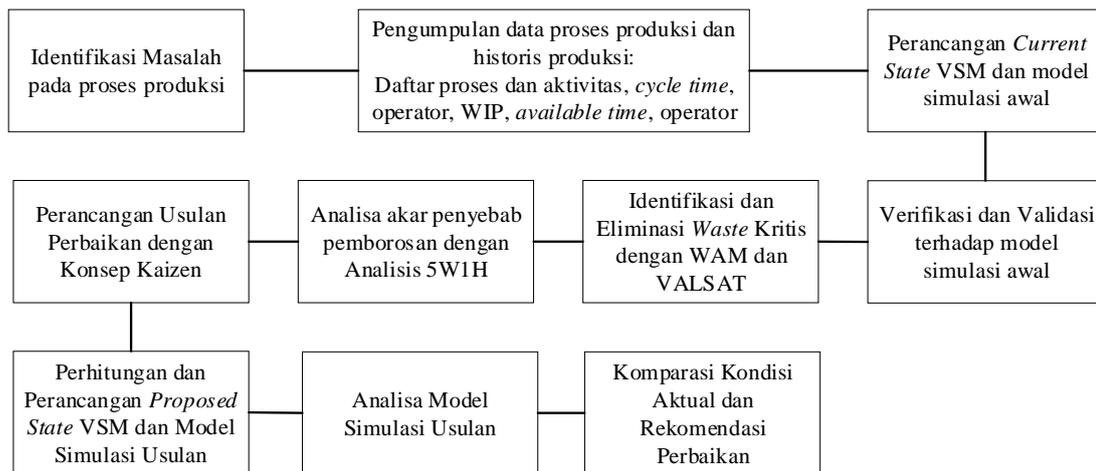
Dalam mempermudah penyusunan laporan agar lebih terstruktur, maka perlu disusun langkah-langkah penelitian. Adapun langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian terangkum pada diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Flow Chart penelitian

### 3.2 Model Konseptual

Model konseptual pada penelitian ini menggambarkan hubungan-hubungan yang saling berkaitan antar konsep-konsep terhadap lingkup permasalahan yang dihadapi. Selain itu, model konseptual dapat menjelaskan topik penelitian yang dikaji dengan terstruktur. Adapun kerangka model konseptual dapat dijelaskan pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3. 2 Model konseptual penelitian

### 3.3 Objek Penelitian

Penelitian dilakukan di CV Mega Jaya Logam yang berlatarkan di Bakalan Baru, Ceper, Klaten, Jawa Tengah. Perusahaan tersebut memproduksi bollard, manhole cover, PJU, dan produk cor lainnya. Objek penelitian ini difokuskan pada perancangan *lean production* pada proses produksi dengan pendekatan VALSAT dan pemodelan DES.

### 3.4 Identifikasi Masalah

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *lean production* pada salah satu proses produksi di CV Mega Jaya Logam, dengan mengeliminasi pemborosan yang dominan terjadi sepanjang aliran proses produksi dan melakukan analisa terhadap rekomendasi perbaikan yang dapat diimplementasikan, dimana dengan mempertimbangkan tingkat resiko pemborosan yang paling besar. Proses identifikasi masalah dilakukan berdasarkan wawancara dan pengamatan secara langsung pada proses produksi di perusahaan.

### 3.5 Penentuan Lingkup Penelitian

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan penentuan lingkup penelitian. Dalam lingkup penelitian terdiri dari penentuan latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah agar penelitian dapat fokus untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, penentuan tujuan penelitian yang akan dilakukan, dan manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tersebut.

### 3.6 Studi Literatur dan Studi Lapangan

Pada tahapan ini dilakukan studi literatur untuk mengetahui dan mempelajari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dimana yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, serta mengetahui dasar teori untuk melakukan penelitian ini. Studi literatur yang dilakukan meliputi kajian induktif dan kajian deduktif. Kajian deduktif yaitu memuat semua landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah konsep *lean thinking* dalam industri manufaktur, pemborosan, identifikasi waste dengan *waste assessment matrix (WAM)*, *seven waste relationship*, *value stream mapping*, *value stream analysis tools (VALSAT)*, dan pemodelan *discrete event simulation (DES)*. Sedangkan untuk kajian induktif meliputi penelitian-penelitian sebelumnya yang memiliki kesamaan atau keterkaitan dengan penelitian ini. Selain studi literature, studi lapangan juga dilakukan untuk mengetahui proses bisnis yang berlangsung pada perusahaan.

### 3.7 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini terdapat dua jenis data yang akan digunakan, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung baik melalui pengamatan, wawancara, dan kuesioner. Data yang didapatkan dari pengamatan yaitu data waktu produksi yang dilakukan dengan *stopwatch time study*, data kuesioner identifikasi pemborosan yang diberikan kepada salah seorang yang *expert* di bagian produksi, dan data uraian proses dan detail produksi. Wawancara dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait bagaimana proses bisnis yang ada di perusahaan, penyebab dari waste yang terjadi, *crosscheck* terhadap hasil pengolahan data waste kritis, dan validasi model simulasi. Dalam proses wawancara tersebut juga dilakukan *brainstorming* untuk mendapatkan data yang terkait aliran informasi dan aliran material,

penyebab akar permasalahan, analisis pemborosan dan usulan perbaikan. Pengumpulan data juga dilakukan dengan kuesioner untuk mendapatkan informasi mengenai frekwensi pemborosan yang terjadi.

Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari internal perusahaan baik itu berupa dokumen-dokumen perusahaan yang digunakan sebagai pendukung data primer atau literature lainnya untuk mendukung penelitian ini. Pengumpulan data sekunder dapat melalui studi literature dari buku dan penelitian sebelumnya yang terkait dengan topik yang diambil, data jumlah pegawai, data historis produksi, dan data umum perusahaan seperti visi, misi, dan sejarah. Untuk lebih rincinya, data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data historis permintaan produk (*MTO Repetitive*)
- b. Alur proses produksi (*Job Routing*)
- c. Data aktivitas tiap proses
- d. Data waktu siklus tiap aktivitas tiap proses
- e. Data operator tiap stasiun kerja tiap proses
- f. Data Identifikasi *Waste* dengan Kuesioner WAQ
- g. Data WIP tiap proses
- h. Data *Uptime* dan *Available Time*
- i. Data *Allowance*
- j. Data rencana produksi
- k. Data jarak antar stasiun kerja
- l. Data Kapasitas Stasiun Kerja
- m. Data waktu transportasi antar proses
- n. Data Kedatangan Bahan Baku
- o. Data jadwal Kerja
- p. Data profil perusahaan (sejarah, visi misi, struktur organisasi, tata letak)
- q. Dokumentasi lokasi dan proses

### 3.8 Pengolahan Data

Data-data yang telah diperoleh selanjutnya akan diolah menggunakan beberapa metode yang terangkum dalam tahap metodologi DMAI (*Define, Measure, Analyse, Improve*) berikut. Metodologi DMAI tersebut bertujuan untuk memudahkan pengolahan dalam penelitian ini menjadi lebih terstruktur dan sistematis.

#### 3.8.1 Tahap *Define*

Pada tahap ini, dilakukan perancangan *Current State Value Stream Mapping (CSVSM)* untuk menggambarkan secara representatif terhadap kondisi aktual dari sistem produksi sepanjang aliran *value stream*, baik itu aliran informasi maupun aliran material. Penggambaran aliran ini mulai dari tahapan bahan baku (*raw material*) yang diperoleh dari *supplier* atau proses sebelumnya (hulu), proses transformasi produk dengan sumber daya yang ada, sampai produk tersebut siap dikirim ke tangan konsumen atau proses hilir. Adapun dalam membuat VSM membutuhkan data-data seperti alur rangkaian proses, jumlah work-in-process dalam sistem, waktu siklus tiap proses, lead time dari keseluruhan proses, data uptime dan available time tiap stasiun kerja, data scraps tiap stasiun kerja, nilai takt time, serta alur proses bisnisnya.

Selanjutnya yaitu pembuatan model awal untuk mengetahui juga bagaimana kondisi dan performansi dari sistem nyata. Dalam membangun model awal dilakukan dengan bantuan *software Flexsim 6.0*. Adapun data-data yang diperlukan dalam membangun model awal simulasi antara lain data waktu proses, jumlah stasiun kerja dan operatornya, logika alur proses produksi, data kedatangan bahan baku, jarak antar stasiun kerja dan waktu transportasinya, data kapasitas mesin atau stasiun kerja, data historis hasil produksi, data waktu penyelesaian produksi, jadwal kerja dan maintenance mesin, dan logika model yang sesuai sistem nyata. Model yang telah dibangun kemudian dilakukan verifikasi dan validasi untuk menguji bahwa model yang telah dibuat telah akurat dan valid dalam merepresentasikan dari sistem nyata. Setelah model dinyatakan valid, dilakukan analisa report untuk mengetahui bagaimana performansi dari kondisi awal sistem nyata.

### 3.8.2 Tahap *Measure*

Pada tahap ini, dilakukan pengolahan data terkait identifikasi pemborosan dengan menggunakan *waste assessment model* (WAM). Adapun untuk alur pengolahan data dengan metode WAM secara rincinya adalah sebagai berikut:

#### A. *Seven Waste Relationship*

Dalam *Seven Waste Relationship* terdapat tujuh pemborosan yang saling berhubungan antar tiap pemborosannya, jenis pemborosan tersebut antara lain *defect* (D), *overproduction* (O), *waiting* (W), *transportation* (T), *inventory* (I), *motion* (M), *process* (P). Tujuh pemborosan tersebut dikategorikan menjadi tiga kategori yaitu *man*, *machine*, dan *material*. Pada kategori *man* terdiri dari *motion* (M), *waiting* (W), *overproduction* (O), kategori *machine* terdiri dari *overproduction* (O), dan untuk kategori *material* terdiri dari *transportation* (T), *inventory* (I), dan *defect* (D). Perhitungan keterkaitan antar pemborosan dilakukan secara diskusi dengan pihak perusahaan dan penyebaran kuesioner dengan menggunakan kriteria pembobotan yang dikembangkan oleh Rawabdeh (2005). Pada keterkaitan antar pemborosan, terdapat 31 hubungan antar pemborosan yang dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari masing-masing keterkaitan pemborosan tersebut diajukan sebanyak enam pertanyaan terhadap pihak yang paham dengan kondisi proses produksi. Secara rinci, pertanyaan tersebut dapat dilihat pada kuesioner keterkaitan antar pemborosan pada Lampiran 2. Sehingga total keseluruhan pertanyaan terdapat 186 item pertanyaan. Skala skor jawaban kuesioner berada pada rentang 0 sampai 4. Selanjutnya hasil kuesioner tersebut akan didapatkan skor untuk masing-masing hubungan pemborosan. Skor tersebut dijumlahkan untuk didapatkan nilai total tiap hubungan, kemudian nilai total tersebut dikonversi menjadi symbol A, I, U, E, O, X dengan acuan sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Konversi skor keterkaitan antar pemborosan

<i>Range</i>	<i>Type of Relationship</i>	<i>Symbol</i>
17 - 20	Absolutely Necessary	A
13 - 16	Especially Important	E
9 - 12	Important	I
5 - 8	Ordinary Closeness	O
1 - 4	Unimportant	U
0	No Relation	X

Hasil konversi ini selanjutnya akan digunakan dalam pembuatan *Waste Relationship Matrix* (WRM).

#### B. *Waste Relationship Matrix* (WRM)

*Waste Relationship Matrix* merupakan matrix yang digunakan dalam analisis kriteria pengukuran pemborosan dan untuk menggambarkan hubungan nyata dari masing-masing jenis pemborosan. Adapun matriks WRM dapat dilihat sebagai Tabel 3. 2 berikut.

Tabel 3. 2 *Waste Relationship Matrix*

F/T	O	I	D	M	T	P	W
O	A						
I		A					
D			A				
M				A			
T					A		
P						A	
W							A

Pembobotan dari tiap baris dan kolom pada WRM ditotal untuk mendapatkan skor yang mana dapat menggambarkan pengaruh antar pemborosan. Skor tersebut dikonversikan kedalam bentuk persentase untuk lebih menyederhanakan matriks.

#### C. *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ)

*Waste Assessment Questionnaire* dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan pemborosan yang terjadi sepanjang proses produksi (Rawabdeh, 2005). Kuesioner ini terdiri atas 68 pertanyaan yang berbeda, dimana kuesioner ini bertujuan untuk menentukan pemborosan mana yang terjadi. Setiap pertanyaan mewakili suatu aktivitas atau kondisi yang mungkin menimbulkan suatu jenis pemborosan. Daftar pertanyaan dapat dilihat pada Lampiran 3. Beberapa pertanyaan ditandai dengan tulisan “From”, maksudnya adalah pertanyaan tersebut menjelaskan jenis waste yang ada saat ini yang dapat memicu munculnya jenis waste lainnya berdasarkan WRM. Pertanyaan lainnya ditandai dengan tulisan “TO”, yang artinya pertanyaan tersebut menjelaskan tiap jenis waste yang ada saat ini bisa terjadi karena dipengaruhi jenis waste lainnya. Setiap pertanyaan memiliki tiga pilihan jawaban dan masing-masing diberi bobot 1, 0,5, dan 0.

Terdapat 3 jenis pilihan jawaban untuk tiap pertanyaan kuesioner, yaitu “Ya”, “Sedang”, dan “Tidak”. Sedangkan skor untuk ketiga jenis pilihan jawaban kuesioner dibagi menjadi 2 kategori, yaitu:

- a. Kategori pertama, atau kategori A adalah jika jawaban “Ya” berarti diindikasikan adanya pemborosan. Skor jawaban untuk kategori A adalah: 1 jika “Ya”, 0,5 jika “Sedang”, dan 0 jika “Tidak”.
- b. Kategori kedua, atau kategori B adalah jika jawaban “Ya” berarti diindikasikan tidak ada pemborosan yang terjadi. Skor jawaban untuk kategori B adalah: 0 jika “Ya”, 0,5 jika “Sedang”, dan 1 jika “Tidak”.

Selanjutnya hasil kuesioner tersebut akan diproses untuk menilai dan merangking masing-masing jenis pemborosan melalui beberapa tahapan berikut.

- a. Mengelompokkan dan menghitung jumlah pertanyaan kuesioner berdasarkan jenis pertanyaan.
- b. Memberikan bobot awal untuk tiap pertanyaan kuesioner berdasarkan *waste relationship matrix* (WRM).
- c. Membagi tiap bobot dalam satu baris dengan jumlah pertanyaan yang dikelompokkan ( $N_i$ ).
- d. Menghitung jumlah skor tiap kolom jenis pemborosan, dan frekuensi ( $F_j$ ) dari munculnya nilai pada tiap kolom *waste* dengan mengabaikan nilai 0 (nol).
- e. Memasukkan nilai dari hasil kuesioner (1; 0,5; atau 0) ke dalam setiap bobot nilai di table dengan cara mengalikan bobot dengan hasil penilaian kuesioner.
- f. Menghitung total skor untuk tiap nilai bobot pada kolom jenis pemborosan, dan frekuensi ( $F_j$ ) untuk nilai bobot pada kolom pemborosan dengan mengabaikan nilai 0 (nol).
- g. Menghitung indicator awal untuk tiap pemborosan, dimana indicator ini berupa angka yang belum merepresentasikan bahwa tiap jenis pemborosan dipengaruhi oleh jenis pemborosan lainnya.
- h. Menghitung nilai final waste factor ( $Y_j$  final) dengan memasukkan factor probabilitas pengaruh antar jenis waste ( $P_j$ ) berdasarkan total “From” dan “To” pada WRM. Selanjutnya melakukan proporsi persentase dari bentuk final waste factor yang diperoleh agar peringkat level dari masing-masing pemborosan dapat diketahui.

Hasil pengolahan WAM tersebut akan diperoleh persentase pemborosan kritis dan hasil pembobotan tersebut akan digunakan sebagai input pada pengolahan *value stream analysis tools* (VALSAT). Dalam menganalisis lebih lanjut dan rinci terhadap waste kritis yang telah diperoleh, diperlukan *value stream analysis tools* (VALSAT), dimana dari hasil VALSAT akan diperoleh *tools* yang sesuai dengan pemborosan yang terjadi untuk menangani dan menganalisis waste tersebut lebih lanjut. Dalam pengolahan VALSAT, hasil bobot berupa persentase dari hasil pengolahan WAM akan dikalikan dengan nilai korelasi dari pemborosan terhadap *detailed mapping tools*. Kemudian dapat diperoleh skor dari masing-masing *tools*. *Tool* yang memiliki nilai ranking tertinggi akan dipilih untuk menganalisis pemborosan secara lebih detail.

### **3.8.3 Tahap *Analyse***

Setelah dilakukan pengolahan data dengan WAM dan VALSAT, pada tahap *analyse* ini akan dilakukan identifikasi akar penyebab terjadinya pemborosan yang dominan dengan analisis 5W1H, analisis berdasarkan VSM, analisis berdasarkan PAM, analisis berdasarkan hasil simulasi model awal, dan analisis berdasarkan perbaikan dengan konsep Kaizen.

### **3.8.4 Tahap *Improve***

Pada tahap *improve*, selanjutnya akan dirancang *proposed state* VSM. Dari hasil rancangan *proposed* VSM tersebut, akan dilakukan perancangan model dengan pendekatan *discrete event simulation* (DES) untuk mengetahui efek dari perbaikan tersebut terhadap sistem secara keseluruhan.

## **3.9 Analisa Hasil dan Pembahasan**

Semua data-data yang telah diolah, selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh. Analisa dilakukan berdasarkan identifikasi pemborosan *waste* kritis yang diperoleh, *current state value stream mapping* yang dirancang.

### **3.10 Komparasi Kondisi Aktual dengan Kondisi Usulan**

Untuk mengetahui dampak positif apa yang diberikan oleh rekomendasi perbaikan dengan memabndingkan kondisi actual dan kondisi rekomendasi yang akan dicapai.

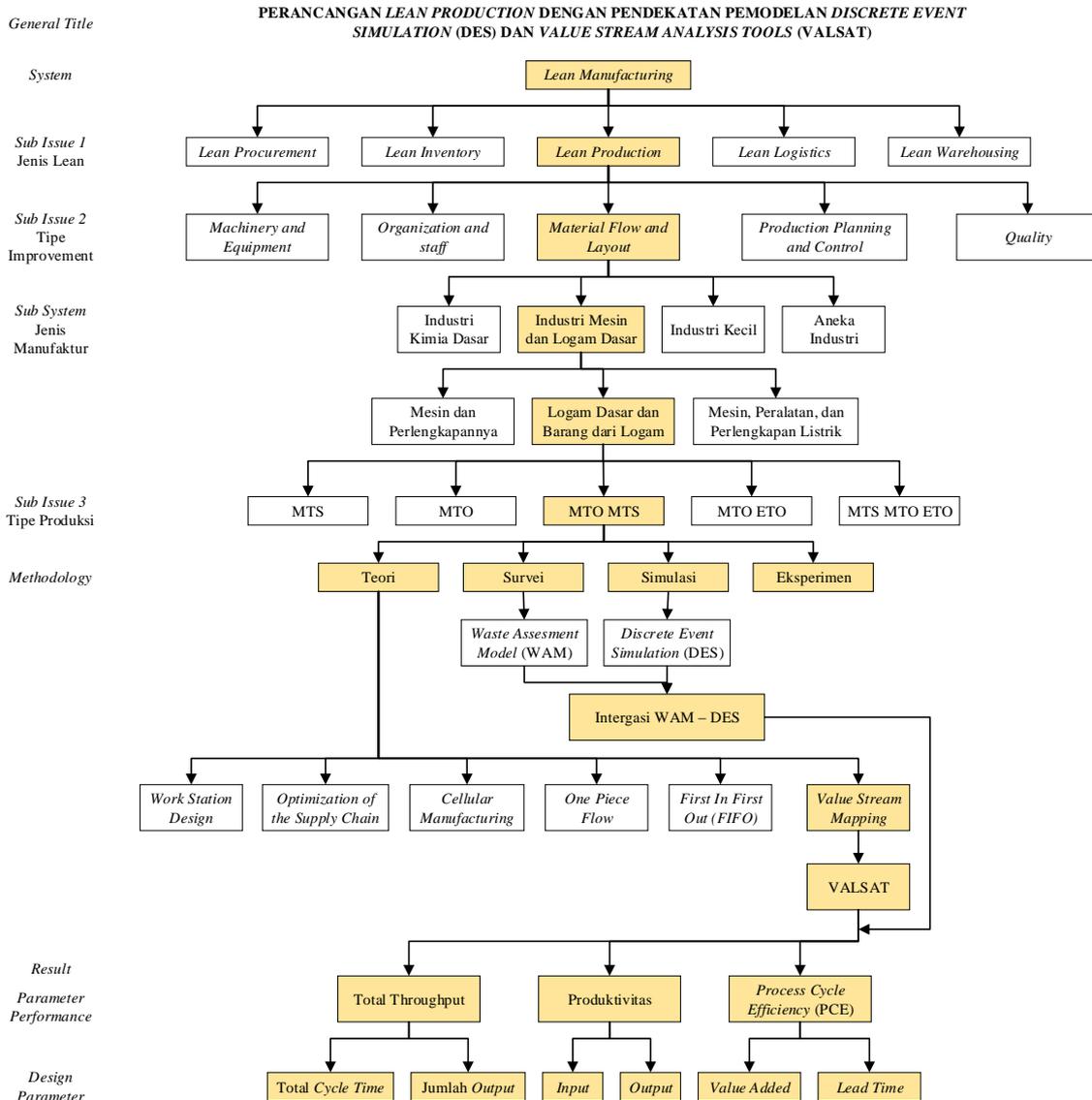
Sehingga dapat diketahui dengan jelas perbedaan antara kondisi actual dan rekomendasi yang diusulkan.

### **3.11 Kesimpulan dan Saran**

Memuat jawaban dari rumusan masalah yang telah ditetapkan di awal penelitian, dan rekomendasi perbaikan yang diperoleh juga dipaparkan untuk diimplementasikan dan dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

### **3.12 K-Chart Penelitian**

*K-Chart* merupakan salah satu alat atau diagram untuk perencanaan dan monitoring penelitian agar penelitian dapat terarah dan terfokus (Khazani M, 2006). Fokus penelitian dapat dilihat melalui diagram *k-chart* pada Gambar berikut.



Gambar 3. 3 K-Chart Penelitian

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data, dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dan yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang diteliti. Seluruh data yang diperoleh akan diseleksi sesuai kebutuhan yaitu dalam menjawab rumusan masalah penelitian ini. Data-data tersebut meliputi profil perusahaan, detail produk yang dijadikan sebagai subjek penelitian, data permintaan, detail proses produksi beserta waktu siklus dan *job routing*-nya, data kuesioner tujuh pemborosan, dan beberapa data pendukung lainnya. Dalam pengumpulan data proses produksi menggunakan teknik pengukuran langsung dengan *stopwatch time study*.

##### 4.1.1 Gambaran Umum Perusahaan

Gambaran umum perusahaan pada penelitian ini meliputi penjelasan mengenai sejarah perusahaan, visi dan misi perusahaan, tata letak perusahaan dan rangkaian proses produksinya. Sistem produksi yang diterapkan oleh CV. Mega Jaya Logam adalah *Make To Order* (MTO), sehingga pengalokasian bahan baku dan sumber daya dalam upaya memenuhi pesanan konsumen seharusnya dilakukan dengan antisipatif. Produk yang diproduksi oleh CV Mega Jaya Logam beraneka ragam antara lain, *bollard*, *grill*, kursi pedestrian, *deck drain*, *roof drain*, tiang lampu, *stand bollard*, *hydrant*, dan produk-produk yang berbahan baku *fero casting* maupun lainnya.

##### 4.1.2 Sejarah Perusahaan

CV. Mega Jaya Logam merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri pengecoran logam dan permesinan, yang beralamatkan di Bakalan Baru, Batur,

Kecamatan Ceper, Kabupaten Klaten Jawa Tengah. CV Mega Jaya Logam yang didirikan dan dikelola oleh H. Bambang Setiawan, SE ini merupakan anak perusahaan dari CV. Bonjor Jaya, dimana memiliki spesialisasi dalam memproduksi *bollard*, manhole cover, dan tiang lampu berbagai tipe dan ukuran. Dalam proses produksinya, CV. Mega Jaya Logam memiliki dua dapur produksi, yaitu tanur induksi yang berkapasitas 500 ton sekali tuang dan tanur kupola yang berkapasitas 30 ton. Selain itu, didukung juga peralatan mesin yang berjumlah sekitar 54 unit meliputi mesin bubut, bor milling, shot blasting, dan scrub. Selain itu, CV Mega Jaya Logam telah bekerja sama dengan politeknik manufaktur Ceper untuk keperluan uji material di laboratorium. CV. Mega Jaya Logam secara resmi telah bersertifikat ISO 9001:2015 yang artinya telah menerapkan sistem manajemen mutu pada setiap produknya.

Adapun produk-produk yang dihasilkan oleh CV. Mega Jaya Logam adalah sebagai berikut:

1. *Bollard/Bolder*
2. Grill Manhole, Grill Tanaman, Grill Tangkapan Air, dan lainnya.
3. Deck Drain
4. Roof Drain
5. Tiang Lampu
6. Kursi Pedestrian
7. Stand *Bollard*
8. Hydrant
9. Semua produk yang berbahan baku besi cor (Fero Casting), FCD, Mangan Steel, Steel, Aluminium, Bronze, Alfa Bronze, dan lainnya.

Tidak hanya menghasilkan produk saja, CV Mega Jaya Logam juga melayani jasa pengecoran sesuai dengan pesanan pelanggan, mulai dari pelanggan local hingga pelanggan dari seluruh Indonesia dan luar negeri.

#### **4.1.3 Visi dan Misi Perusahaan**

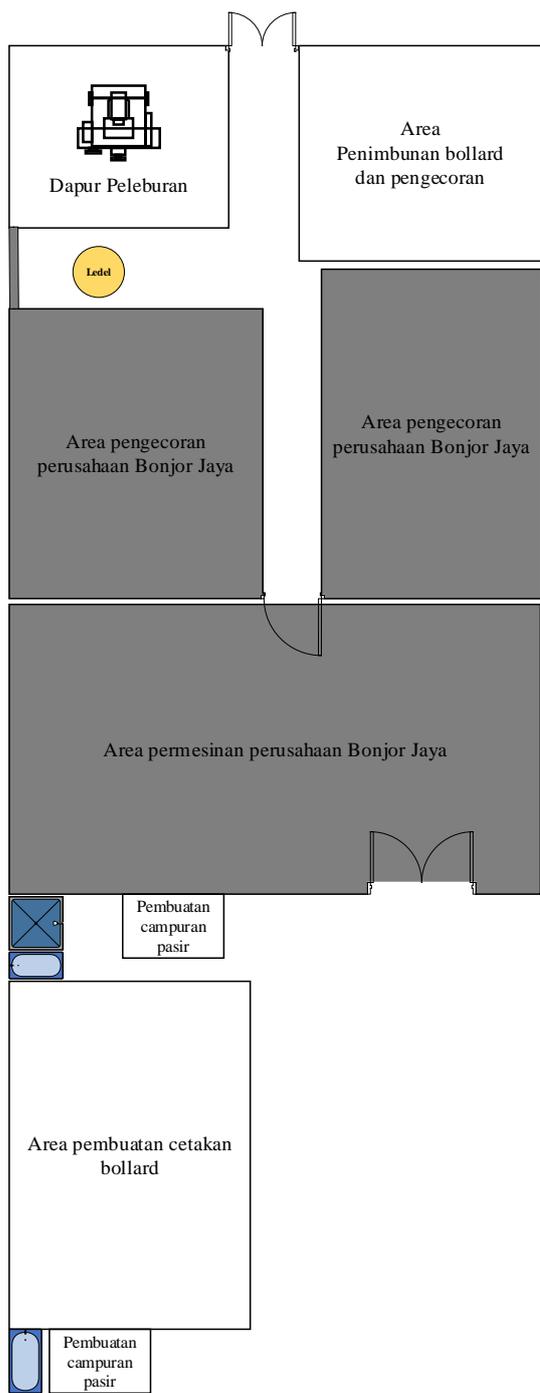
Visi dan misi dari perusahaan CV. Mega Jaya Logam adalah:

1. Menjadikan perusahaan yang produk-produknya dapat memberikan manfaat, memenuhi permintaan, dan harapan pelanggan.

2. Menjadikan perusahaan yang memprioritaskan tanggung jawab, etika, dan profesionalisme supaya pelanggan dapat puas dengan produk yang dihasilkan.
3. Menciptakan budaya kerja yang beretika dan berprinsip.

#### **4.1.4 Layout Produksi**

Gambaran secara rinci mengenai alur dan tata letak pabrik dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini:



**Lokasi Produksi**



**Lokasi Finishing**

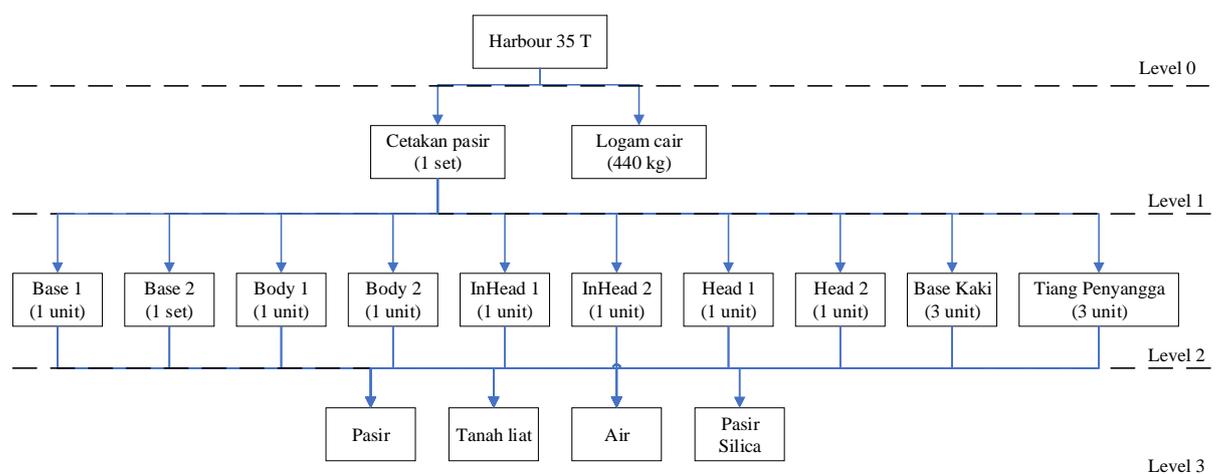
Gambar 4. 1 Layout Perusahaan

CV. Mega Jaya Logam memiliki lokasi produksi yang terpisah dari lokasi pabrik utamanya. Sehingga untuk proses produksinya dilakukan di dua lokasi yang berbeda yaitu untuk proses pembuatan cetakan dan pengecoran berada di perusahaan CV. Bonjor Jaya (induk perusahaan) sedangkan untuk *finishing bollard* seperti pembersihan sisa cetakan, penggerindaan, pendempulan, hingga pengecatan berada di CV. Mega Jaya Logam sendiri. Adapun kedua lokasi ini memiliki jarak lebih kurang 920 meter.

#### 4.1.5 Bill of Material Produk

Salah satu produk yang menjadi subjek dalam penelitian ini adalah produk *Bollard* untuk dermaga. *Bollard* merupakan produk utama dan unggulan dari sekian jenis produk yang diproduksi oleh CV. Mega Jaya Logam. Hal ini yang menjadikan alasan dalam pemilihan *bollard* sebagai subjek yang diteliti dalam penelitian ini.

*Bollard* adalah salah satu perlengkapan yang terpasang pada dermaga dimana berfungsi sebagai tambatan pengikat tali kapal agar ketika kapal parkir atau berhenti di dermaga tetap dalam posisi yang semestinya. Posisi *Bollard* berada pada bagian tepi dermaga yang mana setiap kapal sandar memerlukan dua sampai empat *bollard* tergantung ukuran dan posisi kapal. Kapasitas *Bollard* yang diproduksi mulai dari kapasitas 5 ton hingga 200 ton. Setiap kapasitas memiliki bentuk *Base* dan jumlah *anchor* yang berbeda, adapun ukuran diameter dan panjang *anchor* juga akan berbeda dalam setiap kapasitasnya. *Bill of Material bollard* dapat dilihat pada Gambar 4. 2 berikut.



Gambar 4. 2 Struktur *Bill of Material Bollard Harbour*

Lebih jelasnya mengenai bentuk-bentuk part cetakan masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4. 1 berikut.

Tabel 4. 1 Bentuk cetakan masing-masing *part* dari *Harbour 35 T*

No	Gambar Cetakan	Keterangan
1		Cetakan <i>Base 1</i>
2		Cetakan <i>Base 2</i>
3		Cetakan <i>Body 1</i>
4		Cetakan <i>Body 2</i> (bagian inti/dalam)
5		Cetakan <i>Head 1</i> (kepala bawah)

No	Gambar Cetakan	Keterangan
6		Cetakan <i>Head 2</i> (kepala atas)
7		Cetakan <i>In-Head 1</i> (inti kepala bagian bawah)
8		Cetakan <i>In-Head 2</i> (inti kepala bagian atas)
9		Cetakan <i>Base Kaki</i>
10		Cetakan tiang penyangga

Adapun gambar desain produk jadi dari *bollard type Harbour* dapat dilihat pada Gambar 4. 3 berikut.



Gambar 4. 3 *Bollard tipe Harbour (Prototype)*

#### 4.1.6 Data Historis Produksi

CV. Mega Jaya Logam merupakan perusahaan dengan tipe produksi *make to order*, dimana perusahaan hanya memproduksi produk sesuai dengan yang dipesan pelanggan. Adapun data permintaan terhadap produk *Bollard* untuk periode Januari hingga Juni 2018 dapat dilihat pada Tabel 4. 2 berikut.

Tabel 4. 2 Data historis pemesanan *bollard*

Tipe Produk	Jenis Produk	Berat	Jan-18	Feb-18	Mar-18	Apr-18	Mei-18	Juni-18	Total
<i>Harbour</i>	<i>Harbour</i> 15 T	245			2				2
	<i>Harbour</i> 25 T	420	1	2	1				4
	<i>Harbour</i> 35 T	440		1	5	2	4	11	23
	<i>Harbour</i> 50 T	665	12	16	7			1	36
	<i>Harbour</i> 70 T	1100					2		2
	<i>Harbour</i> 100T	1670							0
Bitt	Bitt 15 T	130	2	4	4	7	14		31
	Bitt 25 T	220							0
	Bitt 35 T	230	1	2	1				4
	Bitt 50 T	360						1	1

Tipe Produk	Jenis Produk	Berat	Jan-18	Feb-18	Mar-18	Apr-18	Mei-18	Juni-18	Total
Tee	Bitt 70 T	530							0
	Bitt 100 T	820							0
	Bitt 150 T	1480							0
	Tee 15 T	100					73		73
	Tee 20 T	175							0
	Tee 35 T	275				13			13
	Tee 50 T	430				6			6
	Tee 60 T	470							0
	Tee 75 T	510							0
	Tee 100 T	650					6	1	7
	Tee 150 T	905							0
Stog Horn	SH 10 T	110							0
	SH 15 T	120							0
	SH 20 T	170							0
	SH 30 T	300	5						5
	SH 40 T	417							0
	SH 50 T	425							0
	SH 60 T	440							0
	SH 75 T	680							0
	SH 100 T	765							0
	SH 150 T	1015							0
	KR	KR 5 T	100	2					
KR 20 T		175	5						5
KR 50 T		430		2	2				4
CUSTOM			10	5					15
<b>TOTAL</b>			38	32	22	28	99	14	233

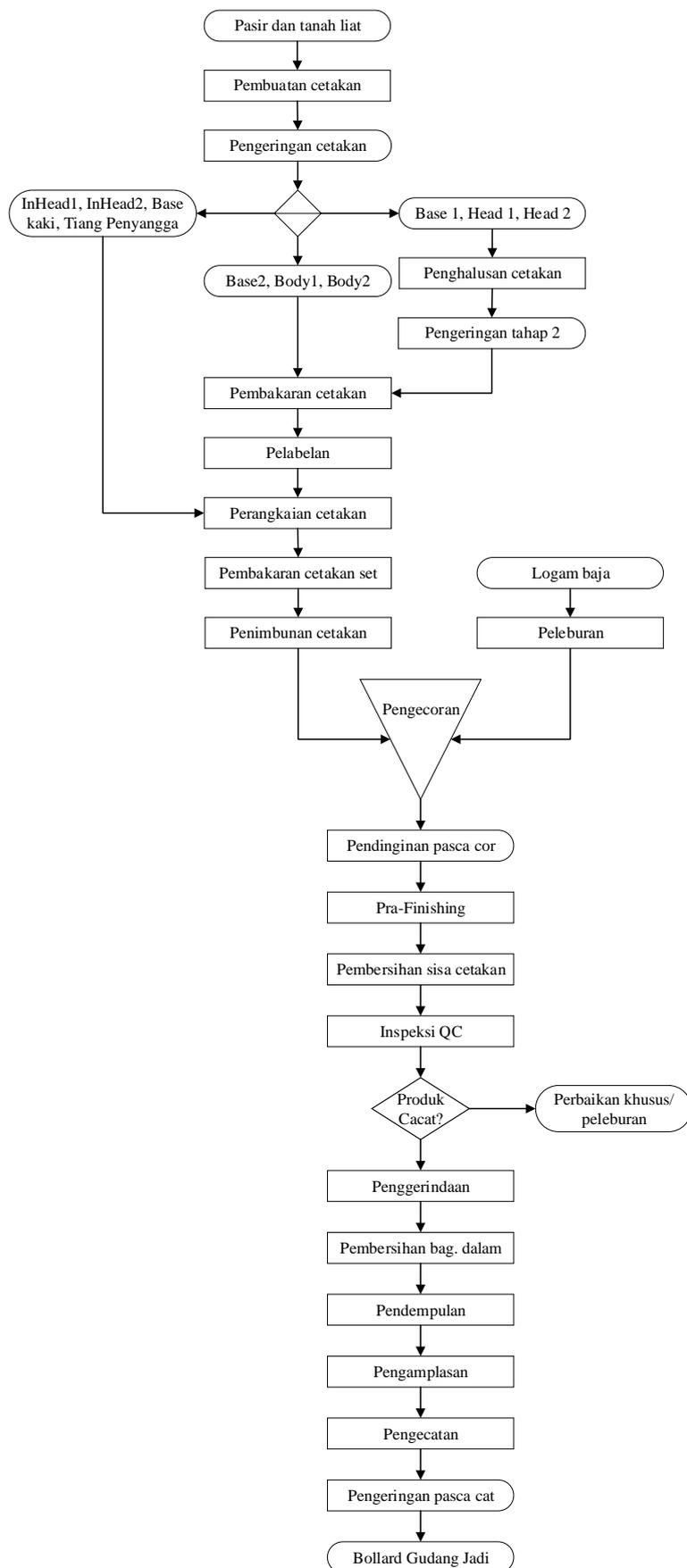
Terdapat lima variasi tipe *bollard* yang diproduksi dengan kapasitas yang berbeda-beda. Beberapa produk yang sering dipesan oleh konsumen selama enam bulan terakhir yang ditandai warna kuning pada Tabel 4.1 di atas, antara lain *Harbour* 35 T sebanyak 23 unit, *Harbour* 50 T sebanyak 36 unit, *Bitt* 15 T sebanyak 31 unit, dan *Tee* 15 T sebanyak 73 unit.

