

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Kajian empiris adalah kajian yang didapatkan dari hasil observasi atau percobaan. Dalam pandangan empiris, seseorang hanya dapat menyatakan memiliki pengetahuan yang luas saat orang tersebut memiliki sebuah kepercayaan yang benar berdasarkan bukti empiris. Adapun yang menjadi landasan penelitian terdahulu dalam penelitian ini adalah sebagaimana hasil penelitian yang dilakukan dibawah ini, yakni oleh:

Penelitian yang dilakukan oleh Setiyawan, Soeparman dan Soenoko (2013) yang berjudul *Minimasi Waste Untuk Perbaikan Proses Produksi Kantong Kemasan Dengan Pendekatan Lean Manufacturing*. Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui kegiatan apa saja yang dapat meningkatkan nilai tambah produk (*value added*), mengurangi berbagai pemborosan (*waste*) dan memperpendek *lead time*. Objek atau kasus yang diteliti adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri pembuatan kantong kemasan, salah satu hasil produksinya adalah kantong kemasan jenis *pasted* dengan metode yang digunakan ialah metode *Value Stream Mapping* diawali dengan penggambaran *Big Picture Mapping*. Hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa urutan waste yang sering terjadi pada proses produksi kantong *pasted* adalah *defects, waiting, unnecessary inventory, transportation, overproduction, inappropriate processing, unnecessary motion, environment healthy and safety* dan *underutilized people*. Diperoleh penurunan waktu produksi dari 138.4 menit menjadi 119.4 menit. Terjadi penurunan waktu *lead time* proses produksi sebesar 13.7 % dari waktu sebelum dilakukannya perbaikan. Pada penelitian hanya mengukur jenis-jenis *waste* yang terjadi pada lini produksi beserta besarnya. Pada bagian VSM tidak mengukur besaran energi yang dipakai, hanya mengukur kategori waktu VA, NNVA, NVA. Pada bagian FMEA tidak diintegrasikan dengan AHP, yang mana fungsi AHP adalah untuk mengetahui expert lebih mempertimbangkan faktor mana yang lebih di pentingkan perusahaan.

Menurut Saputra dan Singgih (2012) melakukan penelitian tentang Perbaikan Proses Produksi Blender Menggunakan Pendekatan *Lean Manufacturing* di PT PMT. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui *waste* yang paling dominan dan menerapkan metode valsat guna meminimasi *waste*. Objek atau kasus yang diteliti adalah PT PMT yang bergerak di bidang perakitan blender dengan metode yang digunakan ialah *Big Picture Mapping* dan VALSAT. Hasil dari penelitian ini adalah pemborosan yang paling sering terjadi yaitu *waiting* (23.38%), *overproduction* (16.88%), dan *inventory* (15.58%). *Mapping tools* yang akan digunakan berdasarkan hasil konversi skor kuesioner ke dalam matriks VALSAT (*Value Stream Analysis Tools*) adalah: *Process Activity Mapping* (35.72%) dan *Supply Chain Response Matrix* (24.22%). Pada penelitian hanya mengukur jenis-jenis *waste* yang terjadi pada lini produksi beserta besarnya dan mengetahui VALSAT yang cocok untuk digunakan guna meminimasi *waste*. Pada bagian VSM tidak mengukur besaran energi yang dipakai, hanya mengukur besaran waktu tiap proses serta mengkategorikannya ke bagian VA, NVA dan NNVA. Untuk meminimasi *waste* nya tidak digunakan tools selain valsat seperti FMEA.

Dalam penelitian Sulastama, herlina dan Bahauddin (2013) yang berjudul Usulan Perbaikan Proses Produksi *Abu Fly Ash* dan *Abu Bottom Ash* dengan Pendekatan *Lean Manufacturing* yang bertujuan mengetahui aktifitas apa yang terjadi pada proses *fly ash* dan *bottom ash* yang menyebabkan pemborosan terbesar. Metode yang digunakan adalah pendekatan *lean manufacturing* dengan menitik beratkan pada 7 macam pemborosan yaitu *overproduction*, *waiting*, *transportation*, *inappropriate process*, *unnecessary inventori*, *unnecessary motion*, dan *defect*. Berdasarkan hasil yang didapat urutan *waste* dari yang terbesar adalah transportasi sebesar 20,41 %, *innapropriate process* sebesar 17,96%, *waiting* sebesar 15,10% , *overproduction* sebesar 14,69% , *unnecessary inventori* sebesar 12,65 % , *unnecessary motion* sebesar 9.8%, dan yang terendah adalah *defect* yaitu sebesar 9.39%. Pada penelitian hanya mengukur jenis-jenis *waste* yang terjadi pada lini produksi beserta besarnya dan mengetahui VALSAT yang cocok untuk digunakan guna meminimasi *waste*. Pada bagian VSM tidak mengukur besaran energi yang dipakai, hanya mengukur besaran waktu tiap proses. Untuk meminimasi *waste* tidak digunakan tools selain VALSAT seperti FMEA.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Aditya, Rambe dan Siregar (2013) yang berjudul Pengendalian Kualitas Dengan Menggunakan Diagram Kontrol Mewma dan Pendekatan *Lean Six Sigma* di PT XYZ. Tujuan dari penelitian tersebut adalah pengurangan *lead time* dan kecacatan produksi selama proses produksi berlangsung. Didapatkan hasil dari penelitian ini adalah diagram kontrol MEWMA menunjukkan hasil bahwa data kecacatan variabel tersebar berdasarkan distribusi normal dan berada pada batas kontrol MEWMA dengan nilai $ARL = 200$ dan $UCL = 12,78$, namun tingkat sigma perusahaan dalam produksi produk sprocket gear diperoleh nilai sigma sebesar 3,00. Hal ini menunjukkan bahwa untuk setiap 1.000.000 unit kali produksi kemungkinan terjadinya kecacatan adalah 70.675 unit. Hasil perhitungan tingkat sigma perusahaan masih jauh dibawah rata-rata untuk tingkat sigma dalam persaingan global perusahaan manufaktur sejenis, yaitu 4,0-4,5 sigma. Pada penelitian hanya mengukur besarnya nilai sigma guna mengetahui besaran nilai cacat pada 1 juta kesempatan, untuk mengetahui penyebab cacat hanya digunakan metode 5W.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Gultom, Sinaga dan Sinulingga (2013) pada penelitiannya yang berjudul Studi Pengendalian Mutu Dengan Menggunakan Pendekatan *Lean Six Sigma* Pada PT XYZ. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan (*waste*) dilantai produksi akibat *nonvalue added activity* pada proses sehingga waktu produksi (*leadtime*) semakin pendek. Hasil penelitian menunjukkan kondisi *Lean* saat ini adalah PCE (*Process Cycle Efficiency*) sebesar 82%, dengan kinerja kualitas pada saat ini untuk tahap inspeksi II dan III masing-masing sebesar 3.38σ dan 4.01σ . Salah satunya diajukan usulan perbaikan berupa penerapan prosedur kerja pada bagian penggulungan kumparan, serta penerapan metode 5S, perawatan mesin, pelatihan operator secara berkala dan pengawasan sebagai hal penting yang masih harus diperhatikan perusahaan di depan. Selain itu, juga diusulkan *work place management* dan eliminasi lima kegiatan *non value-added*. Pada penelitian hanya mengukur besarnya nilai sigma guna mengetahui besaran nilai cacat pada 1 juta kesempatan, untuk mengetahui penyebab cacat hanya digunakan metode 5W dan *fishbone*.

Kemudian penelitian lainnya yang berjudul Strategi Peningkatan Mutu *Part Bening* Menggunakan Pendekatan Metode *Six Sigma* (Studi Kasus: *Department Injection* di PT. KG) yang diteliti oleh Salomon, Ahmad dan Limanjaya (2015) Tujuan dari penelitian ini

adalah untuk mengidentifikasikan dan mengurangi produk cacat. Objek yang diteliti adalah part bening *Big Container* 211 PLY dan *Big Container* 1L AS. Hasil yang diperoleh adalah Berdasarkan hasil pengolahan data didapat DPMO untuk *part* bening *Big Container* 211 PLY sebesar 0,0357 dan tingkat Sigma sebesar 4,015 sigma dan 3,57% cacat, dilanjutkan untuk *part Big Container* 1L AS diperoleh DPMO sebesar 0,02088 dengan tingkat sigma sebesar 4,199 sigma dan 2,08% cacat. Berdasarkan hasil *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) ranking tertinggi adakah cacat silver dan retak. Pada penelitian hanya mengukur besarnya nilai sigma guna mengetahui besaran nilai cacat pada 1 juta kesempatan, untuk meminimasi *waste* sudah digunakan FMEA tetapi tidak diintegrasikan dengan tools yang lain.

Setelah itu terdapat penelitian Zahidah, Lubis dan Yanuar (2017) yang meneliti mengenai *Proposed Design Of Kanban Method To Minimize Waste Inventory In Production Process AHM Blue Oil Bottle Cap In Area Injection Molding And Finishing In CV. WK Using Lean Manufacturing Approach*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui *waste* terbesar yang terjadi pada proses produksi tutup botol oli serta memberikan rancangan perbaikannya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Lean Manufacturing* dengan pendekatan VSM dan PAM. Hasil dari penelitian ini *waste* terbesar adalah *waste inventory* sebesar 99.15%. Pada penelitian hanya mengukur jenis-jenis *waste* yang terjadi pada lini produksi beserta besarnya dan mengetahui VALSAT yang cocok untuk digunakan guna meminimasi *waste*. Pada bagian VSM tidak mengukur besaran energi yang dipakai, hanya mengukur besaran waktu tiap proses. Pengidentifikasian penyebab *waste* hanya menggunakan 5W. Usulan perbaikan sudah menggunakan KANBAN.

