

**OPTIMASI PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN INTEGRASI
DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI DAN *DISCRETE-EVENT*
SIMULATION
(Studi Kasus di SP Alumunium Yogyakarta)**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

**Nama : Rimadilla Rizqy Linauliyamara
No. Mahasiswa : 14 522 157**

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

2018

PERNYATAAN

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

Yogyakarta, 6 November 2018



Rimadilla Rizqy Linauliyamara
NIM: 14 522 157

SURAT KETERANGAN PENELITIAN



Jl. Tanjung UH VI No. 84, Sorogenen, Sorosutan – Umbulharjo
Yogyakarta - 55162
Telp./Fax: 62 274 - 372 810 / 375 084



No. Surat : 061/SP-AL/KP-XI/2018
Perihal : Keterangan Selesai Penelitian dan Observasi Lapangan.

Kepada Yth. : Bapak / Ibu
Sek. Prodi Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri UII

Dengan ini kami beritahukan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas sebagai berikut :

Nama : Rimadilla Rizqy Linauliyamara
NIM : 14522157
Fakultas : Teknologi Industri
Materi Penelitian : Integrasi Desain Eksperimen Taguchi dan Discrete-Event Simulation
dalam Optimasi Proses Produksi.

Telah selesai melakukan penelitian dan pengambilan data di perusahaan SP. Alumunium dalam rangka pengerjaan tugas dari kampus guna kepentingan program studi. Harapan kami, semoga apa yang sudah didapat dari hasil penelitian dan pengambilan data di perusahaan kami dapat bermanfaat, dan berguna untuk adik-adik Mahasiswa/i kedepannya.

Demikian surat ini kami buat, semoga dapat dipergunakan dengan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 9 November 2018.
Pembimbing Penelitian dan Kerja
Praktek SP Alumunium

(TEDDY OCTARIYANTO)

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

OPTIMASI PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN INTEGRASI DESAIN
EKSPERIMEN TAGUCHI DAN *DISCRETE-EVENT SIMULATION*
(Studi Kasus di SP Alumunium Yogyakarta)

TUGAS AKHIR



Yogyakarta, 6 November 2018

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

(Ir. Ali Parkhan, M.T.)

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

OPTIMASI PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN INTEGRASI DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI DAN *DISCRETE-EVENT SIMULATION*

(Studi Kasus di SP Alumunium Yogyakarta)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Rimadilla Rizqy Linauliyamara

No. Mhs : 14 522 157

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 23 November 2018

Tim Penguji

Ir. Ali Parkhan, M.T.

Ketua

Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D.

Anggota I

Annisa Uswatun K., ST., M.B.A., M.Sc.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri
Universitas Islam Indonesia



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Aku persembahkan karyaku kepada :
Kedua orang tuaku tercinta dan keluargaku terkasih,
Guru – guruku,
Teknik Industri UII,
Semua pihak yang telah membantu,
Nusa, Bangsa, Indonesia Raya,
dan diriku.

HALAMAN MOTTO

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

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya.” (QS. Al-Baqarah: 286)

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain.” (HR. Ahmad, Thabrani, Daruqutni.)

“Aku menuruti prasangka hamba terhadapKu, jika ia berprasangka baik terhadapKu, maka baginya kebaikan, maka jangan berprasangka terhadap Allah kecuali kebaikan!” (HR. Bukhari)

“Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?” (QS. Ar- Rahman : 13)

Believe in yourself a little more

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik serta hidayahnya. Shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat, serta orang-orang yang bertaqwa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Proses Produksi Menggunakan Integrasi Desain Eksperimen Taguchi dan *Discrete-Event Simulation*” dengan baik.

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. Dalam 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 Dr. 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. Kedua orang tuaku Bapak Heri Basuki Raharjo dan Ibu Sumisih. Mbak lia dan Fadhil yang selalu memberikan dukungan, doa dan kasih sayang.
6. Bapak Teddy Octarianto selaku kepala produksi sekaligus pembimbing penelitian di SP Alumunium yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir di SP Alumunium, serta jajaran staff yang telah membantu selama masa penelitian.