#### 4.1.7 Proses Produksi

Pada penelitian ini, proses produksi berfokus pada proses pembuatan *bollard* tipe *Harbour* dengan kapasitas kekuatan sebesar 35 ton. Adapun yang melatar belakangi dalam memilih tipe *bollard* ini yaitu berdasarkan tingkat pemesanan yang cukup sering

oleh konsumen setiap bulannya dan tingkat kesulitan dalam proses produksinya. Jika dilihat dari historis pemesanan selama enam bulan terakhir, maka tipe *Bollard Harbour* 35 T dan *Bitt* 15 T cukup sering dipesan dan pemesanannya konsisten ada setiap bulannya dibandingkan dengan produk lainnya. Namun, jika dilihat dari tingkat kesulitannya, maka tipe *Harbour* yang paling rumit dibandingkan dengan keempat tipe lainnya, terutama pada proses pembuatan cetakannya. Hal ini didasarkan dari hasil wawancara dengan salah satu karyawan CV. Mega Jaya Logam. Oleh karena itu, tipe *bollard* yang dipilih untuk menjadi subjek penelitian adalah *bollard* tipe *Harbour* 35 T dengan mempertimbangkan kedua faktor tersebut.

Adapun gambaran alur proses produksi dapat diilustrasikan pada Gambar 4. 4 berikut:



Gambar 4. 4 Alur proses produksi *bollard*

Proses produksi *bollard* diawali dengan persiapan bahan baku berupa pasir kali dan tanah liat untuk proses pembuatan cetakan. Pada proses pembuatan cetakan, untuk membuat satu unit *bollard* dibutuhkan beberapa cetakan yang dibentuk dengan ukuran dan dimensi sesuai dengan standar cetakan. Misalnya saja, untuk membuat satu unit *bollard* tipe *Harbour*, dibutuhkan 10 cetakan dengan bentuk yang berbeda kemudian seluruh cetakan tersebut akan dirangkai menjadi satu unit cetakan *bollard*. Adapun cetakan-cetakan yang perlu dibuat adalah *Base 1* dan *Base 2* sebagai dasaran dari *bollard*, *Body 1* dan *Body 2* sebagai badan dari cetakan *bollard*, *Head 1* dan *Head 2* sebagai kepala *bollard*, *In Head 1* dan *In Head 2* sebagai kepala inti yang berada di dalam *bollard*, *Base Kaki* untuk membentuk kaki-kaki dari *Base bollard*, dan tiang penyangga untuk menunjang kekuatan dari kepala *bollard* dan bagian dasar. Proses pembuatan cetakan ini memakan waktu cukup lama jika dibandingkan dengan proses-proses lainnya. Hal ini disebabkan teknik pembuatannya masih manual dan masih menggunakan pasir dan tanah liat. Selain itu juga pengeringan cetakannya masih dilakukan secara manual yaitu dengan bantuan sinar matahari.

Cetakan yang telah dibentuk akan dikeringkan dengan bantuan sinar matahari. Setelah cetakan cukup kering, untuk *Base 1*, *Head 1*, dan *Head 2* dilanjutkan ke proses penghalusan, kemudian dikeringkan untuk tahap kedua, dan terakhir dilakukan proses pembakaran. Sedangkan untuk cetakan *Base 2*, *Body 1*, dan *Body 2* dilanjutkan untuk proses pembakaran tanpa melewati proses penghalusan dan pengeringan tahap kedua.

Kemudian, cetakan *Base 2* yang telah dibakar akan diberi label sesuai dengan kapasitas *bollard* yang akan dicetak. Selanjutnya cetakan akan dirangkai dengan cetakan lainnya yang telah siap rangkai menjadi *bollard* set. Dalam proses perangkaiannya, cetakan diberikan sabuk untuk mengikat cetakan tersebut agar dalam proses pengangkatan cetakan tidak mengalami retak atau tergeser posisinya dengan cetakan lainnya. Setelah semua cetakan dirangkai menjadi kesatuan, cetakan set akan dibakar dengan bantuan potongan kayu yang diletakan dibagian dalam dan atas cetakan. Pembakaran ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa pada cetakan. Apabila cetakan masih terdapat kadar air, maka akan menyebabkan kecacatan pada produk. Cetakan set yang telah dibakar selanjutnya akan ditimbun di dalam tanah yang sudah digali untuk proses pengecoran. Hal ini juga bertujuan agar saat pengecoran cetakan dapat lebih kuat dan tidak mudah retak atau pecah.

Selanjutnya terdapat proses peleburan, dimana bahan baku untuk peleburan yaitu blok-blok logam baja bekas, kotoran hasil bubut, dan produk-produk logam cacat yang setiap harinya terdapat 4000 kg bahan baku. Bahan baku tersebut dimasukkan ke dalam dapur peleburan untuk dileburkan menjadi logam cair dengan suhu diatas 1000 derajat Celcius. Pada CV Mega Jaya Logam, memiliki dua jenis tungku, yaitu tungku kupola dan tungku induksi. Untuk tungku kupola menggunakan bahan bakar kokas atau batu bara, dan tungku ini digunakan untuk mengecor bollard dengan berat lebih dari 1 ton. Sedangkan untuk tungku induksi menggunakan bahan bakar dari listrik dengan kapasitas 500 kg. Sehingga untuk *bollard* dengan berat kurang dari 500 kg menggunakan tungku induksi. Untuk proses peleburan dengan tungku induksi membutuhkan waktu sekitar 60 – 70 menit, dimana proses peleburan dimulai pukul 8.00 pagi sampai 16.00 sore terdapat 7 kali peleburan. Sebelum proses peleburan dimulai, terdapat proses sintering terlebih dahulu di dapur peleburan untuk pemanasan dapur induksi selama satu jam. Dalam proses pengecoran tidak boleh berhenti karena akan mengakibatkan cairan tidak menyatu. Setelah logam dilebur, logam cair dituangkan ke dalam wadah penampungan (*ladle*) berkapasitas 500 kg, kemudian logam tersebut dicor ke dalam cetakan yang telah ditimbun menggunakan wadah berkapasitas 15 kg. Pengecoran ini membutuhkan waktu sekitar 15 menit untuk menghabiskan 500 kg logam cair.

Sebelum pengecoran logam cair ke dalam cetakan, terdapat proses pengayakan pasir halus untuk ditimbun ke dalam lubang cetakan, dan pemberian besi pembatas sebagai jalan untuk mengalirkan logam cair masuk ke dalam cetakan.

Logam cair yang telah dituang ke dalam cetakan kemudian didinginkan agar logam mengeras dan membentuk sesuai cetakan produk yang telah dibuat. Setelah logam mengeras dan terbentuk menjadi *bollard*, kemudian *bollard* setengah jadi tersebut dikeluarkan dari timbunan tanah. Pada proses penggalian cetakan logam *bollard* setengah jadi, terdapat persiapan alat angkut dengan crane terlebih dahulu. *Bollard* tersebut diangkat dengan crane untuk dipindahkan ke tempat penampungan sementara. Selanjutnya logam tersebut dibawa ke lokasi *finishing* untuk diproses lebih lanjut dimana untuk transportasinya menggunakan mobil. Dalam pengangkutannya menggunakan alat *material handling* berupa *forklift* dan *crane*.

Pada proses *finishing* meliputi proses pembersihan logam dari sisa cetakan pasir, penggerindaan, pendempulan, pengamplasan, dan proses pengecatan, serta terdapat proses inspeksi atau pengecekan terhadap produk di setiap prosesnya. Pada proses pembersihan sisa cetakan, hal ini bertujuan untuk membersihkan dan menghilangkan sisa-sisa cetakan pasir yang menempel pada logam tersebut. Pembersihan dilakukan secara manual yaitu dengan memukul permukaan dan bagian-bagian dalam logam menggunakan alat seperti palu dan alat lainnya.

Setelah logam bersih dari sisa pasir akan diinspeksi terlebih dahulu untuk mengecek apakah terdapat cacat atau spesifikasi yang tidak sesuai standar, jika produk lolos maka dilanjutkan ke proses penggerindaan. Pada proses penggerindaan, logam digerinda dengan alat gerinda untuk memperhalus permukaan *bollard*. Selanjutnya *bollard* setengah jadi akan didempul untuk lebih memperhalus lagi permukaannya. Inspeksi juga dilakukan setelah proses tersebut untuk memastikan tidak ada kecacatan pada produk. Proses terakhir yaitu pengecatan yang bertujuan untuk melapisi permukaan *bollard* dengan cat. *Bollard* yang telah dicat kemudian dikeringkan dan dibawa ke penyimpanan produk jadi.

#### 4.1.8 Data *Manpower*

Sebagian besar proses produksi dilakukan secara manual dan hamper semua proses produksi ada interaksi antara mesin atau alat, informasi, material, dan juga pekerja. Informasi mengenai jumlah pekerja untuk masing-masing stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 4. 3 berikut.

Tabel 4. 3 Data *Manpower*

No	Proses	Jml Operator (orang)
1	Pembuatan cetakan	4
2	Pengeringan Tahap 1	-
3	Penghalusan	4
4	Pengeringan Tahap 2	-
5	Pembakaran 1	4
6	Pelabelan	4
7	Perakitan	4
8	Pembakaran 2	4
9	Pengangkutan cetakan	7 - 8 orang
10	Penimbunan cetakan	4
11	Peleburan	2
12	Pengecoran	6 - 8 orang
13	Pendinginan	-
14	<i>Pra-Finishing</i>	3 - 5 orang
15	Pembersihan cetakan pasir	4
16	Penggerindaan	2
17	Pembersihan pasir dalam	2
18	Pendempulan	2
19	Pengamplasan	2
20	Pengecatan	1

#### 4.1.9 Data Waktu Siklus

Pengumpulan data waktu siklus dilakukan dengan metode *stopwatch time study*, dimana data ini digunakan sebagai input dalam perancangan *value stream mapping* dan model simulasi. Pengambilan data waktu siklus dilakukan selama 10 kali pengamatan dan secara random, yang artinya tidak mempertimbangkan perbedaan tiap operator dalam waktu pengerjaan sehingga acuan pengambilan data tidak terpaku hanya kepada satu operator saja. Keseluruhan data yang diperoleh dilakukan uji normalitas terlebih dahulu sebelum dilanjutkan ke uji kecukupan data. Untuk dapat lanjut ke uji kecukupan data, data harus dinyatakan berdistribusi normal atau mendekati distribusi tersebut. Uji normalitas

dilakukan dengan bantuan software SPSS 20.0 dimana hasil uji dapat dilihat pada Tabel 4. 4 berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Normalitas dengan SPSS

Sub-Proses	Kode	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			Ket. Uji
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	AA	.155	10	.200*	.949	10	.655	Normal
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 2	AB	.145	10	.200*	.960	10	.790	Normal
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 1	AC	.201	10	.200*	.952	10	.690	Normal
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 2	AD	.117	10	.200*	.975	10	.936	Normal
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 1	AE	.226	10	.157	.942	10	.580	Normal
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 2	AF	.226	10	.161	.883	10	.140	Normal
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 1	AG	.162	10	.200*	.906	10	.254	Normal
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 2	AH	.162	10	.200*	.906	10	.254	Normal
Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>	AI	.149	10	.200*	.937	10	.515	Normal
Pembuatan cetakan tiang penyangga	AJ	.146	10	.200*	.944	10	.603	Normal
Pengeringan Tahap 1	B	-	-	-	-	-	-	-
Penghalusan <i>Base</i> 1	CA	.200	10	.200*	.899	10	.216	Normal
Penghalusan <i>Head</i> 1	CB	.210	10	.200*	.934	10	.484	Normal
Penghalusan <i>Head</i> 2	CC	.148	10	.200*	.964	10	.826	Normal
Pengeringan Tahap 2	D	-	-	-	-	-	-	-
Pembakaran Tahap 1	E	-	-	-	-	-	-	-
Pembuatan label/merk	F	.163	10	.200*	.939	10	.545	Normal
Assembly <i>Base</i>	GA	.167	10	.200*	.956	10	.735	Normal
Assembly <i>Base &amp; Body</i> 1	GB	.150	10	.200*	.929	10	.434	Normal
Assembly <i>Kaki Base</i>	GC	.177	10	.200*	.911	10	.291	Normal
Assembly <i>Base dan Tiang</i> Penyangga	GD	.232	10	.135	.896	10	.197	Normal
Assembly <i>Base &amp;Body</i> 2	GEE	.147	10	.200*	.933	10	.476	Normal
Assembly Cetakan <i>Head</i>	GF	.216	10	.200*	.935	10	.501	Normal
Pembakaran Cetakan Assembly	H	.170	10	.200*	.915	10	.319	Normal
Pengangkutan cetakan	I	.192	10	.200*	.948	10	.648	Normal
Penimbunan Cetakan	J	.161	10	.200*	.927	10	.423	Normal
Peleburan	K	.139	10	.200*	.960	10	.788	Normal
Pengecoran	L	.187	10	.200*	.857	10	.071	Normal
Pendinginan pasca cor	M	-	-	-	-	-	-	-
Pengeluaran pasca cor	NA	-	-	-	-	-	-	-

Sub-Proses	Kode	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			Ket. Uji
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	NB	.259	10	.055	.901	10	.224	Normal
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	NC	.178	10	.200*	.955	10	.728	Normal
Pembersihan sisa cetakan pasir	O	.132	10	.200*	.951	10	.678	Normal
Penggerindaan	P	.216	10	.200*	.874	10	.112	Normal
Pembersihan pasir bagian dalam	Q	.175	10	.200*	.924	10	.390	Normal
Pendempulan	R	.199	10	.200*	.905	10	.246	Normal
Pengamplasan	S	.153	10	.200*	.932	10	.472	Normal
Pengecatan	TA	.150	10	.200*	.924	10	.393	Normal
Pengeringan pasca cat	TB	.196	10	.200*	.893	10	.185	Normal

\*. This is a lower bound of the true significance.      0.05  
a. Lilliefors Significance Correction

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa semua data dinyatakan normal, sehingga dapat dilanjutkan ke uji kecukupan data. Pada uji kecukupan data menggunakan rumus persamaan sebagai berikut.

$$N = \left[ \frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \cdot \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi} \right]^2$$

Setelah dilakukan perhitungan uji kecukupan data maka dapat diperoleh hasil pengujian pada Tabel 4. 5 berikut.

Tabel 4. 5 Uji Kecukupan Data Waktu Siklus

Sub-Proses	Kode	Rata - Rata	SUM	N	N'	Ket. Uji
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	AA	28.12	281.17	10	0.16	Cukup
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 2	AB	22.65	226.49	10	0.04	Cukup
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 1	AC	18.81	188.07	10	0.50	Cukup
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 2	AD	22.62	226.23	10	0.27	Cukup
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 1	AE	39.93	399.26	10	0.02	Cukup
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 2	AF	38.55	385.47	10	0.03	Cukup
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 1	AG	23.31	233.11	10	0.04	Cukup
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 2	AH	22.51	225.11	10	0.04	Cukup
Pembuatan cetakan <i>Base</i> Kaki	AI	11.77	117.70	10	0.18	Cukup

Sub-Proses	Kode	Rata - Rata	SUM	N	N'	Ket. Uji
Pembuatan cetakan tiang penyangga	AJ	5.14	51.41	10	3.09	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i>	B	2160	21600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i>	B	2160	21600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i>	B	2160	21600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i>	B	2160	21600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i>	B	2160	21600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i>	B	2160	21600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>	B	360	3600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>	B	360	3600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>	B	360	3600	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang</i>	B	600	6000	10	0.00	Cukup
Penyangga						
Penghalusan <i>Base 1</i>	CA	18.23	182.30	10	0.16	Cukup
Penghalusan <i>Head 1</i>	CB	13.67	136.68	10	0.19	Cukup
Penghalusan <i>Head 2</i>	CC	14.84	148.40	10	0.18	Cukup
Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>	D	240	2400	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	D	240	2400	10	0.00	Cukup
Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	D	240	2400	10	0.00	Cukup
Pembakaran <i>Base 1</i>	E	120	1200	10	0.00	Cukup
Pembakaran <i>Base 2</i>	E	120	1200	10	0.00	Cukup
Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	E	120	1200	10	0.00	Cukup
Pembakaran <i>Body 2</i>	E	120	1200	10	0.00	Cukup
Pembuatan label/merk	F	10.63	106.30	10	0.18	Cukup
Assembly <i>Base</i>	GA	11.42	114.15	10	0.48	Cukup
Assembly <i>Base dan Body 1</i>	GB	4.60	46.02	10	0.57	Cukup
Assembly <i>Kaki Base</i>	GC	40.22	402.20	10	0.17	Cukup
Assembly <i>Base dan Tiang</i>						
Penyangga	GD	7.53	75.30	10	0.11	Cukup
Assembly <i>Base dan Body 2</i>	GE	10.35	103.48	10	0.07	Cukup
Assembly <i>Cetakan Head</i>	GF	50.50	505.02	10	0.03	Cukup
Pembakaran <i>Cetakan Assembly</i>	H	185.55	1855.46	10	0.00	Cukup
Pengangkutan cetakan	I	6.31	63.06	10	0.33	Cukup
Penimbunan <i>Cetakan</i>	J	7.67	76.71	10	0.02	Cukup
Peleburan	K	59.74	597.38	10	0.53	Cukup
Pengecoran	L	19.22	192.22	10	0.30	Cukup
Pendinginan <i>pasca cor</i>	M	240	2400	10	0.00	Cukup
Pengeluaran <i>cetakan pasca cor</i>	NA	90	900	10	0.00	Cukup
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	NB	8.07	80.66	10	0.69	Cukup
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi finishing)	NC	3.32	33.23	10	0.99	Cukup
Pembersihan <i>sisa cetakan pasir</i>	O	32.15	321.49	10	0.45	Cukup

Sub-Proses	Kode	Rata - Rata	SUM	N	N'	Ket. Uji
Penggerindaan	P	24.23	242.31	10	8.97	Cukup
Pembersihan pasir bagian dalam	Q	20.99	209.89	10	0.26	Cukup
Pendempulan	R	57.27	572.68	10	0.68	Cukup
Pengamplasan	S	84.01	840.07	10	0.14	Cukup
Pengecatan	TA	11.12	111.17	10	0.36	Cukup
Pengeringan pasca cat	TB	17.84	178.40	10	0.01	Cukup

Dapat diketahui bahwa nilai N' pada masing-masing stasiun kerja kurang dari nilai N (jumlah data yang digunakan). Sehingga dapat dinyatakan bahwa data yang digunakan sudah mencukupi. Setelah data dinyatakan cukup, kemudian dihitung rata-rata waktu siklus pada tiap prosesnya yang mana waktu rata-rata ini dapat digunakan untuk perhitungan atau *input* pada metode selanjutnya. Sedangkan, jika indikator uji kecukupan data tidak terpenuhi, maka perlu dilakukan pengambilan data tambahan hanya untuk aktivitas terkait tanpa harus mengulang pengambilan data set sebelumnya.

Adapun waktu siklus produksi yang telah dikumpulkan pada setiap stasiun kerja dan telah memenuhi uji kecukupan data dapat dilihat pada Tabel 4. 6 berikut

Tabel 4. 6 Data Waktu Siklus

Sub-Proses	Aktivitas	Waktu (menit)
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	Mengambil campuran pasir	5.03
	Mengambil alat dan pola cetakan	2.38
	Menyiapkan dan setting alat	1.37
	Membuat cetakan sesuai pola	14.43
	Membuat lubang pada cetakan	2.58
	Memasang tali janur dibawah cetakan	2.33
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 2	Mengambil campuran pasir	4.58
	Mengambil pola cetakan	1.38
	Membuat cetakan dengan pola	13.03
	Mengambil alat	3.66
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 1	Mengambil campuran pasir	4.32
	Mengambil alat dan pola cetakan	2.16
	Membuat cetakan dengan pola	12.33
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 2	Mengambil campuran pasir	4.89
	Mengambil alat dan pola cetakan	1.44

<b>Sub-Proses</b>	<b>Aktivitas</b>	<b>Waktu (menit)</b>
	Membuat cetakan dengan pola	14.13
	Membuat tali plat janur untuk <i>Body 2</i>	1.67
	Memasang tali plat janur pada <i>Body 1</i>	0.49
Pembuatan cetakan <i>Head 1</i>	Mencari dan mengambil alat	2.14
	Memberi bubuk gram	1.49
	Mengambil campuran pasir	5.05
	Membuat cetakan dengan pola	17.42
	Melepas pola cetakan	0.29
	Menghaluskan cetakan	1.19
	Menyiapkan peralatan plat janur	2.07
	Membuat tali plat janur untuk <i>Head 1</i>	7.50
	Memasang tali plat janur pada <i>Head 1</i>	2.77
Pembuatan cetakan <i>Head 2</i>	Mencari dan mengambil alat	1.76
	Memberi bubuk gram	1.39
	Mengambil campuran pasir	5.25
	Membuat cetakan dengan pola	16.50
	Melepas pola cetakan	0.28
	Menghaluskan cetakan	1.36
	Menyiapkan peralatan plat janur	2.39
	Membuat tali plat janur untuk <i>Head 2</i>	7.20
	Memasang tali plat janur pada <i>Head 2</i>	2.43
Pembuatan cetakan <i>In-Head 1</i>	Mengambil campuran pasir silika	4.90
	Mengambil alat dan pola cetakan	2.42
	Membuat cetakan dengan pola	15.22
	Melepas pola cetakan	0.78
Pembuatan cetakan <i>In-Head 2</i>	Mengambil campuran pasir silika	4.93
	Mengambil alat dan pola cetakan	1.99
	Membuat cetakan dengan pola	14.85
	Melepas pola cetakan	0.74
Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>	Mengambil campuran pasir	2.57
	Mengambil alat dan pola cetakan	1.07
	Membuat cetakan dengan pola	8.13
Pembuatan cetakan tiang penyangga	Mengambil dan mengaduk campuran pasir	1.10
	Mengambil alat dan pola cetakan	0.42
	Membuat cetakan dengan pola	2.85
	Membawa cetakan ke tempat sementara	0.78

<b>Sub-Proses</b>	<b>Aktivitas</b>	<b>Waktu (menit)</b>
Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i>	2160
Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i>	2160
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i>	2160
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i>	2160
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i>	2160
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i>	2160
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>	360
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>	360
Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>	360
Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>	600
Penghalusan <i>Base 1</i>	Mengambil alat dan pasir	2.17
	Penghalusan dengan campuran pasir	13.40
	Penghalusan lapis kedua dengan cairan pasir	2.65
Penghalusan <i>Head 1</i>	Mengambil alat dan pasir	2.46
	Pemberian campuran pasir ke cetakan	3.00
	Mengamplas cetakan	8.21
Penghalusan <i>Head 2</i>	Mengambil alat dan pasir	3.03
	Pemberian campuran pasir ke cetakan	3.20
	Mengamplas cetakan	8.61
Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>	240
Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	240
Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	240
Pembakaran <i>Base 1</i>	Pembakaran <i>Base 1</i>	120
Pembakaran <i>Base 2</i>	Pembakaran <i>Base 2</i>	120
Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	120
Pembakaran <i>Body 2</i>	Pembakaran <i>Body 2</i>	120
Pembuatan label/merk	Mengamplas label	1.17
	Mencari dan mengambil alat	2.37
	Pembuatan pola sesuai label	4.28
	Pemasangan label ke cetakan	2.12
	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan	0.68

<b>Sub-Proses</b>	<b>Aktivitas</b>	<b>Waktu (menit)</b>
Assembly <i>Base</i>	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan <i>Base 1</i>	0.59
	Ambil angkur	1.16
	Peletakan angkur ke cetakan <i>Base 1</i>	1.28
	Pemasangan cetakan <i>Base 2</i> di atas <i>Base 1</i>	5.95
	Perekatan <i>Base 1</i> dan <i>Base 2</i> dengan campuran pasir	2.43
Assembly <i>Base</i> dan <i>Body 1</i>	Mengikir permukaan <i>Body 1</i>	1.48
	Pemasangan cetakan <i>Body 1</i> pada <i>Base</i>	0.43
	Mencari dan mengambil alat	1.02
	Mengukur tinggi cetakan	0.84
	Perekatan <i>Base</i> dan <i>Body 1</i> dengan pasir	0.83
Assembly Kaki <i>Base</i>	Mencari dan mempersiapkan alat	4.98
	Pemotongan sisi edge dasar <i>Body 1</i>	3.06
	Pembersihan pasir di bagian dalam cetakan	6.15
	Pemasangan bagian kaki pada <i>Base</i>	2.82
	Mengukur tinggi bagian kaki	1.13
	Merekatkan bagian kaki dan <i>Base</i> dengan pasir	20.68
	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan kaki <i>Base</i>	1.40
Assembly <i>Base</i> dan Tiang Penyangga	Mencari dan mengambil alat dan cetakan	1.09
	Mengukur tinggi tiang penyangga	0.65
	Mengikir/memotong cetakan tiang penyangga	3.10
	Memasang dan merekatkan tiang penyangga	2.69
Assembly <i>Base</i> dan <i>Body 2</i>	Mencari dan mengambil alat	0.67
	Memotong/mengikir cetakan <i>Body 2</i>	2.38
	Memosisikan cetakan <i>Body 2</i> untuk diukur	0.63
	Mengukur tinggi cetakan <i>Body 2</i>	0.28
	Mengeluarkan <i>Body 2</i> untuk dipotong	0.27
	Memasang cetakan <i>Body 2</i>	2.50
	Mengambil campuran pasir	1.58
	Merekatkan cetakan <i>Body 2</i> dengan pasir	2.05

<b>Sub-Proses</b>	<b>Aktivitas</b>	<b>Waktu (menit)</b>
Assembly Cetakan <i>Head</i>	Pembersihan pasir bagian dalam	0.80
	Mencari dan mengambil alat	6.03
	Mengambil campuran pasir	2.18
	Mengambil cetakan <i>Head</i> 1	0.25
	Memposisikan dan memasang cetakan <i>Head</i> 1	1.13
	Merekatkan cetakan <i>Head</i> 1 ke cetakan assembly	5.07
	Mengambil cetakan <i>InHead</i> 1 dan <i>InHead</i> 2	0.53
	Memasang dan memposisikan <i>InHead</i> 1 dan <i>InHead</i> 2	1.03
	Merekatkan in <i>Head</i> dengan cetakan assembly	6.87
	Mengoleskan grafit ke bagian dalam cetakan <i>Head</i> 2	1.75
	Mengukur dimensi cetakan antar <i>Head</i>	0.37
	Merekatkan permukaan atas in <i>Head</i> dan <i>Body</i>	2.32
	Mengambil cetakan <i>Head</i> 2	0.25
	Memasang dan memposisikan cetakan <i>Head</i> 2	1.13
	Merekatkan cetakan <i>Head</i> 2 ke cetakan assembly	2.75
	Mengambil cetakan tiang penyangga untuk lubang cor	1.63
	Mengukur tinggi tiang penyangga untuk dipotong	0.32
	Memotong dan mengikir tiang penyangga	3.43
	Merekatkan lubang cor ke <i>Head</i>	7.77
	Membuat lubang udara bagian atas <i>Head</i>	4.88
Pembakaran Cetakan Assembly	Menyiapkan bahan bakaran	3.18
	Pembakaran cetakan dengan arang	180.00
	Memasang tali plat janur pada cetakan	2.37
Pengangkutan cetakan ke pengecoran	Memposisikan mobil angkut	1.79
	Mengangkut cetakan ke mobil angkut	1.77
	Transportasi ke lokasi pengecoran	1.74
Penimbunan Cetakan	Menimbun cetakan dengan tanah pasir	7.67

Sub-Proses	Aktivitas	Waktu (menit)
Peleburan	Peleburan logam cair	58.30
	Penuangan logam cair ke ledel 500 kg	1.44
Pengecoran	Membuat pasir halus (mengayak pasir)	1.52
	Ambil pasir halus	0.74
	Menuangkan pasir halus ke dalam cetakan	0.53
	Ambil alat untuk meratakan pasir	0.27
	Meratakan pasir yang dituang di dalam cetakan	2.58
	Mengambil pembatas cor	2.22
	Merangkai pembatas cor di atas cetakan	2.74
	Menuangkan logam cair ke cetakan	7.58
	Menimbun cetakan dengan pasir	1.04
	Pendinginan pasca cor	Pendinginan cetakan cor sampai mengeras
Pengeluaran cetakan pasca cor	Menggali tanah/pasir	15.00
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	Mengangkut <i>bollard</i> dengan forklift	1.19
	Memasang tali crane ke <i>bollard</i>	0.96
	Mengangkut <i>bollard</i> ke mobil dengan crane	2.55
	Melepas tali crane dari <i>bollard</i>	0.30
	transportasi ke lokasi <i>finishing</i>	3.07
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	Pengangkutan <i>bollard</i> ke forklift dengan crane	1.96
	Melepas tali crane dari <i>bollard</i>	0.19
	Transportasi forklift ke area penyimpanan sementara	1.17
Pembersihan sisa cetakan pasir	Mengambil alat	0.42
	Membuka dan melepaskan tali plat janur	3.90
	Membersihkan cetakan pasir yang menempel	26.06
	memindahkan ke lokasi gerinda	1.77
Penggerindaan	Mengambil dan menyiapkan alat	1.19
	Menggerinda permukaan <i>bollard</i>	21.58

<b>Sub-Proses</b>	<b>Aktivitas</b>	<b>Waktu (menit)</b>
	Merobohkan <i>bollard</i>	0.69
	Mengganti priringan gerinda	0.77
Pembersihan pasir bagian dalam	Mengambil alat	3.47
	Membersihkan pasir bagian dalam	17.52
Pendempulan	Mengambil dan menyiapkan alat	2.82
	Mendempul permukaan <i>bollard</i>	52.66
	Memindahkan <i>bollard</i> ke lokasi pengamplasan	1.79
Pengamplasan	Mengambil alat	0.64
	Mengamplas permukaan <i>bollard</i>	83.37
Pengecatan	Mencari dan mengambil alat	3.35
	Menghidupkan dan setup mesin	3.11
	Setting sprayer	0.85
	Membersihkan debu dari permukaan <i>bollard</i>	0.38
	Mengisi cat ke sprayer	0.80
	Mengecat <i>bollard</i>	2.65
Pengeringan pasca cat	Mengeringkan <i>bollard</i> yang telah dicat	15.00
	Membawa <i>bollard</i> ke area gudang jadi	2.84
<b>Total Lead Time (menit)</b>		<b>17047.86</b>

Data waktu siklus yang diperoleh tersebut mengacu pada proses produksi *bollard Harbour 35 T* saja. Adapun pada saat pengamatan, terdapat pengerjaan 13 unit *bollard* dimana *bollard Harbour 35 T* sejumlah 11 unit dan *bollard* dengan tipe dan ukuran lain sejumlah 2 unit. Pengamatan dilakukan selama 11 hari, dimulai dari proses produksi yang paling awal sampai *bollard* siap untuk dikirim. Selama pengamatan tersebut, waktu pengerjaan yang dibutuhkan untuk proses produksi *bollard Harbour 35 T* saja memiliki pembagian persentase pada Tabel 4. 7 sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Persentase pengerjaan *bollard*

<b>Tipe Bollard</b>	<b>Berat (kg)</b>	<b>Jumlah (unit)</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
<i>Harbour 35T</i>	440	11	4840	83%
<i>Harbour 50 T</i>	665	1	665	11%
Bitt 50 T	360	1	360	6%
<b>Total</b>	1465	13	5865	100%

Sehingga waktu pengerjaan untuk *bollard tipe Harbour 35 T* adalah 83% dari total waktu keseluruhan. Untuk pembagian waktu per masing-masing hari dapat dilihat pada Tabel 4. 8 sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Pembagian waktu pengerjaan *bollard*

mulai jam 8.00	hari 1	hari 2	hari 3	hari 4	hari 5	hari 6	hari 7	hari 8	hari 9	hari 10	hari 11
Waktu mulai kerja (menit)	0	1440	2880	4320	5760	7200	8640	10080	11520	12960	14400
Waktu selesai kerja (menit)	420	1860	3300	4740	6180	7620	9060	10500	11940	13380	14520

Total waktu pengerjaan dari hari pertama sampai hari kesebelas adalah 14520 menit. Sedangkan untuk waktu pengerjaan *bollard tipe Harbour 35 T* saja adalah 83% dari 14520 menit. Dapat dikatakan bahwa proses produksi *bollard Harbour 35T* membutuhkan waktu kurang lebih 11982.40 menit. Lamanya waktu tersebut akan dijadikan sebagai acuan waktu simulasi.

#### 4.1.10 Data *Experfit*

Data *experfit* merupakan data waktu proses berupa distribusi yang diperoleh dari beberapa kali pengamatan pada masing-masing stasiun kerja. Data tersebut digunakan sebagai *input modelling* pada pembuatan model simulasi. Adapun data *experfit* pada masing-masing proses dapat dilihat pada Tabel 4. 9 berikut.