Penelitian yang dilakukan oleh Kholil dan Prasetyo (2017) yang berjudul Tinjauan Kualitas Pada Aerosol CAN Ø 65 X 124 Dengan Pendekatan Metode *Six Sigma* Pada *Line* ABM 3 Departemen *Assembly*. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai sigma dan mengetahui akar penyebab masalah mengapa pada proses produksi produk tersebut sehingga banyak terjadi cacat. Metode yang dilakukan adalah dengan metode *Six Sigma* DMAIC. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh DPMO sebesar 22.749,787 dengan nilai sigma 3.50. Dengan *Weld Problem* sebagai jumlah *reject* terbesar yaitu sebanyak 311.226 pcs atau 37.91% dari total *reject* keseluruhan. Dari analisa *Fishbone Diagram* dan FMEA didapat penyebab dari *Weld Problem*, yaitu:

Ukuran material tidak standar, jenis Material yang berbeda-beda, kemampuan Operator kurang, SOP tidak dijalankan, *profil Roll Weld aus* dan kondisi mesin tidak normal, untuk itu perlu dilakukan perbaikan guna mengurangi jumlah kerusakan produk. Pada penelitian hanya mengukur besarnya nilai sigma guna mengetahui besaran nilai cacad pada 1 juta kesempatan, untuk meminimasi *waste* sudah digunakan FMEA tetapi tidak diintegrasikan dengan tools yang lain seperti AHP.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Axmy, Lubis dan Suryadhini (2017) dengan judul *The Purpouse Improvement On Production Process Sandal To Minimize Waste Motion With Lean Manufacturing Approach In CV ASJ* yang bertujuan untuk melakukan perbaikan usulan guna meminimasi *waste motion*. Metode yang dilakukan adalah pendekatan *Lean Manufacturing* yaitu penggambaran *Value Stream Mapping* (VSM), untuk mengetahui kegiatan-kegiatan yang terjadi dirancang *Process Activity Mapping* (PAM) dan untuk mengurangi terjadinya *waste motion* di dilakukan penerapan menggunakan metode 5S. Hasil dari penelitian ini adalah Berdasarkan *Value Stream Mapping* (VSM) diperoleh *lead time* produksi sebesar 29869.8 detik, berdasarkan *Process Activity Mapping* (PAM) diperoleh persentase kegiatan *value added* sebesar 21207.56 detik, *non value added* sebesar 5675.26 detik dan *necessary non value added* sebesar 2986.98 detik dan berdasarkan penerapan 5S diperoleh perancangan yang dapat mengurangi *waste motion*. Pada penelitian ini mengukur besarnya *waste* hanya menggunakan VSM tidak menggunakan tools lain seperti WAM, untuk mengidentifikasi penyebab hanya menggunakan tools 5W.

Puspitasari, Bachtiar dan Fajarusman (2017) dalam penelitiannya yang berjudul *Usulan Perbaikan Untuk Mereduksi Defect Pada Produk Totem Coat And Hat Stand Dengan Pendekatan Lean Manufacturing Dan Metode Fault Tree Analysis* (Studi Kasus di PT Barali Citramandiri) yang bertujuan untuk mereduksi *waste defect* pada *part* kaki dan mengetahui akar penyebab masalah terjadinya *waste* tersebut. Dari hasil VSM dapat diketahui berbagai pemborosan (*waste*) yang dapat berpotensi menyebabkan tidak tercapainya permintaan pelanggan, *waste-waste* tersebut antara lain adanya *waiting* yang lama, *inventory* tinggi, *unnecessary motion*, dan *defect* pada *part* kaki. Dari keempat *waste* tersebut, *waste defect* pada *part* kaki paling berpotensi menyebabkan tidak tercapainya permintaan pelanggan. Dari hasil *fault tree analysis*, diketahui terdapat tiga faktor penyebab *defect* pada *part* kaki yakni faktor manusia, mesin, dan material.

Kemudian dilakukan perbaikan untuk menyelesaikan akar penyebab terjadinya *defect* part kaki. Pada penelitian ini mengukur besarnya *waste* hanya menggunakan VSM, untuk mengidentifikasi penyebab hanya menggunakan tools FTA.

Berdasarkan 10 penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka peneliti melakukan penelitian pada CV. Global Glove dengan mengidentifikasi *waste* menggunakan metode *waste assessment model*. Setelah mengetahui 3 *waste* tertinggi yaitu *waste defect*, *waste waiting* dan *waste motion*, kemudian 3 *waste* tersebut diminimasi menggunakan tahapan *six sigma* yaitu *Define*, *Analyze*, *Measure* dan *Improve* (DMAI) untuk masing-masing *waste*. Pengidentifikasian *waste defect* adalah dengan mengidentifikasi *Critical to Quality* (CTQ). Pengidentifikasian *waste waiting* adalah dengan mengidentifikasi penyebab menunggunya suatu proses dengan mensimulasikan proses produksi dengan *tools flexim 6.0*. Pengidentifikasian *waste motion* adalah dengan mengidentifikasi keluhan operator menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* (NBM). Pengukuran *waste defect* adalah dengan mengukur peta kendali U (*U Chart*). Nilai DPMO dan nilai sigma. Pengukuran *waste waiting* adalah dengan mensimulasikan proses sebelum dan sesudah dilakukan rekomendasi. Pengukuran *waste motion* adalah dengan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA). Setelah diidentifikasi dan diukur, tahap selanjutnya adalah menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya masing-masing *waste* dengan menggunakan *fishbone diagram* atau diagram sebab akibat. Setelah mengetahui faktor-faktor penyebab, kemudian pada tahap perbaikan ini lah yang menjadi pembeda penelitian ini dengan 10 penelitian sebelumnya yaitu peneliti melakukan pembobotan nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk mengetahui urutan perbaikan dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) yang diintegrasikan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Tabel 2. 1 Posisi Penulis

No.	Judul Jurnal	Penulis	Fokus Kajian (Tujuan)	Hasil Penelitian
1	Minimasi <i>Waste</i> Untuk Perbaikan Proses Produksi Kantong Kemasan Dengan Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i>	Danang Triagus Setiyawan, Sudjito Soeparman, Rudy Soenoko	Mengetahui kegiatan apa saja yang dapat meningkatkan nilai tambah produk (<i>value added</i>), mengurangi berbagai pemborosan (<i>waste</i>) dan memperpendek <i>lead time</i>	Urutan <i>waste</i> terjadi adalah <i>defects, waiting, unnecessary inventory, transportation, overproduction, inappropriate processing</i> dan diperoleh penurunan waktu produksi dari 138.4 menit menjadi 119.4 menit
2	Perbaikan Proses Produksi Blender Menggunakan Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i> di PT PMT	Rian Adhi Saputra, Moses Singgih	Mengetahui <i>waste</i> yang paling dominan dan menerapkan metode <i>valsat</i> guna meminimasi <i>waste</i>	Pemborosan yang terjadi yaitu <i>Waiting, overproduction, dan inventory. Mapping tools</i> yang akan digunakan adalah VALSAT
3	Usulan Perbaikan Proses Produksi <i>Abu Fly Ash</i> dan <i>Abu Bottom Ash</i> dengan Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i>	Bagas Sulastama, Lely Herlina, Achmad Bahauddin	Mengetahui aktifitas apa yang terjadi pada proses <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> yang menyebabkan pemborosan terbesar	Urutan <i>waste</i> yang terjadi adalah transportasi, <i>innapropriate process</i> sebesar, <i>waiting, overproduction, unnecessary inventori, unnecessary motion, dan defect.</i>
4	Implementasi Metode <i>Six Sigma</i> Pengendalian Kualitas Dengan Menggunakan Diagram Kontrol Mewma dan Pendekatan <i>Lean Six Sigma</i> di PT XYZ	Surya Aditya, A. Jabbar M. Rambe, Khawarita Siregar	Mengetahui nilai sigma dan melakukan perbaikan pada proses produksi.	Sigma awal yaitu sebesar 3.00 menunjukkan bahwa untuk setiap 1.000.000 unit kali produksi kemungkinan terjadinya kecacatan adalah 70.675 unit.

No.	Judul Jurnal	Penulis	Fokus Kajian (Tujuan)	Hasil Penelitian
5	Pengendalian Mutu Dengan Menggunakan Pendekatan <i>Lean Six Sigma</i> Pada PT XYZ	Sinurmaida Gultom, Tuti Sarma Sinaga, Sukaria Sinulingga	Mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan (<i>waste</i>) dilantai produksi akibat <i>non value added activity</i> pada proses sehingga waktu produksi (<i>leadtime</i>) semakin pendek	Nilai sigma untuk tahap inspeksi II dan III masing-masing sebesar 3,38 σ dan 4,01 σ . Usulan perbaikan berupa penerapan prosedur kerja pada bagian penggulangan kumparan, serta penerapan metode 5S, perawatan mesin, pelatihan operator secara berkala dan pengawasan
6	Strategi Peningkatan Mutu <i>Part Bening</i> Menggunakan Pendekatan Metode <i>Six Sigma</i>	Lithrone Laricha Salomon, Ahmad dan Nickholaus Denata Limanjaya	Mengidentifikasi dan mengurangi produk cacat	Nilai sigma sebesar 4.015 untuk produk 211PLY, 4.199 untuk produk 1LAS.
7	<i>Proposed Design Of Kanban Method To Minimize Waste Inventory In Production Process AHM Blue Oil Bottle Cap In Area Injection Molding And Finishing In CV. WK Using Lean Manufacturing Approach</i>	Qonitah Zahidah, Marina Yustiana Lubis, Agus Alex Yanuar.	Mengetahui <i>waste</i> terbesar yang terjadi pada proses produksi tutup botol oli serta memberikan rancangan perbaikannya	<i>Waste</i> terbesar adalah <i>waste inventory</i> sebesar 99.15%. menerapkan sistem Kanban
8	Tinjauan Kualitas Pada Aerosol CAN Ø 65 X 124 Dengan Pendekatan Metode <i>Six Sigma</i> Pada <i>Line</i> ABM 3 Departemen <i>Assembly</i>	Muhammad Kholil , Eri Dwi Prasetyo	Mengetahui nilai sigma dan mengetahui akar penyebab masalah mengapa pada proses produksi produk tersebut sehingga banyak terjadi cacat	Nilai sigma adalah sebesar 3,50, akar penyebab adalah ukuran material tidak standar, jenis Material yang berbeda-beda, kemampuan Operator kurang,