7. Seluruh keluarga besar Teknik Industri angkatan 2014 yang telah menemani perjuangan untuk mencapai kesuksesan masa depan, terutama sahabat – sahabatku.
8. Keluarga asisten Laboratorium Pemodelan dan Simulasi Industri dari angkatan 2011 hingga 2017 terutama angkatan 2014 yang juga telah menemani perjuangan dari awal masuk laboratorium yang selalu memberikan dukungan dan motivasinya.
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 kekeliruan dan kekurangan. Untuk itu penulis menyampaikan permohonan maaf sebelumnya serta sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 6 November 2018

Penulis

ABSTRAK

Persaingan industri yang semakin ketat mendorong kesadaran perusahaan manufaktur akan kebutuhan terkait bagaimana mengkombinasikan faktor-faktor produksi atau sumber daya yang ada dengan tepat. Salah satu cara pengoptimalan faktor-faktor produksi adalah Metode Taguchi yang meminimalkan jumlah percobaan serta memberikan informasi sebanyak mungkin mengenai faktor yang berpengaruh. Karena tidak sedikit percobaan yang dilakukan membutuhkan investasi yang besar, bahkan dapat membawa dampak buruk terhadap sistem nyata yang dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan, maka dilakukan integrasi dengan pendekatan Discrete-Event Simulation SP Aluminium merupakan industri manufaktur yang menghasilkan peralatan rumah tangga berbasis aluminium. Berdasarkan wawancara dengan pihak perusahaan, perusahaan dirasa kurang maksimal dalam memenuhi permintaan pelanggan yang tidak menentu. Perusahaan terkadang kesulitan dalam menetapkan jumlah pekerja yang tepat dalam proses produksinya. Dari pengamatan yang dilakukan terdapat pula beberapa proses tidak berjalan secara maksimal karena terjadinya bottleneck pada proses tersebut. Dari analisa yang dilakukan, didapatkan bahwa terdapat 6 faktor yang mempengaruhi proses produksi antara lain adalah alur proses gerinda halus dan pengikiran, jumlah pekerja pada cetak ketel, pengecekan, gerinda kasar, gerinda halus, serta pengikiran. Dari keenam faktor tersebut, berada dalam kondisi optimal dan dapat memenuhi permintaan yang ada dengan kombinasi secara berurutan adalah alur proses kikir dapat didahulukan, jumlah pekerja secara berurutan yaitu , 6, 3, 6, 5, dan 6 orang. Rata – rata peningkatan produk secara keseluruhan sebanyak 686 produk, yang mana adanya peningkatan tersebut akan membutuhkan biaya sebesar Rp 526.276,72. Melalui peningkatan biaya produksi tersebut, perusahaan mampu meningkatkan potensial pendapatannya menjadi Rp35,592,384.85. Pengaturan model Taguchi yang diusulkan juga dapat digunakan pula selain untuk kombinasi nomor produk yang dipilih saja namun juga untuk kombinasi ukuran yang sama berdasarkan pemetaan ukuran dari perusahaan.

Kata kunci : Taguchi, Orthogonal Array, Discrete-Event Simulation, Multi Respon, Production Process

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	ii
SURAT KETERANGAN PENELITIAN	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	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN LITERATUR	7
2.1. Kajian Induktif.....	7
2.2. Kajian Deduktif.....	14
2.2.1 Proses Produksi	14
2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Produksi	14
2.2.3 <i>Design of Experiment</i>	16
2.2.4 Desain Eksperimen Taguchi	16
2.2.5 Tahapan Desain Eksperimen Taguchi	17
A. Perumusan Masalah dan Tujuan Eksperimen	17
B. Penentuan Variabel Tak Bebas (Variabel Respon)	18
C. Mengidentifikasi Variabel Bebas (Faktor – Faktor)	18
D. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan	18
E. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor	18
F. Penentuan Matriks Eksperimen	19
G. Penentuan Jumlah Replikasi	22
H. Ratio Signal Terhadap <i>Noise (S/N Ratio)</i>	22