Tabel 4. 9 Data *experfit*

Sub-Proses	Distribusi waktu
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	beta( 25.449563, 28.972216, 4.893673, 1.565130, 0)
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 2	johnsonbounded( 22.303885, 23.202162, 0.505822, 0.807585, 0)
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 1	beta( 17.298433, 19.930215, 1.713608, 1.268202, 0)
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 2	beta( 20.749143, 23.749765, 3.266656, 1.957006, 0)
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 1	johnsonbounded( 38.500702, 40.479947, -1.420820, 1.341342, 0)
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 2	johnsonbounded( 37.514876, 38.939699, -0.929568, 0.695904, 0)
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 1	johnsonbounded( 22.976719, 23.644075, -0.009506, 0.477366, 0)
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 2	johnsonbounded( 22.177519, 22.843275, -0.009568, 0.473735, 0)
Pembuatan cetakan <i>Base</i> Kaki	beta( 11.310073, 12.095643, 0.916866, 0.656147, 0)
Pembuatan cetakan tiang penyangga	beta( 4.533210, 6.169186, 0.810905, 1.349871, 0)
Penghalusan <i>Base</i> 1	beta( 17.155489, 18.694129, 2.009381, 0.851864, 0)
Penghalusan <i>Head</i> 1	inversegaussian( 6.175230, 7.492770, 4630.957803, 0)
Penghalusan <i>Head</i> 2	loglaplace( 13.723887, 1.071102, 4.375313, 0)
Pembuatan label/merk	johnsonbounded( 10.063314, 10.930514, -0.596345, 0.644546, 0)
Assembly <i>Base</i>	beta( 10.212392, 12.184087, 3.100081, 1.964884, 0)
Assembly <i>Base</i> dan <i>Body</i> 1	weibull( 2.034804, 2.645395, 16.984217, 0)
Assembly Kaki <i>Base</i>	johnsonbounded( 38.989919, 41.421871, -0.026585, 0.433080, 0)
Assembly <i>Base</i> dan Tiang Penyangga	johnsonbounded( 7.250986, 7.679630, -0.508323, 0.512390, 0)
Assembly <i>Base</i> dan <i>Body</i> 2	beta( 10.053982, 10.528663, 1.315819, 0.833345, 0)
Assembly Cetakan <i>Head</i>	weibull( 0.000000, 50.695465, 149.706580, 0)
Pembakaran Cetakan Assembly	johnsonbounded( 184.748457, 185.910982, -1.508848, 1.792906, 0)
Pengangkutan cetakan	weibull( 5.936200, 0.411844, 2.000000, 0)
Penimbunan Cetakan	johnsonbounded( 7.592328, 7.776676, 0.260869, 0.603933, 0)
Peleburan	beta( 56.252750, 63.913809, 1.009081, 1.218508, 0)





Sub-Proses	Kode	Hari Ke-										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Penimbunan Cetakan	I	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Peleburan	J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pengecoran	K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pendinginan pasca cor	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pengeluaran cetakan pasca cor	MA	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	MB	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	MC	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0
Pembersihan sisa cetakan pasir	N	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
Penggerindaan	O	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0
Pembersihan pasir bagian dalam	P	0	0	0	0	0	0	0	10	5	1	0
Pendempulan	Q	0	0	0	0	0	0	0	10	5	3	0
Pengamplasan	R	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0
Pengecatan	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0

Keterangan:

Warna hijau menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh produk telah diselesaikan prosesnya pada hari tersebut.

#### 4.1.12 Data Jadwal Kerja

Perusahaan CV. Mega Jaya Logam menetapkan jadwal kerja mulai hari Senin – Sabtu, namun untuk bagian pencetakan yaitu Senin – Minggu. Adapun pembagian jadwal kerja secara rincinya adalah pada Tabel 4. 11 sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Jadwal Kerja

Lokasi	Hari	Jam Mulai	Jam Selesai	Istirahat
Pencetakan	Sabtu - Kamis	08:00	15:00	12:00 - 12:30
	Jumat	08:00	15:00	11:45 - 12:45
Peleburan & Pengecoran	Jumat	08:00	16:00	11.45 - 13.00
	Senin-Kamis	08:00	16:00	12:00 - 13:00
	Sabtu	08:00	16:00	12:00 - 13:00
<i>Finishing</i>	Senin-Sabtu	07:30	15:00	11.30 - 13.00

#### 4.1.13 Data Available Time (A/T) dan Uptime (U/T)

*Available time* (A/T) merupakan waktu yang dapat dimaksimalkan dalam menjalankan proses produksi, dimana didapatkan dari total waktu kerja dikurangi dengan waktu istirahat. Sedangkan *uptime* (U/T) merupakan persentase jam kerja mesin atau proses kerja bersih yang didapatkan dari perbandingan antara waktu siklus dari aktivitas *value added* dengan total waktu siklus ( $U/T = VA/(VA+NVA+NNVA)$ ). Adapun *available time* dan *uptime* pada masing-masing proses dapat dilihat pada Tabel 4. 12 berikut.

Tabel 4. 12 Data Available Time dan Uptime

Sub-Proses	Kode	C/T (menit/ unit)	A/T (menit)	Uptime (%)
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	AA	28.12	420	68.79%
Pembuatan cetakan <i>Base</i> 2	AB	22.65	420	57.53%
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 1	AC	18.81	420	65.55%
Pembuatan cetakan <i>Body</i> 2	AD	22.62	420	64.63%
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 1	AE	39.93	420	58.02%
Pembuatan cetakan <i>Head</i> 2	AF	38.55	420	56.95%
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 1	AG	23.31	420	68.59%
Pembuatan cetakan <i>In-Head</i> 2	AH	22.51	420	69.25%
Pembuatan cetakan <i>Base</i> Kaki	AI	11.77	420	69.09%
Pembuatan cetakan tiang penyangga	AJ	5.14	420	55.34%
Pengeringan Tahap 1 <i>Base</i> 1	B	2160	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>Base</i> 2	B	2160	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>Body</i> 1	B	2160	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>Body</i> 2	B	2160	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>Head</i> 1	B	2160	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>Head</i> 2	B	2160	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head</i> 1	B	360	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head</i> 2	B	360	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 <i>Base</i> Kaki	B	360	1440	0%
Pengeringan Tahap 1 Tiang Penyangga	B	600	1440	0%
Penghalusan <i>Base</i> 1	CA	18.23	420	88.09%
Penghalusan <i>Head</i> 1	CB	13.67	420	82.01%
Penghalusan <i>Head</i> 2	CC	14.84	420	79.61%
Pengeringan Tahap 2 <i>Base</i> 1	D	240.00	1440	0.00%
Pengeringan Tahap 2 <i>Head</i> 1	D	240.00	1440	0.00%
Pengeringan Tahap 2 <i>Head</i> 2	D	240.00	1440	0.00%
Pembakaran <i>Base</i> 1	E	120.00	420	100%
Pembakaran <i>Base</i> 2	E	120.00	420	100%
Pembakaran <i>Body</i> 1, <i>Head</i> 1, <i>Head</i> 2	E	120.00	420	100%
Pembakaran <i>Body</i> 2	E	120.00	420	100%
Pembuatan label/merk	F	10.63	420	77.69%
Assembly <i>Base</i>	GA	11.42	420	89.84%

Sub-Proses	Kode	C/T (menit/ unit)	A/T (menit)	Uptime (%)
Assembly <i>Base</i> dan <i>Body</i> 1	GB	4.60	420	45.57%
Assembly Kaki <i>Base</i>	GC	40.22	420	69.51%
Assembly <i>Base</i> dan Tiang Penyangga	GD	7.53	420	85.49%
Assembly <i>Base</i> dan <i>Body</i> 2	GE	10.35	420	69.66%
Assembly Cetakan <i>Head</i>	GF	50.50	1440	76.91%
Pembakaran Cetakan Assembly	H	185.55	1440	98.29%
Pengangkutan cetakan ke pengecoran	I	6.31	420	28.12%
Penimbunan Cetakan	J	7.76	1440	100%
Peleburan	K	59.74	390	97.59%
Pengecoran	L	19.22	390	75.29%
Pendinginan pasca cor	M	240.00	1440	100%
Pengeluaran cetakan pasca cor	NA	15.00	360	100%
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	NB	8.07	360	61.99%
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	NC	3.32	360	64.66%
Pembersihan sisa cetakan pasir	O	32.15	360	81.07%
Penggerindaan	P	24.23	360	91.91%
Pembersihan pasir bagian dalam	Q	20.99	360	83.48%
Pendempulan	R	57.27	360	91.96%
Pengamplasan	S	84.01	360	99.24%
Pengecatan	TA	11.12	360	34.32%
Pengeringan pasca cat	TB	17.84	360	84.08%

#### 4.1.14 Waktu Kedatangan

Data waktu kedatangan memberikan informasi mengenai waktu bahan baku yang masuk pada proses produksi. Data ini digunakan sebagai *input* pada perancangan model simulasi. Bahan baku utama yang digunakan selama proses produksi antara lain pasir alam dan tanah lempung, pasir silica, dan logam baja. Pada penelitian ini besarnya komposisi masing-masing bahan baku tidak dipertimbangkan, sehingga dapat diasumsikan bahwa untuk membuat 1 cetakan part *bollard* menggunakan 1 set campuran pasir dan tanah lempung yang telah dicampur. Adapun rincian waktu kedatangan telah dijabarkan pada Tabel 4. 13 berikut.

Tabel 4. 13 Waktu kedatangan

No	Jenis Bahan Baku	Req Cap.	Waktu Kedatangan
1	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Base</i> 1	11 set	<i>Sequence</i>
2	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Base</i> 2	11 set	<i>Sequence</i>
3	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Body</i> 1	11 set	<i>Sequence</i>

No	Jenis Bahan Baku	Req Cap.	Waktu Kedatangan
4	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Body 2</i>	11 set	<i>Sequence</i>
5	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Head 1</i>	11 set	<i>Sequence</i>
6	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Head 2</i>	11 set	<i>Sequence</i>
7	Campuran pasir silica untuk <i>InHead 1</i>	11 set	<i>Sequence</i>
8	Campuran pasir silica untuk <i>InHead 2</i>	11 set	<i>Sequence</i>
9	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Kaki Base</i>	11 set	<i>Sequence</i>
10	Campuran pasir dan tanah liat untuk <i>Tiang Penyangga</i>	11 set	<i>Sequence</i>
11	Logam baja	500 kg	<i>Sequence</i>

Waktu kedatangan “*sequence*” menunjukkan bahwa bahan baku diasumsikan sudah tersedia dan siap diolah untuk proses produksi.

## 4.2 Pengolahan Data

### 4.2.1 Perhitungan *Cycle Time* dan *Lead Time*

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan yang berkaitan dengan waktu siklus (*cycle time*) dan *lead time* dari proses-proses yang ada.

#### A. *Cycle Time* Produksi (C/T)

*Cycle time* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus pekerjaan. Total *cycle time* produksi dapat diperoleh dengan menjumlahkan seluruh aktivitas dan proses yang termasuk dalam kategori aktivitas *value added* (VA). Adapun total *cycle time* produksi *bollard Harbour 35 T* adalah 1514.56 menit

#### B. *Lead Time* Produksi (L/T)

*Lead time* produksi dapat diperoleh berdasarkan lama waktu pembuatan produk seperti pada Tabel di atas. *Lead time* merupakan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu barang atau unit yang mana aktivitas tidak bernilai tambah juga termasuk didalamnya. Adapun rumus perhitungan *lead time* produksi *bollard* adalah sebagai berikut.

$$\text{Lead Time} = \text{cycle time/unit} + \text{aktivitas NVA/NNVA}$$

Sepanjang proses produksi terdapat beberapa aktivitas NVA dan aktivitas NNVA, yang mana untuk total waktu aktivitas NVA adalah 46.99 menit sedangkan untuk aktivitas NNVA menyumbang waktu terbesar yaitu selama 15486,31 menit. Lamanya waktu dari aktivitas NNVA disumbang terbesar oleh proses pengeringan cetakan yang sebagian besar cetakan membutuhkan pengeringan selama 2160 menit. Sehingga total *lead time* untuk proses produksi *bollard Harbour 35 T* adalah 17047,86 menit/unit.

Hasil dari perhitungan tersebut kemudian digunakan sebagai input pada pembuatan *current state value stream mapping* (CSVSM) untuk mendefinisikan gambaran dari keseluruhan proses produksi dari kondisi nyata.

#### **4.2.2 Value Stream Mapping (VSM)**

*Value Stream Mapping* merupakan alat untuk memberikan gambaran sistem secara keseluruhan beserta aktivitas-aktivitas yang ada di dalam sistem tersebut. Selain itu, VSM juga mampu menjabarkan aliran informasi dan aliran fisik yang terdapat pada sistem. Adapun hasil dari pembuatan *current state* VSM dapat dilihat pada Lampiran 7.

#### **4.2.3 Identifikasi Pemborosan**

Identifikasi pemborosan menggunakan konsep *Waste Assessment Model*. Pengumpulan data terkait identifikasi pemborosan ini dilakukan dengan cara diskusi dan wawancara. Proses diskusi dan wawancara tersebut dilakukan dengan pihak yang paham mulai dari proses pengadaan barang hingga pengiriman produk jadi ke konsumen. Pada masalah ini, wawancara ditujukan kepada Bapak Bambang, selaku manajer operasional sekaligus pemilik usaha CV. Mega Jaya Logam.

##### **A. Seven Waste Relationship**

*Waste Assessment Model* menggambarkan hubungan antar jenis pemborosannya, dimana terdapat tujuh pemborosan yang pertama kali dikembangkan oleh Taichi Ohno (1988) antara lain *Defect* (D), *Overproduction* (O), *Waiting* (W), *Transportation* (T), *Inventory* (I), *Motion* (M), dan *Processing* (P). Ketujuh jenis pemborosan tersebut bersifat saling berpengaruh terhadap jenis pemborosan lainnya.

Perhitungan keterkaitan antar jenis pemborosan dilakukan secara diskusi dengan pihak perusahaan dan penyebaran kuesioner dengan menggunakan kriteria pembobotan yang dikembangkan oleh Rawabdeh (2005) pada Tabel 4. 14 berikut.

Tabel 4. 14 Kriteria pembobotan keterkaitan pemborosan

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
1	Apakah <i>i</i> menghasilkan <i>j</i>	a. Selalu	4
		b. Kadang-kadang	2
		c. Jarang	0
2	Bagaimanakah jenis hubungan antara <i>i</i> dan <i>j</i>	a. Jika <i>i</i> naik, maka <i>j</i> naik	2
		b. Jika <i>i</i> naik, maka <i>j</i> tetap	1
		c. Tidak tentu tergantung keadaan	0
3	Dampak terhadap <i>j</i> karena <i>i</i>	a. Tampak secara langsung dan jelas	4
		b. Butuh waktu untuk muncul	2
		c. Tidak sering muncul	0
4	Menghilangkan dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> dapat dicapai dengan cara	a. Metode Engineering	2
		b. Sederhana dan langsung	1
		c. Solusi instruksional	0
5	Dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> terutama mempengaruhi	a. Kualitas produk	1
		b. Produktivitas sumber daya	1
		c. <i>Lead time</i>	1
		d. Kualitas dan produktifitas	2
		e. Kualitas dan lead time	2
		f. Produktifitas dan lead time	2
		g. Kualitas, produktifitas, dan <i>lead time</i>	4
6	Sebesar apa dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> akan meningkatkan <i>lead time</i>	a. Sangat tinggi	4
		b. Sedang	2
		c. Rendah	0

Hasil dari kuesioner keterkaitan antar pemborosan dapat dilihat pada Tabel 4. 15 berikut.

Tabel 4. 15 Hasil rekapitulasi kuesioner keterkaitan pemborosan

No	Pertanyaan Hubungan	1		2		3		4		5		6		Total
		Jwbn	Bobot											
1	O_I	c	0	a	2	c	0	a	2	d	2	b	2	8
2	O_D	c	0	c	0	c	0	b	1	d	2	c	0	3
3	O_M	b	2	a	2	b	2	c	0	f	2	c	0	8
4	O_T	c	0	a	2	c	0	b	1	c	1	c	0	4
5	O_W	a	4	a	2	a	4	a	2	c	1	a	4	17
6	I_O	b	2	a	2	b	2	c	0	f	2	c	0	8
7	I_D	c	0	c	0	b	2	c	0	a	1	c	0	3
8	I_M	a	4	a	2	b	2	c	0	d	2	a	4	14
9	I_T	a	4	a	2	b	2	c	0	c	1	a	4	13
10	D_O	b	2	c	0	c	0	c	0	f	2	c	0	4
11	D_I	c	0	a	2	b	2	a	2	a	1	c	0	7
12	D_M	a	4	a	2	c	0	c	0	g	4	a	4	14
13	D_T	b	2	a	2	b	2	c	0	c	1	a	4	11
14	D_W	a	4	a	2	a	4	a	2	c	1	a	4	17
15	M_I	b	2	c	0	b	2	c	0	f	2	b	2	8
16	M_D	b	2	c	0	b	2	c	0	g	4	b	2	10
17	M_P	a	4	a	2	a	4	a	2	b	1	a	4	17
18	M_W	a	4	a	2	a	4	a	2	c	1	a	4	17
19	T_O	c	0	c	0	c	0	b	1	c	1	b	2	4
20	T_I	b	2	c	0	c	0	b	1	c	1	b	2	6
21	T_D	c	0	c	0	b	2	c	0	e	2	c	0	4
22	T_M	a	4	a	2	a	4	c	0	c	1	a	4	15
23	T_W	a	4	a	2	a	4	a	2	c	1	a	4	17
24	P_O	a	4	a	2	c	0	a	2	b	1	b	2	11

No	Pertanyaan Hubungan	1		2		3		4		5		6		Total
		Jwbn	Bobot											
25	P_I	a	4	a	2	b	2	a	2	f	2	a	4	16
26	P_D	b	2	a	2	b	2	a	2	f	2	b	2	12
27	P_M	a	4	a	2	a	4	a	2	f	2	b	2	16
28	P_W	b	2	a	2	b	2	a	2	c	1	a	4	13
29	W_O	b	2	c	0	b	2	a	2	f	2	b	2	10
30	W_I	b	2	a	2	b	2	a	2	e	2	a	4	14
31	W_D	a	4	c	0	b	2	c	0	e	2	b	2	10

Selanjutnya, hasil dari identifikasi keterkaitan antar pemborosan dihitung dalam pembobotan, di hasil akhir akan diketahui skor keseluruhan dari masing-masing hubungan. Skor keseluruhan diperoleh dari penjumlahan bobot masing-masing pertanyaan dari masing-masing hubungan. Untuk rekapitulasi hasil kuesioner dapat dilihat pada Tabel 4. 16 berikut.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi skor kuesioner pemborosan

<b>No</b>	<b>Pertanyaan Hubungan</b>	<b>Total</b>	<b>Skor Konversi</b>
1	O_I	8	O
2	O_D	3	U
3	O_M	8	O
4	O_T	4	U
5	O_W	17	A
6	I_O	8	O
7	I_D	3	U
8	I_M	14	E
9	I_T	13	E
10	D_O	4	U
11	D_I	7	O
12	D_M	14	E
13	D_T	11	I
14	D_W	17	A
15	M_I	8	O
16	M_D	10	I
17	M_P	17	A
18	M_W	17	A
19	T_O	4	U
20	T_I	6	O
21	T_D	4	U
22	T_M	15	E
23	T_W	17	A
24	P_O	11	I
25	P_I	16	E
26	P_D	12	I
27	P_M	16	E
28	P_W	13	E
29	W_O	10	I
30	W_I	14	E
31	W_D	10	I

Kategorisasi ke dalam skala alfabetik mengacu pada *range* skala yang telah dijelaskan pada Bab Tinjauan Pustaka. Hasil skala ini akan dikonversikan ke dalam bentuk matriks.

### B. Waste Relationship Matrix

Berdasarkan hasil kategorisasi perhitungan keterkaitan antar pemborosan pada Tabel rekapitulasi hasil kuesioner, selanjutnya dikonversikan ke dalam waste relationship matrix seperti Tabel 4. 17 berikut.

Tabel 4. 17 Waste relationship matrix

<b>F/T</b>	<b>O</b>	<b>I</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>P</b>	<b>W</b>
<b>O</b>	A	O	U	O	U	X	A
<b>I</b>	O	A	U	E	E	X	X
<b>D</b>	U	O	A	E	I	X	A
<b>M</b>	X	O	I	A	X	A	A
<b>T</b>	U	O	U	E	A	X	A
<b>P</b>	I	E	I	E	X	A	E
<b>W</b>	I	E	I	X	X	X	A

Hasil kategorisasi matriks tersebut dikonversikan ke dalam bentuk persentase agar lebih sederhana. Konversi skala numerik di atas mengacu pada Tabel 4. 18 berikut:

Tabel 4. 18 Konversi skala numerik

<b>Range</b>	<b>Type of Relationship</b>	<b>Simbol</b>	<b>Skala</b>
17 - 20	<i>Absolutely Necessary</i>	A	10
13 - 16	<i>Especially Important</i>	E	8
9 - 12	<i>Important</i>	I	6
5 - 8	<i>Ordinary Closeness</i>	O	4
1 - 4	<i>Unimportant</i>	U	2
0	<i>No Relation</i>	X	0

Sehingga hasil *Waste Matrix Value* untuk proses produksi *bollard tipe Harbour 35* T dapat dilihat pada Tabel 4. 19 berikut.

Tabel 4. 19 *Waste Matrix Value*

<b>F/T</b>	<b>O</b>	<b>I</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>P</b>	<b>W</b>	<b>Skor</b>	<b>%</b>
<b>O</b>	10	4	2	4	2	0	10	32	12.50
<b>I</b>	4	10	2	8	8	0	0	32	12.50
<b>D</b>	2	4	10	8	6	0	10	40	15.63
<b>M</b>	0	4	6	10	0	10	10	40	15.63
<b>T</b>	2	4	2	8	10	0	10	36	14.06
<b>P</b>	6	8	6	8	0	10	8	46	17.97
<b>W</b>	6	8	6	0	0	0	10	30	11.72
<b>Skor</b>	30	42	34	46	26	20	58	256	100
<b>%</b>	11.72	16.406	13.28	17.97	10.16	7.81	22.66	100	

Hasil konversi pada Tabel 4. 19 di atas kemudian akan dikalikan dengan *output* pada WAQ untuk mengidentifikasi *waste* dominan yang terjadi pada sistem produksi.

### C. *Waste Assessment Questionnaire*

Nilai pemborosan yang telah didapatkan pada *waste relationship matrix* akan digunakan untuk penilaian WAQ berdasarkan jenis pertanyaan. Responden yang dijadikan narasumber dalam wawancara terstruktur ini adalah Bapak Bambang, karena pemahamannya terkait proses produksi sekaligus sebagai pemilik usaha.

Pertama dilakukan pengelompokan jenis pertanyaan pada butir-butir pertanyaan WAQ. Tabel 4. 20 berikut ini adalah pengelompokan jenis pertanyaan pada WAQ.

Tabel 4. 20 Klasifikasi jenis pertanyaan

<b>No</b>	<b>Jenis Pertanyaan</b>	<b>Total Pertanyaan (Ni)</b>
1	<i>From Overproduction</i>	3
2	<i>From Inventory</i>	6
3	<i>From Defects</i>	8
4	<i>From Motion</i>	11
5	<i>From Transportation</i>	4
6	<i>From Process</i>	7
7	<i>From Waiting</i>	8
8	<i>To Defects</i>	4
9	<i>To Motion</i>	9
10	<i>To Transportation</i>	3
11	<i>To Waiting</i>	5
	<b>Jumlah Pertanyaan</b>	<b>68</b>

Butir pertanyaan pada Tabel di atas akan digunakan sebagai pembagi untuk menghitung bobot *waste* pada WAQ. Dapat dilihat bahwa jumlah pengelompokan jenis pertanyaan adalah 68. Mengindikasikan bahwa tidak ada butir pertanyaan yang hilang. Selanjutnya pada pembobotan awal berdasarkan WRM, hasil WMV pada proses sebelumnya kemudian dimasukkan ke butir-butir pertanyaan. Tiap *waste* akan memiliki nilai sesuai dengan nilai pada matriks WRM yang sudah dijabarkan. Dengan begitu, maka dapat diketahui bobot awal tiap pemborosan. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Lampiran 4.

Selanjutnya menghitung bobot untuk tiap jenis pemborosan, yaitu dengan membagi nilai bobot awal dengan frekuensi atau jumlah pengelompokan dari butir pertanyaan kuesioner per kategorinya. Hasil pembobotan dapat dilihat di Lampiran 5. Kemudian dilakukan pengalihan antara bobot jenis pemborosan dengan hasil wawancara WAQ yang telah diperoleh melalui proses wawancara terstruktur. Pertanyaan-pertanyaan yang terdapat pada WAQ tersebut dikategorikan menjadi kategori A dan kategori B, yang mana kategori tersebut mengindikasikan nilai tertentu yang dikonversikan menjadi (1, 0.5 atau 0). Sehingga dari hasil ini dapat diperoleh total skor yang dapat dilihat pada Lampiran 6.

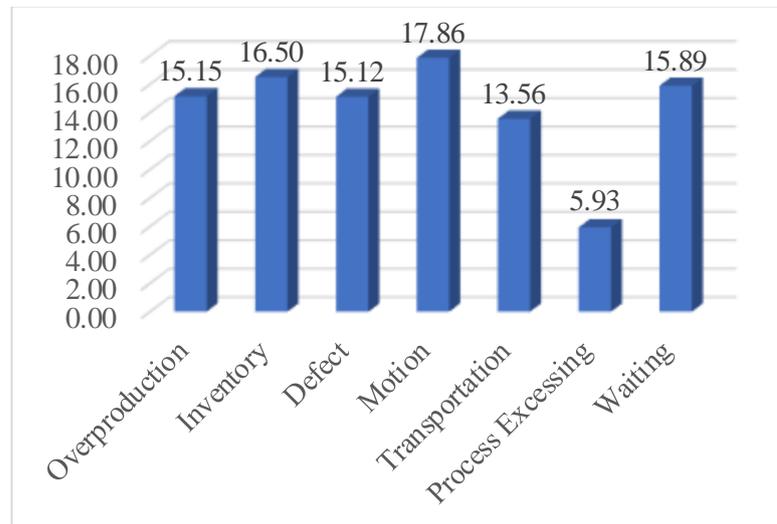
Selanjutnya menghitung nilai indikator awal untuk tiap jenis pemborosan, dimana dapat diperoleh dengan mengalikan rasio skor perkalian bobot dengan hasil kuesioner pada proses sebelumnya, dan bobot jenis pemborosan yang dikalikan dengan rasio frekuensi pada proses sebelumnya dan frekuensi indikator awal untuk masing-masing pemborosan. Adapun hasil yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 21 Hasil perhitungan *waste assessment model*

	<b>O</b>	<b>I</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>P</b>	<b>W</b>
<b>Skor Yj</b>	0.10	0.08	0.07	0.06	0.09	0.04	0.06
Pj Faktor	146.48	205.08	207.52	280.76	142.82	140.38	265.50
Hasil akhir (Yj Final)	14.90	16.24	14.87	17.57	13.35	5.83	15.63
Hasil Akhir (%)	15.15	16.50	15.12	17.86	13.56	5.93	15.89
Rank	4	2	5	1	6	7	3

Berdasarkan Tabel 4. 21 diatas dapat diketahui bahwa pemborosan yang paling dominan terjadi adalah jenis pemborosan *motion* dengan hasil akhir 17.86%, *inventory* dengan hasil akhir 16.50%, dan *waiting* dengan hasil akhir 15.89%. Apabila dijumlahkan

ketiga persentase tersebut maka diperoleh nilai sebesar 50.25%. Hal ini menunjukkan bahwa 50.25% dari keseluruhan aktivitas termasuk pemborosan menurut hasil WAM tersebut. Adapun hasil tersebut dapat diilustrasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Hasil Pembobotan Pemborosan

Hasil ini kemudian akan digunakan sebagai masukan (*input*) dalam pemilihan *tools value stream analysis* yang lebih cocok untuk analisis pemborosan lanjutan.

#### 4.2.4 Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

*Value Stream Analysis Tools* (VALSAT) dapat mengakomodasi *tools value stream* mana yang tepat sesuai dengan pemborosan yang terjadi. VALSAT memiliki konsep dengan mengalikan hasil pembobotan dari pemborosan dengan skala yang sudah ditetapkan. Adapun hasil pembobotan yang telah dimasukkan dalam tabel pemilihan *tools value stream* dapat dilihat pada Tabel 4.22 sebagai berikut:

Tabel 4.22 Pemilihan *tools value stream*

No	Jenis Waste	Bobot	Detailed Mapping Tools						
			PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
1	<i>Defect</i>	15.12	1				9		
2	<i>Over Production</i>	15.15	1	3			1	3	3
3	<i>Waiting</i>	15.89	9	9	1			3	3
4	<i>Transportation</i>	13.56	9						1
5	<i>Inventory</i>	16.50	3	9	3			9	3
6	<i>Motion</i>	17.86	9	1					

No	Jenis Waste	<i>Detailed Mapping Tools</i>							
		Bobot	PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
7	<i>Process Excessing</i>	5.93	9		3	1		1	
	<b>Total</b>	100.00							
	<i>Overall Structure</i>		1	1	3	1	9	3	9

Sehingga hasil yang dapat diperoleh setelah mengalikan masing-masing persentase pemborosan dengan skala masing-masing *tools* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 23 Hasil perkalian bobot *tools value stream*

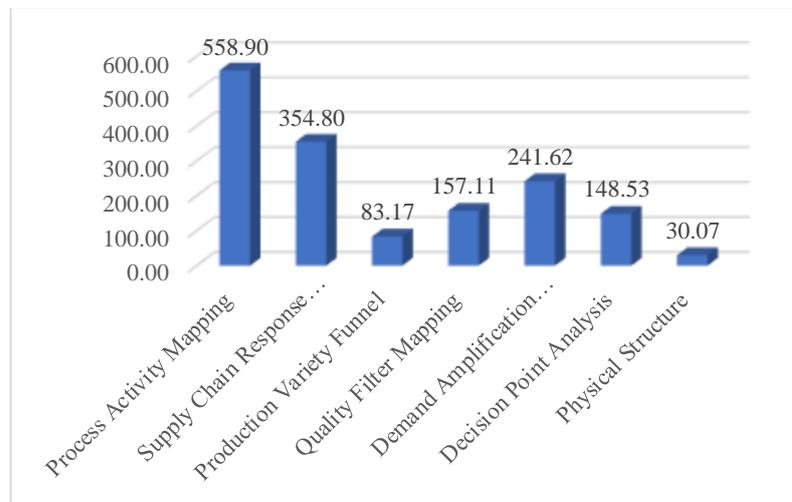
No	Jenis Waste	<i>Detailed Mapping Tools</i>							
		Bobot	PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
1	<i>Defect Over</i>	15.12	15.12	0.00	0.00	136.04	0.00	0.00	0.00
2	<i>Production</i>	15.15	15.15	45.44	0.00	15.15	45.44	45.44	0.00
3	<i>Waiting</i>	15.89	142.99	142.99	15.89	0.00	47.66	47.66	0.00
4	<i>Transportation</i>	13.56	122.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.56
5	<i>Inventory</i>	16.50	49.51	148.52	49.51	0.00	148.52	49.51	16.50
6	<i>Motion</i>	17.86	160.72	17.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	<i>Process Excessing</i>	5.93	53.34	0.00	17.78	5.93	0.00	5.93	0.00
	<b>Total</b>	100.00	558.90	354.80	83.17	157.11	241.62	148.53	30.07
	<b>Ranking</b>		1	2	6	4	3	5	7

Pada Tabel 4. 23 di atas dapat diketahui bahwa *tools value stream* dengan skor tertinggi diperoleh oleh *Process Activity Mapping* dengan skor sebesar 574.10. Sehingga *tools* tersebut yang dipilih untuk mengeliminasi pemborosan yang terjadi pada sepanjang aliran proses produksi. Adapun hasil dari keseluruhan *tools* dapat diranking pada Tabel 4. 24 berikut:

Tabel 4. 24 Hasil rekapitulasi pemilihan *tools VALSAT*

No	<i>Detailed Mapping Tools</i>	Skor	Rank
1	<i>Process Activity Mapping</i>	558.90	1
2	<i>Supply Chain Response Matrix</i>	354.80	2
3	<i>Production Variety Funnel</i>	83.17	6
4	<i>Quality Filter Mapping</i>	157.11	4
5	<i>Demand Amplification Mapping</i>	241.62	3
6	<i>Decision Point Analysis</i>	148.53	5
7	<i>Physical Structure</i>	30.07	7

Adapun jika diilustrasikan dalam bentuk grafik maka dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini:



Gambar 4.6 Ranking pemilihan *tools* VALSAT

*Process Activity Mapping* merupakan salah satu *tools value stream* untuk memetakan keseluruhan aktivitas secara rinci, dimana tools ini sering digunakan oleh peneliti untuk mempercepat proses dengan mengeliminasi pemborosan-pemborosan yang terjadi. Dalam penyusunan PAM diperlukan beberapa data seperti data proses dan aktivitas-aktivitasnya, data waktu proses, dan jarak antar stasiun kerja.