No.	Judul Jurnal	Penulis	Fokus Kajian (Tujuan)	Hasil Penelitian
9	<i>The Purpouse Improvement On Production Process Sandal To Minimize Waste Motion With Lean Manufacturing Approach In CV. ASJ</i>	Shiela Azmy, Marina Yustiana Lubis, Praty Poeri Suryadhini	Melakukan perbaikan usulan guna meminimasi <i>waste motion</i>	SOP tidak dijalankan, <i>profil Roll Weld aus</i> dan kondisi mesin tidak normal 5S diperoleh perancangan yang dapat mengurangi <i>waste motion</i>
10	Usulan Perbaikan Untuk Mereduksi <i>Defect</i> Pada Produk <i>Totem Coat And Hat Stand</i> Dengan Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i> Dan Metode <i>Fault Tree Analysis</i>	Diana Puspitasari, Arfan Bachtiar, Han Fajarusman	Mereduksi <i>waste defect</i> pada <i>part</i> kaki dan mengetahui akar penyebab masalah terjadinya <i>waste</i> tersebut	Diketahui terdapat tiga faktor penyebab <i>defect</i> pada <i>part</i> kaki yakni faktor manusia, mesin, dan material
11		Rizky Kurniawan (2018)	Mengetahui <i>waste</i> tertinggi dengan menggunakan <i>waste assessment model</i> , mengetahui pemakaian energy dengan menggunakan EVSM, faktor penyebab <i>waste</i> dengan menggunakan <i>fishbone diagram</i> dan penggunaan FMEA AHP.	

2.2 *Lean Manufacturing*

Menurut (Gaspersz, *Lean Six Sigma For Manufacturing and Services Industries*, 2007) menjelaskan *Lean manufacturing* merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan (*waste*) melalui serangkaian aktivitas perbaikan (*improvement*).

Lean manufacturing adalah salah satu pendekatan untuk mengidentifikasi dan meminimasi *waste* yang terjadi pada proses produksi suatu produk melalui peta aliran nilai (*value stream mapping*) yang dilakukan agar proses produksi menjadi efektif dan efisien. Dalam usaha peningkatan produktivitas, pelaku usaha harus mengetahui kegiatan apasaja yang dapat meningkatkan nilai tambah (*value added*) suatu produk (barang / jasa) dan mengurangi pemborosan (*waste*), oleh karena itu diperlukan suatu pendekatan *lean manufacturing*. *Lean manufacturing* berfokus pada identifikasi dan pengurangan kegiatan-kegiatan yang tidak bernilai tambah (*Non Value Added*) dalam desain, produksi (untuk bidang manufaktur) atau operasi (untuk bidang jasa) dan *supply chain management* yang berkaitan langsung dengan pelanggan (Womack & Jones, 2003).

Lean manufacturing menyaring intisari dari pendekatan *Lean* ke dalam 5 langkah utama (Hines and Taylor, 2000):

Terdapat 5 prinsip dasar *Lean*, yaitu sebagai berikut (Hines & Taylor, 2000) :

1. *Specify value*, menentukan hal apasaja yang menciptakan dan tidak menciptakan nilai dari perspektif *customer* dan bukan dari perspektif perusahaan, fungsi, dan departemen.
2. *Eliminate waste*, mengidentifikasi semua langkah yang dibutuhkan untuk perancangan, pemesanan, dan produksi produk yang mencakup *whole value stream* untuk mengetahui dan mengeliminasi *non-value added activities* dan *waste* dalam proses.
3. *Make value flow*, menentukan tindakan-tindakan yang menciptakan aliran nilai tanpa adanya gangguan, pengulangan, aliran balik, menunggu, maupun sisa produksi.
4. *Pull value*, hanya membuat apa yang diinginkan *customer*. *Customer* menentukan permintaan melalui *order* yang diberikan. Prinsip ini mengeliminasi kebutuhan akan penyimpanan *inventory* yang berlebih dan modal yang lebih irit.

5. *Pursue perfection*, berusaha keras mencapai kesempurnaan dengan jalan menghilangkan lapisan berturut-turut dari *waste* yang ditemukan secara kontinyu. *Continuous improvement* atau perbaikan berkelanjutan diperlukan untuk mengeliminasi *waste* dari *resources* yang ada.

2.3 Green Manufacturing

Green manufacturing berkaitan erat dengan *Sustainable manufacturing* (SM). *Sustainability* dapat diperoleh dengan melakukan konsep *Green* (Dornfeld D. A., 2014). *Sustainable Manufacturing* sendiri diartikan sebagai "penciptaan produk yang bernilai ekonomis melalui proses yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam, serta melestarikan sumber daya alam dan energi untuk menjamin ketersediaannya di masa yang akan datang. Proses yang dilakukan juga harus aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen." *Sustainable Manufacturing* merupakan evolusi dari sistem manufaktur mulai dari sistem manufaktur yang tradisional, kemudian *lean manufacturing* yang fokus pada pengurangan pemborosan (*waste reduction based*), *green manufacturing* dengan 3R, hingga akhirnya pada konsep *sustainable manufacturing* dengan pendekatan 6R pada siklus hidup produk. Penerapan *Sustainable Manufacturing* mengarah pada tercapainya pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sebagaimana dikemukakan oleh Komisi Dunia tentang Lingkungan dan pembangunan (Dornfeld D. A., 2013) diartikan sebagai "pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri.

Keberlanjutan harus dikaitkan dengan pendekatan *triple bottom line* di mana faktor lingkungan, ekonomi, dan sosial harus dipenuhi. Ketiga pilar tersebut (lingkungan, ekonomi dan sosial) harus terkait dan terpenuhi dengan baik agar sebuah perusahaan dapat berkembang dan bertahan menghadapi persaingan tanpa menimbulkan dampak buruk pada lingkungan. Konsep *green* meliputi proses pembuatan produk dengan penggunaan material minimal dan proses yang meminimasi dampak negatif terhadap lingkungan, hemat energi dan sumber dayaalam, aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen, dengan tetap bernilai ekonomis (Dornfeld D. A., 2013).

2.3.1 Perhitungan *Carbon Dioksida* (CO₂)

Rumus perhitungan CO₂ yang digunakan oleh IPCC (2006) untuk menghitung emisi CO₂ (IPCC, 2006) dalam Wulandari dan kawan-kawan (2013): (Wulandari, Hermawan, & Purwanto, 2013)

Tabel 2. 2 Faktor Emisi Listrik

Bahan Bakar	CEF
	(Kg CO₂/Kwh)
Listrik	0,59

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum \text{FC} \times \text{CEF}$$

$\sum \text{FC}$ = jumlah listrik yang dikonsumsi (Kwh)

CEF = *Carbon Emission Factor* (Kg CO₂/Kwh)

2.3.2 Ruang Terbuka Hijau

Setelah didapatkan nilai total emisi dan laju serapan karbondioksida (CO₂), selanjutnya bisa dilakukan perhitungan luas ruang terbuka hijau (RTH), yaitu sebagai berikut:

$$\text{Luas RTH} = \text{emisi CO}_2 / \text{daya serap CO}_2$$

$$\text{RTH} = \text{RTH (m}^2\text{)}$$

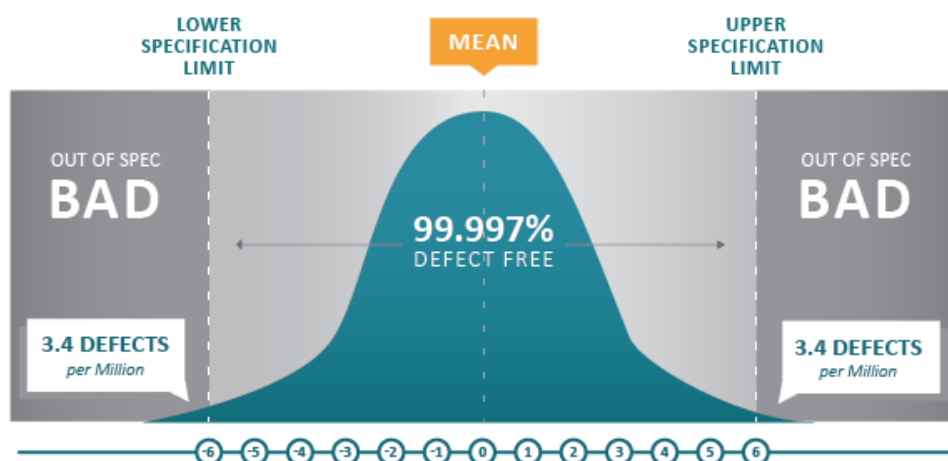
Emisi CO₂ = total emisi yang dihasilkan dari (KgCO₂/hari)

Daya serap = kemampuan serap CO₂ (KgCO₂/m²/hari)

2.4 Konsep *Six Sigma*

Six Sigma Motorola merupakan suatu metode atau teknik pengendalian dan peningkatan kualitas *dramatic* yang diterapkan oleh perusahaan Motorola sejak tahun 1986, yang merupakan terobosan baru dalam bidang manajemen kualitas. *Six Sigma* juga dapat dianggap sebagai strategi terobosan yang memungkinkan perusahaan melakukan peningkatan luar biasa (*dramatic*) di tingkat bawah dan sebagai pengendalian proses industri yang berfokus pada pelanggan dengan memperlihatkan kemampuan proses (Gaspersz, *Lean Six Sigma For Manufacturing and Services Industries*, 2007). *Six Sigma* diartikan sebagai metode berteknologi canggih yang digunakan oleh para insinyur dan statistikiawan dalam memperbaiki / mengembangkan proses atau produk (Miranda & Widjaja, 2002).