2.2.6 Taguchi Multi Respon	24
2.2.7 Analisa Regresi	26
2.2.8 Uji Beda	28
2.2.9 Sistem, Model, dan Simulasi	28
2.2.10 <i>Discrete-Event Simulation</i>	31
2.2.11 Validasi dan Verifikasi	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Diagram Alir Penelitian	32
3.2. Fokus Kajian	34
3.3. Objek Penelitian.....	34
3.4. Penentuan Lingkup Penelitian.....	34
3.5. Pengumpulan Data.....	34
3.6. Pengolahan Data	36
3.7. Analisa dan Pembahasan.....	39
3.8. Kesimpulan dan Saran	Error! Bookmark not defined.
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	40
4.1. Pengumpulan data.....	40
4.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan	40
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan	42
4.1.3 Hasil Produksi	42
4.1.4 Proses Produksi	44
4.1.5 Waktu Kerja	47
4.1.6 <i>Job Desk</i> Tenaga Kerja	47
4.1.7 Jumlah Stasiun Kerja	47
4.1.8 Jenis Produk yang Diamati untuk Membangun Model Awal	48
4.1.9 Jenis Produk yang Diamati untuk Merancang Eksperimen Taguchi	50
4.1.10 Pengambilan Data Waktu Proses	51
4.1.11 Pengambilan Data Klasifikasi Produk	52
4.2. Pengolahan Data	53
4.2.1 Pengolahan Data Waktu Proses	53
4.2.2 Perancangan Model Awal	54
4.2.2.1 Batasan Model Simulasi	54
4.2.2.2 Pendefinisian Entitas	56
4.2.2.3 Pendefinisian <i>Resources</i> , Waktu Proses dan Kapasitas Proses	57
4.2.3 Validasi Model	61
4.2.4 Perancangan Eksperimen Taguchi	65
4.2.4.1 Perancangan Model Awal Taguchi	65
4.2.4.2 Perancangan Raspon	67
4.2.4.3 Penentuan Faktor Kendali	67

4.2.4.4	Penentuan Level Faktor	71
4.2.4.5	Penentuan Matriks Eksperimen	73
4.2.5	Perancangan Model Eksperimen	75
4.2.6	Simulasi Model Eksperimen	76
4.2.7	Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i> dan Efek Tiap Faktor Terhadap Masing – masing Respon	77
4.2.8	Penentuan Level Faktor Optimal Menggunakan <i>Multi Respon Signal to Ratio (MRSN)</i>	81
4.2.8.1	Uji Prediksi	81
4.2.8.2	Menghitung <i>Quality Loss (L_{ij})</i>	84
4.2.8.3	Menghitung Normalisasi <i>Quality Loss (C_{ij})</i>	85
4.2.8.4	Menghitung <i>Total Normalized Quality Loss (TNQL)</i>	86
4.2.8.5	Menghitung Nilai <i>Multi Respon Signal to Ratio (MRSN)</i>	87
4.2.9	Simulasi Kombinasi Optimal Hasil Perhitungan MRSN	88
4.2.10	Uji Beda	89
BAB V PEMBAHASAN		91
5.1.	Analisa Model Awal Taguchi	91
5.2.	Analisa Hasil Eksperimen Taguchi	92
5.3.	Analisa Hasil MRSN	93
5.4.	Analisa Perbandingan	94
BAB VI PENUTUP		97
6.1.	Kesimpulan	97
6.2.	Saran	98
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN		101