Pengumpulan data PAM dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung, dimana metode pengumpulan data khususnya waktu proses menggunakan *time study*. Selain dari waktu proses atau waktu siklusnya, juga diperoleh data-data seperti detail aktivitas pada setiap prosesnya, alat yang digunakan dalam proses pengerjaan, jarak, jumlah operator, dan beberapa data lainnya. Adapun untuk proses dan detail aktivitasnya telah direkapitulasi menjadi kode untuk memudahkan pembacaan, dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut:

Tabel 4.25 Detail proses, sub proses, dan aktivitas

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
1	Pembuatan cetakan	Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	Mengambil campuran pasir	AA1
			Mengambil alat dan pola cetakan	AA2
			Menyiapkan dan setting alat	AA3
			Membuat cetakan sesuai pola	AA4
			Membuat lubang pada cetakan	AA5
			Memasang tali janur dibawah cetakan	AA6

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
		Pembuatan cetakan <i>Base 2</i>	Mengambil campuran pasir	AB1
			Mengambil pola cetakan	AB2
			Membuat cetakan dengan pola	AB3
			Mengambil alat	AB4
		Pembuatan cetakan <i>Body 1</i>	Mengambil campuran pasir	AC1
			Mengambil alat dan pola cetakan	AC2
			Membuat cetakan dengan pola	AC3
		Pembuatan cetakan <i>Body 2</i>	Mengambil campuran pasir	AD1
			Mengambil alat dan pola cetakan	AD2
			Membuat cetakan dengan pola	AD3
			Membuat tali plat janur untuk <i>Body2</i>	AD4
			Memasang tali plat janur pada <i>Body1</i>	AD5
		Pembuatan cetakan <i>Head 1</i>	Mencari dan mengambil alat	AE1
			Memberi bubuk gram	AE2
			Mengambil campuran pasir	AE3
			Membuat cetakan dengan pola	AE4
			Melepas pola cetakan	AE5
			Menghaluskan cetakan	AE6
			Menyiapkan peralatan plat janur	AE7
			Membuat tali plat janur untuk <i>Head 1</i>	AE8
			Memasang tali plat janur pada <i>Head 1</i>	AE9
		Pembuatan cetakan <i>Head 2</i>	Mencari dan mengambil alat	AF1
			Memberi bubuk gram	AF2
			Mengambil campuran pasir	AF3
			Membuat cetakan dengan pola	AF4
			Melepas pola cetakan	AF5
			Menghaluskan cetakan	AF6
			Menyiapkan peralatan plat janur	AF7
			Membuat tali plat janur untuk <i>Head 2</i>	AF8
			Memasang tali plat janur pada <i>Head 2</i>	AF9
		Pembuatan cetakan <i>In-Head 1</i>	Mengambil campuran pasir silika	AG1
			Mengambil alat dan pola cetakan	AG2
			Membuat cetakan dengan pola	AG3
			Melepas pola cetakan	AG4
		Pembuatan cetakan <i>In-Head 2</i>	Mengambil campuran pasir silika	AH1
			Mengambil alat dan pola cetakan	AH2
			Membuat cetakan dengan pola	AH3
			Melepas pola cetakan	AH4
		Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>	Mengambil campuran pasir	AI1
			Mengambil alat dan pola cetakan	AI2
			Membuat cetakan dengan pola	AI3

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
		Pembuatan cetakan tiang penyangga	Mengambil dan mengaduk campuran pasir Mengambil alat dan pola cetakan Membuat cetakan dengan pola Membawa cetakan ke tempat sementara	AJ1 AJ2 AJ3 AJ4
2	Pengeringan Tahap 1	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i> Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i> Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>	B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10
3	Penghalusan	Penghalusan <i>Base 1</i> Penghalusan <i>Head 1</i> Penghalusan <i>Head 2</i>	Mengambil alat dan pasir Penghalusan dengan campuran pasir Penghalusan lapis kedua dengan cairan pasir Mengambil alat dan pasir Pemberian campuran pasir ke cetakan Mengamplas cetakan Mengambil alat dan pasir Pemberian campuran pasir ke cetakan Mengamplas cetakan	CA1 CA2 CA3 CB1 CB2 CB3 CC1 CC2 CC3
4	Pengeringan Tahap 2	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i> Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i> Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	D1 D2

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
		Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	D3
5	Pembakaran 1	Pembakaran <i>Base 1</i>	Pembakaran <i>Base 1</i>	E1
		Pembakaran <i>Base 2</i>	Pembakaran <i>Base 2</i>	E2
		Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	E3
		Pembakaran <i>Body 2</i>	Pembakaran <i>Body 2</i>	E4
6	Pelabelan	Pembuatan label/merk	Mengamplas label Mencari dan mengambil alat Pembuatan pola sesuai label Pemasangan label ke cetakan Mengoleskan cairan grafit ke cetakan	F1 F2 F3 F4 F5
7	Perakitan	Assembly <i>Base</i>	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan <i>Base 1</i> Ambil angkur Peletakan angkur ke cetakan <i>Base 1</i> Pemasangan cetakan <i>Base 2</i> di atas <i>Base 1</i> Perekatan <i>Base 1</i> dan <i>Base 2</i> dengan campuran pasir	GA1 GA2 GA3 GA4 GA5
		Assembly <i>Base</i> dan <i>Body 1</i>	Mengikir permukaan <i>Body 1</i> Pemasangan cetakan <i>Body 1</i> pada <i>Base</i> Mencari dan mengambil alat Mengukur tinggi cetakan Perekatan <i>Base</i> dan <i>Body 1</i> dengan pasir	GB1 GB2 GB3 GB4 GB5
		Assembly Kaki <i>Base</i>	Mencari dan mempersiapkan alat Pemotongan sisi edge dasar <i>Body 1</i> Pembersihan pasir di bagian dalam cetakan Pemasangan bagian kaki pada <i>Base</i> Mengukur tinggi bagian kaki Merekatkan bagian kaki dan <i>Base</i> dengan pasir Mengoleskan cairan grafit ke cetakan kaki <i>Base</i>	GC1 GC2 GC3 GC4 GC5 GC6 GC7
		Assembly <i>Base</i> dan Tiang Penyangga	Mencari dan mengambil alat dan cetakan Mengukur tinggi tiang penyangga	GD1 GD2

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
			Mengikir/memotong cetakan tiang penyangga	GD3
			Memasang dan merekatkan tiang penyangga	GD4
		<i>Assembly Base dan Body 2</i>	Mencari dan mengambil alat	GE1
			Memotong/mengikir cetakan <i>Body 2</i>	GE2
			Memposisikan cetakan <i>Body 2</i> untuk diukur	GE3
			Mengukur tinggi cetakan <i>Body 2</i>	GE4
			Mengeluarkan <i>Body 2</i> untuk dipotong	GE5
			Memasang cetakan <i>Body 2</i>	GE6
			Mengambil campuran pasir	GE7
			Merekatkan cetakan <i>Body 2</i> dengan pasir	GE8
		<i>Assembly Cetakan Head</i>	Pembersihan pasir bagian dalam	GF1
			Mencari dan mengambil alat	GF2
			Mengambil campuran pasir	GF3
			Mengambil cetakan <i>Head 1</i>	GF4
			Memposisikan dan memasang cetakan <i>Head 1</i>	GF5
			Merekatkan cetakan <i>Head 1</i> ke cetakan assembly	GF6
			Mengambil cetakan <i>InHead 1</i> dan <i>InHead 2</i>	GF7
			Memasang dan memposisikan <i>InHead 1</i> dan <i>InHead 2</i>	GF8
			Merekatkan in <i>Head</i> dengan cetakan assembly	GF9
			Mengoleskan grafit ke bagian dalam cetakan <i>Head 2</i>	GF10
			Mengukur dimensi cetakan antar <i>Head</i>	GF11
			Merekatkan permukaan atas in <i>Head</i> dan <i>Body</i>	GF12
			Mengambil cetakan <i>Head 2</i>	GF13
			Memasang dan memposisikan cetakan <i>Head 2</i>	GF14
			Merekatkan cetakan <i>Head 2</i> ke cetakan assembly	GF15
			Mengambil cetakan tiang penyangga untuk lubang cor	GF16
			Mengukur tinggi tiang penyangga untuk dipotong	GF17
			Memotong dan mengikir tiang penyangga	GF18
			Merekatkan lubang cor ke <i>Head</i>	GF19

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
			Membuat lubang udara bagian atas <i>Head</i>	GF20
8	Pembakaran 2	Pembakaran Cetakan Assembly	Menyiapkan bahan bakaran Pembakaran cetakan dengan arang Memasang tali plat janur pada cetakan	H1 H2 H3
9	Pengangkutan cetakan	Pengangkutan cetakan siap timbun	Memposisikan mobil angkut Mengangkut cetakan ke mobil angkut Transportasi ke lokasi pengecoran	I1 I2
10	Penimbunan cetakan	Penimbunan Cetakan	Menimbun cetakan dengan tanah pasir	J1
11	Peleburan	Peleburan	Peleburan logam cair Penuangan logam cair ke ledel 500 kg	K1 K2
12	Pengecoran	Pengecoran	Membuat pasir halus (mengayak pasir) Ambil pasir halus Menuangkan pasir halus ke dalam cetakan Ambil alat untuk meratakan pasir Meratakan pasir yang dituang di dalam cetakan Mengambil pembatas cor Merangkai pembatas cor di atas cetakan Menuangkan logam cair ke cetakan Menimbun cetakan dengan pasir	L1 L2 L3 L4 L5 L6 L7 L8 L9
13	Pendinginan	Pendinginan pasca cor	Pendinginan cetakan cor sampai mengeras	M1
14	Pra-Finishing	Pengeluaran cetakan pasca cor	Menggali tanah/pasir	NA1
		Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	Mengangkut <i>bollard</i> dengan forklift Memasang tali crane ke <i>bollard</i> Mengangkut <i>bollard</i> ke mobil dengan crane Melepas tali crane dari <i>bollard</i> transportasi ke lokasi <i>finishing</i>	NB1 NB2 NB3 NB4 NB5

No	Proses	Sub-Proses	Aktivitas	Kode
		Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	Pengangkutan <i>bollard</i> ke forklift dengan crane Melepas tali crane dari <i>bollard</i> Transportasi forklift ke area penyimpanan sementara	NC1 NC2 NC3
15	Pembersihan cetakan pasir	Pembersihan sisa cetakan pasir	Mengambil alat Membuka dan melepaskan tali plat janur Membersihkan cetakan pasir yang menempel memindahkan ke lokasi gerinda	O1 O2 O3 O4
16	Penggerindaan	Penggerindaan	Mengambil dan menyiapkan alat Menggerinda permukaan <i>bollard</i> Merobohkan <i>bollard</i> Mengganti priringan gerinda	P1 P2 P3 P4
17	Pembersihan pasir dalam	Pembersihan pasir bagian dalam	Mengambil alat Membersihkan pasir bagian dalam	Q1 Q2
18	Pendempulan	Pendempulan	Mengambil dan menyiapkan alat Mendempul permukaan <i>bollard</i> Memindahkan <i>bollard</i> ke lokasi pengamplasan	R1 R2 R3
19	Pengamplasan	Pengamplasan	Mengambil alat Mengamplas permukaan <i>bollard</i>	S1 S2
20	Pengecatan	Pengecatan	Mencari dan mengambil alat Menghidupkan dan setup mesin Setting sprayer Membersihkan debu dari permukaan <i>bollard</i> Mengisi cat ke sprayer Mengecat <i>bollard</i>	TA1 TA2 TA3 TA4 TA5 TA6
		Pengeringan pasca cat	Mengeringkan <i>bollard</i> yang telah dicat Membawa <i>bollard</i> ke area gudang jadi	TB1 TB2

Setiap aktivitas dari masing-masing proses yang telah diidentifikasi pada Tabel 4. 25 di atas, selanjutnya dapat dihitung waktu siklus masing-masing. Dalam

pengumpulan waktu siklus dilakukan hanya berfokus pada produk *bollard Harbour* 35 T saja, melihat karakter dari *bollard* tersebut berbeda dengan *bollard* lain. Data waktu siklus yang dikumpulkan kemudian dilakukan pengujian kecukupan data. Berikut ini merupakan hasil pengumpulan data dengan waktu siklus rerata yang sekaligus telah disajikan dalam Tabel 4. 26.

Tabel 4. 26 *Process Activity Mapping* (PAM)

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
1	Pembuatan cetakan	Pembuatan cetakan <i>Base</i> 1	AA1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	5.03		T				NNVA
			AA2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	2.38				D		NNVA
			AA3	Menyiapkan dan setting alat			1.37				D		NVA
			AA4	Membuat cetakan sesuai pola	pola cetakan			14.43	O				VA
			AA5	Membuat lubang pada cetakan	pola cetakan jangka modifikasi, papan pola			2.58	O				VA
			AA6	Memasang tali janur dibawah cetakan	tang			2.33	O				VA
		Pembuatan cetakan <i>Base</i> 2	AB1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	4.58		T				NNVA
			AB2	Mengambil pola cetakan		Fleksibel	1.38				D		NNVA
			AB3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			13.03	O				VA
			AB4	Mengambil alat		Fleksibel	3.66				D		NNVA
		Pembuatan cetakan <i>Body</i> 1	AC1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	4.32		T				NNVA
			AC2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	2.16				D		NNVA
			AC3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			12.33	O				VA
		Pembuatan cetakan <i>Body</i> 2	AD1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	4.89		T				NNVA
			AD2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	1.44				D		NNVA
			AD3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			14.13	O				VA
			AD4	Membuat tali plat janur untuk <i>Body</i> 2	tang			1.67				D	NVA
			AD5	Memasang tali plat janur pada <i>Body</i> 1	tang			0.49	O				VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
		Pembuatan cetakan <i>Head 1</i>	AE1	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	2.14					D	NNVA	
			AE2	Memberi bubuk gram				1.49	O					VA
			AE3	Mengambil campuran pasir		Ember	Fleksibel	5.05		T				NNVA
			AE4	Membuat cetakan dengan pola		pola cetakan		17.42	O					VA
			AE5	Melepas pola cetakan				0.29	O					VA
			AE6	Menghaluskan cetakan		amplas		1.19	O					VA
			AE7	Menyiapkan peralatan plat janur			Fleksibel	2.07					D	NVA
			AE8	Membuat tali plat janur <i>Head 1</i>		tang		7.50					D	NVA
			AE9	Memasang tali plat janur pada <i>Head 1</i>		tang		2.77	O					VA
		Pembuatan cetakan <i>Head 2</i>	AF1	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	1.76					D	NNVA	
			AF2	Memberi bubuk gram				1.39	O					VA
			AF3	Mengambil campuran pasir		Ember	Fleksibel	5.25		T				NNVA
			AF4	Membuat cetakan dengan pola		pola cetakan		16.50	O					VA
			AF5	Melepas pola cetakan				0.28	O					VA
			AF6	Menghaluskan cetakan		amplas		1.36	O					VA
			AF7	Menyiapkan peralatan plat janur			Fleksibel	2.39					D	NVA
			AF8	Membuat tali plat janur untuk <i>Head 2</i>		tang		7.20					D	NVA
			AF9	Memasang tali plat janur pada <i>Head 2</i>		tang		2.43	O					VA
		Pembuatan cetakan <i>In-Head 1</i>	AG1	Mengambil campuran pasir silika	Ember	Fleksibel	4.90		T				NNVA	
			AG2	Mengambil alat dan pola cetakan			Fleksibel	2.42					D	NNVA
			AG3	Membuat cetakan dengan pola		pola cetakan		15.22	O					VA
			AG4	Melepas pola cetakan				0.78	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
2	Pengerangan Tahap 1	Pembuatan cetakan <i>In-Head 2</i>	AH1	Mengambil campuran pasir silika	Ember	Fleksibel	4.93		T				NNVA	
			AH2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	1.99				D	NNVA		
			AH3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan		14.85	O				VA		
			AH4	Melepas pola cetakan			0.74	O				VA		
		Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>	AI1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	2.57		T			NNVA		
			AI2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	1.07				D	NNVA		
			AI3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan		8.13	O				VA		
		Pembuatan cetakan tiang penyangga	AJ1	Mengambil dan mengaduk campuran pasir	Ember	Fleksibel	1.10		T			NNVA		
			AJ2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	0.42				D	NNVA		
			AJ3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan		2.85	O				VA		
			AJ4	Membawa cetakan ke tempat sementara		Fleksibel	0.78		T			NNVA		
				Pengerangan Tahap1 <i>Base 1</i>	B1	Pengerangan Tahap 1 <i>Base 1</i>			2160.00				D	NNVA
				Pengerangan Tahap1 <i>Base 2</i>	B2	Pengerangan Tahap 1 <i>Base 2</i>			2160.00				D	NNVA
				Pengerangan Tahap1 <i>Body 1</i>	B3	Pengerangan Tahap 1 <i>Body 1</i>			2160.00				D	NNVA
				Pengerangan Tahap1 <i>Body 2</i>	B4	Pengerangan Tahap 1 <i>Body 2</i>			2160.00				D	NNVA
				Pengerangan Tahap1 <i>Head 1</i>	B5	Pengerangan Tahap 1 <i>Head 1</i>			2160.00				D	NNVA
		Pengerangan Tahap1 <i>Head 2</i>	B6	Pengerangan Tahap 1 <i>Head 2</i>			2160.00				D	NNVA		

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NNVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
3	Penghalusan	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>	B7	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>			360.00					D	NNVA
		Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>	B8	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>			360.00					D	NNVA
		Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>	B9	Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>			360.00					D	NNVA
		Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>	B10	Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>			600.00					D	NNVA
	Penghalusan	Penghalusan <i>Base 1</i>	CA1	Mengambil alat dan pasir		Fleksibel	2.17					D	NNVA
			CA2	Penghalusan dengan campuran pasir	Amplas		13.40	O					VA
			CA3	Penghalusan lapis kedua dengan cairan pasir	Amplas		2.65	O					VA
	Penghalusan	Penghalusan <i>Head 1</i>	CB1	Mengambil alat dan pasir		Fleksibel	2.46		T				NNVA
			CB2	Pemberian campuran pasir ke cetakan			3.00	O					VA
			CB3	Mengamplas cetakan	Amplas		8.21	O					VA
Penghalusan	Penghalusan <i>Head 2</i>	CC1	Mengambil alat dan pasir		Fleksibel	3.03		T				NNVA	
		CC2	Pemberian campuran pasir ke cetakan			3.20	O					VA	
		CC3	Mengamplas cetakan	Amplas		8.61	O					VA	
4	Pengeringan Tahap 2	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>	D1	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>			240.00				D	NNVA	

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
		Pengeringan Tahap 2 <i>Head</i> 1	D2	Pengeringan Tahap 2 <i>Head</i> 1			240.00					D	NNVA
		Pengeringan Tahap 2 <i>Head</i> 2	D3	Pengeringan Tahap 2 <i>Head</i> 2			240.00					D	NNVA
5	Pembakaran 1	Pembakaran <i>Base</i> 1	E1	Pembakaran <i>Base</i> 1			120.00	O					VA
		Pembakaran <i>Base</i> 2	E2	Pembakaran <i>Base</i> 2			120.00	O					VA
		Pembakaran <i>Body</i> 1, <i>Head</i> 1, <i>Head</i> 2	E3	Pembakaran <i>Body</i> 1, <i>Head</i> 1, <i>Head</i> 2			120.00	O					VA
		Pembakaran <i>Body</i> 2	E4	Pembakaran <i>Body</i> 2			120.00	O					VA
6	Pelabelan	Pembuatan label/merk	F1	Mengamplas label	Amplas		1.17	O					VA
			F2	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	2.37					D	NNVA
			F3	Pembuatan pola sesuai label	pisau ukir		4.28	O					VA
			F4	Pemasangan label ke cetakan			2.12	O					VA
			F5	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan	kuas		0.68	O					VA
7	Perakitan	Assembly <i>Base</i>	GA1	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan <i>Base</i> 1	Kuas		0.59	O					VA
			GA2	Ambil angkur		Fleksibel	1.16		T				NNVA
			GA3	Peletakan angkur ke <i>Base</i> 1			1.28	O					VA
			GA4	Pemasangan cetakan <i>Base</i> 2 di atas <i>Base</i> 1			5.95	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
			GA5	Perekatan <i>Base</i> 1 dan <i>Base</i> 2 dengan campuran pasir			2.43	O					VA
		Assembly <i>Base</i> dan <i>Body</i> 1	GB1	Mengikir permukaan <i>Body</i> 1	Alat kikir/gergaji		1.48					D	NVA
			GB2	Pemasangan cetakan <i>Body</i> 1 pada <i>Base</i>			0.43	O					VA
			GB3	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	1.02					D	NNVA
			GB4	Mengukur tinggi cetakan	Gergaji		0.84	O					VA
			GB5	Perekatan <i>Base</i> dan <i>Body</i> 1 dengan pasir			0.83	O					VA
		Assembly Kaki <i>Base</i>	GC1	Mencari dan mempersiapkan alat		Fleksibel	4.98					D	NVA
			GC2	Pemotongan sisi edge dasar <i>Body</i> 1	Gergaji tangan		3.06	O					VA
			GC3	Pembersihan pasir di bagian dalam cetakan	Kuas		6.15					D	NVA
			GC4	Pemasangan bagian kaki pada <i>Base</i>			2.82	O					VA
			GC5	Mengukur tinggi bagian kaki	Gergaji tangan		1.13					D	NVA
			GC6	Merekatkan bagian kaki dan <i>Base</i> dengan pasir			20.68	O					VA
			GC7	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan kaki <i>Base</i>	Kuas		1.40	O					VA
		Assembly <i>Base</i> dan	GD1	Mencari dan mengambil alat dan cetakan		Fleksibel	1.09					D	NNVA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
		Tiang Penyangga	GD2	Mengukur tinggi tiang penyangga	Gergaji tangan		0.65	O					VA
			GD3	Mengikir/memotong cetakan tiang penyangga	Gergaji tangan dan alat kikir		3.10	O					VA
			GD4	Memasang dan merekatkan tiang penyangga			2.69	O					VA
		Assembly <i>Base dan Body</i> 2	GE1	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.67					D	NNVA
			GE2	Memotong/mengikir cetakan <i>Body</i> 2	Gergaji tangan		2.38	O					VA
			GE3	Memposisikan cetakan <i>Body</i> 2 untuk diukur			0.63					D	NVA
			GE4	Mengukur tinggi cetakan <i>Body</i> 2	Gergaji tangan		0.28	O					VA
			GE5	Mengeluarkan <i>Body</i> 2 untuk dipotong			0.27					D	NVA
			GE6	Memasang cetakan <i>Body</i> 2			2.50	O					VA
			GE7	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	1.58		T				NNVA
			GE8	Merekatkan cetakan <i>Body</i> 2 dengan pasir			2.05	O					VA
		Assembly Cetakan <i>Head</i>	GF1	Pembersihan pasir bagian dalam	Kuas		0.80					D	NVA
			GF2	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	6.03					D	NNVA
			GF3	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	2.18		T				NNVA
			GF4	Mengambil cetakan <i>Head</i> 1		Fleksibel	0.25		T				NNVA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
			GF5	Memposisikan dan memasang cetakan <i>Head 1</i>			1.13	O					VA
			GF6	Merekatkan cetakan <i>Head 1</i> ke cetakan assembly			5.07	O					VA
			GF7	Mengambil cetakan <i>InHead 1</i> dan <i>InHead 2</i>		Fleksibel	0.53		T				NNVA
			GF8	Memasang dan memposisikan <i>InHead 1</i> dan <i>InHead 2</i>			1.03	O					VA
			GF9	Merekatkan in <i>Head</i> dengan cetakan assembly			6.87	O					VA
			GF10	Mengoleskan grafit ke bagian dalam cetakan <i>Head 2</i>	Kuas		1.75	O					VA
			GF11	Mengukur dimensi cetakan antar <i>Head</i>	Meteran		0.37	O					VA
			GF12	Merekatkan permukaan atas in <i>Head</i> dan <i>Body</i>			2.32	O					VA
			GF13	Mengambil cetakan <i>Head 2</i>		Fleksibel	0.25		T				NNVA
			GF14	Memasang dan memposisikan cetakan <i>Head 2</i>			1.13	O					VA
			GF15	Merekatkan cetakan <i>Head 2</i> ke cetakan assembly			2.75	O					VA
			GF16	Mengambil cetakan tiang penyangga untuk lubang cor		Fleksibel	1.63		T				NNVA
			GF17	Mengukur tinggi tiang penyangga untuk dipotong	Meteran		0.32	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
8	Pembakaran 2	Pembakaran Cetakan Assembly	GF18	Memotong dan mengikir tiang penyangga	Gergaji tangan		3.43	O					VA
			GF19	Merekatkan lubang cor ke <i>Head</i>			7.77	O					VA
			GF20	Membuat lubang udara bagian atas <i>Head</i>			4.88	O					VA
8	Pembakaran 2	Pembakaran Cetakan Assembly	H1	Menyiapkan bahan bakaran			3.18					D	NVA
			H2	Pembakaran cetakan dengan arang			180.00	O					VA
			H3	Memasang tali plat janur pada cetakan	Tang		2.37	O					VA
9	Pengangkutan cetakan siap timbun	Pengangkutan cetakan siap timbun	I1	Memposisikan mobil angkut	Mobil pick up		1.79					D	NNVA
			I2	Mengangkut cetakan ke mobil angkut	Manual		1.77	O					VA
			I3	Transportasi ke lokasi pengecoran	Mobil pick up	600 meter	2.74		T				NNVA
10	Penimbunan cetakan	Penimbunan Cetakan	J1	Menimbun cetakan dengan tanah pasir	Cangkul, sekop		7.67	O					VA
11	Peleburan	Peleburan	K1	Peleburan logam cair	Tanur induksi		58.30	O					VA
			K2	Penuangan logam cair ke ledel			1.44			S			NNVA
12	Pengecoran	Pengecoran	L1	Membuat pasir halus (mengayak pasir)	Ayakan, cangkul		1.52					D	NVA
			L2	Ambil pasir halus	lembaran sak semen	Fleksibel	0.74		T				NNVA
			L3	Menuangkan pasir halus ke dalam cetakan	lembaran sak semen		0.53	O					VA
			L4	Ambil alat untuk meratakan pasir		Fleksibel	0.27					D	NVA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
			L5	Meratakan pasir yang dituang di dalam cetakan	tongkat		2.58	O					VA
			L6	Mengambil pembatas cor		Fleksibel	2.22		T				NNVA
			L7	Merangkai pembatas cor di atas cetakan			2.74	O					VA
			L8	Menuangkan logam cair ke cetakan		cintung		7.58	O				VA
			L9	Menimbun cetakan dengan pasir		cangkul		1.04	O				VA
13	Pendinginan	Pendinginan pasca cor	M1	Pendinginan cetakan cor sampai mengeras			240.00	O				VA	
14	Pra-Finishing	Pengeluaran cetakan pasca cor	NA1	Menggali tanah/pasir	cangkul		15.00	O				VA	
		Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	NB1	Mengangkut <i>bollard</i> dengan forklift	forklift		1.19	O				VA	
			NB2	Memasang tali crane ke <i>bollard</i>	palu besar		0.96	O				VA	
			NB3	Mengangkut <i>bollard</i> ke mobil dengan crane	crane		2.55	O				VA	
			NB4	Melepas tali crane dari <i>bollard</i>	linggis		0.30	O				VA	
			NB5	transportasi ke lokasi <i>finishing</i>	mobil pick up	920 meter	3.07		T			NNVA	
		Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	NC1	Pengangkutan <i>bollard</i> ke forklift dengan crane	crane		1.96	O				VA	
			NC2	Melepas tali crane dari <i>bollard</i>	linggis		0.19	O				VA	
			NC3	Transportasi forklift ke area penyimpanan sementara	forklift	43.2 meter	1.17		T			NNVA	

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NNVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
15	Pembersihan cetakan pasir	Pembersihan sisa cetakan pasir	O1	Mengambil alat		7.12 meter	0.42					D	NVA
			O2	Membuka dan melepaskan tali plat janur	tang		3.90				S		NNVA
			O3	Membersihkan cetakan pasir yang menempel	palu besar, linggis		26.06	O					VA
			O4	memindahkan ke lokasi gerinda	forklift	11.5 meter	1.77		T				NNVA
16	Penggerindaan	Penggerindaan	P1	Mengambil dan menyiapkan alat		14.22 meter	1.19					D	NNVA
			P2	Menggerinda permukaan <i>bollard</i>	gerinda tangan		21.58	O				VA	
			P3	Merobohkan <i>bollard</i>	linggis		0.69	O				VA	
			P4	Mengganti priringan gerinda	kunci inggris		0.77					D	NNVA
17	Pembersihan pasir dalam	Pembersihan pasir bagian dalam	Q1	Mengambil alat		Fleksibel	3.47					D	NNVA
			Q2	Membersihkan pasir bagian dalam	Palu, linggis		17.52	O				VA	
18	Pendempulan	Pendempulan	R1	Mengambil dan menyiapkan alat		6 meter	2.82					D	NNVA
			R2	Mendempul permukaan <i>bollard</i>	Dempul		52.66	O				VA	
			R3	Memindahkan <i>bollard</i> ke lokasi pengamplasan	forklift	13.13 meter	1.79		T			NNVA	
19	Pengamplasan	Pengamplasan	S1	Mengambil alat		7.12 meter	0.64					D	NNVA
			S2	Mengamplas permukaan <i>bollard</i>	Amplas, mesin amplas		83.37	O				VA	

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
20	Pengecatan	Pengecatan	TA1	Mencari dan mengambil alat		6 meter	3.35					D	NNVA
			TA2	Menghidupkan dan setup mesin			3.11					D	NVA
			TA3	Setting sprayer			0.85					D	NVA
			TA4	Membersihkan debu dari permukaan <i>bollard</i>	Kuas		0.38	O					VA
			TA5	Mengisi cat ke sprayer			0.80	O					VA
			TA6	Mengecat <i>bollard</i>	Cat Sprayer		2.65	O					VA
			Pengeringan pasca cat	TB1	Mengeringkan <i>bollard</i> yang telah dicat			15.00	O				VA
				TB2	Membawa <i>bollard</i> ke area gudang jadi	forklift	43.2 meter	2.84				S	NNVA

Berdasarkan PAM dari proses produksi pada Tabel 4. 26 di atas, berikut Tabel 4. 27 merupakan rekapitulasi waktu dan persentase setiap kategori aktivitas.

Tabel 4. 27 Rekapitulasi PAM

<b>Aktivitas</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>% waktu</b>	<b>% aktivitas</b>
Operasi (O)	96	1514.56	8.88%	52.75%
Transportasi (T)	27	69.95	0.41%	14.84%
Inspeksi (I)	0	0	0.00%	0.00%
Storage (S)	3	8.17	0.05%	1.65%
Delay (D)	56	15455.17	90.67%	30.77%
<b>Total</b>	<b>182</b>	<b>17047.86</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Klasifikasi</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>% waktu</b>	<b>% aktivitas</b>
VA	96	1514.56	8.88%	52.75%
NVA	19	46.99	0.28%	10.44%
NNVA	67	15486.31	90.84%	36.81%
<b>Total</b>	<b>182</b>	<b>17047.86</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b><i>Cycle Time (menit)</i></b>			<b>1514.56</b>	
<b><i>Lead Time (menit)</i></b>			<b>17047.86</b>	

Selanjutnya, hasil dari PAM ini akan dijadikan sebagai landasan dalam upaya melakukan eliminasi pemborosan sepanjang aliran *value stream* proses produksi *bollard Harbour 35T*.

#### 4.2.5 Pemodelan *Discrete Event Simulation* (DES)

Dalam pemodelan suatu sistem, perlu dilakukan identifikasi dan perincian informasi-informasi yang ada pada sistem tersebut, khususnya mengenai perilaku sistem tersebut. Informasi ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam memodelkan sistem ke dalam model simulasi agar model yang dibuat dapat merepresentasikan sistem nyatanya.

##### 4.2.6.1 Pola Aliran **Kedatangan Material**

Terdapat tiga jenis material bahan baku yang ada di sistem, yaitu campuran pasir dan tanah liat, pasir silica, dan logam baja. Pola kedatangan material untuk campuran pasir dan tanah liat maupun pasir silica diasumsikan telah tersedia di sistem, karena proses pembuatan campuran tersebut sangat fleksibel dan tergantung dari kebutuhan pasir untuk

pembuatan cetakan. Sehingga dalam pembuatan model nanti proses pembuatan campuran pasir dan tanah liat maupun pasir silica tidak disertakan. Kedua material tersebut pertama kali akan digunakan untuk proses pembuatan cetakan, dimana pasir silica untuk pembuatan cetakan *In-Head 1* dan *In-Head 2* sedangkan cetakan sisanya menggunakan campuran pasir dan tanah liat. Pada stasiun peleburan, material baru adalah berupa 1 batch logam baja dengan jumlah 500 unit (setara 500 kg). Material ini diasumsikan sudah tersedia di gudang.

#### **4.2.6.2 Pola Pemindahan Material**

Pemindahan material antar stasiun kerja dilakukan dengan beberapa macam cara. Untuk rangkaian stasiun kerja pencetakan mulai dari pembuatan cetakan sampai proses pembakaran cetakan assembly dilakukan oleh operator. Untuk pemindahan material dari lokasi pencetakan ke pengecoran menggunakan mobil pickup, dan begitu juga pemindahan material dari lokasi pengecoran ke lokasi *finishing* menggunakan mobil pickup. Selain itu juga terdapat pemindahan material dengan alat material handling yaitu forklift dan crane yaitu saat proses pengangkutan *bollard* dari atau ke mobil pickup dan pemindahan ke lokasi penyimpanan sementara.

#### **4.2.6.3 Proses Operasi**

Proses produksi *bollard* dapat dibagi menjadi tiga proses inti yaitu proses pencetakan, pengecoran, dan *finishing bollard*. Proses pertama diawali dengan pembuatan cetakan untuk masing-masing bagian cetakan, dimana pembuatan cetakan tersebut dilakukan secara manual. Kemudian cetakan tersebut dikeringkan menggunakan bantuan cahaya matahari selama waktu tertentu. Beberapa bagian cetakan yang telah kering akan melalui proses pembakaran, sedangkan beberapa lainnya perlu melalui proses penghalusan terlebih dahulu baru lanjut ke proses pembakaran. Untuk cetakan *Base 2* terdapat proses pelabelan setelah melalui pembakaran.

Setelah cetakan dibakar, kemudian cetakan tersebut akan di-*assembly* secara bertahap, mulai dari perakitan *Base* terlebih dahulu, lalu perakitan *Base* dengan *Body 1*, perakitan cetakan dengan *Base* kaki, perakitan cetakan dengan tiang penyangga, perakitan

cetakan dengan *Body 2*, dan terakhir yaitu perakitan cetakan dengan *Head 1*, *Head 2*, *In-Head 1*, dan *In-Head 2*.

Cetakan yang telah dirakit keseluruhan bagian-bagiannya kemudian dilakukan proses pembakaran lagi untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung dalam cetakan. Selanjutnya cetakan tersebut dibawa ke lokasi pengecoran menggunakan mobil pick up, dan proses pemindahan cetakan tersebut ke mobil pick up yaitu secara manual dengan bantuan sekitar 7 sampai 8 orang untuk mengangkutnya. Di lokasi pengecoran, cetakan tersebut diletakkan di tempat yang sudah digali tanahnya, dimana cetakan ini nantinya akan ditimbun dengan pasir tanah.

Selanjutnya cetakan tersebut akan dituang logam cair yang telah dilebur pada tungku induksi. Penuangan logam ke cetakan ini dilakukan oleh beberapa orang secara bergantian. Setelah itu cetakan ditunggu sampai logam benar-benar mengeras dan siap diambil dari dalam tanah. *Bollard* setengah jadi yang telah keras akan dibawa ke lokasi *finishing* menggunakan mobil pickup sebagai alat transportasinya, sedangkan untuk pengangkutan *bollard* ke mobil pickup menggunakan alat material handling seperti forklift dan crane. *Bollard* akan dilakukan beberapa rangkaian proses *finishing* antara lain pembersihan sisa cetakan pasir, penggerindaan, pembersihan sisa pasir bagian dalam, pendempulan, pengamplasan, dan pengecatan. *Bollard* yang sudah jadi akan dibawa ke tempat penampungan produk jadi.

Adapun untuk memodelkannya secara representatif perlu diidentifikasi terlebih dahulu objek apa saja yang akan digunakan sesuai dengan proses-proses yang sudah dijelaskan. Dalam pemodelan ini menggunakan pendekatan *discrete event simulation* (simulasi kejadian diskrit), yang mana untuk alat bantuannya menggunakan software Flexsim 6.0. Terdapat dua jenis tipe objek yang digunakan dalam pemodelan dengan menggunakan Flexsim 6.0, yaitu *fixed resources* dan *task executor*. Tipe objek *fixed resources* merupakan objek-objek yang dapat mengirim dan/atau menerima barang (flowitem) yang sedang diproses dalam suatu sistem, serta objek ini bersifat tetap pada lokasinya. Sedangkan *task executor* adalah objek-objek yang memuat (load) dan membongkar (*unload*) barang, serta memindahkan barang antar stasiun kerja, salah satunya adalah operator.

Berikut merupakan data *fixed resources* yang digunakan dalam perancangan model simulasi pada Tabel 4. 28.

Tabel 4. 28 Data Object *Fixed Resources*

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
1	Bahan baku pasir	<i>Source</i>	4	-	Mendefinisikan kedatangan entitas dalam sistem.
2	Bahan baku <i>Base 1</i>	<i>Queue</i>	4	1000 ( <i>infinitive</i> )	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk penampungan sementara di model.
3	Bahan baku <i>Base 2</i>				
4	Bahan baku <i>Body 1</i>				
5	Bahan baku <i>Body 2</i>				
6	Bahan baku <i>Head 1</i>				
7	Bahan baku <i>Head 2</i>				
8	Bahan baku <i>In-Head 1</i>				
9	Bahan baku <i>In-Head 2</i>				
10	Bahan baku <i>Base Kaki</i>				
11	Bahan baku Tiang penyangga				
12	Pembuatan cetakan <i>Base 1</i>				
13	Pembuatan cetakan <i>Base 2</i>				
14	Pembuatan cetakan <i>Body 1</i>				
15	Pembuatan cetakan <i>Body 2</i>				
16	Pembuatan cetakan <i>Head 1</i>				

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
17	Pembuatan cetakan <i>Head 2</i>				
18	Pembuatan cetakan <i>In-Head 1</i>				
19	Pembuatan cetakan <i>In-Head 2</i>				
20	Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>				
21	Pembuatan cetakan Tiang penyangga				
22	Pengeringan 1 <i>Base</i> 1	<i>Processor</i>	4	3	Sebagai objek untuk mendefinisikan proses pengeringan
23	Pengeringan 1 <i>Base</i> 2				
24	Pengeringan 1 <i>Body</i> 1				
25	Pengeringan 1 <i>Body</i> 2				
26	Pengeringan 1 <i>Head 1</i>				
27	Pengeringan 1 <i>Head 2</i>				
28	Pengeringan 1 <i>In-Head</i> <i>Head 1</i>				
29	Pengeringan 1 <i>In-Head</i> <i>Head 2</i>				
30	Pengeringan 1 <i>Base</i> Kaki				
31	Pengeringan 1 Tiang Penyangga				

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
32	Cetakan <i>Base 1</i>	<i>Queue</i>	4	1000 ( <i>infinite</i> )	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung entitas dari proses pengeringan 1.
33	Cetakan <i>Base 2</i>				
34	Cetakan <i>Body 1</i>				
35	Cetakan <i>Body 2</i>				
36	Cetakan <i>Head 1</i>				
37	Cetakan <i>Head 2</i>				
38	Cetakan <i>In-Head 1</i>				
39	Cetakan <i>In-Head 2</i>				
40	Cetakan <i>Base Kaki</i>				
41	Cetakan Tiang Penyangga				
42	Penghalusan <i>Base 1</i>	<i>Processor</i>	4	1	Sebagai objek untuk proses penghalusan.
43	Penghalusan <i>Head 1</i>				
44	Penghalusan <i>Head 2</i>				
45	Pengeringan 2 <i>Base 1</i>	<i>Processor</i>	4	3	Sebagai objek untuk proses pengeringan kedua khusus beberapa cetakan yang dihaluskan.
46	Pengeringan 2 <i>Head 1</i>				
47	Pengeringan 2 <i>Head 2</i>				
48	Pembakaran <i>Base 1</i>	<i>Processor</i>	4	1	Mendefinisikan proses pembakaran untuk beberapa cetakan.
49	Pembakaran <i>Base 2</i>				
50	Pembakaran <i>Body 2</i>				
51	Pembakaran <i>Body 1, Head 1, Head 2</i>	<i>Combiner</i>	4	1	Proses pembakaran beberapa cetakan dilakukan secara bersamaan.