Sigma merupakan *symbol standard deviation* pada statistik (Σ atau σ) yang berasal dari huruf Yunani, suatu ukuran untuk menyatakan sebuah variasi (*variance*) atau ketidaktepatan sekelompok item atau proses. (Gaspersz, Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001 : 2000, MBNQ, dan HACCP, 2002) memberikan definisi *Six sigma* yang termuat dalam bukunya berjudul *Pedoman Implementasi Program Six sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA dan HACPP* merupakan adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan dalam sejuta kesempatan (*defect per million opportunity*) untuk setiap transaksi produk (barang dan/atau jasa), upaya giat menuju kesempurnaan (*zero defect / nol kegagalan*).



Gambar 2. 1 Konsep six sigma

Tabel 2. 3 Manfaat Pencapaian Beberapa Nilai Sigma

True 6-Sigma Process (Normal Distribution Centered)			Motorola's 6-Sigma Process (Normal Distribution Shifted 1,5-sigma)		
Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Presentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO (Kegagalan cacat per sejuta kesempatan)	Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Presentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO (Kegagalan cacat per sejuta kesempatan)
± 1-sigma	68,27%	317.000	± 1-sigma	30,85%	691.462

True 6-Sigma Process (Normal Distribution Centered)			Motorola's 6-Sigma Process (Normal Distribution Shifted 1,5-sigma)		
Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Presentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO (Kegagalan cacat per sejuta kesempatan)	Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Presentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO (Kegagalan cacat per sejuta kesempatan)
± 2-sigma	95,45%	45.500	± 2-sigma	69,1462%	308.538
± 3-sigma	99,73%	2.700	± 3-sigma	93,3193%	66.807
± 4-sigma	99,9937%	63	± 4-sigma	99,3790%	6.210
± 5-sigma	99,999943%	0,57	± 5-sigma	99,9767%	233
± 6-sigma	99,999998%	0,002	± 6-sigma	99,99966%	3,4

Sumber: (Gasperz, 2002)

Six sigma juga dapat dikatakan sebagai pengendalian proses produksi yang berfokus kepada pelanggan, melalui penekanan pada kemampuan proses atau *process capability*. Terdapat aspek kunci dalam aplikasi konsep *six sigma*, yaitu (Gasperz, Sistem Manajemen Kinerja Terintegrasi Balanced Scorecard Dengan Six Sigma untuk Organisasi Bisnis dan Pemerintah, 2005)

1. Identifikasi pelanggan
2. Identifikasi produk
3. Identifikasi kebutuhan dalam memproduksi produk untuk pelanggan
4. Definisikan proses
5. Hindari kesalahan dalam proses dan hilangkan pemborosan yang ada
6. Tingkatkan proses secara terus menerus menuju target *Six sigma*

2.5 Tahapan *Six Sigma*

Tahap-tahap implementasi peningkatan kualitas dengan *Six sigma* menggunakan siklus perbaikan lima fase yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* atau biasa disingkat dengan DMAIC, yang dapat dijelaskan berikut ini: (Pyzdek, 2000)

1. *Define* adalah penetapan sasaran dari aktivitas peningkatan kualitas *Six Sigma*. Tahap ini untuk menjelaskan *action plan* (rencana tindakan) yang harus dilakukan untuk melaksanakan peningkatan dari setiap tahap proses bisnis. Dalam tahap *define* yang akan dilakukan adalah menentukan masalah yang telah diidentifikasi terhadap proses produksi mulai dari awal hingga akhir menjadi produk.

Menurut (Pande, 2000) tiga aktivitas utama yang berkaitan dengan mendefinisikan proses inti dan para pelanggan adalah

- a. Mendefinisikan proses utama dari bisnis.
 - b. Menentukan *output* kunci dari proses utama tersebut dan para pelanggan utama yang mereka layani.
 - c. Membuat peta tingkat tinggi dari proses utama atau proses strategi.
2. *Measure* merupakan tahap yang kedua dalam program peningkatan kualitas dengan *six sigma*. Dalam tahap *measure* yang akan dilakukan adalah menyaring masalah dan mulai meneliti akar masalah dalam proses tersebut. *Measure* merupakan respon logis terhadap langkah yang pertama (*define*) dan merupakan langkah penghubung untuk langkah berikutnya. Pengukuran yang dilakukan dapat berupa pengukuran stabilitas proses, perhitungan peluang *defect*, pengukuran terhadap proporsi kecacatan dan lain sebagainya.

Menurut (Pande, 2000) langkah *measure* mempunyai dua sasaran utama yaitu:

- a. Mendapatkan data untuk memvalidasi dan mengkualifikasikan masalah dan peluang. Biasanya ini merupakan informasi kritis untuk memperbaiki dan melengkapi anggaran dasar proyek yang pertama.
- b. Memulai menyentuh fakta dan angka-angka yang memberikan petunjuk tentang akar masalah.

Kemudian dalam tahap *measure*, terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan, yaitu: (Pande, 2000)

- a. Memilih atau menentukan karakteristik kualitas (*Critical to Quality*) kunci. Penetapan *Critical to Quality* kunci harus disertai dengan pengukuran yang dapat dikuantifikasikan dalam angka-angka. Hal ini bertujuan agar tidak

menimbulkan persepsi dan interpretasi yang dapat saja salah bagi setiap orang dalam proyek *Six Sigma* dan menimbulkan kesulitan dalam pengukuran karakteristik kualitas keandalan. Dalam mengukur karakteristik kualitas, perlu diperhatikan aspek *internal* (tingkat kecacatan produk, biaya-biaya karena kualitas jelek dan lain-lain) dan aspek *eksternal* organisasi (kepuasan pelanggan, pangsa pasar dan lain-lain).

- b. Mengembangkan rencana pengumpulan data.
 - c. Pengukuran *baseline* kinerja pada tingkat output.
3. *Analyze* merupakan tahap yang ketiga dalam program peningkatan kualitas dengan *six sigma*. Hal yang dilakukan dalam tahap *analyze* menganalisa akar permasalahan terhadap proses dan mengidentifikasinya. Tujuan dari tahap *analyze* adalah untuk mengetahui seberapa baik proses yang berlangsung dan mengidentifikasi akar permasalahan yang mungkin menjadi penyebab timbulnya variasi dalam proses.
 4. *Improve* merupakan tahap keempat dalam program peningkatan kualitas dengan *six sigma*. Tahap ini merupakan langkah pelaksanaan dari aktivitas perbaikan (*improve*) berdasar hasil analisis dalam tahap sebelumnya (*analyze*).
 5. *Control* merupakan tahap terakhir dalam upaya peningkatan kualitas dengan *six sigma*. Pada tahap ini dilakukan pengendalian terhadap proses secara terus menerus untuk meningkatkan kapabilitas, selain itu memastikan perbaikan terhadap proses tersebut dengan sekali diterapkan akan dipertahankan. Tahap ini merupakan tahap terpenting karena perbaikan ulang terhadap proses tidak diinginkan dan keuntungan dari perbaikan yang terus menerus harus didapatkan. Pada bagian ini dilakukan rencana pengendalian (*control plan*) terhadap proses (Kusuma, 2012)

2.6 Waste (Pemborosan)

Tujuan utama dari *lean manufacturing* adalah meminimasi atau mengurangi *waste* (pemborosan). *Waste* adalah segala sesuatu yang tidak memberikan nilai tambah. *Waste* adalah sesuatu yang pelanggan tidak mau membayarnya.

Menurut (Shiego, 1989) terdapat tujuh jenis pemborosan, diantaranya sebagai berikut:

1. *Overproduction* - memproduksi terlalu banyak atau melebihi permintaan pelanggan serta memproduksi lebih cepat dari pada waktu kebutuhan pelanggan yang menyebabkan kelebihan inventory.

2. *Defects* - yang tergolong *defect* contohnya ialah bisa berupa kesalahan dokumentasi, permasalahan kualitas produk yang dihasilkan, atau *delivery performance* yang buruk.
3. *Unnecessary Process* - seperti kesalahan dalam mempergunakan alat atau *tools* saat bekerja sehingga terjadinya kesalahan dalam proses produksi.
4. *Unnecessary Inventory* - kelebihan penyimpanan dan *delay* material maupun produk sehingga mengakibatkan peningkatan biaya dan penurunan kualitas pelayanan terhadap pelanggan
5. *Excessive Transportation* - dapat berupa waktu, tenaga dan biaya akibat pergerakan yang berlebihan dari pekerja, aliran informasi dan atau material produk.
6. *Waiting*- tidak beraktifitasnya (menunggu) pekerja, informasi dan atau barang dalam waktu yang lama yang berdampak terhadap buruknya aliran proses dan bertambahnya *lead times*.
7. *Unnecessary Motions* - segala pergerakan dari orang atau mesin yang tidak bernilai tambah terhadap barang dan jasa yang akan diserahkan kepada pelanggan tetapi hanya menambah biaya dan waktu saja. Atau keadaan tempat kerja yang kurang (tidak ergonomis) yang menyebabkan pekerja melakukan gerakan yang tidak perlu.