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
52	Cetakan Bakar <i>Base 1</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara sebelum proses assembly <i>Base</i>
53	Cetakan Bakar <i>Base 2</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara sebelum proses pelabelan
54	Cetakan <i>Base 2</i> untuk Assembly <i>Base</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara sebelum proses assembly <i>Base</i>
55	Cetakan Bakar <i>Body 2</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses pembakaran <i>Body 2</i>
56	Pelabelan ( <i>Base 2</i> )	<i>Processor</i>	4	1	Mendefinisikan proses pelabelan untuk cetakan <i>Base 2</i> .
57	Assembly <i>Base</i>	<i>Combiner</i>	4	1	Mendefinisikan proses perakitan antara cetakan <i>Base 1</i> dengan cetakan <i>Base 2</i> .
58	Cetakan Assembly <i>Base</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
					hasil proses assembly <i>Base</i>
59	Cetakan Bakar <i>Body 1, Head 1, Head 2</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses pembakaran
60	Assembly <i>Base</i> dengan <i>Body 1</i>	<i>Combiner</i>	4	1	Sebagai proses perakitan antara cetakan <i>Base</i> yang telah dirakit dengan cetakan <i>Body 1</i>
61	Cetakan Assembly <i>Base Body 1</i>	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses assembly <i>Base</i> dengan <i>Body 1</i>
62	Assembly <i>Base</i> Kaki	<i>Combiner</i>	4	1	Mendefinisikan proses perakitan antara hasil assembly <i>Base Body 1</i> dengan cetakan <i>Base</i> kaki
63	Cetakan Assembly dengan <i>Base</i> Kaki	<i>Queue</i>	4	1000 <i>(infinite)</i>	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses assembly <i>Base</i> kaki
64	Assembly Tiang Penyangga	<i>Combiner</i>	4	1	Mendefinisikan proses assembly antara hasil dari assembly <i>Base</i> kaki dengan tiang penyangga

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
65	Cetakan Assembly Tiang Penyangga	<i>Queue</i>	4	1000 ( <i>infinite</i> )	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses assembly dengan tiang penyangga
66	Assembly <i>Body 2</i>	<i>Combiner</i>	4	1	Mendefinisikan proses perakitan antara hasil cetakan assembly tiang penyangga dengan cetakan <i>Body 2</i>
67	Cetakan Assembly dengan <i>Body 2</i>	<i>Queue</i>	4	1000 ( <i>infinite</i> )	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses assembly dengan <i>Body 2</i>
68	Assembly <i>Head</i>	<i>Combiner</i>	4	1	Mendefinisikan proses perakitan antara hasil cetakan assembly <i>Body 2</i> dengan cetakan <i>Head 1, Head 2, In-Head 1, In-Head 2</i>
69	Cetakan Assembly Komplit	<i>Queue</i>	4	1000 ( <i>infinite</i> )	Sebagai objek <i>dummy</i> untuk menampung cetakan sementara dari proses assembly <i>Head</i>
70	Pembakaran 2 cetakan assembly	<i>Processor</i>	4	1	Mendefinisikan proses pembakaran untuk cetakan assembly
71	Cetakan siap timbun	<i>Queue</i>	4	1000 ( <i>infinite</i> )	Sebagai tempat penampungan

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
					sementara sebelum dibawa ke lokasi pengecoran
72	Pengangkutan cetakan siap timbun		1	2	Mendefinisikan proses pengangkutan cetakan dari lokasi pencetakan ke lokasi pengecoran
73	Penimbunan cetakan		1	1	Mendefinisikan proses menimbun cetakan
74	Cetakan ditimbun		1	6	Penampungan cetakan yang ditimbun dengan pasir
75	Bahan Baku Logam Baja	<i>Source</i>	1	-	Mendefinisikan kedatangan entitas dalam sistem.
76	Peleburan	<i>Processor</i>	1	500 ( <i>batch</i> )	Mendefinisikan proses peleburan dengan memasak logam sebanyak 500 kg sekaligus.
77	Ledel	<i>Queue</i>	1	500	Sebagai tempat penampungan logam cair sementara saat proses pengecoran
78	Pengecoran	<i>Combiner</i>	1	1	Sebagai proses pengecoran logam cair ke dalam cetakan yang ditimbun
79	Pendinginan pasca cor	<i>Processor</i>	1	6	Sebagai proses pendinginan cetakan

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
					yang telah di cor sampai mengeras.
80	Pengeluaran cetakan pasca cor	<i>Processor</i>	1	1	Proses pengeluaran cetakan pasca cor yang telah mengeras
81	Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	<i>Processor</i>	1	1	Mendefinisikan proses pengangkutan <i>bollard</i> di lokasi produksi sebelum dibawa ke lokasi pengecoran
82	Tampung pra <i>finishing</i>	<i>Queue</i>	1	6	Sebagai tempat penampungan <i>bollard</i> sementara sebelum dibawa ke lokasi <i>finishing</i>
83	Transportasi ke <i>finishing</i>	<i>Processor</i>	1	2	Mendefinisikan transportasi dari lokasi peleburan ke lokasi pengecoran
84	Pengangkutan <i>bollard</i> di lokasi <i>finishing</i>	<i>Processor</i>	1	1	Sebagai proses menurunkan <i>bollard</i> dari mobil pickup ke forklift menggunakan crane.
85	Tampung <i>finishing</i>	<i>Queue</i>	1	6	Sebagai objek penampungan sementara sebelum dikerjakan di proses pembersihan sisa cetakan pasir

No	Nama proses	Tipe objek	Jml Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
86	Pembersihan sisa cetakan	<i>Processor</i>	4	1	Sebagai proses pembersihan sisa cetakan pasir
87	Tamping gerinda	<i>Queue</i>	1	1000 ( <i>infinite</i> )	Sebagai objek penampungan <i>bollard</i> sementara sebelum melalui proses gerinda
88	Penggerindaan	<i>Processor</i>	2	1	Mendefinisikan proses penggerindaan <i>bollard</i>
89	Pembersihan pasir bagian dalam	<i>Processor</i>	2	1	Mendefinisikan proses pembersihan sisa-sisa cetakan pasir di bagian dalam <i>bollard</i> .
90	Pendempulan	<i>Processor</i>	2	1	Mendefinisikan proses pendempulan <i>bollard</i> .
91	Pengamplasan	<i>Processor</i>	2	1	Mendefinisikan proses pengamplasan <i>bollard</i> .
92	Pengecatan	<i>Processor</i>	1	1	Mendefinisikan proses pengecatan <i>bollard</i> .
93	Pengeringan pasca cat	<i>Processor</i>	1	11	Mendefinisikan waktu pengeringan <i>bollard</i> .
94	Gudang Jadi	<i>Sink</i>	1	-	Sebagai tempat penampungan akhir <i>bollard</i> yang sudah jadi

Pada rangkaian proses pencetakan, masing-masing proses dikerjakan secara paralel oleh satu orang pekerja. Terdapat empat pekerja pencetakan, yang mana sistem kerjanya adalah borongan. Terdapat 11 unit *bollard Harbour* yang harus dikerjakan, dimana tiga pekerja pencetakan masing-masing mengerjakan 3 unit cetakan *bollard*, sedangkan satu pekerja lainnya mengerjakan 1 unit cetakan *bollard*.

Alur rangkaian proses pencetakan dimulai dari pembuatan cetakan *Base 1* terlebih dahulu, kemudian pembuatan cetakan *Base 2*, cetakan *Body 1*, cetakan *Body 2*, cetakan *Head 1*, cetakan *Head 2*, cetakan *In-Head 1*, cetakan *in Head 2*, cetakan *Base kaki*, dan cetakan tiang penyangga secara berurutan. Selanjutnya pekerja melakukan proses penghalusan pada cetakan *Base 1* yang telah kering, kemudian penghalusan *Head 1* dan penghalusan *Head 2* secara berurutan. Beberapa cetakan yang telah kering kemudian pekerja akan melanjutkan proses pembakaran. Setelah itu, pekerja akan melanjutkan proses pelabelan *Base 2* yang telah dibakar, kemudian melakukan *assembly Base*, *assembly Base* dengan *Body 1*, *assembly* dengan *Base kaki*, *assembly* dengan tiang penyangga, *assembly* dengan *Body 2*, dan terakhir yaitu *assembly* dengan *Head* secara berurutan. Hingga proses yang terakhir yaitu proses pembakaran cetakan *assembly* juga dilakukan oleh pekerja. Sedangkan pada rangkaian proses *finishing* dilakukan secara berurutan dan dilakukan oleh masing-masing pekerja sesuai proses yang dikerjakannya

#### **4.2.6.4 Pembuatan Model Konseptual**

Model konseptual merupakan gambaran yang memuat aliran proses dan data yang lebih ilustratif yang digunakan untuk memudahkan dalam pembuatan model simulasi. Model konseptual ini juga didasarkan pada *value stream mapping* yang telah dibuat sebelumnya. Adapun model konseptual dari proses produksi dapat dilihat pada Lampiran.

#### **4.2.6.5 Perancangan Model Simulasi**

Perancangan model simulasi didasarkan pada model konseptual yang telah dibuat. Model simulasi dirancang dengan *software Flexsim 6.0*. Adapun untuk model awal dari proses produksi *bollard* tipe *Harbour 35 T* dapat digambarkan seperti Gambar 4. 7 berikut.



menggunakan uji statistik yaitu uji kesamaan dua rata-rata, uji kesamaan dua variansi, dan uji *chi-square*. Ketiga uji ini diperlukan karena dalam menguji suatu data tidak hanya dilihat dari rata-ratanya saja, akan tetapi juga dilihat dari nilai variansi dan persebaran frekuensi antar kelompok data. Terdapat dua parameter yang akan divalidasi yaitu *lead time* produksi dan output jumlah produksi.

#### 1) Validasi Output Jumlah Produksi

Data yang dibutuhkan untuk validasi adalah data historis (nyata) dan data simulasi. Data simulasi didapatkan dari model yang telah disimulasikan sebanyak 12 kali replikasi, sedangkan data historis didasarkan dari jumlah target produk yang diorder pelanggan atau diproduksi. Adapun data yang dibutuhkan untuk validasi output produksi adalah pada Tabel 4. 29 berikut.

Tabel 4. 29 Input validasi jumlah output

<b>Replikasi ke-</b>	<b>Data Historis (unit)</b>	<b>Data Simulasi (unit)</b>
1	11	11
2	11	11
3	11	11
4	11	11
5	11	11
6	11	11
7	11	11
8	11	11
9	11	11
10	11	11

Uji kesamaan dua rata-rata merupakan salah satu uji yang dilakukan dalam validasi untuk mengetahui perbandingan performansi dari model simulasi yang telah dijalankan dengan sistem nyatanya. Perbandingan ini dilakukan dengan membandingkan jumlah rata-rata output yang dihasilkan dari model simulasi dengan jumlah rata-rata output dari sistem nyatanya. Jika dalam uji didapatkan hasil bahwa kedua nilai rata-rata tidak berbeda secara signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa model memiliki validitas yang cukup

untuk parameter output rata – rata. Berikut ini merupakan langkah-langkah dari pengujian dua rata-rata:

a. Menentukan Hipotesis

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ , atau tidak ada perbedaan antara rata-rata data *throughput* sistem nyata dengan rata-rata data *throughput* pada model simulasi.

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ , atau ada perbedaan rata-rata antara data *throughput* dari sistem nyata dengan rata-rata data *throughput* pada model simulasi.

b. Menentukan taraf signifikansi dan kriteria pengujian

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 5% atau 0.05, maka untuk  $\alpha/2$  adalah 0.025.

Kriteria Pengujian:

- $H_0$  diterima jika  $|t_0| < t_{\alpha/2, K-1}$
- $H_0$  ditolak jika  $|t_0| > t_{\alpha/2, K-1}$

c. Uji statistik

Adapun rumus statistic uji menurut Jerry Banks (2005) adalah sebagai berikut.

$$t_0 = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}}$$

dimana,  $\bar{d}$  adalah rata-rata perbedaan observasi antara *throughput* model simulasi dan *throughput* sistem nyata,  $S_d$  adalah standar deviasi dari perbedaan observasi antara *throughput* model simulasi dan *throughput* sistem nyata,  $K$  adalah jumlah replikasi data, dan  $\mu_d$  diasumsikan sama dengan nol ( $\mu_d = 0$ ). Sehingga nilai  $t_0$  yang dapat diperoleh dengan rumus uji tersebut adalah.

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}} \\ &= \frac{0}{0 / \sqrt{10}} \\ &= 0 \end{aligned}$$

d. Kesimpulan

Pada level pengujian  $\alpha = 0.05$ , untuk uji dua sisi diperoleh nilai  $t_{\alpha/2, K-1} = \pm 2.26$ , maka berdasarkan kriteria pengujian nilai  $t_0 < t_{\alpha/2, K-1}$ . Dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan antara rata-rata *throughput* dari data sistem nyata dengan rata-rata dari data model simulasi ( $H_0$  diterima), dengan demikian model dapat dikatakan valid.

Selanjutnya pada Uji Kesamaan dua variansi, yang mana merupakan salah satu uji dalam validasi untuk membandingkan apakah data dari model simulasi memiliki keragaman data yang signifikan dengan data dari sistem nyatanya. Dapat diketahui bahwa kelompok data sistem nyata memiliki variansi yang sama dengan kelompok data simulasi, yaitu sebesar 0. Dalam hal ini, tanpa mempertimbangkan uji statistik model dapat dikatakan valid karena memiliki nilai variansi yang sama dengan sistem nyatanya.

## 2) Validasi *Lead Time* Produksi

Pada pengujian validasi output untuk parameter *lead time* diperlukan data *lead time* yang diperoleh dari replikasi model simulasi dan data *lead time* dari sistem nyata. Diketahui bahwa data *lead time* dari sistem nyata yaitu 11982.4 menit dimana diasumsikan sama untuk semua periode replikasi. Tabel 4.30 berikut merupakan data historis (sistem nyata) dan data simulasi.

Tabel 4. 30 Data *throughput* sistem nyata dan model simulasi

Replikasi ke-	Data Nyata (menit)	Data Simulasi (menit)
1	11982.4	11979.10
2	11982.4	11984.51
3	11982.4	11979.67
4	11982.4	11977.22
5	11982.4	11981.09
6	11982.4	11983.89
7	11982.4	11979.12
8	11982.4	11978.66
9	11982.4	11982.52
10	11982.4	11978.39
11	11982.4	11982.77
12	11982.4	11984.76

Pada uji kesamaan dua rata-rata akan dilakukan pengujian dengan membandingkan jumlah rata-rata output yang dihasilkan dari model simulasi dengan jumlah rata-rata output dari sistem nyatanya. Adapun langkah-langkah dalam uji kesamaan dua rata-rata adalah sebagai berikut.

### a. Menentukan Hipotesis

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ , atau tidak ada perbedaan antara rata-rata data *throughput* sistem nyata dengan rata-rata data *throughput* pada model simulasi.

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$  , atau ada perbedaan rata-rata antara data *throughput* dari sistem nyata dengan rata-rata data *throughput* pada model simulasi.

- b. Menentukan taraf signifikansi dan kriteria pengujian

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 5% atau 0.05, maka untuk  $\alpha/2$  adalah 0.025.

Kriteria Pengujian:

- $H_0$  diterima jika  $|t_0| < t_{\alpha/2, K-1}$
- $H_0$  ditolak jika  $|t_0| > t_{\alpha/2, K-1}$

- c. Uji statistik

Adapun rumus statistic uji menurut Jerry Banks (2005) adalah sebagai berikut.

$$t_0 = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}}$$

dimana,  $\bar{d}$  adalah rata-rata perbedaan observasi antara *throughput* model simulasi dan *throughput* sistem nyata,  $S_d$  adalah standar deviasi dari perbedaan observasi antara *throughput* model simulasi dan *throughput* sistem nyata,  $K$  adalah jumlah replikasi data, dan  $\mu_d$  diasumsikan sama dengan nol ( $\mu_d = 0$ ). Tabel 4.31 berikut merupakan perhitungan data yang akan dilakukan pengujian berdasarkan rumus statistik uji.

Tabel 4. 31 Perhitungan data selisih output sistem nyata dan simulasi

Replikasi ke-	Output Sistem ( $Z_{ij}$ )	Output Simulasi ( $W_{ij}$ )	Observed Difference ( $d_i$ )
1	11982.4	11979.10	3.30
2	11982.4	11984.51	-2.11
3	11982.4	11979.67	2.74
4	11982.4	11977.22	5.19
5	11982.4	11981.09	1.31
6	11982.4	11983.89	-1.48
7	11982.4	11979.12	3.29
8	11982.4	11978.66	3.74
9	11982.4	11982.52	-0.12
10	11982.4	11978.39	4.01
11	11982.4	11982.77	-0.37
12	11982.4	11984.76	-2.36
	$\bar{d}$	<b>1.43</b>	
	$S_d$	<b>2.63</b>	

Sehingga dapat nilai  $t_0$  yang dapat diperoleh dengan rumus uji tersebut adalah.

$$\begin{aligned}
 t_0 &= \frac{\bar{d} - \mu_d}{s_d / \sqrt{K}} \\
 &= \frac{1.43}{2.63 / \sqrt{12}} \\
 &= 1.886
 \end{aligned}$$

d. Kesimpulan

Pada level pengujian  $\alpha = 0.05$ , untuk uji dua sisi diperoleh nilai  $t_{\alpha/2, K-1} = \pm 2.593$ , maka berdasarkan kriteria pengujian nilai  $t_0 < t_{\alpha/2, K-1}$ . Dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan antara rata-rata *throughput* dari data sistem nyata dengan rata-rata dari data model simulasi ( $H_0$  diterima), dengan demikian model dapat dikatakan valid.

Selanjutnya pada uji kesamaan dua variansi dilakukan untuk membandingkan apakah data dari model simulasi memiliki keragaman data yang signifikan dengan data dari sistem nyatanya. Adapun untuk langkah-langkah pengujianya adalah sebagai berikut:

a. Menentukan Hipotesis

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ , atau tidak ada perbedaan variansi data antara *throughput* sistem nyata dengan *throughput* pada model simulasi.

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ , atau ada perbedaan variansi data antara *throughput* sistem nyata dengan *throughput* pada model simulasi.

b. Menentukan taraf signifikansi dan kriteria pengujian

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 5% atau 0.05, maka untuk  $\alpha/2$  adalah 0.025. Selain itu, sampel dengan varian terbesar dinyatakan sebagai sampel 1 atau pembilang dalam rasio uji.

Kriteria Pengujian:

- $H_0$  diterima jika  $F_{0.975, 11, 11} < F_{hitung} < F_{0.025, 11, 11}$
- $H_0$  ditolak jika  $F_{hitung} > F_{0.025, 11, 11}$  atau  $F_{hitung} < F_{0.975, 11, 11}$

Nilai  $F_{0.975, 11, 11}$  adalah 0.288, dan  $F_{0.025, 11, 11}$  adalah 3.474.

c. Uji statistik

$$\begin{aligned}
 F_{hitung} &= \frac{s_1^2}{s_2^2} \\
 &= \frac{6.893}{1.44E-23} \\
 &= 4.77E+23
 \end{aligned}$$

d. Kesimpulan

Berdasarkan uji statistik yang telah dilakukan, didapatkan bahwa nilai  $F_{hitung}$  sebesar  $4.77E+23$  dimana menurut kriteria pengujian nilai  $F_{hitung} > F_{0.025,11,11}$ . Hal ini menunjukkan bahwa  $H_0$  ditolak atau ada perbedaan variansi antara data *throughput* sistem nyata dengan data *throughput* simulasi, sehingga menurut pengujian kesamaan dua variansi ini model tidak dinyatakan valid.

Selanjutnya diperlukan juga pengujian statistik dengan *Chi-Square*, karena berdasarkan dua uji sebelumnya hasil pengujian dengan variansi masih menunjukkan bahwa model belum dinyatakan valid. Uji *Chi-Square* digunakan untuk menguji apakah frekuensi observasi pada model simulasi memang konsisten dengan frekuensi teoritis pada sistem nyatanya. Adapun langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

a. Menentukan hipotesis

$H_0$  = frekuensi observasi pada model simulasi konsisten dengan frekuensi teoritis dari sistem nyatanya, atau data simulasi sesuai dengan sistem nyata

$H_1$  = frekuensi observasi pada model simulasi tidak konsisten dengan frekuensi teoritis dari sistem nyatanya, atau data simulasi tidak sesuai dengan sistem nyata.

b. Menentukan taraf signifikansi dan kriteria pengujian

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 5% atau 0.05

Kriteria pengujian :

- $H_0$  diterima jika  $\chi^2$  hitung  $<$   $\chi^2$  tabel
- $H_0$  ditolak jika  $\chi^2$  hitung  $>$   $\chi^2$  tabel

c. Uji statistik

Rumus dalam menghitung *Chi-Square* adalah:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dimana  $O_i$  adalah frekuensi observasi pada model simulasi dan  $E_i$  adalah frekuensi teoritis dari sistem nyata.

Perhitungan pengujian *Chi-Square* dilakukan dengan tabulasi pada Tabel berikut ini.

Tabel 4. 32 Tabulasi perhitungan nilai *Chi-Square*

Data ke-	Historis (Expected)	Simulasi (Observed)	$((O_i - E_i)^2)/E_i$
1	11982.40409	11979.1	0.000911

Data ke-	Historis (Expected)	Simulasi (Observed)	$((O_i - E_i)^2)/E_i$
2	11982.40409	11984.51496	0.000372
3	11982.40409	11979.66844	0.000625
4	11982.40409	11977.21719	0.002246
5	11982.40409	11981.08946	0.000144
6	11982.40409	11983.8851	0.000183
7	11982.40409	11979.11702	0.000902
8	11982.40409	11978.65976	0.00117
9	11982.40409	11982.52154	1.15E-06
10	11982.40409	11978.38979	0.001345
11	11982.40409	11982.77003	1.12E-05
12	11982.40409	11984.76429	0.000465

d. Kesimpulan

Berdasarkan nilai *Chi-Square* yang telah dihitung pada masing-masing data kemudian dijumlahkan keseluruhan nilai tersebut, sehingga didapatkan nilai  $\chi^2_{hitung}$  sebesar 0.008376. Menurut kriteria pengujian, nilai  $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$  (19.67514). Dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima atau frekuensi observasi pada model simulasi konsisten dengan frekuensi teoritis dari sistem nyatanya, sehingga model dapat dinyatakan valid

Berdasarkan ketiga pengujian tersebut, dua pengujian menyatakan bahwa model valid yaitu berdasarkan uji kesamaan dua rata-rata dan uji *Chi-Square*. Sedangkan menurut pengujian kesamaan dua variansi, model belum memiliki validitas yang cukup terhadap sistem nyatanya. Akan tetapi, data *throughput* model memiliki rata-rata yang nilainya mendekati sama serta tidak adanya perbedaan yang signifikan antara frekuensi observasi dari model dan frekuensi teoritis dari sistem nyatanya. Sehingga dalam pengujian validasi *lead time* ini model dapat dinyatakan memiliki validitas yang cukup dalam merepresentasikan sistem nyatanya.

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisis *Current State Value Stream Mapping*

*Current state* VSM mampu menggambarkan serangkaian proses produksi *bollard Harbour 35 T* secara keseluruhan pada kondisi awal di suatu perusahaan. Melalui pemetaan ini, informasi-informasi kegiatan maupun aktivitas yang ada dalam aliran proses dapat diketahui, yang mana terdapat tiga jenis aktivitas yaitu aktivitas *value added*, *necessary but non-value added*, dan *non-value added*.

Berdasarkan *current state* VSM yang telah dibuat pada Lampiran, terdapat penjelasan secara rinci mengenai aliran fisik dan aliran material. Adapun informasi tersebut dapat dijelaskan pada sub-sub bab berikut.

##### 5.1.1 Aliran Informasi

Aliran informasi diperoleh berdasarkan pengamatan dan wawancara secara langsung dengan pihak perusahaan yang memahami proses pemenuhan order maupun proses produksi. Adapun aliran informasi tersebut dimulai dari konsumen yang melakukan pemesanan ke perusahaan CV. Mega Jaya Logam, dimana proses pemesanan dapat dilakukan secara langsung dengan mendatangi lokasi maupun secara tidak langsung yaitu melalui telepon atau media lainnya.

Dalam proses pemesanan terdapat proses penawaran harga atau negosiasi antara konsumen dengan perusahaan. Setelah konsumen dan perusahaan sepakat dengan negosiasi tersebut, maka akan dilakukan pembuatan surat purchase order (PO). Dari PO tersebut selanjutnya terdapat dua kemungkinan yang terjadi yaitu PO untuk produksi *bollard* yang sudah standar perusahaan, dan PO untuk produksi *bollard* yang custom

sesuai dari permintaan konsumen. Jika terdapat PO *bollard* yang custom, maka perlu menunggu untuk pembuatan atau penerbitan gambar teknik dari *bollard* custom tersebut. Pada kasus ini, PO yang didapatkan yaitu untuk produk *bollard* yang sesuai dengan standar perusahaan, jadi setelah surat PO turun dapat langsung diinstruksikan ke bagian produksi dan bagian pengadaan untuk proses pengadaan bahan baku.

Selama proses produksi berlangsung, terdapat *supervisor* produksi yang akan mengawasi jalannya proses produksi serta bertugas dalam memberikan instruksi-instruksi pada karyawan. Pihak perusahaan juga akan memberikan instruksi ke CV. Bonjor Jaya bahwa akan melakukan pengecoran untuk sejumlah unit *bollard* yang akan diproduksi, dan berkoordinasi terkait jadwal pengecoran yang tersedia. Selain itu juga terdapat bagian *Quality Control* yang akan mengecek kondisi dan kualitas *bollard* sebelum dan sesudah proses *finishing* dilakukan.

Untuk proses pelunasan harganya, terdapat juga dua kemungkinan, jika konsumen termasuk pelanggan lama maka *bollard* yang sudah jadi akan dikirim terlebih dahulu selanjutnya baru dilakukan pelunasan pembayaran yang masih kurang. Sedangkan jika konsumen termasuk pelanggan baru, maka konsumen wajib melunasi pembayaran terlebih dahulu baru *bollard* dapat dikirim ke konsumen.

### 5.1.2 Aliran Fisik

Aliran fisik mencakup barang atau produk yang diamati sepanjang aliran proses produksi *bollard Harbour 35 T*, yaitu dapat dijabarkan sebagai berikut.

- a. Pasir cetak biasa dibeli dari vendor oleh tenaga cetak, karena untuk proses pencetakan ini sistem kerjanya adalah borongan. Pasir yang telah dipesan akan datang sesuai dengan kesepakatan dimana untuk membuat 11 unit *bollard* dibutuhkan pasir kurang lebih sebanyak 3 kol kecil. Pasir tersebut akan di-drop langsung di lokasi pencetakan. Selanjutnya pasir akan digunakan untuk pembuatan cetakan pasir, dimana pasir tersebut juga perlu dicampur dengan tanah lempung dan air.
- b. Cetakan pasir yang telah dibentuk sesuai pola, akan dikeringkan dan beberapa diantaranya akan melalui proses pembakaran kecuali cetakan *Base* kaki, cetakan tiang penyangga, cetakan *In-Head 1* dan *In-Head 2*.

- c. Cetakan bakar, beberapa akan melalui proses penghalusan dan pengeringan lagi seperti cetakan *Base 1*, *Head 1*, dan *Head 2*, sedangkan beberapa lainnya seperti cetakan *Base 2* akan melalui pelabelan dan assembly, sisanya cetakan *Body 1* dan *Body 2* siap dirakit di proses assembly.
- d. Cetakan assembly, yaitu cetakan-cetakan yang siap untuk dirakit pada proses pencetakan. Perakitan pertama yaitu antara cetakan *Base 1* dengan *Base 2*, kemudian cetakan tersebut dirakit dengan cetakan *Body 1*. Selanjutnya cetakan assembly akan dirakit dengan *Base* kaki, lalu dirakit dengan tiang penyangga. Setelah itu, cetakan *Body 2* akan dirakit dengan cetakan tersebut, dan terakhir yaitu perakitan cetakan *Head 1*, *Head 2*, *In-Head 1*, dan *In-Head 2*.
- e. Semua cetakan yang telah dirakit akan dibakar lagi, sebelum dibawa ke lokasi pengecoran. Semua rangkaian proses pencetakan ini dilakukan oleh masing-masing tenaga cetak yang mendapat perintah kerja borongan, dimana semua proses dikerjakan oleh satu operator mulai dari proses pembuatan cetakan sampai pembakaran cetakan assembly.
- f. Cetakan *assembly* yang telah dibakar akan dibawa ke lokasi pengecoran untuk ditimbun dalam pasir tanah. Pengangkutan cetakan dari lokasi pencetakan ke lokasi pengecoran dibawa menggunakan mobil pick up. Namun untuk pengangkutannya ke mobil dilakukan secara gotong royong oleh 7 sampai 8 orang. Pada proses penimbunan cetakan dilakukan oleh operator pencetakan yaitu sebanyak 4 operator.
- g. Pada proses peleburan, sebanyak 500 kg logam baja akan dilebur dalam tungku induksi. Proses peleburan ini dioperasikan oleh 2 operator, dimana operator 1 membantu memasukkan bahan baku ke tungku, sedangkan operator 2 bertugas mengaduk logam yang berada di dalam tungku.
- h. Pada proses pengecoran, membutuhkan 6 sampai 8 orang untuk membantu proses ini berjalan dengan baik. Sebanyak 4 sampai 6 operator akan bergantian membawa logam cair untuk dituang ke dalam cetakan, sedangkan 2 operator lainnya bertugas menuang logam cair dari ledel ke wadah berkapasitas 30 kg yang akan dibawa oleh operator tuang.
- i. Logam cair yang telah dituang ke dalam cetakan, akan dibiarkan mengeras selama waktu tertentu. Logam yang telah mengeras kemudian akan dikeluarkan dari dalam timbunan tanah.

- j. Logam *bollard* yang telah dikeluarkan akan ditempatkan di penampungan sementara untuk menunggu diangkut ke lokasi *finishing*. Pengangkutan *bollard* ke lokasi *finishing* dibawa menggunakan mobil pick up. Selain itu juga terdapat alat *material handling* seperti *forklift* dan *crane* untuk membantu mengangkut *bollard* ke mobil.
- k. *Bollard* yang dibawa ke lokasi *finishing*, akan diturunkan menggunakan alat *material handling* seperti *crane* dan kemudian akan dibawa ke penampungan sementara menggunakan *forklift*.
- l. Pada lokasi *finishing*, proses pertama yang dilakukan adalah pembersihan *bollard* dari sisa cetakan pasir. *Bollard* dibersihkan dari sisa cetakan pasir yang masih menempel di logam dengan alat seperti palu maupun benda tajam lainnya. Proses pembersihan ini dilakukan oleh masing-masing satu operator.
- m. *Bollard* yang permukaannya telah dibersihkan dari sisa pasir selanjutnya akan dilakukan proses penggerindaan, dimana proses ini dilakukan oleh 1 operator.
- n. *Bollard* yang telah digerinda akan dibersihkan bagian dalam *bollard* dari sisa pasir yang masih menempel di permukaan bagian dalam. Proses pembersihan ini dilakukan oleh 1 operator.
- o. *Bollard* yang sudah bersih dari sisa cetakan pasir akan didempul, dimana proses pendempulan dilakukan oleh 1 operator.
- p. Pada proses pengamplasan, *bollard* yang telah didempul seluruh permukaannya akan diampelas supaya permukaannya lebih halus. Proses ini membutuhkan 1 orang operator.
- q. *Bollard* yang sudah diampelas akan dicat oleh 1 operator, kemudian dikeringkan selama waktu tertentu. Selanjutnya *bollard* jadi pun siap dibawa ke gudang penyimpanan barang jadi.

Berdasarkan *current state* yang telah dibuat, dapat diketahui bahwa total *cycle time* untuk keseluruhan aliran proses produksi dalam membuat satu unit produk adalah 1512.67 menit. Sedangkan *lead time* produksi untuk membuat satu unit produk adalah selama 17044.71 menit. Tingginya nilai *lead time* ini karena masih didominasi oleh aktivitas-aktivitas NVA dan NNVA. Selain itu juga sepanjang aliran proses produksi masih terdapat WIP yang ada di beberapa proses.

Berikut ini merupakan ringkasan analisis secara rinci dari *current state* VSM yang telah dibuat.

Tabel 5. 1 Ringkasan dari analisis *current state* VSM

No	Indikator performansi	<i>Current state</i> VSM	Analisa
1	<i>Cycle Time</i> (C/T) tertinggi	Pengeringan <i>Base</i> 1, <i>Base</i> 2, <i>Body</i> 1, <i>Body</i> 2, <i>Head</i> 1, dan <i>Head</i> 2 2160 menit	Proses pengeringan membutuhkan waktu yang sangat lama karena proses pengeringannya yang masih manual, yaitu dengan sinar matahari.
2	Persentase <i>uptime</i> (U/T) terendah	Pengeringan <i>Base</i> 1, <i>Base</i> 2, <i>Body</i> 1, <i>Body</i> 2, <i>Head</i> 1, dan <i>Head</i> 2 0%	Persentase rendah ini diperoleh karena proses pengeringan termasuk dalam aktivitas NNVA sehingga persentase <i>uptime</i> yang didapatkan pun juga 0%
3	Efektifitas Waktu	Total C/T = 1514.56 menit Total L/T = 17047.86 menit	Perbedaan waktu yang sangat signifikan ini antara total <i>cycle time</i> dan <i>lead time</i> karena ada proses yang memiliki waktu tinggi dan proses tersebut termasuk dalam aktivitas NNVA.
4	Aliran Material dan Proses	Masih terdapat <i>bottleneck</i> atau WIP pada beberapa proses.	Adanya kondisi waiting akibat dari aktivitas NVA dan NNVA selama proses pengerjaan. <i>Bottleneck</i> mengakibatkan adanya tumpukan WIP sepanjang aliran proses produksi.

### 5.3 Analisis Hasil Identifikasi Pemborosan

Identifikasi pemborosan dilakukan menggunakan konsep *Waste Assessment Model* (WAM), dimana konsep WAM tersebut meliputi *Seven Waste Relationship* (SWR), *Waste Relationship Matrix* (WRM), dan *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ). Hasil dari Tabel 4. 15 pada perhitungan *seven waste relationship* adalah berdasarkan skor keterkaitan antar pemborosan sesuai pada Tabel 4. 14. Selanjutnya skor dari kuesioner pemborosan tersebut dikategorisasikan ke dalam skala alfabetik, dimana hasil kategorisasi ini akan digunakan sebagai input pada *waste relationship matrix* (WRM).

Pada matriks WRM, nilai skor dalam skala alfabetik tersebut akan dikonversikan menjadi *waste matrix value* (WMV) sesuai dengan tipe hubungannya. Kemudian hasil skor yang diperoleh dari tiap jenis hubungan ini akan diubah ke dalam bentuk persentase. Selanjutnya hasil persentase dari WMV ini akan dijadikan sebagai pengali pada output WAQ untuk mengidentifikasi pemborosan dominan yang terjadi dalam sistem produksi.

Pada WAQ terdapat 68 jenis pertanyaan berbeda yang ditujukan kepada pihak yang paham mengenai proses produksi, yaitu Bapak Bambang selaku pemilik usaha juga. Pertanyaan-pertanyaan tersebut dikelompokkan menjadi beberapa jenis pertanyaan seperti yang terangkum pada Tabel 4. 20. Selanjutnya dilakukan proses pembobotan awal, dimana hasil dari WMV dimasukkan ke butir-butir pertanyaan dan setiap pemborosan akan memiliki nilai sesuai yang ada di matriks. Kemudian skor awal tersebut akan dibagi dengan jumlah pengelompokan pertanyaan sesuai kategorinya masing-masing. Sehingga didapatkan hasil pembobotan yang dapat dilihat di Lampiran 5. Dapat diketahui bahwa nilai skor total ( $S_j$ ) dari tiap jenis pemborosan adalah 66 untuk pemborosan *overproduction*, 66 untuk pemborosan *inventory*, 70 untuk pemborosan *defect*, 64 untuk pemborosan *motion*, 60 untuk pemborosan *transportation*, 38 untuk pemborosan *excess processing*, dan 62 untuk pemborosan *waiting*. Selain itu juga diketahui frekuensi ( $F_j$ ) dari tiap pemborosan tersebut, yaitu 57 untuk pemborosan *overproduction*, 63 untuk pemborosan *inventory*, 68 untuk pemborosan *defect*, 57 untuk pemborosan *motion*, 42 untuk pemborosan *transportation*, 36 untuk pemborosan *excess processing*, dan 50 untuk pemborosan *waiting*.

Selanjutnya hasil dari pembobotan pemborosan akan dikalikan dengan rerata hasil wawancara WAQ yang telah diperoleh sebelumnya pada masing-masing jenis

pemborosan. Hasil perkalian pembobotan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 6. Dapat diketahui bahwa nilai skor total ( $s_j$ ) untuk pemborosan *overproduction* adalah 15.73, untuk pemborosan *inventory* adalah 15.53, untuk pemborosan *defect* adalah 15.35, untuk pemborosan *motion* adalah 11.99, untuk pemborosan *transportation* adalah 14.33, untuk pemborosan *excess processing* adalah 5.92, dan untuk pemborosan *waiting* adalah 11.96. Sedangkan untuk frekuensi ( $f_j$ ) dari masing-masing pemborosan antara lain 22 untuk pemborosan *overproduction*, 21 untuk pemborosan *inventory*, 24 untuk pemborosan *defect*, 18 untuk pemborosan *motion*, 17 untuk pemborosan *transportation*, 10 untuk pemborosan *excess processing*, dan 16 untuk pemborosan *waiting*.

Selanjutnya nilai  $s_j$ ,  $f_j$ ,  $S_j$ , dan  $F_j$  digunakan untuk mencari nilai skor  $Y_j$  seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 4. 21. Dapat diketahui bahwa skor  $Y_j$  pada masing-masing pemborosan yaitu 0.1 untuk pemborosan *overproduction*, 0.08 untuk pemborosan *inventory*, 0.07 untuk pemborosan *defect*, 0.06 untuk pemborosan *motion*, 0.09 untuk pemborosan *transportation*, 0.04 untuk pemborosan *excess processing*, dan 0.06 untuk pemborosan *waiting*. Kemudian perhitungan  $P_j$  didapatkan dari perkalian antara persentase skor vertical dan horizontal dari matriks WMV. Sebagai contoh, nilai  $P_j$  untuk pemborosan *overproduction* yaitu didapatkan dari hasil perkalian 11.72% dengan 12.50%, sehingga diperoleh nilai  $P_j$  sebesar 146.48; diikuti untuk pemborosan *inventory* diperoleh nilai  $P_j$  sebesar 205.08; untuk pemborosan *defect* sebesar 207.52; pemborosan *motion* sebesar 280.76; pemborosan *transportation* sebesar 142.82; pemborosan *excess processing* sebesar 140.38; dan untuk pemborosan *waiting* sebesar 265.50.

Selanjutnya untuk menentukan jenis pemborosan yang paling dominan terjadi pada rangkaian proses produksi dapat diperoleh dengan menghitung nilai  $Y_j$  final, yaitu mengalikan antara skor  $Y_j$  dengan nilai  $P_j$ . Adapun nilai  $Y_j$  final untuk pemborosan *overproduction* sebesar 14.90; untuk pemborosan *inventory* sebesar 16.24; untuk pemborosan *defect* sebesar 14.87; untuk pemborosan *motion* sebesar 17.57; untuk pemborosan *transportation* sebesar 13.35; untuk pemborosan *excess processing* sebesar 5.83; dan untuk pemborosan *waiting* sebesar 15.63. Hasil tersebut kemudian dikonversikan dalam bentuk persentase, sehingga dapat diperoleh bahwa pemborosan paling dominan adalah pemborosan *motion* dengan persentase sebesar 17.86%; diikuti oleh pemborosan *inventory* sebesar 16.50%; kemudian pemborosan *waiting* sebesar 15.89%; pemborosan *overproduction* sebesar 15.15%; pemborosan *defect* sebesar

15.12%; pemborosan *transportation* sebesar 13.56%; dan pemborosan *excess processing* sebesar 5.93%. Dari ketujuh pemborosan tersebut, tiga jenis pemborosan paling dominan akan dianalisis lebih lanjut, yang mana ketiga pemborosan tersebut telah mewakili 50.25% dari keseluruhan pemborosan.

Tiga jenis pemborosan dominan yang terpilih antara lain *motion*, *inventory*, dan *waiting*. Ketiga jenis pemborosan ini akan dijadikan sebagai penentu fokus jenis pemborosan yang akan dieliminasi dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan rekapitulasi kondisi actual yang tampak secara jelas pada rantai produksi.

Tabel 5. 2 Perbandingan kondisi nyata dan usulan

Jenis Pemborosan	Kondisi Nyata	Usulan
<i>Excessive Motion</i>	Masih banyak gerakan-gerakan tidak efektif yang dapat dihilangkan. Gerakan tidak efektif tersebut seperti penggunaan tangan kanan dan tangan kiri yang masih kurang efektif, adanya gerakan-gerakan yang berulang terlebih pada rangkaian proses pencetakan.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perlu adanya analisis <i>micromotion study</i> untuk menghilangkan atau mengurangi gerakan-gerakan yang tidak efektif.</li> <li>- Meminimasi gerakan-gerakan yang berulang atau gerakan yang tidak diperlukan, dapat melalui mengkondisikan area kerja dengan konsep 5S, membuat jalur perpindahan khusus.</li> </ul>
<i>Unnecessary Inventory</i>	Adanya WIP yang terdapat dalam aliran proses produksi, dimana menunggu untuk di proses selanjutnya.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempercepat aliran proses produksi agar tingkat WIP dalam sistem tidak banyak.</li> </ul>
<i>Waiting</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Lead time</i> produksi yang tinggi</li> <li>- Kurangnya standard kerja yang menyebabkan adanya variasi waktu pengerjaan yang besar</li> <li>- Adanya <i>bottleneck</i> karena waktu pengerjaan yang relatif tinggi dan alur pengerjaan yang dominan seri (berurutan)</li> <li>- Adanya aktivitas-aktivitas yang memiliki waktu proses sangat tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memberikan usulan aktivitas yang efektif agar <i>lead time</i> dapat diminimasi.</li> <li>- Mengeliminasi atau mengurangi aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai tambah.</li> </ul>

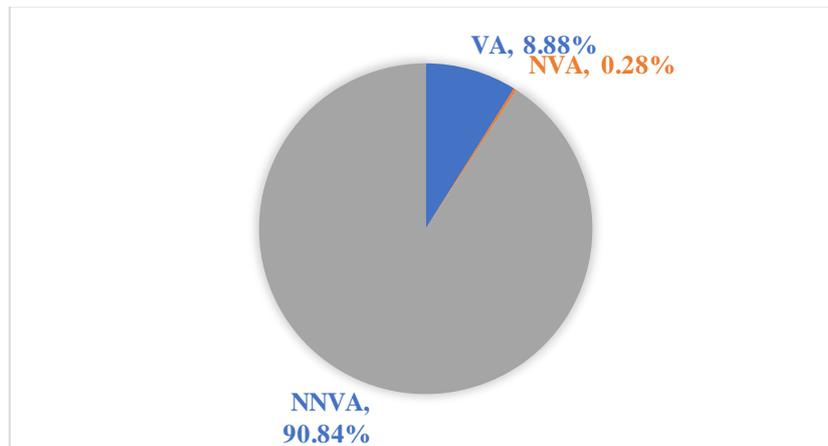
## 5.2 Analisis *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT)

*Value Stream Analysis Tools* dapat membantu dalam menentukan *detailed mapping tools* mana yang tepat untuk mengatasi pemborosan yang dominan dalam aliran proses produksi. Pada pemilihan tools dengan VALSAT ini, diperlukan *input* nilai bobot pemborosan yang mana dapat diperoleh dari persentase masing-masing pemborosan hasil *waste assessment model* (WAM). Hasil pembobotan tersebut kemudian dikalikan dengan faktor pengali sesuai yang ada di Tabel 4. 22. Berdasarkan hasil perkalian antara bobot dengan faktor pengali pada masing-masing *tools* pada Tabel 4. 23, dapat diketahui bahwa *tools Process Activity Mapping* (PAM) memiliki nilai yang paling besar yaitu sebesar 558.90; kemudian diikuti *tools Supply Chain Response Matrix* (SCRM) sebesar 354.80; *tools Demand Amplification Mapping* (DAM) sebesar 241.62; *tools Quality Filter Mapping* (QFM) sebesar 157.11; *tools Decision Point Analysis* (DPA) sebesar 148.53; *tools Production Variety Tunel* (PVT) sebesar 83.17; dan terakhir *tools Physical Structure* sebesar 30.07. Adapun untuk peringkat tools VALSAT secara grafik dapat dilihat pada Gambar 4. 6. Sehingga dalam kasus ini, tools yang tepat untuk mengatasi pemborosan yang ada di aliran proses produksi berdasarkan perhitungan VALSAT adalah *Process Activity Mapping* (PAM). Adapun tools PAM ini terpilih karena tools ini memiliki hubungan hampir pada semua jenis pemborosan, sehingga memiliki faktor pengali yang tinggi juga. Oleh karena itu, nilai yang didapatkan melalui perhitungan VALSAT diperoleh tools PAM ini. Melalui *tools* PAM ini, setiap aktivitas dan proses mampu dijabarkan secara detail, sehingga mampu untuk mengevaluasi hampir semua jenis pemborosan yang ada.

## 5.3 Analisis *Detailed Mapping Tools*

Berdasarkan *detailed mapping tools* yang terpilih yaitu *Process Activity Mapping* (PAM), semua proses dan aktivitas dalam sepanjang aliran proses produksi diuraikan secara detail. Semua aktivitas telah diklasifikasikan berdasarkan aktivitas value added (VA), necessary non-value added (NNVA), dan non-value added (NVA). Aktivitas VA adalah aktivitas yang memberikan nilai tambah menurut pandangan konsumen. Aktivitas NVA adalah aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah menurut pandangan konsumen, dimana aktivitas ini dapat diminimasi maupun dihilangkan karena tidak memberikan manfaat kepada produk. Sedangkan aktivitas NNVA adalah aktivitas yang tidak

memberikan nilai tambah terhadap produk, akan tetapi aktivitas ini perlu dilakukan untuk mendukung aktivitas VA dalam aliran proses produksi. Adapun hasil pengelompokan aktivitas pada proses produksi *bollard Harbour 35 T* menurut kategori VA, NVA, dan NNVA secara representatif dapat dilihat pada Gambar 5. 1 berikut.



Gambar 5. 1 Klasifikasi aktivitas VA, NVA, NNVA

Dapat diketahui bahwa aktivitas NNVA memiliki persentase waktu yang sangat besar yaitu sebesar 90.85%, dimana tingginya nilai persentase ini disumbang terbesar oleh aktivitas pengeringan dari masing-masing cetakan bagian *bollard*. Sedangkan untuk aktivitas VA yaitu sebesar 8.87% dan aktivitas NVA sebesar 0.28% dari total keseluruhan waktunya.

Selain itu, setiap aktivitas juga dikategorikan ke beberapa kategori aktivitas seperti Operasi (O) yaitu ketika aktivitas tersebut memberi nilai tambah dan memiliki biaya; Transportasi (T) yaitu aktivitas perpindahan entitas atau barang antar stasiun kerja yang dapat diminimalkan; Inspeksi (I) yaitu aktivitas pengecekan kuantitas atau kualitas dari produk; Delay (D) dan Storage (S) yaitu aktivitas yang menunggu dan tidak memberikan nilai tambah terhadap produk. Analisis secara detail per kategori aktivitas dapat dilihat pada Tabel 5. 3 berikut ini.

Tabel 5. 3 Analisis *Process Activity Mapping* (PAM)

No	Jenis Aktivitas	Keterangan	Analisa
1	Operasi (O)	96 aktivitas (52.75%) 1514.56 menit (8.88%)	- Jumlah aktivitas operasi cukup tinggi, namun persentase waktu yang diperoleh sangat kecil karena terdominasi oleh aktivitas

No	Jenis Aktivitas	Keterangan	Analisa
2	Transportasi (T)	27 aktivitas (14.84%) 69.95 menit (0.41 %)	<p>pengeringan yang perbandingan waktunya signifikan jauh berbeda</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah aktivitas transportasi cukup banyak, karena jarak perpindahan antar stasiun kerjanya yang cukup jauh, terutama lokasi produksi yang berbeda-beda.</li> <li>- Aktivitas transportasi ini didominasi oleh aktivitas pengambilan campuran pasir dan perpindahan cetakan/<i>bollard</i> antar stasiun kerja atau lokasi produksi.</li> </ul>
3	Inspeksi (I)	0 aktivitas (0%) 0 menit (0%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktivitas inspeksi dalam aliran proses produksi ini tidak disertakan, karena inspeksi terhadap produk hanya dilihat secara fleksibel.</li> </ul>
4	Storage (S)	3 aktivitas (1.65%) 8.17 menit (0.05%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah aktivitas penyimpanan sepanjang aliran proses produksi tidak signifikan (hanya 1.65%)</li> </ul>
5	Delay (D)	56 aktivitas (30.77%) 15455.17 (90.66%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah aktivitas delay (menunggu) relative banyak dan hal ini perlu diminimasi atau bahkan dihilangkan.</li> <li>- Aktivitas delay ini didominasi oleh kegiatan NVA dan NNVA.</li> <li>- Persentase waktu dari aktivitas <i>delay</i> ini sangat mendominasi (90.67%), dimana hal ini dikarenakan adanya aktivitas pengeringan cetakan yang membutuhkan waktu sangat lama. Sehingga persentase waktu yang didapatkan pun juga semakin tinggi.</li> <li>- Terdapat beberapa aktivitas <i>delay</i> dalam kategori NVA yang dapat dihilangkan atau menggabungkan aktivitas sejenis menjadi satu.</li> </ul>

Berdasarkan *Process Activity Mapping* yang telah dibuat, dapat diketahui bahwa masih banyak aktivitas-aktivitas yang perlu dieliminasi maupun diminimasi dalam rangka meningkatkan nilai tambah dari proses produksi *bollard Harbour 35 T* ini.

## 5.5 Usulan Perbaikan

Berdasarkan pada analisa hasil identifikasi pemborosan dan analisa *Process Activity Mapping* (PAM), dapat diketahui bahwa masih banyak pemborosan yang terjadi pada aliran proses produksi. Sehingga dalam rangka mengurangi maupun menghilangkan aktivitas yang termasuk dalam pemborosan dapat dilakukan dengan memberikan usulan perbaikan dengan analisis 5W1H dan perbaikan dengan konsep Kaizen.

### 5.5.1 Analisis 5W 1 H pada Jenis Pemborosan

Analisis perbaikan dilakukan dengan menggunakan 5W1H yang mana didasarkan pada pemborosan dominan yang telah didapatkan dengan analisis *waste assessment model* (WAM). Adapun analisis 5W1H tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 5. 4 Analisis perbaikan dengan 5W1H

<b>Jenis Pemborosan (What)</b>	<b>Sumber Pemborosan (Where)</b>	<b>Penanggung Jawab (Who)</b>	<b>Waktu Terjadi (When)</b>	<b>Penyebab (Why)</b>	<b>Saran Perbaikan (How)</b>
<i>Waiting</i>	Stasiun kerja proses pengeringan cetakan	Operator pencetakan	Selama proses pengeringan	Proses pengeringan memerlukan waktu yang sangat lama karena bergantung pada faktor cuaca.	Mempercepat proses pengeringan dengan bantuan proses pembakaran pada setiap cetakannya.
<i>Unnecessary Inventory</i>	Stasiun kerja pencetakan	Operator pencetakan	Selama proses pencetakan	Banyaknya cetakan yang harus menunggu kering dan menunggu untuk dikerjakan	Mempercepat proses pengeringan cetakan dengan pembakaran dan mengeliminasi aktivitas NNVA dan NVA pada

Jenis Pemborosan (What)	Sumber Pemborosan (Where)	Penanggung Jawab (Who)	Waktu Terjadi (When)	Penyebab (Why)	Saran Perbaikan (How)
					rangkaian pembuatan cetakan.
<i>Excessive Motion</i>	Stasiun kerja pencetakan	Operator pencetakan	Selama rangkaian proses pencetakan	Kondisi area kerja yang kurang 5S menyebabkan pergerakan operator menjadi terbatas.	Merancang dan menerapkan konsep 5S pada area kerja pencetakan.

### 5.5.2 Perbaikan melalui konsep Kaizen

Konsep Kaizen dapat diterapkan untuk meminimasi pemborosan yang terjadi sepanjang aliran proses produksi. Adapun prinsip Kaizen yaitu terus menerus melakukan perbaikan pada sepanjang aliran proses produksi untuk menciptakan nilai pemborosan yang lebih sedikit. Terdapat tiga pilar utama dalam penerapan Kaizen yaitu *housekeeping*, *waste reduction*, dan *standardization*.

Melalui analisis *current state* VSM, maka kegiatan-kegiatan yang bersifat *non-value added* yang memungkinkan direduksi maupun dapat dihilangkan dapat dijadikan sebagai solusi perancangan *lean production* pada CV. Mega Jaya Logam, dapat dilihat pada Tabel 5. 5 berikut.

Tabel 5. 5 Usulan perbaikan dengan penerapan Kaizen

Kategori Aktivitas	Aktivitas	Area Aktivitas	Aktual	Usulan
Transportasi (NNVA)	Mengambil campuran pasir	Semua area proses pembuatan cetakan	Pengambilan campuran pasir masih bolak-balik, kondisi area kerja yang penuh dengan cetakan membuat jalur transportasi menjadi terbatas, pengambilan pasir seringkali dengan kapasitas 1 ember per perpindahan	membuat jalur perpindahan khusus untuk pengambilan campuran pasir, dan membuat area kerja menjadi 5S supaya pergerakan transportasi operator tidak terbatas
Delay (NNVA)	Mencari, mengambil alat dan pola cetakan	Semua area proses pembuatan cetakan	Masih ada kegiatan mencari alat dan pola cetakan, serta transportasi pengambilan alat yang bolak balik, kondisi area kerja yg 5S membuat perpindahan dan pencarian yang berlebihan	Menerapkan konsep 5S pada area kerja, seperti menyediakan lemari untuk penyimpanan alat-alat dan setiap peralatan dikelompokkan sesuai dengan kesamaan fungsinya serta diberi label pada setiap peralatannya, pada lemari penyimpanan juga disediakan informasi terkait jumlah peralatan apa saja yang tersedia, menyediakan area penyimpanan khusus untuk pola cetakan dan masing-masing pola cetakan dikelompokkan sesuai pola untuk produk yang sejenis
Transportasi (NNVA)	Mengambil campuran pasir silika	Area proses pembuatan cetakan	Pasir silika selama ini harus mengambil terlebih dahulu di lokasi <i>finishing</i> , jadi di lokasi pencetakan belum disediakan tempat untuk pasir silika	Di area pencetakan juga sebaiknya disediakan pasir silika, supaya dapat mengurangi aktivitas transportasi mengambil pasir silika dari lokasi <i>finishing</i>
Delay (NNVA)	Pengeringan tahap 1 ( <i>Base 1, Base 2, Body 1, Body 2, Head 1, Head 2</i> )	Area proses pembuatan cetakan	Proses pengeringan masih menggunakan sinar matahari, sehingga pengeringan sangat tergantung dengan faktor cuaca	proses pengeringan dapat dibantu dengan proses pembakaran supaya waktu siklus dapat diminimasi, akan tetapi adanya pembakaran ini juga akan berdampak pada biaya produksi dimana untuk 1 set cetakan <i>bollard</i> membutuhkan kurang lebih 4 karung kayu bakar dengan harga kayu per karung Rp 10.000.

Kategori Aktivitas	Aktivitas	Area Aktivitas	Aktual	Usulan
Transportasi (NNVA)	Mengambil pasir halus (proses pengecoran)	Pengecoran	Pengambilan pasir halus masih menggunakan media lembaran sak semen untuk membawa pasir tersebut	Pengambilan pasir halus dapat menggunakan ember supaya transportasinya juga tidak bolak-balik
Delay (NNVA)	Mengambil dan menyiapkan alat (proses gerinda)	Penggerindaan (lokasi <i>finishing</i> )	Harus menyiapkan colokan listrik dan menghubungkan aliran listrik beserta alat gerinda	Sebaiknya kabel colokan sudah disediakan terpasang di sekitar area terdekat proses gerinda, supaya tidak ada persiapan penyambungan kabel colokan ke saluran listrik
Delay (NNVA)	Mengambil alat (proses pembersihan pasir bag dalam)	Pembersihan pasir bag. Dalam (lokasi <i>finishing</i> )	Palu berukuran besar saat pengamatan hanya 1 buah dan penggunaan palu tersebut bergantian dengan proses lainnya, selain itu kondisi martil palu yang seringkali lepas membuat proses pengerjaan semakin lama	Menyediakan peralatan yang memadai dan cukup
Delay (NNVA)	Mengambil alat (proses pendempulan dan pengamplasan)	Pendempulan, Pengamplasan, Pengecatan (Lokasi <i>Finishing</i> )	Pengambilan peralatan dari area penyimpanan peralatan masih dilakukan secara bolak balik	Pengambilan peralatan diharapkan dilakukan secara sekaligus agar tidak ada frekuensi pengambilan berulang
Delay (NVA)	Menyiapkan dan setting alat	Area pembuatan cetakan	belum ada alat yang terstandarisasi atau tersedia langsung pakai, misal alat jangka untuk mengukur cetakan harus membuatnya terlebih dahulu secara manual	Semua alat sebaiknya sudah disediakan dan siap untuk dipakai, atau tinggal dicustomisasi sedikit jika terdapat perbedaan kriteria pengukuran
Delay (NVA)	Membuat tali plat janur untuk <i>Body 2, Head 1</i>	Area pembuatan cetakan	masih ada aktivitas untuk membuat tali plat janur sesuai dengan cetakan, dan proses perangkaian ini dapat menambah waktu siklus produk	sebaiknya rangkaian tali plat janur sudah disiapkan atau sudah terangkai, jadi tidak perlu ada aktivitas membuat rangkaiannya terlebih dahulu baru merangkai ke cetakan

Kategori Aktivitas	Aktivitas	Area Aktivitas	Aktual	Usulan
Delay (NVA)	menyiapkan peralatan plat janur	Area pembuatan cetakan	masih ada kegiatan mencari dan menyiapkan peralatan, belum ada tempat penyimpanan peralatan khusus	sebaiknya peralatan perlu disiapkan jadi satu set dan diletakkan di tempat yang mudah dijangkau atau di tempat peralatan khusus
Transportasi (NVA)	Membawa cetakan tiang penyangga ke tempat sementara	Area pembuatan cetakan	posisi proses pembuatan cetakannya memiliki jarak dengan tempat pengeringannya	aktivitas ini dapat dihilangkan jika proses pembuatan cetakannya di lokasi pengeringan cetakan
Delay (NVA)	Mengikir permukaan <i>Body 1</i>	Area pembuatan cetakan	Pengikiran permukaan <i>Body 1</i> ini karena ada perbedaan tinggi cetakan dari yang disesuaikan	Pembuatan cetakan sebaiknya memperhatikan ukuran atau tinggi cetakan secara presisi, agar tidak perlu dilakukan aktivitas pengikiran cetakan
Delay (NVA)	Mencari dan mempersiapkan alat saat assembly <i>Base kaki</i>	Area pembuatan cetakan	Masih terdapat aktivitas mencari beberapa alat yang diperlukan	Aktivitas mencari ini dapat dihilangkan dengan mempersiapkan peralatan dalam kondisi yang 5S
Delay (NVA)	Mengukur tinggi bagian kaki	Area pembuatan cetakan	Pengukuran tinggi bagian kaki	Sebaiknya saat pembuatan cetakan <i>Base kaki</i> tinggi cetakan sudah disesuaikan secara presisi
Delay (NVA)	Memposisikan cetakan <i>Body 2</i> untuk diukur	Area pembuatan cetakan	Cetakan <i>Body 2</i> diposisikan ke cetakan <i>Body 1</i> dan <i>Base</i> yang telah diassembly untuk mengetahui tinggi dari cetakan <i>Body 2</i> yang lebih presisi	aktivitas ini dapat dihilangkan jika tinggi <i>Body 2</i> sudah disesuaikan secara presisi saat proses pembuatan cetakan <i>Body 2</i>
Delay (NVA)	Mengeluarkan <i>Body 2</i> untuk dipotong	Area pembuatan cetakan	aktivitas mengeluarkan <i>Body 2</i> ini dari cetakan assembly <i>Base</i> dan <i>Body 1</i> kurang efisien	aktivitas ini dapat dihilangkan jika tinggi <i>Body 2</i> sudah disesuaikan secara presisi saat proses pembuatan cetakan <i>Body 2</i>
Delay (NVA)	Menyiapkan bahan bakaran	Area pembuatan cetakan	Kayu dan bahan bakaran baru disiapkan saat proses pembakaran akan dimulai	sebaiknya kayu dan bahan bakarannya sudah disiapkan sebelum proses pembakaran

<b>Kategori Aktivitas</b>	<b>Aktivitas</b>	<b>Area Aktivitas</b>	<b>Aktual</b>	<b>Usulan</b>
Delay (NVA)	Membuat pasir halus (mengayak pasir)	Area pengecoran	masih ada proses pengayakan pasir halus di posisi yang agak jauh dari posisi pengecoran	pasir halus sebaiknya sudah tersedia dan siap untuk digunakan untuk proses pengecoran
Delay (NVA)	Mengambil alat untuk meratakan pasir	Area pengecoran	mengambil alat dari posisi yang tergeletak jauh dari posisi pengecoran	Alat sebaiknya sudah didekatkan dengan posisi perataan pasir
Delay (NVA)	Mengambil alat untuk membersihkan cetakan pasir	Area pembersihan cetakan pasir (lokasi <i>finishing</i> )	penggunaan alat yang terkadang secara gantian, kondisi martil palu yang seringkali lepas	Menyediakan peralatan yang memadai dan perlu ada peralatan cadangan
Delay (NVA)	Menghidupkan dan setup mesin	Area pengecatan (lokasi <i>finishing</i> )	Mesin terkadang mati atau tidak bekerja dengan baik	perlu adanya maintenance mesin secara berkala
Delay (NVA)	setting sprayer	Area pengecatan (lokasi <i>finishing</i> )	sprayer tidak bekerja dengan baik, jadi sering dilakukan perbaikan terlebih dahulu sebelum digunakan	perlu adanya pengecekan dan perbaikan alat sprayer sebelum proses produksi berlangsung

### **5.5.3 Perbaikan Berdasarkan *Process Activity Mapping***

Berdasarkan usulan perbaikan yang telah dianalisis sebelumnya kemudian akan dijadikan landasan dalam memberikan usulan perbaikan berdasarkan *Process Activity Mapping* (PAM). Usulan perbaikan berdasarkan PAM ini bertujuan untuk mengurangi waktu siklus pada beberapa aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah pada produk. Adapun beberapa aktivitas yang dieliminasi ditandai dengan warna kuning, sedangkan aktivitas yang dapat direduksi waktunya ditandai dengan warna ungu, dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 *Process Activity Mapping* (PAM) Perbaikan

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
1	Pembuatan cetakan	Pembuatan cetakan <i>Base 1</i>	AA1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	2.26		T				NNVA	
			AA2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	0.83					D	NNVA	
			AA3	Menyiapkan dan setting alat				0					D	NVA
			AA4	Membuat cetakan sesuai pola	pola cetakan			14.43	O					VA
			AA5	Membuat lubang pada cetakan	jangka modifikasi, papan pola tang			2.58	O					VA
			AA6	Memasang tali janur dibawah cetakan				2.33	O					VA
		Pembuatan cetakan <i>Base 2</i>	AB1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	2.06		T					NNVA
			AB2	Mengambil pola cetakan		Fleksibel	0.50					D	NNVA	
			AB3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			13.03	O					VA
			AB4	Mengambil alat		Fleksibel	0.37					D	NNVA	
		Pembuatan cetakan <i>Body 1</i>	AC1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	1.95		T					NNVA
			AC2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	0.75					D	NNVA	
			AC3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			12.33	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
		Pembuatan cetakan <i>Body 2</i>	AD1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	2.20		T				NNVA
			AD2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	0.51				D		NNVA
			AD3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			14.13	O				VA
			AD4	Membuat tali plat janur untuk <i>Body 2</i>	tang			0				D	NVA
			AD5	Memasang tali plat janur pada <i>Body 1</i>	tang			0.49	O				VA
		Pembuatan cetakan <i>Head 1</i>	AE1	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.21					D	NNVA
			AE2	Memberi bubuk gram				1.49	O				VA
			AE3	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	2.93		T				NNVA
			AE4	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			17.42	O				VA
			AE5	Melepas pola cetakan				0.29	O				VA
			AE6	Menghaluskan cetakan	amplas			1.19	O				VA
			AE7	Menyiapkan peralatan plat janur		Fleksibel	0					D	NVA
			AE8	Membuat tali plat janur untuk <i>Head 1</i>	tang			0				D	NVA
			AE9	Memasang tali plat janur pada <i>Head 1</i>	tang			2.77	O				VA
		Pembuatan cetakan <i>Head 2</i>	AF1	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.18					D	NNVA
			AF2	Memberi bubuk gram				1.39	O				VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
			AF3	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	3.04		T				NNVA	
			AF4	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan		16.50	O					VA	
			AF5	Melepas pola cetakan			0.28	O					VA	
			AF6	Menghaluskan cetakan	amplas		1.36	O					VA	
			AF7	Menyiapkan peralatan plat janur		Fleksibel	0				D		NVA	
			AF8	Membuat tali plat janur untuk <i>Head 2</i>	tang		0				D		NVA	
			AF9	Memasang tali plat janur pada <i>Head 2</i>	tang		2.43	O					VA	
		Pembuatan cetakan <i>In-Head 1</i>	AG1	Mengambil campuran pasir silika	Ember	Fleksibel	2.20		T				NNVA	
			AG2	Mengambil alat dan pola cetakan			Fleksibel	0.85				D		NNVA
			AG3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			15.22	O					VA
			AG4	Melepas pola cetakan				0.78	O					VA
		Pembuatan cetakan <i>In-Head 2</i>	AH1	Mengambil campuran pasir silika	Ember	Fleksibel	2.22		T				NNVA	
			AH2	Mengambil alat dan pola cetakan			Fleksibel	0.70				D		NNVA
			AH3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			14.85	O					VA
			AH4	Melepas pola cetakan				0.74	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
	Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>		AI1	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	1.15		T				NNVA
			AI2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	0.38				D	NNVA	
			AI3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			8.13	O				VA
	Pembuatan cetakan tiang penyangga		AJ1	Mengambil dan mengaduk campuran pasir	Ember	Fleksibel	1.10		T			NNVA	
			AJ2	Mengambil alat dan pola cetakan		Fleksibel	0.42				D	NNVA	
			AJ3	Membuat cetakan dengan pola	pola cetakan			2.85	O				VA
			AJ4	Membawa cetakan ke tempat sementara		Fleksibel	0		T			NNVA	
	2	Pengeringan Tahap 1	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i>	B1	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i>			1440				D	NNVA
			Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i>	B2	Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i>			1440				D	NNVA
			Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i>	B3	Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i>			1440				D	NNVA
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i>			B4	Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i>			1440				D	NNVA	
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i>			B5	Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i>			1440				D	NNVA	
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i>			B6	Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i>			1440				D	NNVA	

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA		
								O	T	I	S	D			
		Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>	B7	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>			360.00					D	NNVA		
		Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>	B8	Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>			360.00					D	NNVA		
		Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>	B9	Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>			360.00					D	NNVA		
		Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>	B10	Pengeringan Tahap 1 <i>Tiang Penyangga</i>			600.00					D	NNVA		
3	Penghalusan	Penghalusan <i>Base 1</i>	CA1	Mengambil alat dan pasir		Fleksibel	1.00					D	NNVA		
			CA2	Penghalusan dengan campuran pasir	Amplas			13.40	O					VA	
			CA3	Penghalusan lapis kedua dengan cairan pasir	Amplas				2.65	O					VA
		Penghalusan <i>Head 1</i>	CB1	Mengambil alat dan pasir		Fleksibel			1.13		T				NNVA
			CB2	Pemberian campuran pasir ke cetakan					3.00	O					VA
			CB3	Mengamplas cetakan	Amplas				8.21	O					VA
		Penghalusan <i>Head 2</i>	CC1	Mengambil alat dan pasir		Fleksibel			1.39		T				NNVA
			CC2	Pemberian campuran pasir ke cetakan					3.20	O					VA
			CC3	Mengamplas cetakan	Amplas				8.61	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
4	Pengeringan Tahap 2	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>	D1	Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>			240.00					D	NNVA	
		Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	D2	Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>			240.00					D	NNVA	
		Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	D3	Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>			240.00					D	NNVA	
5	Pembakaran 1	Pembakaran <i>Base 1</i>	E1	Pembakaran <i>Base 1</i>			120.00	O					VA	
		Pembakaran <i>Base 2</i>	E2	Pembakaran <i>Base 2</i>			120.00	O					VA	
		Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	E3	Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>			120.00	O					VA	
		Pembakaran <i>Body 2</i>	E4	Pembakaran <i>Body 2</i>			120.00	O					VA	
6	Pelabelan	Pembuatan label/merk	F1	Mengamplas label	Amplas		1.17	O					VA	
			F2	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.24				D		NNVA	
			F3	Pembuatan pola sesuai label		pisau ukir		4.28	O					VA
			F4	Pemasangan label ke cetakan				2.12	O					VA
			F5	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan		kuas		0.68	O					VA
7	Perakitan	<i>Assembly Base</i>	GA1	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan <i>Base 1</i>	Kuas		0.59	O					VA	
			GA2	Ambil angkur		Fleksibel	1.16		T				NNVA	
			GA3	Peletakan angkur ke cetakan <i>Base 1</i>			1.28	O					VA	

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
			GA4	Pemasangan cetakan <i>Base 2</i> di atas <i>Base 1</i>			5.95	O					VA	
			GA5	Perekatan <i>Base 1</i> dan <i>Base 2</i> dengan campuran pasir			2.43	O					VA	
		Assembly <i>Base</i> dan <i>Body 1</i>	GB1	Mengikir permukaan <i>Body 1</i>	Alat kikir/gergaji		0				D		NVA	
			GB2	Pemasangan cetakan <i>Body 1</i> pada <i>Base</i>			0.43	O					VA	
			GB3	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.10					D		NNVA
			GB4	Mengukur tinggi cetakan	Gergaji		0.84	O					VA	
			GB5	Perekatan <i>Base</i> dan <i>Body</i> 1 dengan pasir			0.83	O					VA	
			Assembly Kaki <i>Base</i>	GC1	Mencari dan mempersiapkan alat		Fleksibel	0				D		NVA
			GC2	Pemotongan sisi edge dasar <i>Body 1</i>	Gergaji tangan		3.06	O					VA	
			GC3	Pembersihan pasir di bagian dalam cetakan	Kuas		0				D		NVA	
			GC4	Pemasangan bagian kaki pada <i>Base</i>			2.82	O					VA	
			GC5	Mengukur tinggi bagian kaki	Gergaji tangan		0				D		NVA	
			GC6	Merekatkan bagian kaki dan <i>Base</i> dengan pasir			20.68	O					VA	