2.7 Define

Define merupakan langkah operasional pertama dalam tahapan penelitian ini

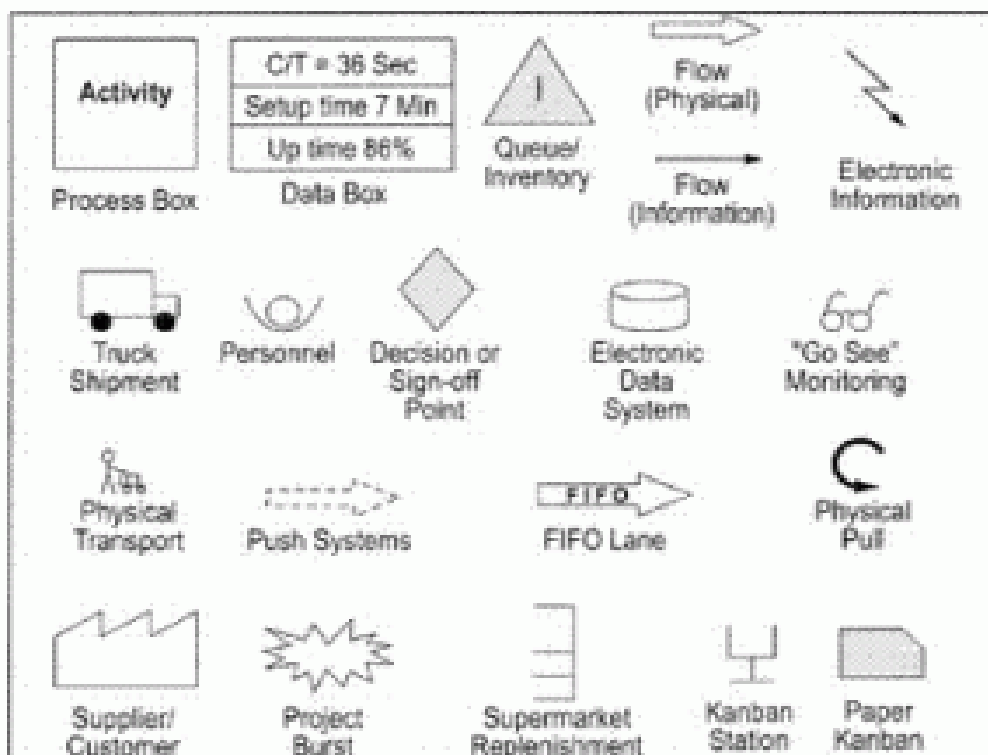
2.7.1 EVSM (*Enviromental Value Stream Mapping*)

VSM merupakan salah satu konsep dalam *lean manufacturing* yang dapat digunakan untuk melihat dan mengidentifikasi kegiatan yang dilakukan dalam perusahaan. VSM juga dapat membantu perusahaan dalam mengidentifikasi kegiatan yang *non value added*. Kegiatan *non value added* dalam gudang dapat dibagi menjadi *non value added necessary* dan *non value added non necessary* (Prayogo & Octavia, 2013). *Value Stream Mapping* merupakan suatu metode dalam melakukan *mapping* (pemetaan) yang berkaitan dengan aliran produk dan aliran informasi mulai dari supplier, produsen dan konsumen dalam satu gambar utuh meliputi semua proses yang terjadi dalam suatu sistem. *Value Stream Mapping* dikembangkan oleh (Hines & Taylor, 2000) untuk mempermudah pemahaman terhadap *value stream* yang ada dan mempermudah untuk membuat perbaikan berkenaan dengan *waste* yang terdapat di dalam *value stream*. *Value stream*

diartikan sebagai kegiatan khusus didalam *supply chain* yang diperlukan untuk perancangan, pemesanan dan penetapan suatu spesifik produk atau *value*.

Untuk proses pembuatan barang (*finished good*), *value stream* mencakup semua supplier atau pemasok bahan baku, manufaktur atau tempat perakitan barang, dan jaringan pendistribusian (*sales*) kepada *consumer* (pengguna) dari barang itu. *Value Stream Mapping* memberikan bentuk yang nyata dan kekuatan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai didalam perusahaan khususnya pada proses produksi.

Untuk *environmental value stream mapping* (EVSM) adalah suatu metode dalam melakukan *mapping* (pemetaan) yang tidak hanya berkaitan dengan aliran produk dan aliran informasi mulai dari supplier, produsen dan konsumen dalam satu gambar utuh meliputi semua proses yang terjadi dalam suatu sistem tetapi juga meliputi sesuatu yang berkaitan dengan lingkungan seperti pemakaian energi serta besaran polusi terhadap lingkungan.



Gambar 2. 2 Simbol Dalam VSM

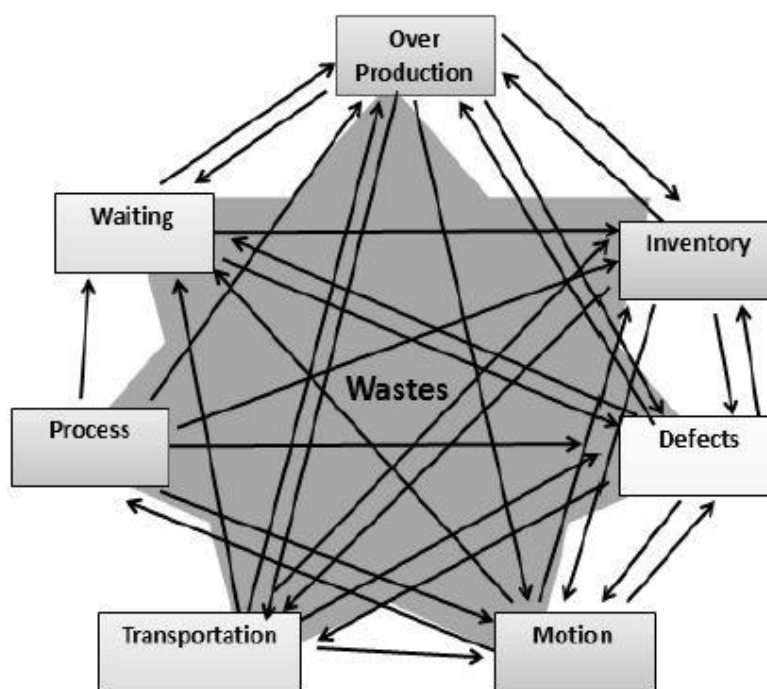
Sumber: (Tapping, Tom & Tom, 2002)

2.7.2 Waste Assessment Model (WAM)

Dalam mengetahui *waste* yang paling dominan dan membutuhkan perbaikan dengan segera perlu dilakukan identifikasi *waste*. Pada tahap identifikasi ini dibutuhkan suatu model untuk memudahkan dan menyederhanakan proses pencarian permasalahan *waste* (Rawabdeh, 2005). 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 *waste* yang ada dan juga penyebab terjadinya *waste* (Rawabdeh, 2005)

1. Waste Assesment Model (WAM)

Semua *waste* saling bergantung satu sama lain, saling mempengaruhi dan dipengaruhi. Hubungan antar *waste* memang sangat kompleks karena disebabkan pengaruh dari setiap *waste* dapat muncul secara langsung atau tidak langsung. Hubungan antar *waste* yang satu dengan yang lain dapat disimbolkan dengan menggunakan huruf pertama pada setiap *waste* (Rawabdeh, 2005). O untuk *overproduction*, I untuk *inventory*, D untuk *defect*, M untuk *motion*, P untuk *process*, T untuk *transportation* dan W untuk *waiting*.



Gambar 2. 3 Hubungan Antar Waste

(Rawabdeh, 2005)

Tabel 2. 4 Jenis Hubungan Antar Waste

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
1	<i>O_I</i> (<i>Overproduction_Inventory</i>)	Produksi berlebih dan membutuhkan banyak bahan baku menyebabkan adanya stok bahan baku dan membuat adanya <i>work-in-process</i> yang dapat menghabiskan ruang dan mempertimbangkan kondisi sementara ketika tidak ada pelanggan yang mungkin tidak memesan
2	<i>O_D</i> (<i>Overproduction_Defect</i>)	Ketika operator produksi berlebih, timbul kekhawatiran akan kualitas dari produk
3	<i>O_M</i> (<i>Overproduction_Motion</i>)	Produksi berlebih berpengaruh pada kebiasaan non ergonomi, dimana akan berpengaruh pada metode kerja yang tidak memenuhi standar dengan banyaknya kerugian gerakan
4	<i>O_T</i> (<i>Overproduction_Transportation</i>)	Produksi berlebih berpengaruh pada upaya transportasi yang lebih untuk dapat menyokong jumlah bahan yang melimpah
5	<i>O_W</i> (<i>Overproduction_Waiting</i>)	Ketika produksi berlebih, hasil yang didapatkan pada waktu yang lebih lama dan pelanggan berikutnya akan menunggu lebih lama lagi
6	<i>I_O</i> (<i>Inventory_Overproduction</i>)	Tingkat persediaan bahan baku yang tinggi dapat mendorong pekerja untuk bekerja lebih dan dapat meningkatkan profitabilitas
7	<i>I_D</i> (<i>Inventory_Defect</i>)	Peningkatan <i>inventory</i> (RM, WIP dan FG) dapat meningkatkan peluang terjadinya cacat dikarenakan kekurangan konsentrasi saat mengerjakan dan tidak cocok dengan kondisi penggudangan
8	<i>I_M</i> (<i>Inventory_Motion</i>)	Peningkatan <i>inventory</i> akan meningkatkan waktu untuk mencari, menyeleksi, menjangkau atau berpindah
9	<i>I_T</i> (<i>Inventory_Transportation</i>)	Peningkatan <i>inventory</i> suatu saat dapat menghalangi gang (jalanan di sela-sela ruang), membuat aktivitas produksi menghabiskan banyak waktu untuk transportasi
10	<i>D_O</i> (<i>Defect_Overproduction</i>)	Produksi berlebih memunculkan perilaku untuk dapat mengatasi masalah kekurangan bahan karena adanya bahan cacat
11	<i>D_I</i> (<i>Defect_Inventory</i>)	Memproduksi bahan setengah jadi yang cacat menimbulkan perlunya <i>rework</i> yang berarti bahwa meningkatkan adanya <i>inventory</i> karena <i>work in process</i>
12	<i>D_M</i> (<i>Defect_Motion</i>)	Produksi cacat meningkatkan waktu untuk mencari, menyeleksi dan menginspeksi produk setengah jadi
13	<i>D_T</i> (<i>Defect_Transportation</i>)	Perpindahan produk setengah jadi yang cacat ke stasiun kerja sebelumnya membuat terjadinya pemborosan transportasi
14	<i>D_W</i> (<i>Defect_Waiting</i>)	Dengan adanya <i>rework</i> akan membuat proses selanjutnya menunggu