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
			GC7	Mengoleskan cairan grafit ke cetakan kaki <i>Base</i>	Kuas		1.40	O					VA	
		Assembly <i>Base</i> dan Tiang Penyangga	GD1	Mencari dan mengambil alat dan cetakan		Fleksibel	0.38					D	NNVA	
			GD2	Mengukur tinggi tiang penyangga	Gergaji tangan			0.65	O					VA
			GD3	Mengikir/memotong cetakan tiang penyangga	Gergaji tangan dan alat kikir			3.10	O					VA
			GD4	Memasang dan merekatkan tiang penyangga				2.69	O					VA
		Assembly <i>Base</i> dan <i>Body 2</i>	GE1	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.33					D	NNVA	
			GE2	Memotong/mengikir cetakan <i>Body 2</i>	Gergaji tangan			2.38	O					VA
			GE3	Memposisikan cetakan <i>Body 2</i> untuk diukur				0					D	NVA
			GE4	Mengukur tinggi cetakan <i>Body 2</i>	Gergaji tangan			0.28	O					VA
			GE5	Mengeluarkan <i>Body 2</i> untuk dipotong				0					D	NVA
			GE6	Memasang cetakan <i>Body 2</i>				2.50	O					VA
			GE7	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel		0.71		T				NNVA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA	
								O	T	I	S	D		
			GE8	Merekatkan cetakan <i>Body 2</i> dengan pasir			2.05	O					VA	
		Assembly Cetakan <i>Head</i>	GF1	Pembersihan pasir bagian dalam	Kuas		0				D		NVA	
			GF2	Mencari dan mengambil alat		Fleksibel	0.60					D		NNVA
			GF3	Mengambil campuran pasir	Ember	Fleksibel	0.98		T					NNVA
			GF4	Mengambil cetakan <i>Head</i> 1		Fleksibel	0.25		T					NNVA
			GF5	Memposisikan dan memasang cetakan <i>Head</i> 1			1.13	O						VA
			GF6	Merekatkan cetakan <i>Head 1</i> ke cetakan assembly			5.07	O						VA
			GF7	Mengambil cetakan <i>InHead 1</i> dan <i>InHead 2</i>		Fleksibel	0.53		T					NNVA
			GF8	Memasang dan memposisikan <i>InHead 1</i> dan <i>InHead 2</i>			1.03	O						VA
			GF9	Merekatkan in <i>Head</i> dengan cetakan assembly			6.87	O						VA
			GF10	Mengoleskan grafit ke bagian dalam cetakan <i>Head 2</i>	Kuas		1.75	O						VA
			GF11	Mengukur dimensi cetakan antar <i>Head</i>	Meteran		0.37	O						VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
			GF12	Merekatkan permukaan atas in <i>Head</i> dan <i>Body</i>			2.32	O					VA
			GF13	Mengambil cetakan <i>Head</i> 2		Fleksibel	0.25		T				NNVA
			GF14	Memasang dan memposisikan cetakan <i>Head</i> 2			1.13	O					VA
			GF15	Merekatkan cetakan <i>Head</i> 2 ke cetakan assembly			2.75	O					VA
			GF16	Mengambil cetakan tiang penyangga untuk lubang cor		Fleksibel	1.63		T				NNVA
			GF17	Mengukur tinggi tiang penyangga untuk dipotong	Meteran		0.32	O					VA
			GF18	Memotong dan mengikir tiang penyangga	Gergaji tangan		3.43	O					VA
			GF19	Merekatkan lubang cor ke <i>Head</i>			7.77	O					VA
			GF20	Membuat lubang udara bagian atas <i>Head</i>			4.88	O					VA
8	Pembakaran 2	Pembakaran Cetakan Assembly	H1	Menyiapkan bahan bakaran			0					D	NVA
			H2	Pembakaran cetakan dengan arang			180.00	O					VA
			H3	Memasang tali plat janur pada cetakan	Tang		2.37	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
9	Pengangkutan cetakan siap timbun	Pengangkutan cetakan siap timbun	I1	Memposisikan mobil angkut	Mobil pick up		1.79					D	NNVA
			I2	Mengangkut cetakan ke mobil angkut	Manual		1.77	O					VA
			I3	Transportasi ke lokasi pengecoran	Mobil pick up	600 meter	2.74		T				NNVA
10	Penimbunan cetakan	Penimbunan Cetakan	J1	Menimbun cetakan dengan tanah pasir	Cangkul, sekop		7.67	O					VA
11	Peleburan	Peleburan	K1	Peleburan logam cair	Tanur induksi		58.30	O					VA
			K2	Penuangan logam cair ke ledel			1.44			S			NNVA
12	Pengecoran	Pengecoran	L1	Membuat pasir halus (mengayak pasir)	Ayakan, cangkul		0.00					D	NVA
			L2	Ambil pasir halus	lembaran sak semen	Fleksibel	0.37		T				NNVA
			L3	Menuangkan pasir halus ke dalam cetakan	lembaran sak semen		0.53	O					VA
			L4	Ambil alat untuk meratakan pasir		Fleksibel	0					D	NVA
			L5	Meratakan pasir yang dituang di dalam cetakan	Tongkat kayu		2.58	O					VA
			L6	Mengambil pembatas cor		Fleksibel	2.22		T				NNVA
			L7	Merangkai pembatas cor di atas cetakan			2.74	O					VA
			L8	Menuangkan logam cair ke cetakan	cintung		7.58	O					VA
			L9	Menimbun cetakan dengan pasir	cangkul		1.04	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA		
								O	T	I	S	D			
13	Pendinginan	Pendinginan pasca cor	M1	Pendinginan cetakan cor sampai mengeras			240.00	O						VA	
14	Pra-Finishing	Pengeluaran cet. pasca cor	NA1	Menggali tanah/pasir	cangkul		15.00	O						VA	
		Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	NB1	Mengangkut <i>bollard</i> dengan forklift	forklift		1.19	O						VA	
			NB2	Memasang tali crane ke <i>bollard</i>	palu besar		0.96	O							VA
			NB3	Mengangkut <i>bollard</i> ke mobil dengan crane	crane		2.55	O							VA
			NB4	Melepas tali crane dari <i>bollard</i>	linggis		0.30	O							VA
			NB5	transportasi ke lokasi <i>finishing</i>		mobil pick up	920 meter	3.07		T					NNVA
			Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	NC1	Pengangkutan <i>bollard</i> ke forklift dengan crane	crane		1.96	O						VA
				NC2	Melepas tali crane dari <i>bollard</i>	linggis		0.19	O						VA
				NC3	Transportasi forklift ke area penyimpanan sementara	forklift	43.2	1.17		T					NNVA
		15	Pembersihan cetakan pasir	Pembersihan sisa cetakan pasir	O1	Mengambil alat		7.12	0					D	
O2	Membuka dan melepaskan tali plat janur				tang		3.90					S		NNVA	
O3	Membersihkan cetakan pasir yang menempel				palu besar, linggis		26.06	O							VA
O4	memindahkan ke lokasi gerinda				forklift	11.5	1.77		T						NNVA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
16	Penggerindaan	Penggerindaan	P1	Mengambil dan menyiapkan alat		14.22	0.33					D	NNVA
			P2	Menggerinda permukaan <i>bollard</i>	gerinda tangan		21.58	O					VA
			P3	Merobohkan <i>bollard</i>	linggis		0.69	O					VA
			P4	Mengganti priringan gerinda	kunci inggris		0.77					D	NNVA
17	Pembersihan pasir dalam	Pembersihan pasir bagian dalam	Q1	Mengambil alat		Fleksibel	0.35					D	NNVA
			Q2	Membersihkan pasir bagian dalam	Palu, linggis		17.52	O					VA
18	Pendempulan	Pendempulan	R1	Mengambil dan menyiapkan alat		6 meter	0.33					D	NNVA
			R2	Mendempul permukaan <i>bollard</i>	Dempul		52.66	O					VA
			R3	Memindahkan <i>bollard</i> ke lokasi pengamplasan	forklift	13.13 meter	1.79		T				NNVA
19	Pengamplasan	Pengamplasan	S1	Mengambil alat		7.12 m	0.33					D	NNVA
			S2	Mengamplas permukaan <i>bollard</i>	Amplas, mesin amplas		83.37	O					VA
20	Pengecatan	Pengecatan	TA1	Mencari dan mengambil alat		6 m	0.33					D	NNVA
			TA2	Menghidupkan dan setup mesin			0					D	NVA
			TA3	Setting sprayer			0					D	NVA
			TA4	Membersihkan debu dari permukaan <i>bollard</i>	Kuas		0.38	O					VA
			TA5	Mengisi cat ke sprayer			0.80	O					VA
			TA6	Mengecat <i>bollard</i>	Cat Sprayer		2.65	O					VA

No	Proses	Sub-Proses	Kode	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (m)	Waktu (menit)	Aktivitas					VA/NVA /NNVA
								O	T	I	S	D	
		Pengeringan pasca cat	TB1	Mengeringkan <i>bollard</i> yang telah dicat			15.00	O					VA
			TB2	Membawa <i>bollard</i> ke area gudang jadi	forklift	43.2 meter	2.84			S			NNVA

Adapun ringkasan PAM dari hasil usulan perbaikan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. 8 berikut

Tabel 5. 7 Hasil Rekapitulasi PAM pada Kondisi Usulan

<b>Aktivitas</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>% waktu</b>	<b>% aktivitas</b>
Operasi (O)	96	1514.56	12%	59.26%
Transportasi (T)	26	42.28	0.34%	16.05%
Inspeksi (I)	0	0	0.00%	0.00%
Storage (S)	3	8.17	0.06%	1.85%
Delay (D)	37	11052.58	87.60%	22.84%
Total	162.00	12617.59	1.000	1.000

<b>Klasifikasi</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Waktu (menit)</b>	<b>% waktu</b>	<b>% aktivitas</b>
VA	96	1514.56	12%	59.26%
NVA	0	0.00	0%	0%
NNVA	66	11103.03	88%	40.74%
Total	162.00	12617.59	1.00	1.00

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa terdapat penurunan dari *lead time* proses produksi menjadi 12617.59 menit, serta jumlah aktivitas juga mengalami penurunan menjadi 162 aktivitas. Hasil ini diperoleh setelah dilakukan perancangan usulan perbaikan. Adanya penurunan dari jumlah aktivitas dan waktu penyelesaiannya, juga berdampak penurunan pada persentase waktu dan persentase aktivitas. Untuk aktivitas VA memiliki persentase waktu 12%, NVA sebesar 0%, dan NNVA sebesar 88%. Sedangkan untuk kategori aktivitas O memiliki persentase waktu sebesar 12%, aktivitas transportasi sebesar 0.34%, Inspeksi sebesar 0%, *storage* sebesar 0.06%, dan aktivitas *delay* sebesar 87.60%.

### 5.6 Analisis *Proposed State VSM*

Berdasarkan rancangan usulan perbaikan yang telah dilakukan, maka dapat dilakukan pemetaan hasil usulan dalam *proposed state Value Stream Mapping (VSM)*. Berikut ini merupakan perbandingan antara kondisi aktual dengan kondisi usulan pada Tabel 5. 8.

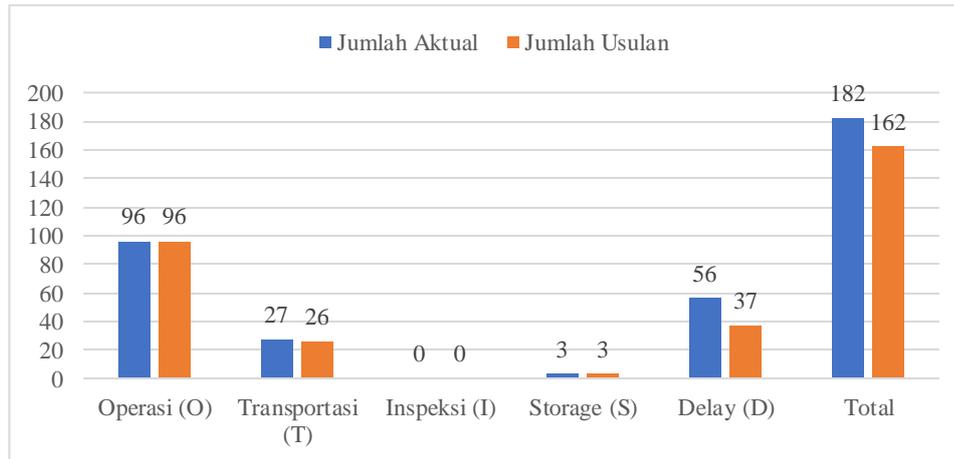
Tabel 5. 8 Perbandingan *uptime* dan *cycle time* pada kondisi aktual dan usulan

PROSES	<i>Uptime</i>		<i>Cycle Time</i>	
	Aktual	Usulan	Aktual	Usulan
Pembuatan cetakan <i>Base 1</i>	68.79%	86.21%	28.12	22.44
Pembuatan cetakan <i>Base 2</i>	57.53%	81.68%	22.65	15.95
Pembuatan cetakan <i>Body 1</i>	65.55%	82.03%	18.81	15.03
Pembuatan cetakan <i>Body 2</i>	64.63%	84.39%	22.62	17.33
Pembuatan cetakan <i>Head 1</i>	58.02%	88.06%	39.93	26.31
Pembuatan cetakan <i>Head 2</i>	56.95%	87.21%	38.55	25.17
Pembuatan cetakan <i>In-Head 1</i>	68.59%	83.97%	23.31	19.04
Pembuatan cetakan <i>In-Head 2</i>	69.25%	84.24%	22.51	18.51
Pembuatan cetakan <i>Base Kaki</i>	69.09%	84.17%	11.77	9.66
Pembuatan cetakan tiang penyangga	55.34%	65.24%	5.14	4.36
Pengeringan Tahap 1 <i>Base 1</i>	0.00%	0.00%	2160.00	1440.00
Pengeringan Tahap 1 <i>Base 2</i>	0.00%	0.00%	2160.00	1440.00
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 1</i>	0.00%	0.00%	2160.00	1440.00
Pengeringan Tahap 1 <i>Body 2</i>	0.00%	0.00%	2160.00	1440.00
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 1</i>	0.00%	0.00%	2160.00	1440.00
Pengeringan Tahap 1 <i>Head 2</i>	0.00%	0.00%	2160.00	1440.00
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 1</i>	0.00%	0.00%	360.00	360.00
Pengeringan Tahap 1 <i>In-Head 2</i>	0.00%	0.00%	360.00	360.00
Pengeringan Tahap 1 <i>Base Kaki</i>	0.00%	0.00%	360.00	360.00
Pengeringan Tahap 1 Tiang Penyangga	0.00%	0.00%	600.00	600.00
Penghalusan <i>Base 1</i>	88.09%	94.14%	18.23	17.06
Penghalusan <i>Head 1</i>	82.01%	90.83%	13.67	12.34
Penghalusan <i>Head 2</i>	79.61%	89.46%	14.84	13.21
Pengeringan Tahap 2 <i>Base 1</i>	0.00%	0.00%	240.00	240.00
Pengeringan Tahap 2 <i>Head 1</i>	0.00%	0.00%	240.00	240.00
Pengeringan Tahap 2 <i>Head 2</i>	0.00%	0.00%	240.00	240.00
Pembakaran <i>Base 1</i>	100.00%	100.00%	120.00	120.00
Pembakaran <i>Base 2</i>	100.00%	100.00%	120.00	120.00
Pembakaran <i>Body1, Head1, Head2</i>	100.00%	100.00%	120.00	120.00
Pembakaran <i>Body 2</i>	100.00%	100.00%	120.00	120.00
Pembuatan label/merk	77.69%	97.21%	10.63	8.50
Assembly <i>Base</i>	89.84%	89.84%	11.42	11.42
Assembly <i>Base dan Body 1</i>	45.57%	95.36%	4.60	2.20
Assembly <i>Kaki Base</i>	69.51%	100.00%	40.22	27.96
Assembly <i>Base dan Tiang Penyangga</i>	85.49%	94.39%	7.53	6.82
Assembly <i>Base dan Body 2</i>	69.66%	87.37%	10.35	8.25
Assembly <i>Cetakan Head</i>	76.91%	90.16%	50.50	43.08
Pembakaran <i>Cetakan Assembly</i>	98.29%	100.00%	185.55	182.37
Pengangkutan cetakan siap timbun	28.12%	28.12%	6.31	6.31

PROSES	Uptime		Cycle Time	
	Aktual	Usulan	Aktual	Usulan
Penimbunan Cetakan	100.00%	100.00%	7.67	7.67
Peleburan	97.59%	97.59%	59.74	59.74
Pengecoran	75.29%	84.82%	19.22	17.06
Pendinginan pasca cor	100.00%	100.00%	240.00	240.00
Pengeluaran cetakan pasca cor	100.00%	100.00%	15.00	15.00
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi produksi)	61.99%	61.99%	8.07	8.07
Pengangkutan <i>bollard</i> (di lokasi <i>finishing</i> )	64.66%	64.66%	3.32	3.32
Pembersihan sisa cetakan pasir	81.07%	82.14%	32.15	31.73
Penggerindaan	91.91%	95.29%	24.23	23.37
Pembersihan pasir bagian dalam	83.48%	98.06%	20.99	17.87
Pendempulan	91.96%	96.12%	57.27	54.78
Pengampelasan	99.24%	99.60%	84.01	83.70
Pengecatan	34.32%	91.94%	11.12	4.15
Pengeringan pasca cat	84.08%	84.08%	17.84	17.84

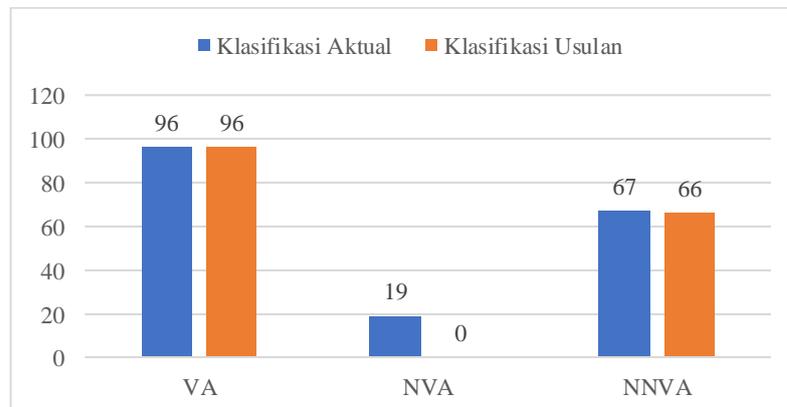
Berdasarkan Tabel 5. 8 diatas, dapat dilihat bahwa persentase nilai *uptime* pada sebagian besar proses mengalami peningkatan. Sebagian proses lainnya nilai *uptime* tidak ada perbedaan antara kondisi nyata dengan usulannya, seperti pada proses pengeringan tahap 1 dan tahap 2, pembakaran, pengangkutan cetakan siap timbun, penimbunan cetakan, peleburan, pendinginan pasca cor, pengeluaran cetakan pasca cor, pengangkutan *bollard* di lokasi produksi dan *finishing*, dan pengeringan pasca cat. Peningkatan persentase *uptime* pada kondisi usulan ini disebabkan adanya beberapa aktivitas yang dieliminasi dan direduksi, sehingga waktu siklus dari aktivitas NVA maupun NNVA akan berkurang dan persentase waktu aktivitas VA dapat meningkat. Pada beberapa proses yang persentase *uptime*-nya tidak mengalami peningkatan, tidak semua proses tersebut tidak mengalami penurunan waktu siklus pada kondisi usulan. Seperti halnya pada proses pengeringan tahap 1 untuk cetakan *Base 1*, *Base 2*, *Body 1*, *Body 2*, *Head 1*, dan *Head 2*, mengalami penurunan waktu siklus dari 2160 menit menjadi 1440 menit. Proses pengeringan ini termasuk dalam aktivitas NNVA, sehingga persentase *uptime* yang diperoleh sebesar 0% meskipun terjadi penurunan pada waktu siklusnya.

Selain dari perbandingan waktu siklus dan *uptime*, juga dilakukan perbandingan antara jumlah aktivitas pada kondisi awal dan kondisi usulan. Berikut Gambar 5. 2 adalah perbandingan pada keadaan *current state* VSM dan *proposed state* VSM.



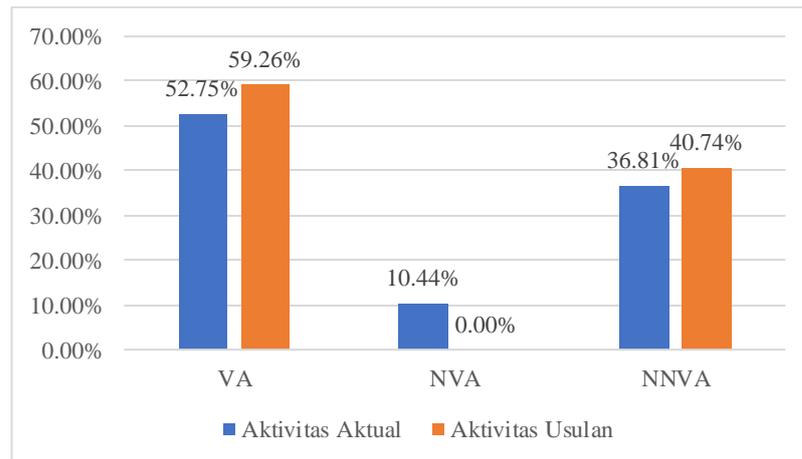
Gambar 5. 2 Perbandingan jumlah aktivitas pada kondisi aktual dan usulan

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat penurunan jumlah aktivitas pada aktivitas *delay* dari 56 aktivitas menjadi 37 aktivitas. Sehingga penurunan ini juga berpengaruh pada total aktivitas pada kondisi aktual sebanyak 182 aktivitas menjadi 162 aktivitas pada kondisi usulan. Penurunan jumlah aktivitas ini disebabkan oleh beberapa aktivitas yang dieliminasi sepanjang aliran proses produksi.



Gambar 5. 3 Perbandingan jumlah aktivitas VA, NVA, dan NNVA pada kondisi aktual dan usulan

Selain itu pada Gambar 5. 3, jika dilihat perbandingan antara jumlah aktivitas yang termasuk dalam VA tidak terdapat pengurangan aktivitas, akan tetapi pada kategori NVA terdapat pengurangan aktivitas yang signifikan dimana pada kondisi aktual sejumlah 19 menjadi 0 aktivitas pada kondisi usulan. Sedangkan untuk kategori NNVA hanya terdapat 1 aktivitas yang dapat dieliminasi dari kondisi aktual.



Gambar 5. 4 Perbandingan persentase aktivitas VA, NVA, dan NNVA pada kondisi aktual dan usulan

Pada Gambar 5. 4 diatas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan jumlah aktivitas yang signifikan pada kategori NVA yaitu dari 10.44% dari kondisi aktual menjadi 0% pada kondisi usulan. Hal ini disebabkan semua aktivitas yang termasuk dalam kategori NVA dieliminasi pada kondisi usulan.

## 5.6 Analisis Model Simulasi

Berdasarkan usulan perbaikan yang telah dirancang sebelumnya, sebagian proses produksi mengalami penurunan waktu siklus. Waktu siklus usulan pada masing-masing proses kemudian dijadikan sebagai *input* pada perancangan *proposed state model* atau model usulan. Adapun hasil yang diperoleh pada model usulan yaitu terjadi penurunan *lead time* menjadi 8778.28 menit. Untuk meyakinkan bahwa terjadi perbedaan yang signifikan antara *lead time* model awal dengan *lead time* model usulan perlu dilakukan uji beda. Uji beda tersebut dapat menggunakan pengujian statistik seperti uji kesamaan dua rata-rata dan uji kesamaan dua variansi. Untuk input data pada uji beda ini dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 9 Input data model awal dan model simulasi

Replikasi ke-	Model Awal	Model Usulan
1	11979.10	8778.28
2	11984.51	8778.28
3	11979.67	8778.28
4	11977.22	8778.28
5	11981.09	8778.28

Replikasi ke-	Model Awal	Model Usulan
6	11983.89	8778.28
7	11979.12	8778.28
8	11978.66	8778.28
9	11982.52	8778.28
10	11978.39	8778.28
11	11982.77	8778.28
12	11984.76	8778.28

Pada pengujian kesamaan dua rata-rata dilakukan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata yang cukup signifikan antara hasil model awal dengan hasil model usulan, dimana langkah pengujiannya sebagai berikut.

a. Menentukan Hipotesis

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ , atau tidak ada perbedaan antara rata-rata data *throughput* model awal dengan rata-rata data *throughput* pada model usulan.

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ , atau ada perbedaan rata-rata antara data *throughput* dari model awal dengan rata-rata data *throughput* pada model usulan.

b. Menentukan taraf signifikansi dan kriteria pengujian

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 5% atau 0.05, maka untuk  $\alpha/2$  adalah 0.025.

Kriteria Pengujian:

- $H_0$  diterima jika  $|t_0| < t_{\alpha/2, K-1}$
- $H_0$  ditolak jika  $|t_0| > t_{\alpha/2, K-1}$

c. Uji statistik

Adapun rumus statistic uji menurut Jerry Banks (2005) adalah sebagai berikut.

$$t_0 = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}}$$

dimana,  $\bar{d}$  adalah rata-rata perbedaan observasi antara *throughput* model simulasi dan *throughput* sistem nyata,  $S_d$  adalah standar deviasi dari perbedaan observasi antara *throughput* model simulasi dan *throughput* sistem nyata,  $K$  adalah jumlah replikasi data, dan  $\mu_d$  diasumsikan sama dengan nol ( $\mu_d = 0$ ). Tabel 5.10 berikut merupakan perhitungan data yang akan dilakukan pengujian berdasarkan rumus statistik uji.

Tabel 5. 10 Perhitungan data selisih output model awal dan model usulan

Replikasi ke-	Model Awal ( $Z_{ij}$ )	Model Usulan ( $W_{ij}$ )	Observed Difference (dj)
1	11979.10	8778.28	3200.82
2	11984.51	8778.28	3206.23
3	11979.67	8778.28	3201.39
4	11977.22	8778.28	3198.94
5	11981.09	8778.28	3202.81
6	11983.89	8778.28	3205.61
7	11979.12	8778.28	3200.84
8	11978.66	8778.28	3200.38
9	11982.52	8778.28	3204.24
10	11978.39	8778.28	3200.11
11	11982.77	8778.28	3204.49
12	11984.76	8778.28	3206.48
		<b>d'</b>	<b>3202.69</b>
		<b>Sd</b>	<b>2.63</b>

Sehingga nilai  $t_0$  yang dapat diperoleh dengan rumus uji tersebut adalah.

$$\begin{aligned}
 t_0 &= \frac{\bar{d} - \mu_d}{s_d / \sqrt{K}} \\
 &= \frac{3202.69}{2.63 / \sqrt{12}} \\
 &= 4225.668
 \end{aligned}$$

d. Kesimpulan

Pada level pengujian  $\alpha = 0.05$ , untuk uji dua sisi diperoleh nilai  $t_{\alpha/2, K-1} = \pm 2.593$ , maka berdasarkan kriteria pengujian nilai  $t_0 > t_{\alpha/2, K-1}$ . Dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata *throughput* dari model awal dengan rata-rata *throughput* dari model usulan ( $H_0$  ditolak).

Selanjutnya pada pengujian kesamaan dua variansi diperlukan untuk membandingkan apakah data dari model usulan memiliki keragaman data yang signifikan dengan data dari model awalnya. Adapun langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut.

a. Menentukan Hipotesis

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ , atau tidak ada perbedaan variansi data antara *throughput* model awal dengan *throughput* pada model usulan.

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ , atau ada perbedaan variansi data antara *throughput* model awal dengan *throughput* pada model usulan.

b. Menentukan taraf signifikansi dan kriteria pengujian

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 5% atau 0.05, maka untuk  $\alpha/2$  adalah 0.025.

Kriteria Pengujian:

- $H_0$  diterima jika  $F_{0.975,11,11} < F_{hitung} < F_{0.025,11,11}$
- $H_0$  ditolak jika  $F_{hitung} > F_{0.025,11,11}$  atau  $F_{hitung} < F_{0.975,11,11}$

Nilai  $F_{0.975,11,11}$  adalah 0.288, dan  $F_{0.025,11,11}$  adalah 3.474.

Sampel dengan varian terbesar dinyatakan sebagai sampel 1 atau pembilang dalam rasio uji.

c. Uji statistik

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{s_1^2}{s_2^2} \\ &= \frac{6.893}{0} \\ &= \infty \end{aligned}$$

d. Kesimpulan

Berdasarkan uji statistik yang telah dilakukan, didapatkan bahwa nilai  $F_{hitung}$  yaitu  $\infty$  (tak terhingga) dimana menurut kriteria pengujian nilai  $F_{hitung} > F_{0.025,11,11}$ . Hal ini menunjukkan bahwa  $H_0$  ditolak atau ada perbedaan variansi antara data *throughput* model awal dengan data *throughput* model usulan.

Berdasarkan kedua pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dari rata-rata dan variansi antara model awal dan model usulan. Pada model awal, rata-rata *lead time* penyelesaiannya adalah 11980.9748 menit. Sehingga dapat diketahui bahwa dengan menerapkan usulan perbaikan pada kondisi usulan dapat menurunkan *lead time* penyelesaian mencapai 26.73% dari hasil model awal. Perubahan ini didasarkan atas implikasi positif dari rekomendasi perbaikan yang diusulkan untuk diterapkan pada CV. Mega Jaya Logam.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bagian sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pemborosan yang paling dominan terjadi pada rangkaian proses produksi adalah jenis pemborosan *excessive motion* sebesar 17.86%, *inventory* sebesar 16.50%, dan *waiting* sebesar 15.89%.
- b. *Detailed mapping tools* yang tepat digunakan dalam upaya mengeliminasi pemborosan *excessive motion*, *inventory*, dan *waiting* adalah *Process Activity Mapping* (PAM) dengan skor 558.90. Berdasarkan hasil analisis PAM, total waktu untuk aktivitas *value added* adalah 1514.56 menit atau sebesar 8.88% dari total waktu keseluruhan, aktivitas *non-value added* adalah 46.99 menit atau 0.28% dari total waktu keseluruhan, dan aktivitas *necessary non-value added* adalah 15486.31 menit atau 90.84% dari total waktu keseluruhan.
- c. Rancangan usulan perbaikan yang dapat diterapkan pada proses produksi di CV. Mega Jaya Logam secara ringkas yaitu dengan pendekatan konsep Kaizen, diantaranya seperti perbaikan area kerja dengan 5S terutama pada area pencetakan, eliminasi kegiatan yang dapat disiapkan sebelum proses produksi berlangsung, menyediakan peralatan yang memadai dan melakukan pengecekan/pembaharuan pada peralatan yang ada secara berkala, pengambilan peralatan secara sekaligus untuk mengeliminasi pemborosan *motion*, dan perlu dilakukan *maintenance* mesin secara berkala. Selain itu juga perbaikan pada proses pengeringan dapat dibantu dengan pembakaran, akan tetapi usulan ini

dapat berdampak pada meningkatnya biaya produksi. Untuk selebihnya secara detail usulan perbaikan dapat dilihat pada bab sebelumnya.

- d. Berdasarkan hasil simulasi model awal diperoleh *lead time* penyelesaiannya adalah 11980.97 menit, sedangkan dari hasil simulasi pada model usulan *lead time* penyelesaian yang diperoleh adalah 8778.28 menit. Sehingga dengan menerapkan usulan perbaikan pada kondisi usulan dapat menurunkan *lead time* penyelesaian sebesar 26.73% dari kondisi model awal.

## 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada CV. Mega Jaya Logam antara lain:

- a. Menerapkan sistem kaizen berupa perbaikan kecil pada setiap proses secara berkelanjutan untuk mengurangi pemborosan proses.
- b. Menerapkan 5S pada keseluruhan proses dan area kerja yang melibatkan semua pihak.
- c. Melakukan kontrol pada setiap lini proses produksi untuk mencegah terjadinya pemborosan.
- d. Menumbuhkan komitmen seluruh pegawai untuk bersama-sama mewujudkan kondisi yang lebih baik berdasarkan rekomendasi perbaikan yang diberikan.
- e. Pada saat penerapan untuk memastikan usulan perbaikan berjalan sebagaimana mestinya perlu ditunjuk orang yang memiliki latar belakang teknik industri yang jelas dan berkompetisi untuk mengendalikan proses produksi dan rekomendasi yang diberikan.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

- a. Mengimplementasikan 5S secara keseluruhan pada setiap lini produksi maupun lingkup perusahaan.
- b. Penerapan line balancing untuk mengetahui ketidakseimbangan sistem produksi.
- c. Membandingkan kondisi produktivitas pada aktual dengan pasca penerapan usulan perbaikan.
- d. Menemukan dan menganalisa teknik pengeringan untuk proses pengeringan cetakan pasir yang lebih efisien dan hemat biaya dalam jangka waktu yang lama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ackoff, R. L. (1962). *Scientific Method : Optimizing Applied Research Decision* . New York: Wiley.
- Al-Khafaji, K. H., & Al-Rufaifi, M. R. (2012). A Case Study of Production Improvement by Using Lean with Simulation Modelling. *Prosiding International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Istanbul Turkey.
- Altiock, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA 1st edition*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- APICS. (2005). *APICS Dictionary*. Bandung: ALFABETA.
- Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. L. (1996). *Discrete-Event System Simulation*. Jersey: Prentice Hall.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation, 4th Edition*. Amerika Serikat: Prentice Hall, Inc.
- Barlas, Y. (2002). System Dynamics : Systemic Feedback Modeling for Policy Analysis. *Encyclopedia of Life Support System*, 1131-1175.
- Chrysler, F. G. (1995). *Measurement System Analysis (2nd)*. Detroit: MI: Automotive Industri Action Group.
- Daonil. (2012). *Implementasi Lean Manufacturing untuk Eliminasi Waste pada lini Produksi Machining Cast Wheel dengan Menggunakan Metode WAM dan VALSAT*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Enarsson, L. (1998). Evaluation of Suppliers: How to Consider the environment. *International journal of physical Distribution & Logistics Management*, 5-17.
- Febianti, E., Kurniawan, B., & Alviansyah, I. (2017). Analisis Proses Produksi Module Condensor Menggunakan Lean Manufacturing dengan Pendekatan Simulasi di PT. XYZ. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*.
- Gaspersz, V. (2002). *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Gaspersz, V. (2007). *Lean Sig Sigma for Manufacturing and Service Industries*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The Seven Value Stream Mapping Tools. *Journal of Operation & Production Management, Vol. 17 No.1*, 46-64.

- Jakfar, A., Setiawan, W. E., & Masudin, I. (2014, Juni). Pengurangan Waste Menggunakan Pendekatan Lean Manufacturing. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 13(No. 1), 43-53.
- Khazani M, e. (2006). K-Chart, A tool for Research Planning and Monitoring. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 123-129.
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modelling and Analysis*. 4th ed. New York City: McGraw-Hill.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modelling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Mahfouz, A., Crowe, J., & Arisha, A. (2011). Integrating Current State and Future State VSM With Discrete Event Simulation: a Lean Distribution Case Study. *Conference Papers*. Dublin, Irlandia: Dublin Institute of Technology.
- Matt, D., & Rauch, E. (2013). Implementation of Lean Production in small sized Enterprises. *Procedia CIRP 12* (pp. 420-425). Elsevier B.V.
- Monden, Y. (2011). *Toyota Production System: an Integrated Approach to Just-in-Time*. Boca Raton: CRC Press.
- Murdick, R. G., & dkk. (1991). *Sistem Informasi untuk Manajemen Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Nashrulhaq, M. I., Nugraha, C., & Imran, A. (2014, Juli). Model Simulasi Sistem Antrean Elevator. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 02(01), 121-131.
- Nikkei. (2018, Oktober 1). *PMI Manufaktur Indonesia dari Nikkei: Kondisi Manufaktur Membaik pada Laju yang Lebih Lambat*. Retrieved from PMI by IHS Markit: <https://www.markiteconomics.com/>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Florida: Productivity Press.
- Omogbai, O., & Salonitis, K. (2016). Manufacturing system lean improvement design using discrete event simulation. *Procedia CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 57, pp. 195-200. Bedfordshire, England: Elsevier B.V.
- Rawabdeh, I. A. (2005). A Model for The Assesment of Waste in Job Shop Environments. *The Emerald Research*, 4.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda : Version 1.3*. Lean Enterprise Institute.

- Scavarda, A. J., Chameeva, T. B., Goldstein, S. M., Hays, J. M., & Hill, A. V. (2004). Review of the Causal Mapping Practice and Research literature. . *Second World Conference on POM and 15th Annual POM Conference*, (pp. 1-9).
- Stadnicka, D., & Antonelli, D. (2015, January). Application of Value Stream Mapping and Possibilities of Manufacturing Processes Simulation in Automotive Industry. *FME Transactions*, 43(4), 279-286.
- Surgent, S. G. (2013). Verification and Validation of Simulation Models. *Journal of Validation*, 12-24.
- Tilak, M., Aken, E. V., McDonald, T., & Kannan, R. (2010). *Value Stream Mapping: A Review and Comparative Analysis of Recent Applications*. USA: Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg.
- Trenggonowati, D. L. (2016). Simulasi Sistem Produksi di PT. Jakarta Cakratunggal Steel Mills. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 4(1), 36-46.
- Womack, S. P., Jones, D. T., & Ross. (1990). *Lean Thinking*. New York: Muckmillan Publishing Company.
- Xia, W., & Sun, J. (2013, January). Simulation guided value stream mapping and lean improvement: A case study of tubular machining facility. *Journal of Industrial Engineering Management*, 6(2), 456-476.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Keterkaitan antar pemborosan

<b><i>Overproduction</i></b>	
O_I	<i>Over-production</i> menghabiskan dan membutuhkan jumlah bahan baku yang besar dimana menyebabkan penumpukan bahan baku dan memproduksi lebih banyak <i>work-in-process</i> (WIP) yang menghabiskan ruang lantai produksi, dan dianggap sebagai bentuk inventaris sementara yang tidak dipesan oleh pelanggan.
O_D	Ketika operator memproduksi berlebih, perhatian terhadap kualitas produk yang dihasilkan akan berkurang, karena beranggapan bahwa masih banyak material yang tersedia untuk menggantikan produk yang cacat.
O_M	<i>Over-production</i> mengakibatkan perilaku non-ergonomis, yang berakibat pada metode kerja yang tidak standar dengan pemborosan gerakan yang cukup besar ( <i>motion losses</i> ).
O_T	<i>Over-production</i> menyebabkan kegiatan transportasi yang lebih tinggi untuk mengikuti aliran material yang berlebih.
O_W	Ketika memproduksi berlebihan, sumber daya akan disediakan waktu yang lebih lama, sehingga pelanggan lain akan menunggu dan menyebabkan antrian yang panjang.
<b><i>Inventory</i></b>	
I_O	Semakin tinggi tingkat bahan baku yang disimpan dapat mendorong pekerja untuk bekerja secara berlebihan, sehingga dapat meningkatkan profitabilitas perusahaan.
I_D	Meningkatkan <i>inventory</i> (RM, WIP, dan FG) akan meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat karena kurangnya perhatian operator terhadap produk dan kondisi penyimpanan yang tidak sesuai.
I_M	Meningkatkan <i>inventory</i> akan meningkatkan waktu dalam pencarian, pemilihan, memegang, menjangkau, memindahkan, dan <i>handling</i> .
I_T	Meningkatkan <i>inventory</i> terkadang menghambat celah ( <i>aisles</i> ) yang tersedia, sehingga mengakibatkan kegiatan produksi lebih banyak memakan waktu transportasi.
<b><i>Defect</i></b>	
D_O	Perilaku <i>over-production</i> muncul untuk mengatasi permasalahan kekurangan <i>parts</i> karena cacat ( <i>defect</i> ).
D_I	Memproduksi <i>parts</i> yang cacat dan perlu dikerjakan ulang mengakibatkan adanya peningkatan tingkat WIP yang ada dalam bentuk persediaan.
D_M	Memproduksi produk yang cacat meningkatkan waktu dalam pencarian, pemilihan, dan proses inspeksi bagian, belum lagi bahwa pengerjaan ulang ( <i>rework</i> ) membutuhkan keterampilan operator yang lebih tinggi.
D_T	Memindahkan bagian yang rusak ke stasiun pengerjaan ulang akan meningkatkan intensitas transportasi (arus balik) yang sia-sia.
D_W	Pengerjaan ulang ( <i>rework</i> ) akan membutuhkan workstation sehingga bagian-bagian baru akan menunggu terlebih dahulu untuk diproses.
<b><i>Motion</i></b>	
M_I	Metode kerja yang tidak standar menyebabkan tingginya jumlah WIP.