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
15	<i>M_I</i> (<i>Motion_Inventory</i>)	Metode kerja yang tidak sesuai dengan standar dapat meningkatkan adanya <i>work in process</i>
16	<i>M_D</i> (<i>Motion_Defect</i>)	Ketiadaan pelatihan dan standarisasi berarti bahwa persen cacat dapat meningkat
17	<i>M_P</i> (<i>Motion_Process</i>)	Ketika pekerjaan tidak terstandarisasi, pemborosan proses dapat meningkat karena kekurangpahaman kapasitas yang tersedia
18	<i>M_W</i> (<i>Motion_Waiting</i>)	Ketika standar tidak digunakan, waktu akan banyak dihabiskan untuk mencari, menggenggam, berpindah yang dapat mengakibatkan peningkatan waktu menunggu dari stasiun yang satu ke stasiun selanjutnya
19	<i>T_O</i> (<i>Transportation_Overproduction</i>)	Barang yang diproduksi lebih dari kapasitas akan meningkatkan pemindahan
20	<i>T_I</i> (<i>Transportation_Inventory</i>)	Ketidalcukupan <i>material handling equipment</i> (MHE) dapat menyebabkan <i>work in process</i> yang dapat berpengaruh pada proses selanjutnya
21	<i>T_D</i> (<i>Transportation_Defect</i>)	MHE sangat berperan untuk menentukan pemborosan dalam hal transportasi. MHE yang tidak cocok suatu saat dapat membahayakan produk yang dapat berakibat pada terjadinya kecacatan
22	<i>T_M</i> (<i>Transportation_Motion</i>)	Ketika <i>item</i> ditransportasikan kemana saja ini berarti bahwa besar kemungkinan terjadinya pemborosan pergerakan
23	<i>T_W</i> (<i>Transportation_Waiting</i>)	Apabila MHE tidak mencukupi, ini berarti bahwa <i>item</i> akan menganggur untuk menunggu dipindahkan
24	<i>P_O</i> (<i>Process_Overproduction</i>)	Untuk mengurangi biaya dari operasi per waktu mesin, maka mesin didorong untuk beroperasi penuh, dimana hasilnya akan terjadi produksi berlebih
25	<i>P_I</i> (<i>Process_Inventory</i>)	Kombinasi operasi dalam satu sel akan mendapatkan hasil secara langsung untuk menurunkan jumlah <i>work in process</i> karena meleminasi <i>buffer</i>
26	<i>P_D</i> (<i>Process_Defect</i>)	Jika mesin tidak dirawat sewajarnya, maka dapat menimbulkan cacat
27	<i>P_M</i> (<i>Process_Motion</i>)	Teknologi proses baru yang kekurangan training dapat menghasilkan pemborosan dalam hal pergerakan manusia
28	<i>P_W</i> (<i>Process_Waiting</i>)	Ketika teknologi yang digunakan tidak cocok, <i>setup time</i> dan <i>repetitive down time</i> sudah pasti akan menambah waktu tunggu
29	<i>W_O</i> (<i>Waiting_Overproduction</i>)	Ketika mesin menunggu karena <i>supplier</i> memasok konsumen lain, mesin ini suatu saat akan dipaksa untuk memproduksi lebih untuk menjaga agar proses dapat tetap berjalan

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
30	<i>W_I</i> (<i>Waiting_Inventory</i>)	Menunggu berarti banyak item daripada yang dibutuhkan pada satu titik, baik bahan baku, <i>work in process</i> ataupun produk jadi
31	<i>W_D</i> (<i>Waiting_Defect</i>)	<i>Item</i> yang menunggu mungkin menyebabkan cacat pada kondisi yang tidak cocok

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan kriteria pengukuran yang berupa enam pertanyaan dengan tiap jawaban memiliki rentang bobot 0 sampai 4. Hubungan antar *waste* yang satu dengan yang lainnya dapat disimbolkan dengan menggunakan huruf pertama pada tiap *waste* (Rawabdeh, 2005)

Tabel 2. 5 Kriteria untuk Pembobotan Kekuatan *Waste Relationship*

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

2. Waste Relationship Matrix (WRM)

Waste Relationship Matrix (WRM) merupakan matriks yang digunakan untuk menganalisis kriteria pengukuran (Khannan & Haryono, 2015). *Waste Relationship Matrix* merupakan suatu *matrix* yang digunakan untuk menganalisa kriteria pengukuran. WRM merupakan *matrix* yang terdiri dari baris dan kolom. Setiap baris menunjukkan pengaruh suatu *waste* tertentu terhadap ke 6 *waste* lainnya. Sedangkan setiap kolom menunjukkan *waste* yang dipengaruhi oleh *waste* lainnya (Rawabdeh, 2005).

Tabel 2. 6 Contoh *Waste Relationship Matrix*

FROM/TO	Overproduction	Inventory	Defect	Motion	Transportation	Process	Waiting
Overproduction	E	A	I	I	E	X	A
Inventory	O	E	I	I	I	X	X
Defect	I	I	A	A	O	X	A
Motion	X	E	A	E	X	E	O
Transportation	I	A	I	U	U	X	A
Process	I	O	A	I	X	U	A
Waiting	O	A	E	X	X	X	E

Tabel 2. 7 Konversi Rentang Skor Keterkaitan antar *Waste*

Range	Jenis Hubungan	Simbol
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

Sumber : (Rawabdeh, 2005)

3. *Waste Assessment Questionnaire (WAQ)*

Waste Assessment Questionnaire dibuat untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan *waste* yang terjadi pada lini produksi (Khannan & Haryono, 2015). *Waste Assessment Questionnaire* dibuat untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan *waste* yang terjadi pada lini produksi (Rawabdeh, A model for the assessment of waste in job shop environments, 2005) kuesioner untuk WAQ terdiri dari 68 pertanyaan. Kuesioner ini mewakili dua jenis pertanyaan yang didahului dengan “*from*” yaitu menjelaskan jenis pemborosan yang dapat menyebabkan munculnya pemborosan yang lain dan “*to*” yaitu menjelaskan jenis pemborosan yang muncul disebabkan oleh pemborosan lain. Jawaban kuesioner terdiri dari dua kategori jawaban, Kategori A apabila pertanyaan dengan jawaban “iya” maka terdapat pemborosan dan kategori B apabila pertanyaan dengan jawaban “iya” maka tidak terdapat pemborosan. Kedua kategori jawaban tersebut memiliki tiga jenis pilihan jawaban yaitu “Ya”, “sedang”, dan “tidak” yang memiliki bobot 1, 0.5, dan 0. WAQ memiliki delapan tahapan perhitungan skor *Waste* untuk mencapai peringkat *Waste*, yaitu antara lain: (Rawabdeh, A model for the assessment of waste in job shop environments, 2005)

- 1) Mengelompokkan dan menghitung jumlah pertanyaan kuesioner berdasarkan jenis pertanyaan.
- 2) Melakukan pembobotan awal untuk tiap jenis *waste* pada tiap jenis pertanyaan kuesioner berdasarkan nilai bobot dari WRM.
- 3) Menghilangkan pengaruh variasi jumlah pertanyaan untuk tiap jenis pertanyaan dengan membagi bobot setiap baris dengan jumlah pertanyaan yang dikelompokkan (N_i) untuk setiap pertanyaan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_j = \sum_{k=1}^K \frac{W_j \cdot k}{N_i}$$

- 4) Menghitung jumlah skor (S_j) berdasarkan persamaan 3 dan frekuensi (F_j) dari munculnya nilai pada tiap kolom *waste* dengan mengabaikan nilai 0 (nol).

$$F_j = N - F_0$$

- 5) Memasukkan nilai rata-rata dari jawaban (terlampir) dari hasil kuesioner ke dalam tiap bobot nilai di tabel dengan menggunakan persamaan berikut:

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

- 6) Menghitung jumlah skor (s_j) berdasarkan persamaan 5 dan frekuensi (f_j) untuk tiap nilai bobot pada kolom *Waste*

$$f_j = N - f_0$$

- 7) Menghitung indikator awal untuk tiap *waste* (Y_j) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y_j = \frac{s_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j}$$

- 8) Menghitung nilai final *waste* faktor (Y_{jfinal}) dengan memasukkan faktor probabilitas pengaruh antara jenis *waste* (P_j) berdasarkan total "*from*" dan "*to*" pada WRM. Mempersentasekan bentuk Y_{jfinal} yang diperoleh sehingga bisa diketahui peringkat level dari masing-masing *waste*. Y_{jfinal} dapat dihasilkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y_{jfinal} = Y_j \times P_j = \left(\frac{s_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j} \right) \times (\%From_j \times \%To_j)$$

Keterangan:

- N = Jumlah pertanyaan (68)
- N_i = Jumlah pertanyaan yang dikelompokkan
- K = Nomor pertanyaan (antara 1-68)
- X_k = Nilai dari jawaban tiap pertanyaan kuesioner (1, 0.5 atau 0)
- S_j = Skor *waste*
- S_j = Total untuk nilai bobot *waste*
- W_j = Bobot hubungan dari tiap jenis *waste*
- F_j = Frekuensi *waste* bukan 0 (Untuk S_j)
- f_j = Frekuensi *waste* bukan 0 (Untuk s_j)
- F_0 = Frekuensi 0 (Untuk S_j)
- f_0 = Frekuensi 0 (Untuk s_j)
- Y_j = Faktor indikasi awal dari tiap jenis *waste*
- P_j = Probabilitas pengaruh antar jenis *waste*
- Y_{jfinal} = Faktor akhir dari setiap jenis *waste*
- $\%From_j$ = Persentase nilai *from waste* terkait

$\%Toj$ = Persentase nilai *to waste* terkait

2.7.3 SIPOC Diagram

SIPOC Diagram digunakan pada tahap *define* dalam pengendalian kualitas dengan *six sigma*. Analisa SIPOC adalah cara sederhana untuk mengidentifikasi tentang bagaimana aliran proses dimulai dari pemasok sampai ke tangan pelanggan (Saludin, 2016). *SIPOC Diagram* adalah adalah suatu diagram yang menggambarkan sebuah proses yang didalamnya terdapat *supplier*, *input*, *process*, *output* dan *customer* sebagai elemen-elemen yang memiliki arti sebagai berikut:

- a. *Supplier* – sistem, orang-orang. Organisasi atau sumber lain yang mendukung atau menyuplai sesuatu yang dijadikan input oleh pelaku usaha dalam proses produksinya.
- b. *Input* – material, informasi, dan sumber daya lainnya yang disediakan oleh *supplier* dan digunakan sebagai bahan utama dalam proses produksi guna menghasilkan output yang dihasilkan.
- c. *Process* – suatu kumpulan Jangkah dan aktivitas yang mentransformasikan *input* dan *output*.
- d. *Output* – suatu produk atau jasa yang dihasilkan dari suatu input serta proses dan digunakan oleh konsumen.
- e. *Customer* – orang-orang, perusahaan, sistem atau proses-proses lain yang menerima *output* dari proses tertentu.

2.7.4 Pendefinisian Waste Defect

Dalam pengaplikasian *Six sigma*, *Critical to Quality* (CTQ) adalah kriteria karakteristik kualitas yang menimbulkan dan atau memiliki potensi untuk menimbulkan kegagalan atau kecacatan (Gaspersz, 2002). CTQ adalah elemen yang sangat penting karena berkaitan langsung dengan kepuasan pelanggan, yang merupakan elemen dari produk, proses atau praktek yang berdampak terhadap kualitas.

2.8 Measure

Measure merupakan langkah kedua yaitu setelah langkah define dalam penelitian ini

2.8.1 Pengukuran *Waste Defect*

1. U Chart

Peta kendali ini digunakan untuk mengadakan pengujian terhadap kualitas proses produksi dengan mengetahui banyaknya kesalahan pada satu unit produk sebagai sampelnya. Karena sampel yang diambil bervariasi maka peta kendali yang digunakan adalah peta kendali U. Untuk menggunakan peta kendali U ini terlebih dahulu diketahui banyaknya kesalahan untuk satu unit produk. Berikut ini adalah langkah-langkah peta kendali untuk data atribut (*U Chart*): (Safira, 2017)

- 1) Menghitung “unit” masing-masing jumlah cacat

$$u = \frac{c}{n}$$

- 2) Menentukan garis tengah (*central line/CL*)

$$CL = \bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n}$$

- 3) Menentukan batas-batas pengendali, *Upper Control Limit (UCL)* dan *Lower Control Limit (LCL)*

$$UCL = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}}$$

$$LCL = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}}$$

Keterangan:

\bar{u} = garis pusat peta kendali proporsi kesalahan

ni = banyaknya sampel yang diambil setiap kali observasi

u = proporsi kesalahan dalam setiap sampel

n = banyaknya sampel yang diambil dalam inspeksi

UCL = Merupakan garis batas atas untuk suatu penyimpangan yang masih diijinkan

CL = Merupakan garis yang melambangkan tidak adanya penyimpangan dari karakteristik sampel

LCL = Merupakan garis batas bawah untuk suatu penyimpangan yang masih diijinkan

2. DPMO (*Defect Per Million Opportunities*)

DPMO adalah metode pengukuran jumlah cacat yang dihasilkan oleh suatu proses untuk setiap juta peluang. Berikut adalah rumus untuk perhitungan DPMO (Evans & William, 2007):

$$DPMO = \frac{D}{U \times O} \times 1000000$$

Keterangan:

D = Jumlah produk cacat

U = Jumlah produk yang diperiksa

O = Jumlah kemungkinan cacat

3. Nilai *Sigma*

Nilai sigma akan didapatkan setelah mendapatkan nilai DPMO terlebih dahulu. Untuk mengkonversikan nilai DPMO ke nilai sigma dapat dilihat pada tabel konversi nilai sigma atau menggunakan rumus fungsi logika di *Microsoft Excel* (Gasperz, Total Quality Management, 2002). Rumus fungsi logika yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai Sigma} = \text{normsinv} \left(\frac{(1000000 - DPMO)}{1000000} \right) + 1,5$$

2.9 Analyze (Menganalisis)

Tahap ini merupakan tahap ketiga dalam penelitian ini, yaitu setelah tahap measure

2.9.1 *Fishbone Diagram*

Cause and effect diagram (diagram sebab dan akibat) juga sering disebut *fishbone diagram* (diagram tulang ikan), dikarenakan bentuk diagram ini menyerupai bentuk seperti tulang ikan. Dimana pada bagian kepala digunakan sebagai masalah (*effect*) dan pada bagian tubuh ikan berupa rangka serta duri-duri digunakan sebagai penyebab (*cause*) dari suatu permasalahan yang ada. Faktor dalam *cause and effect diagram* berdasarkan 5M + 1E, yaitu *machine, measurement, method, material, men, dan environment*.

Fishbone diagram (diagram tulang ikan) sering juga disebut *Cause and Effect Diagram* atau *Ishikawa Diagram* dikemukakan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang ahli dalam pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar (7

basic quality tools). *Fishbone diagram* digunakan pada saat ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab atau masalah dan terutama ketika sebuah kelompok cenderung jatuh berpikir pada rutinitas (Tague, 2005)

2.9.2 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pertama kali muncul dari salah satu studi yang dilakukan oleh NASA pada tahun 1963. FMEA kemudian tersebar pada industri manufaktur mobil yaitu Ford pada tahun 1980'an, yang digunakan untuk mengukur dan menunjukkan kemungkinan potensi-potensi cacat pada tahap perancangan suatu produk, sehingga produk yang cacat tidak sampai ke tangan konsumen. AIAG (*Automotive Industry Action Grup*) dan ASQC (*American Society for Quality Control*) menetapkannya sebagai standar pada tahun 1993. Saat ini FMEA merupakan sebuah tools dalam ISO/TS 16949:2002 (*Technical Specification for Automotive Industry*). Arti FMEA secara harafiah adalah :

1. *Failure*: memprediksi kemungkinan kesalahan atau cacat
2. *Mode*: menentukan mode kesalahan
3. *Effect*: mengidentifikasi pengaruh tiap komponen terhadap kesalahan.
4. *Analysis*: melakukan tindakan perbaikan berdasarkan hasil evaluasi terhadap penyebab.

Dari pengertian diatas mengenai *Failure modes and effect analysis* (FMEA) tersebut, terdapat tujuan yang bisa dicapai pelaku usaha (perusahaan) melalui penerapan FMEA diantaranya:

- a. Mengidentifikasi *mode* kegagalan dan tingkat keparahan efek dari model kegagalan tersebut.
- b. Mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- c. Mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses
- d. Membantu fokus *engineer* dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan

Menurut Chrysler (1995), FMEA dapat dilakukan dengan cara :

- a. Mengenali dan mengevaluasi potensi kesalahan suatu produk dan efeknya.
- b. Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari potensi kesalahan terjadi.
- c. Pencatatan proses (*document the process*).

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan-keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan, (Ford Motor Company, 1992) antara lain:

- a. Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk
- b. Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan
- c. Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan
- d. Menurangi waktu dan biaya pengembangan produk
- e. Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko

Sedangkan manfaat khusus dari Process FMEA bagi perusahaan adalah:

- a. Membantu menganalisis proses manufaktur baru.
- b. Meningkatkan pemahaman bahwa kegagalan potensial pada proses manufaktur harus dipertimbangkan.
- c. Mengidentifikasi defisiensi proses, sehingga para engineer dapat berfokus pada pengendalian untuk mengurangi munculnya produksi yang menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan atau pada metode untuk meningkatkan deteksi pada produk yang tidak sesuai tersebut.
- d. Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses.
- e. Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses manufaktur atau perakitan di masa datang.

Output dari Process FMEA adalah:

- a. Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- b. Daftar critical characteristic dan significant characteristic.
- c. Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

FMEA memastikan produk akan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan kebutuhan pelanggan. Pada FMEA konvensional, penilaian risiko suatu kegagalan atau kerusakan dapat diperoleh dengan mengalikan skor *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), yang hasilnya berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN). Dimana skor nilai S, O, dan D

masing-masing menggunakan skala penilaian 1-10. Pengukuran terhadap besarnya nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* adalah sebagai berikut:

1. Nilai *severity*

Keparahan (*severity*) adalah dampak yang dirasakan apabila suatu kegagalan terjadi. *Severity* adalah nilai yang terkait dengan efek atau akibat pada mode kesalahan. Nilai *Severity* dimulai dari angka 1 sampai 10 dimana 1 merupakan tingkat paling rendah dan 10 tingkat paling tinggi.