M_D	Kurangnya pelatihan dan standardisasi berarti persentase jumlah cacat akan meningkat.
M_P	Ketika pekerjaan tidak terstandardisasi, pemborosan dalam pemrosesan akan meningkat karena kurangnya pemahaman terkait kapasitas teknologi yang tersedia.
M_W	Ketika standar belum ditetapkan, waktu akan terbuang karena ada aktivitas mencari, menggenggam, memindahkan, merakit, yang mengakibatkan peningkatan part yang harus menunggu.
<b>Transportation</b>	
T_O	Produk yang diproduksi berlebihan dari yang dibutuhkan berdasarkan sistem kapasitas material handling untuk meminimalkan biaya transportasi per unit. (ongkos material handling).
T_I	Ketidakcukupan jumlah peralatan penanganan material (MHE) menyebabkan lebih banyak persediaan yang dapat mempengaruhi proses lainnya.
T_D	Alat material handling (MHE) berperan peran penting dalam pemborosan transportasi. Alat material handling yang tidak cocok terkadang dapat merusak barang yang menyebabkan cacat.
T_M	Ketika barang dipindahkan di mana saja, hal ini berarti kemungkinan pergerakan yang tidak diperlukan semakin besar ditandai dengan double handling dan pencarian yang berulang.
T_W	Jika alat material handling (MHE) tidak mencukupi, ini berarti bahwa barang-barang dalam kondisi idle (diam), dan menunggu untuk dipindahkan
<b>Process</b>	
P_O	Untuk menghemat biaya operasi per waktu mesin, mesin didorong untuk beroperasi pada shift penuh, yang akhirnya menyebabkan kelebihan produksi.
P_I	Menggabungkan operasi dalam satu sel akan menghasilkan secara langsung terhadap untuk mengurangi jumlah WIP karena dapat mengeliminasi buffer.
P_D	Jika mesin tidak dirawat dengan benar maka dapat mengakibatkan cacat produksi.
P_M	Teknologi pemrosesan baru yang tidak diimbangi dengan pelatihan yang memadai dapat menciptakan pemborosan pergerakan manusia.
P_W	Ketika teknologi yang digunakan tidak sesuai, waktu pengaturan (setup) dan waktu <i>downtime</i> yang berulang akan mengakibatkan tingginya waktu tunggu.
<b>Waiting</b>	
W_O	Ketika sebuah mesin menunggu karena pemasok sedang melayani pelanggan lain, mesin terkadang dipaksa untuk menghasilkan produk lebih banyak, hanya untuk menjaga mesin tetap berjalan atau bekerja.
W_I	Menunggu berarti banyak item yang diperlukan pada titik atau periode tertentu, baik barang tersebut berupa bahan baku ( <i>raw material</i> ), WIP (barang dalam proses), dan produk jadi ( <i>finished good</i> ).
W_D	Barang yang menunggu dapat menyebabkan cacat karena kondisi yang kurang cocok atau tidak sesuai.

Lampiran 2. Daftar pertanyaan *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ)

Pertanyaan		Quest. Type	Category	Jwb
<b>Kategori: Manusia</b>				
1	Apakah pihak manajemen sering melakukan pemindahan operator untuk semua pekerja (mesin) sehingga satu jenis pekerjaan dapat dilakukan oleh berbagai operator?	<i>To Motion</i>	B	
2	Apakah supervisor menetapkan standar untuk jumlah waktu dan kualitas produk yang ditargetkan dalam produksi?	<i>From Motion</i>	B	
3	Apakah pengawasan untuk pekerjaan shift malam sudah cukup?	<i>From Defects</i>	B	
4	Apakah ada langkah positif untuk meningkatkan semangat kerja?	<i>From Motion</i>	B	
5	Apakah ada program pelatihan untuk karyawan baru?	<i>From Motion</i>	B	
6	Apakah pekerja memiliki rasa tanggung jawab kepada pekerjaannya?	<i>From Defects</i>	B	
7	Apakah perlindungan keselamatan kerja sudah dimanfaatkan di area kerja?	<i>From Process</i>	B	
<b>Kategori: Material</b>				
8	Apakah lead time dari proses produksi tersedia untuk mengatur jadwal produksi?	<i>To Waiting</i>	B	
9	Apakah sudah terdapat pengecekan jadwal untuk ketersediaan material sebelum produksi dimulai?	<i>From Waiting</i>	B	
10	Apakah part (barang/produk) diterima dalam satu muatan	<i>From Transportation</i>	B	
11	Apakah bagian perencanaan produksi memberi pemberitahuan yang cukup sebelumnya kepada tenaga kerja Part Control mengenai aktivitas penyimpanan barang?	<i>From Inventory</i>	B	
12	Apakah tenaga kerja Part Control diingatkan sebelumnya mengenai perubahan inventori yang direncanakan?	<i>From Inventory</i>	B	
13	Apakah terdapat akumulasi material berlebihan yang menunggu diperbaiki, dikerjakan ulang, atau dikembalikan ke proses produksi?	<i>From Defects</i>	A	
14	Apakah terdapat material tidak penting di sekitar tempat tumpukan material?	<i>From Inventory</i>	A	
15	Apakah tenaga kerja produksi berdiri di sekitar area produksi menunggu kedatangan material?	<i>From Waiting</i>	A	
16	Apakah material dipindahkan lebih sering daripada yang dibutuhkan?	<i>To Defects</i>	A	
17	Apakah part yang rapih seringkali rusak di aktivitas transportasi?	<i>From Defects</i>	A	

	<b>Pertanyaan</b>	<i>Quest. Type</i>	<i>Cate gory</i>	<b>Jwb</b>
18	Apakah WIP area dikacaukan dengan part dan material yang digunakan atau dipindah untuk proses berikutnya?	<i>From Transportation</i>	A	
19	Apakah material yang dibongkar muat secara mekanik harus ditangani secara manual?	<i>To Motion</i>	A	
20	Apakah digunakan wadah sebelum pengemasan untuk mempermudah perhitungan jumlah dan material handling?	<i>From Waiting</i>	B	
21	Apakah item yang identik disimpan dalam satu lokasi untuk meminimasi waktu yang dihabiskan dalam proses pencarian dalam penanganan persediaan?	<i>From Motion</i>	B	
22	Apakah tersedia tempat besar yang mudah dibawa untuk menghindari perulangan handling dengan tempat yang kecil?	<i>From Transportation</i>	B	
23	Apakah material diuji untuk mengetahui kesesuaian terhadap spesifikasi ketika material dikirim?	<i>From Defects</i>	B	
24	Apakah material dapat diidentifikasi dengan tepat melalui nomor part?	<i>From Motion</i>	B	
25	Apakah terdapat penyimpanan barang yang masih dalam proses (WIP) untuk diproses selanjutnya?	<i>From Inventory</i>	A	
26	Apakah terdapat pemesanan bahan baku yang kemudian menyimpannya dalam persediaan meskipun bahan baku tersebut tidak diperlukan segera?	<i>From Inventory</i>	A	
27	Apakah terdapat pelanggaran rute aliran Work In Process?	<i>To Waiting</i>	B	
28	Apakah Anda harus mengerjakan ulang untuk desain produk yang tidak sesuai?	<i>From Defects</i>	A	
29	Apakah bahan baku tiba tepat waktu ketika dibutuhkan?	<i>From Waiting</i>	B	
30	Apakah terdapat tumpukan barang jadi di dalam gudang yang tidak memiliki pelanggan yang tidak dijadwalkan?	<i>From Overproduction</i>	A	
31	Apakah sparepart / onderdil disimpan dengan baik?	<i>To Motion</i>	B	
<b>Kategori: Mesin</b>				
32	Apakah pengujian terhadap efisiensi mesin dan pengujian standar spesifikasi manufaktur sudah dilakukan secara periodik?	<i>From Process</i>	B	
33	Apakah beban kerja untuk tiap mesin dapat diprediksi dengan jelas?	<i>To Waiting</i>	B	
34	Ketika dalam sekali suatu mesin telah dipasang, apakah ada tindak lanjut untuk melihat apabila mesin bekerja berdasarkan spesifikasinya?	<i>From Process</i>	B	
35	Apakah kapasitas peralatan material handling cukup untuk mengangkat pekerjaan yang paling berat?	<i>From Transportation</i>	B	

	<b>Pertanyaan</b>	<b>Quest. Type</b>	<b>Cate gory</b>	<b>Jwb</b>
36	Jika peralatan material handling digunakan, apakah jumlah material yang dibawa cukup?	<i>To Motion</i>	B	
37	Apakah kebijakan produksi menekan Anda untuk memproduksi lebih dalam rangka mencapai pemanfaatan mesin yang terbaik?	<i>From Overproduction</i>	A	
38	Apakah mesin sering berhenti karena gangguan mekanis?	<i>From Waiting</i>	A	
39	Apakah peralatan yang diperlukan sudah tersedia dan cukup untuk tiap proses?	<i>From Waiting</i>	B	
40	Apakah peralatan material handling membahayakan terhadap part yang dibawa?	<i>To Defects</i>	A	
41	Apakah waktu setup yang lama, dan menyebabkan penundaan terhadap aliran operasi?	<i>From Waiting</i>	A	
42	Apakah terdapat peralatan yang tidak terpakai atau rusak namun masih tersedia di tempat kerja?	<i>To Motion</i>	A	
43	Apakah ada pertimbangan untuk meminimasi frekuensi dari setup dengan menyesuaikan penjadwalan dan desain?	<i>From Process</i>	B	
<b>Kategori: Metode</b>				
44	Apakah luas area stok tersedia untuk menghindari kemacetan jalur transportasi?	<i>To Transportation</i>	B	
45	Apakah ada sistem penomoran yang baik dalam pengambilan material untuk memudahkan dalam mencari dan menyimpan material?	<i>From Motion</i>	B	
46	Apakah ruang penyimpanan digunakan secara efektif untuk penyimpanan part?	<i>From Waiting</i>	B	
47	Apakah gedung dibagi menjadi dua area, area aktif untuk order yang paling sering dan stok cadangan untuk orderan lainnya?	<i>To Motion</i>	B	
48	Apakah waktu produksi disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan?	<i>To Waiting</i>	B	
49	Apakah jadwal produksi dikomunikasikan antar departemen, sehingga isi jadwal dipahami secara luas?	<i>To Defects</i>	B	
50	Apakah sudah dibentuk standar produksi untuk memudahkan loading mesin dengan benar?	<i>From Motion</i>	B	
51	Apakah sudah ada suatu sistem Quality Control di dalam perusahaan yang selalu diterapkan?	<i>From Defects</i>	B	
52	Apakah pekerjaan dan operasi memiliki waktu standar yang dibentuk melalui metode ilmu teknik industri?	<i>From Motion</i>	B	
53	Apabila ditemukan suatu delay, apakah delay tersebut dikomunikasikan ke semua departemen?	<i>To Waiting</i>	B	

	<b>Pertanyaan</b>	<i>Quest. Type</i>	<i>Cate gory</i>	<b>Jwb</b>
54	Apakah kebutuhan untuk part yang umum dijadwalkan sehingga tidak ada pengulangan setup yang tidak semestinya untuk memproduksi item yang sama?	<i>From Process</i>	B	
55	Apakah ada suatu kemungkinan mengkombinasikan langkah tertentu untuk membentuk suatu langkah tunggal?	<i>From Process</i>	B	
56	Apakah ada prosedur untuk menginspeksi produk yang dikembalikan?	<i>To Defects</i>	B	
57	Apakah arsip inventori digunakan untuk tujuan seperti membeli material dan menjadwalkan produksi?	<i>From Inventory</i>	B	
58	Apakah aisle selalu dibersihkan dan dirapikan dengan baik?	<i>To Transportation</i>	B	
59	Apakah area penyimpanan diberi tanda pada bagian-bagian tertentu?	<i>To Motion</i>	B	
60	Apakah luas aisle cukup untuk pergerakan bebas alat-alat?	<i>To Transportation</i>	B	
61	Apakah area gudang digunakan untuk menyimpan material yang tidak seharusnya disimpan?	<i>To Motion</i>	A	
62	Apakah ada jadwal tetap untuk membersihkan pabrik?	<i>To Motion</i>	B	
63	Apakah kebanyakan aliran produksi mengalir satu arah?	<i>From Motion</i>	B	
64	Apakah ada suatu kelompok yang berurusan dengan desain, konstruksi komponen, drafting, dan bentuk lain dari standarisasi?	<i>From Motion</i>	B	
65	Apakah standar kerja memiliki tujuan yang jelas dan spesifik?	<i>From Motion</i>	B	
66	Apakah ketidakseimbangan kerja dapat diprediksi?	<i>From Overproduction</i>	B	
67	Apakah prosedur kerja yang sudah ada mampu menghilangkan pekerjaan yang tidak perlu atau berlebihan?	<i>From Process</i>	B	
68	Apakah hasil Quality Control, uji produk, dan evaluasi dilakukan melalui ilmu keteknikan?	<i>From Defects</i>	B	

## Lampiran 3. Hasil wawancara WAQ

	Pertanyaan	Jenis Pertanyaan	Kate- gori	Jwbn	Skor
<b>Kategori: Manusia</b>					
1	Apakah pihak manajemen sering melakukan pemindahan operator untuk semua pekerja (mesin) sehingga satu jenis pekerjaan dapat dilakukan oleh berbagai operator?	To Motion	B	Sedang	0.5
2	Apakah supervisor menetapkan standar untuk jumlah waktu dan kualitas produk yang ditargetkan dalam produksi?	From Motion	B	Ya	0
3	Apakah pengawasan untuk pekerjaan shift malam sudah cukup?	From Defects	B	Ya	0
4	Apakah ada langkah positif untuk meningkatkan semangat kerja?	From Motion	B	Ya	0
5	Apakah ada program pelatihan untuk karyawan baru?	From Motion	B	Ya	0
6	Apakah pekerja memiliki rasa tanggung jawab kepada pekerjaannya?	From Defects	B	Sedang	0.5
7	Apakah perlindungan keselamatan kerja sudah dimanfaatkan di area kerja?	From Process	B	Ya	0
<b>Kategori: Material</b>					
8	Apakah lead time dari proses produksi tersedia untuk mengatur jadwal produksi?	To Waiting	B	Ya	0
9	Apakah sudah terdapat pengecekan jadwal untuk ketersediaan material sebelum produksi dimulai?	From Waiting	B	Ya	0
10	Apakah part (barang/produk) diterima dalam satu muatan	From Transportation	B	Tidak	1
11	Apakah bagian perencanaan produksi memberi pemberitahuan yang cukup sebelumnya kepada tenaga kerja Part Control mengenai aktivitas penyimpanan barang?	From Inventory	B	Ya	0
12	Apakah tenaga kerja Part Control diingatkan sebelumnya mengenai perubahan inventori yang direncanakan?	From Inventory	B	Ya	0
13	Apakah terdapat akumulasi material berlebihan yang menunggu diperbaiki, dikerjakan ulang, atau dikembalikan ke proses produksi?	From Defects	A	Tidak	0
14	Apakah terdapat material tidak penting di sekitar tempat tumpukan material?	From Inventory	A	Ya	1
15	Apakah tenaga kerja produksi berdiri di sekitar area produksi menunggu kedatangan material?	From Waiting	A	Tidak	0
16	Apakah material dipindahkan lebih sering daripada yang dibutuhkan?	To Defects	A	Tidak	0

	Pertanyaan	Jenis Pertanyaan	Kate- gori	Jwbn	Skor
17	Apakah part yang rapih seringkali rusak di aktivitas transportasi?	From Defects	A	Tidak	0
18	Apakah WIP area dikacaukan dengan part dan material yang digunakan atau dipindah untuk proses berikutnya?	From Transportation	A	Tidak	0
19	Apakah material yang dibongkar muat secara mekanik harus ditangani secara manual?	To Motion	A	Sedang	0.5
20	Apakah digunakan wadah sebelum pengemasan untuk mempermudah perhitungan jumlah dan material handling?	From Waiting	B	Ya	0
21	Apakah item yang identik disimpan dalam satu lokasi untuk meminimasi waktu yang dihabiskan dalam proses pencarian dalam penanganan persediaan?	From Motion	B	Ya	0
22	Apakah tersedia tempat besar yang mudah dibawa untuk menghindari perulangan handling dengan tempat yang kecil?	From Transportation	B	Sedang	0.5
23	Apakah material diuji untuk mengetahui kesesuaian terhadap spesifikasi ketika material dikirim?	From Defects	B	Ya	0
24	Apakah material dapat diidentifikasi dengan tepat melalui nomor part?	From Motion	B	Tidak	1
25	Apakah terdapat penyimpanan barang yang masih dalam proses (WIP) untuk diproses selanjutnya?	From Inventory	A	Ya	1
26	Apakah terdapat pemesanan bahan baku yang kemudian menyimpannya dalam persediaan meskipun bahan baku tersebut tidak diperlukan segera?	From Inventory	A	Sedang	0.5
27	Apakah terdapat pelonggaran rute aliran Work In Process?	To Waiting	B	Sedang	0.5
28	Apakah Anda harus mengerjakan ulang untuk desain produk yang tidak sesuai?	From Defects	A	Sedang	0.5
29	Apakah bahan baku tiba tepat waktu ketika dibutuhkan?	From Waiting	B	Sedang	0.5
30	Apakah terdapat tumpukan barang jadi di dalam gudang yang tidak memiliki pelanggan yang tidak dijadwalkan?	From Overproduction	A	Tidak	0
31	Apakah sparepart / onderdil disimpan dengan baik?	To Motion	B	Ya	0
<b>Kategori: Mesin</b>					
32	Apakah pengujian terhadap efisiensi mesin dan pengujian standar spesifikasi manufaktur sudah dilakukan secara periodik?	From Process	B	Ya	0
33	Apakah beban kerja untuk tiap mesin dapat diprediksi dengan jelas?	To Waiting	B	Ya	0

	Pertanyaan	Jenis Pertanyaan	Kate- gori	Jwbn	Skor
34	Ketika dalam sekali suatu mesin telah dipasang, apakah ada tindak lanjut untuk melihat apabila mesin bekerja berdasarkan spesifikasinya?	From Process	B	Ya	0
35	Apakah kapasitas peralatan material handling cukup untuk mengangkat pekerjaan yang paling berat?	From Transportation	B	Sedang	0.5
36	Jika peralatan material handling digunakan, apakah jumlah material yang dibawa cukup?	To Motion	B	Ya	0
37	Apakah kebijakan produksi menekan Anda untuk memproduksi lebih dalam rangka mencapai pemanfaatan mesin yang terbaik?	From Overproduction	A	Sedang	0.5
38	Apakah mesin sering berhenti karena gangguan mekanis?	From Waiting	A	Tidak	0
39	Apakah peralatan yang diperlukan sudah tersedia dan cukup untuk tiap proses?	From Waiting	B	Sedang	0.5
40	Apakah peralatan material handling membahayakan terhadap part yang dibawa?	To Defects	A	Tidak	0
41	Apakah waktu setup yang lama, dan menyebabkan penundaan terhadap aliran operasi?	From Waiting	A	Tidak	0
42	Apakah terdapat peralatan yang tidak terpakai atau rusak namun masih tersedia di tempat kerja?	To Motion	A	Sedang	0.5
43	Apakah ada pertimbangan untuk meminimasi frekuensi dari setup dengan menyesuaikan penjadwalan dan desain?	From Process	B	Sedang	0.5
<b>Kategori: Metode</b>					
44	Apakah luas area stok tersedia untuk menghindari kemacetan jalur transportasi?	To Transportation	B	Sedang	0.5
45	Apakah ada sistem penomoran yang baik dalam pengambilan material untuk memudahkan dalam mencari dan menyimpan material?	From Motion	B	Sedang	0.5
46	Apakah ruang penyimpanan digunakan secara efektif untuk penyimpanan part?	From Waiting	B	Sedang	0.5
47	Apakah gedung dibagi menjadi dua area, area aktif untuk order yang paling sering dan stok cadangan untuk orderan lainnya?	To Motion	B	Ya	0
48	Apakah waktu produksi disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan?	To Waiting	B	Ya	0
49	Apakah jadwal produksi dikomunikasikan antar departemen, sehingga isi jadwal dipahami secara luas?	To Defects	B	Ya	0

	<b>Pertanyaan</b>	<b>Jenis Pertanyaan</b>	<b>Kate- gori</b>	<b>Jwbn</b>	<b>Skor</b>
50	Apakah sudah dibentuk standar produksi untuk memudahkan loading mesin dengan benar?	From Motion	B	Sedang	0.5
51	Apakah sudah ada suatu sistem Quality Control di dalam perusahaan yang selalu diterapkan?	From Defects	B	Ya	0
52	Apakah pekerjaan dan operasi memiliki waktu standar yang dibentuk melalui metode ilmu teknik industri?	From Motion	B	Ya	0
53	Apabila ditemukan suatu delay, apakah delay tersebut dikomunikasikan ke semua departemen?	To Waiting	B	Ya	0
54	Apakah kebutuhan untuk part yang umum dijadwalkan sehingga tidak ada pengulangan setup yang tidak semestinya untuk memproduksi item yang sama?	From Process	B	Ya	0
55	Apakah ada suatu kemungkinan mengkombinasikan langkah tertentu untuk membentuk suatu langkah tunggal?	From Process	B	Ya	0
56	Apakah ada prosedur untuk menginspeksi produk yang dikembalikan?	To Defects	B	Ya	0
57	Apakah arsip inventori digunakan untuk tujuan seperti membeli material dan menjadwalkan produksi?	From Inventory	B	Ya	0
58	Apakah aisle selalu dibersihkan dan dirapikan dengan baik?	To Transportation	B	Sedang	0.5
59	Apakah area penyimpanan diberi tanda pada bagian-bagian tertentu?	To Motion	B	Tidak	1
60	Apakah luas aisle cukup untuk pergerakan bebas alat-alat?	To Transportation	B	Sedang	0.5
61	Apakah area gudang digunakan untuk menyimpan material yang tidak seharusnya disimpan?	To Motion	A	Tidak	0
62	Apakah ada jadwal tetap untuk membersihkan pabrik?	To Motion	B	Ya	0
63	Apakah kebanyakan aliran produksi mengalir satu arah?	From Motion	B	Ya	0
64	Apakah ada suatu kelompok yang berurusan dengan desain, konstruksi komponen, drafting, dan bentuk lain dari standarisasi?	From Motion	B	Ya	0
65	Apakah standar kerja memiliki tujuan yang jelas dan spesifik?	From Motion	B	Ya	0
66	Apakah ketidakseimbangan kerja dapat diprediksi?	From Overproduction	B	Ya	0
67	Apakah prosedur kerja yang sudah ada mampu menghilangkan pekerjaan yang tidak perlu atau berlebihan?	From Process	B	Ya	0
68	Apakah hasil Quality Control, uji produk, dan evaluasi dilakukan melalui ilmu keteknikan?	From Defects	B	Ya	0

Lampiran 4. Hasil pembobotan awal

No	Kategori	Jenis Pertanyaan	Bobot Awal Tiap Jenis Pemborosan						
			O	I	D	M	T	P	W
1	Manusia	To Motion	4	8	8	10	8	8	0
2		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
3		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
4		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
5		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
6		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
7		From Process	6	8	6	8	0	10	8
8	Material	To Waiting	10	0	10	10	10	8	10
9		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
10		From Transportation	2	4	2	8	10	0	10
11		From Inventory	4	10	2	8	8	0	0
12		From Inventory	4	10	2	8	8	0	0
13		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
14		From Inventory	4	10	2	8	8	0	0
15		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
16		To Defects	2	2	10	6	2	6	6
17		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
18		From Transportation	2	4	2	8	10	0	10
19		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
20		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
21		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
22		From Transportation	2	4	2	8	10	0	10
23		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
24		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
25		From Inventory	4	10	2	8	8	0	0
26		From Inventory	4	10	2	8	8	0	0
27		To Waiting	10	0	10	10	10	8	10
28		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
29		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
30		From Overproduction	10	4	2	4	2	0	10
31	To Motion	4	8	8	10	8	8	0	
32	Mesin	From Process	6	8	6	8	0	10	8
33		To Waiting	10	0	10	10	10	8	10
34		From Process	6	8	6	8	0	10	8
35		From Transportation	2	4	2	8	10	0	10
36		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
37		From Overproduction	10	4	2	4	2	0	10
38		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
39		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
40		To Defects	2	2	10	6	2	6	6

No	Kategori	Jenis Pertanyaan	Bobot Awal Tiap Jenis Pemborosan						
			O	I	D	M	T	P	W
41		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
42		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
43		From Process	6	8	6	8	0	10	8
44	Metode	To Transportation	2	8	6	0	10	0	0
45		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
46		From Waiting	6	8	6	0	0	0	10
47		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
48		To Waiting	10	0	10	10	10	8	10
49		To Defects	2	2	10	6	2	6	6
50		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
51		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
52		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
53		To Waiting	10	0	10	10	10	8	10
54		From Process	6	8	6	8	0	10	8
55		From Process	6	8	6	8	0	10	8
56		To Defects	2	2	10	6	2	6	6
57		From Inventory	4	10	2	8	8	0	0
58		To Transportation	2	8	6	0	10	0	0
59		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
60		To Transportation	2	8	6	0	10	0	0
61		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
62		To Motion	4	8	8	10	8	8	0
63		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
64		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
65		From Motion	0	4	6	10	0	10	10
66		From Overproduction	10	4	2	4	2	0	10
67		From Process	6	8	6	8	0	10	8
68		From Defects	2	4	10	8	6	0	10
		<b>Total Skor</b>	268	388	442	486	302	316	470

Lampiran 5. Bobot tiap jenis pemborosan

No	Kategori	Jenis Pertanyaan	N <sub>i</sub>	Bobot Awal Tiap Jenis Pemborosan						
				W <sub>o,k</sub>	W <sub>i,k</sub>	W <sub>d,k</sub>	W <sub>m,k</sub>	W <sub>t,k</sub>	W <sub>p,k</sub>	W <sub>w,k</sub>
1	Manusia	To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00
2		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
3		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
4		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
5		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
6		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
7		From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14
8	Material	To Waiting	5	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	1.60	2.00
9		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
10		From Transportation	4	0.50	1.00	0.50	2.00	2.50	0.00	2.50
11		From Inventory	6	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
12		From Inventory	6	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
13		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
14		From Inventory	6	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
15		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
16		To Defects	4	0.50	0.50	2.50	1.50	0.50	1.50	1.50
17		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
18		From Transportation	4	0.50	1.00	0.50	2.00	2.50	0.00	2.50
19		To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00
20		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
21		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
22		From Transportation	4	0.50	1.00	0.50	2.00	2.50	0.00	2.50
23		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
24		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
25		From Inventory	6	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
26		From Inventory	6	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
27		To Waiting	5	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	1.60	2.00
28		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
29		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
30		From Overproduction	3	3.33	1.33	0.67	1.33	0.67	0.00	3.33
31	To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00	
32	Mesin	From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14
33		To Waiting	5	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	1.60	2.00
34		From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14
35		From Transportation	4	0.50	1.00	0.50	2.00	2.50	0.00	2.50
36		To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00
37		From Overproduction	3	3.33	1.33	0.67	1.33	0.67	0.00	3.33
38		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
39		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25

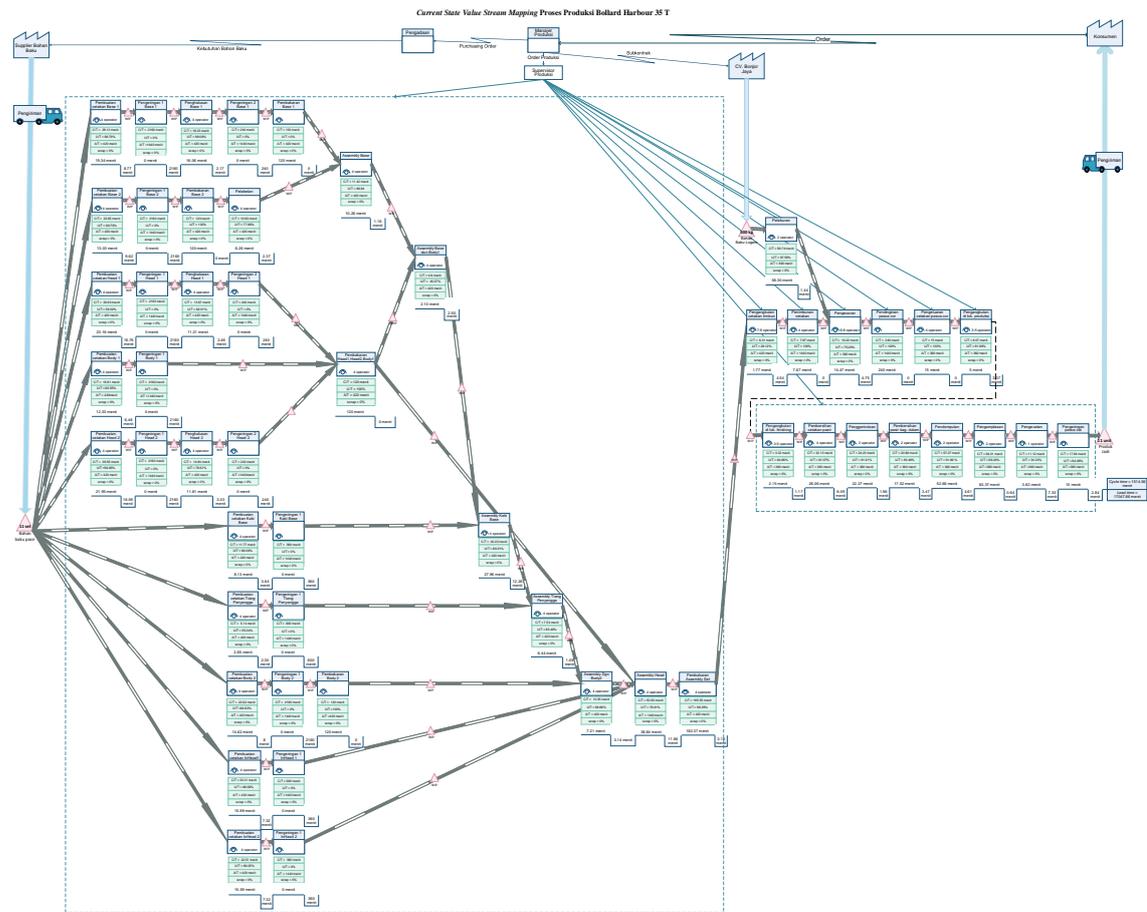
No	Kategori	Jenis Pertanyaan	N <sub>i</sub>	Bobot Awal Tiap Jenis Pemborosan						
				W <sub>o,k</sub>	W <sub>i,k</sub>	W <sub>d,k</sub>	W <sub>m,k</sub>	W <sub>t,k</sub>	W <sub>p,k</sub>	W <sub>w,k</sub>
40		To Defects	4	0.50	0.50	2.50	1.50	0.50	1.50	1.50
41		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
42		To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00
43		From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14
44	Metode	To Transportation	3	0.67	2.67	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00
45		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
46		From Waiting	8	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
47		To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00
48		To Waiting	5	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	1.60	2.00
49		To Defects	4	0.50	0.50	2.50	1.50	0.50	1.50	1.50
50		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
51		From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25
52		From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91
53		To Waiting	5	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	1.60	2.00
54		From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14
55		From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14
56		To Defects	4	0.50	0.50	2.50	1.50	0.50	1.50	1.50
57		From Inventory	6	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
58		To Transportation	3	0.67	2.67	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00
59		To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00
60	To Transportation	3	0.67	2.67	2.00	0.00	3.33	0.00	0.00	
61	To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00	
62	To Motion	9	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00	
63	From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91	
64	From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91	
65	From Motion	11	0.00	0.36	0.55	0.91	0.00	0.91	0.91	
66	From Overproduction	3	3.33	1.33	0.67	1.33	0.67	0.00	3.33	
67	From Process	7	0.86	1.14	0.86	1.14	0.00	1.43	1.14	
68	From Defects	8	0.25	0.50	1.25	1.00	0.75	0.00	1.25	
<b>Skor (S<sub>j</sub>)</b>				48.00	60.00	68.00	72.00	56.00	42.00	74.00
<b>Frekuensi (F<sub>j</sub>)</b>				57.00	63.00	68.00	57.00	42.00	36.00	50.00

Lampiran 6. Perkalian antara bobot dengan hasil kuesioner WAQ

No	Kategori	Jenis Pertanyaan	Jwbn	Nilai Bobot Jenis Pemborosan (W <sub>j,k</sub> )						
				W <sub>o,k</sub>	W <sub>i,k</sub>	W <sub>d,k</sub>	W <sub>m,k</sub>	W <sub>t,k</sub>	W <sub>p,k</sub>	W <sub>w,k</sub>
1	Manusia	To Motion	0.5	0.22	0.44	0.44	0.56	0.44	0.44	0.00
2		From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3		From Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4		From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5		From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6		From Defects	0.5	0.13	0.25	0.63	0.50	0.38	0.00	0.63
7		From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Material	To Waiting	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9		From Waiting	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10		From Transportation	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11		From Inventory	1	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00
12		From Inventory	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13		From Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14		From Inventory	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15		From Waiting	1	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	1.25
16		To Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17		From Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18		From Transportation	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19		To Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	From Waiting	0.5	0.38	0.50	0.38	0.00	0.00	0.00	0.63	
21	From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
22	From Transportation	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	From Defects	0.5	0.13	0.25	0.63	0.50	0.38	0.00	0.63	
24	From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	From Inventory	1	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00	
26	From Inventory	1	0.67	1.67	0.33	1.33	1.33	0.00	0.00	
27	To Waiting	0.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	
28	From Defects	0.5	0.13	0.25	0.63	0.50	0.38	0.00	0.63	
29	From Waiting	0.5	0.38	0.50	0.38	0.00	0.00	0.00	0.63	
30	From Overproduction	0.5	1.67	0.67	0.33	0.67	0.33	0.00	1.67	
31	To Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32	Mesin	From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33		To Waiting	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34		From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35		From Transportation	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36		To Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37		From Overproduction	0.5	1.67	0.67	0.33	0.67	0.33	0.00	1.67
38		From Waiting	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39		From Waiting	0.5	0.38	0.50	0.38	0.00	0.00	0.00	0.63

No	Kategori	Jenis Pertanyaan	Jwbn	Nilai Bobot Jenis Pemborosan (W <sub>j,k</sub> )						
				W <sub>o,k</sub>	W <sub>i,k</sub>	W <sub>d,k</sub>	W <sub>m,k</sub>	W <sub>t,k</sub>	W <sub>p,k</sub>	W <sub>w,k</sub>
40		To Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41		From Waiting	0.5	0.38	0.50	0.38	0.00	0.00	0.00	0.63
42		To Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43		From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	Metode	To Transportation	0.5	0.33	1.33	1.00	0.00	1.67	0.00	0.00
45		From Motion	0.5	0.00	0.18	0.27	0.45	0.00	0.45	0.45
46		From Waiting	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47		To Motion	0.5	0.22	0.44	0.44	0.56	0.44	0.44	0.00
48		To Waiting	0.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00
49		To Defects	0.5	0.25	0.25	1.25	0.75	0.25	0.75	0.75
50		From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
51		From Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52		From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53		To Waiting	0.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00
54		From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55		From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56		To Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57		From Inventory	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
58		To Transportation	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59		To Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	To Transportation	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	To Motion	0.5	0.22	0.44	0.44	0.56	0.44	0.44	0.00	
62	To Motion	1	0.44	0.89	0.89	1.11	0.89	0.89	0.00	
63	From Motion	0.5	0.00	0.18	0.27	0.45	0.00	0.45	0.45	
64	From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	From Motion	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
66	From Overproduction	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
67	From Process	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
68	From Defects	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Skor (s<sub>j</sub>)</b>				12.65	14.25	13.81	14.27	12.93	6.28	13.62
<b>Frekuensi (f<sub>j</sub>)</b>				22	21	24	18	17	10	16

### Lampiran 7. Current State Value Stream Mapping



Lampiran 8. Future State Value Stream Mapping