Tabel 2. 8 Penentuan Nilai *Severity*

Rating	Kriteria
1	<i>Negligible severity</i> (pengaruh buruk yang dapat diabaikan). Kita tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kualitas produk. Pelanggan mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan tersebut.
2	<i>Mild severity</i> (pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang ditimbulkan akan bersifat ringan, pelanggan tidak akan merasakan penurunan kualitas.
3	
4	<i>Moderate severity</i> (pengaruh buruk yang moderate). Pelanggan akan merasakan penurunan kualitas, namun masih dalam batas toleransi.
5	
6	
7	<i>High severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pelanggan akan merasakan penurunan kualitas yang berada diluar batas toleransi.
8	
9	<i>High severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pelanggan akan merasakan penurunan kualitas yang berada diluar batas toleransi.
10	

Sumber: (Gaspersz, 2002)

2. Nilai *Occurrence*

Apabila sudah ditentukan nilai *severity* dari masing-masing mode kegagalan, maka tahap berikutnya adalah menentukan rating pada proses *occurrence*. Kejadian (*occurrence*) adalah probabilitas atau tingkat frekuensi seberapa sering terjadinya kegagalan. *Occurrence* adalah seberapa sering kemungkinan penyebab potensi kesalahan akan terjadi. Kemungkinan dari peringkat *occurrence* memiliki makna relatif dari pada nilai absolut. Peringkat *occurrence* dari potensi mode kesalahan dimulai dari skala 1 sampai 10.

Tabel 2. 9 Penentuan Nilai *Occurrence*

Degree	Berdasarkan Frekuensi Kejadian	Rating
Remote	0,01 per 1000 item	1
	0,1 per 1000 item	2
Low	0,5 per 1000 item	3
	1 per 1000 item	4
Moderate	2 per 1000 item	5
	5 per 1000 item	6
High	10 per 1000 item	7
	20 per 1000 item	8
Very High	50 per 1000 item	9
	100 per 1000 item	10

Sumber: (Gaspersz, 2002)

3. Nilai *Detection*

Deteksi (*detection*) adalah kemungkinan untuk mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu kegagalan. Hal ini berkaitan dengan kemampuan pelaku usaha dalam mendeteksi akan terjadi suatu kegagalan yang secara langsung dapat menyebabkan kerugian pada perusahaan.

Tabel 2. 10 Penentuan Nilai *Detection*

Rating	Kriteria	Berdasarkan Frekuensi Kejadian
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab kemungkinan	0,01 per 1000 item
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah	0,1 per 1000 item
3		0,5 per 1000 item
4	Kemungkinan penyebab terjadinya bersifat moderat. Metode pencegahan kadang mungkin penyebab itu terjadi.	1 per 1000 item
5		2 per 1000 item
6	Kemungkinan penyebab terjadinya masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif. Masih berulang kembali.	5 per 1000 item
7		10 per 1000 item
8		20 per 1000 item
9		50 per 1000 item

Rating	Kriteria	Berdasarkan Frekuensi Kejadian
10	Kemungkinan penyebab terjadinya masih sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab masih berulang	100 per 1000 item

Sumber: (Gaspersz, 2002)

Setelah mendapatkan nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* maka akan diperoleh nilai RPN dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Risk Priority Number (RPN)} \\ = \text{Severity (S)} \times \text{Occurrence (O)} \times \text{Detection (D)} \end{aligned}$$

Pada persamaan diatas merupakan perkalian dari efek/keparahan (S), frekuensi penyebab kesalahan (O) dan kontrol deteksi (D) yang kemudian dilakukan pengurutan berdasarkan nilai RPN tertinggi sampai terendah.

2.9.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP adalah suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah *multi factor* atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki (Syaifullah, 2010). Masalah yang kompleks dapat di artikan bahwa kriteria dari suatu masalah yang begitu banyak (multikriteria), struktur masalah yang belum jelas, ketidakpastian pendapat dari pengambil keputusan, pengambil keputusan lebih dari satu orang, serta ketidakakuratan data yang tersedia (Syaifullah, 2010). Menurut Saaty (1993), hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya kebawah hingga level terakhir yaitu alternatif. AHP sering digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain karena alasan-alasan sebagai berikut : (Syaifullah, 2010)

1. Struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai pada subkriteria yang paling dalam.

2. Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi berbagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.
3. Memperhitungkan daya tahan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan

Metode AHP dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: (Kusrini, 2008)

1. Menyusun hirarki dari permasalahan yang dihadapi.
Persoalan yang akan diselesaikan, diuraikan menjadi unsur-unsurnya, yaitu kriteria dan alternatif, kemudian disusun menjadi struktur hierarki.
2. Penilaian kriteria dan alternatif
Kriteria dan alternatif dinilai melalui perbandingan berpasangan. Menurut (Saaty, 1993), untuk berbagai persoalan, skala 1 sampai 9 adalah skala terbaik dalam mengekspresikan pendapat. Nilai dan definisi pendapat kualitatif dari skala perbandingan Saaty dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel 2. 11 Skala perbandingan nilai berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen yang lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen yang lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

Sumber: (Saaty, 1993)

Perbandingan dilakukan berdasarkan kebijakan pembuat keputusan dengan menilai tingkat kepentingan satu elemen terhadap elemen lainnya. Proses perbandingan berpasangan dimulai dari level hirarki paling atas yang ditujukan untuk memilih kriteria, misalnya A, kemudian diambil elemen yang akan dibandingkan, misal A1, A2, dan A3

(Kusrini, 2008). Maka susunan elemen-elemen yang dibandingkan tersebut akan tampak seperti pada gambar matriks di bawah ini :

Tabel 2. 12 Contoh Matriks Perbandingan Berpasangan

	A1	A2	A3
A1	1	3	5
A2	1/3	1	2
A3	1/5	1/2	1

Untuk menentukan nilai kepentingan relatif antar elemen digunakan skala bilangan dari 1 sampai 9 seperti pada Tabel 2.12. Penilaian ini dilakukan oleh seorang pembuat keputusan yang ahli dalam bidang persoalan yang sedang dianalisis dan mempunyai kepentingan terhadapnya (Kusrini, 2008). Apabila suatu elemen dibandingkan dengan dirinya sendiri maka diberi nilai 1. Jika elemen *i* dibandingkan dengan elemen *j* mendapatkan nilai tertentu, maka elemen *j* dibandingkan dengan elemen *i* merupakan kebalikannya.

Dalam AHP ini, penilaian alternatif dapat dilakukan dengan metode langsung (*direct*), yaitu metode yang digunakan untuk memasukkan data kuantitatif (Kusrini, 2008). Biasanya nilai-nilai ini berasal dari sebuah analisis sebelumnya atau dari pengalaman dan pengertian yang detail dari masalah keputusan tersebut. Jika si pengambil keputusan memiliki pengalaman atau pemahaman yang besar mengenai masalah keputusan yang dihadapi, maka dia dapat langsung memasukkan pembobotan dari setiap alternatif (Kusrini, 2008).

1. Penentuan prioritas

Untuk setiap kriteria dan alternatif, perlu dilakukan perbandingan berpasangan (*pairwise comparisons*). Nilai-nilai perbandingan *relative* kemudian diolah untuk menentukan peringkat alternatif dari seluruh alternatif. Baik kriteria kualitatif, maupun kriteria kuantitatif, dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan bobot dan prioritas. Bobot atau prioritas dihitung dengan manipulasi matriks atau melalui penyelesaian persamaan matematik (Kusrini, 2008).

Pertimbangan-pertimbangan terhadap perbandingan berpasangan disintesis untuk memperoleh keseluruhan prioritas melalui tahapan-tahapan berikut: (Kusrini, 2008)

- a. Kuadratkan matriks hasil perbandingan berpasangan.
 - b. Hitung jumlah nilai dari setiap baris, kemudian lakukan normalisasi matriks.
2. Konsistensi Logis

Semua elemen dikelompokkan secara logis dan diperingatkan secara konsisten sesuai dengan suatu kriteria yang logis. Matriks bobot yang diperoleh dari hasil perbandingan secara berpasangan tersebut harus mempunyai hubungan kardinal dan ordinal. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut: (Suryadi & Ramdhani, 1998)

Hubungan kardinal : $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$

Hubungan ordinal : $A_i > A_j, A_j > A_k$ maka $A_i > A_k$

Pada keadaan sebenarnya akan terjadi beberapa penyimpangan dari hubungan tersebut, sehingga matriks tersebut tidak konsisten sempurna. Hal ini terjadi karena ketidakkonsistenan dalam preferensi seseorang.

Penghitungan konsistensi logis dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mengalikan matriks dengan prioritas bersesuaian.
- b. Menjumlahkan hasil perkalian per baris.
- c. Hasil penjumlahan tiap baris dibagi prioritas bersangkutan dan hasilnya dijumlahkan.
- d. Hasil c dibagi jumlah elemen, akan didapat λ_{maks} .
- e. Selanjutnya menghitung nilai Indeks Konsistensi (CI) dengan persamaan:

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1}$$

- f. Kemudian menghitung nilai Rasio Konsistensi (CR) dengan persamaan:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

di mana RI adalah indeks random konsistensi. Jika rasio konsistensi ≤ 0.1 , hasil perhitungan data dapat dibenarkan. Daftar RI dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 2. 13 Nilai Indeks Random

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RC	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

2.9.4 FMEA AHP

Metode FMEA merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko dari proses produksi (Puspitasari & Martanto, 2014). Sedangkan metode AHP digunakan untuk membantu penentuan alternatif strategi dalam meminimalkan resiko dari proses produksi . Salah satu kelemahan dari FMEA adalah kemungkinan mendapatkan hasil nilai RPN yang sama dengan maksud dan tujuan yang berbeda. Sehingga nilai kepentingan relatif antara *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* perlu dipertimbangkan dengan mengintegrasikan dengan metode AHP.