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2. 2 <i>Orthogonal Array</i> standar Taguchi.....	20
Tabel 4. 1. Permintaan produk SP Alumunium periode Juli 2018 (unit)	43
Tabel 4. 2 <i>Job desk</i> tenaga kerja di SP Alumunium	47
Tabel 4. 3 Jumlah stasiun kerja	48
Tabel 4. 4 Produksi harian periode Mei – Juni 2018 (unit)	48
Tabel 4. 5 Frekuensi dan jumlah produksi tiap nomor selama 35 hari kerja (unit)	49
Tabel 4. 6 Tipe produk yang akan diteliti.....	50
Tabel 4. 7 Frekuensi dan jumlah permintaan tiap nomor bulan Juli 2018 (unit).....	50
Tabel 4. 8 tipe produk yang akan digunakan	51
Tabel 4. 9 Persentase hasil pegecekan dan pengelompokan wajan.....	52
Tabel 4. 10 Persentase hasil pegecekan dan pengelompokan ketel	52
Tabel 4. 11 Distribusi waktu proses	53
Tabel 4. 12 Item type produk wajan SP, wajan AL dan ketel.....	57
Tabel 4. 13 Pendefinisian masing – masing objek pada model simulasi menggunakan <i>tools Flexsim 6.0</i>	58
Tabel 4. 14 Hasil produksi dengan replikasi awal	61
Tabel 4. 15 Item type produk wajan SP, wajan AL dan ketel.....	66
Tabel 4. 16 Rata – rata 15 replikasi simulasi	69
Tabel 4. 17 Faktor kendali.....	70
Tabel 4. 18 Faktor kendali.....	71
Tabel 4. 19. Perhitungan jumlah pekerja yang dibutuhkan.....	71
Tabel 4. 20. Status <i>inventory</i> <i>WIP Finishing 1</i>	71
Tabel 4. 21 Rata – rata <i>%idle</i> hasil 15 replikasi simulasi	72
Tabel 4. 22 Level faktor dari setiap faktor kendali	73
Tabel 4. 23. <i>Orthogonal Array</i> L18 (2^13^7).....	74
Tabel 4. 24 <i>Orthogonal Array</i> yang digunakan	74
Tabel 4. 25 Hasil eksperimen respon jumlah produksi wajan (unit).....	77
Tabel 4. 26 Hasil eksperimen respon jumlah produksi ketel (unit).....	77
Tabel 4. 27 Nilai SNR respon jumlah produksi wajan	78
Tabel 4. 28 Efek tiap faktor untuk respon produksi wajan	79
Tabel 4. 29 Nilai SNR respon jumlah produksi ketel	80
Tabel 4. 30 Efek tiap faktor untuk respon produksi ketel	80
Tabel 4. 31 Hasil regresi masing – masing replikasi respon jumlah produksi wajan.....	82

Tabel 4. 32 Hasil regresi masing – masing replikasi	83
Tabel 4. 33 Hasil simulasi kondisi optimal	88
Tabel 4. 34 Data yang akan dibandingkan.....	89
Tabel 4. 35 Hasil <i>Paired-sample t-Test</i>	90
Tabel 5. 1 Perbandingan jumlah produksi kondisi awal dengan hasil kombinasi optimal	95
Tabel 5. 2 Perbandingan biaya yang dibutuhkan kondisi awal dengan kondisi optimal	95
Tabel 5. 3 Perbandingan pendapatan potensial kondisi awal dengan kondisi optimal	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kombinasi level eksperimen L_8 27.	21
Gambar 2. 2 Bagan hubungan antara sistem, model dan simulasi	29
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	33
Gambar 4. 1. Diagram Permintaan produk SP Alumunium periode 2 Juli hingga 26 Juli 2018 .43	
Gambar 4. 2 <i>Flowchart</i> proses produksi	44
Gambar 4. 3 Data jumlah produksi periode Mei – Juni 2018	48
Gambar 4. 4 Model awal simulasi	54
Gambar 4. 5 Grafik penentuan jumlah replikasi dengan α sebesar 0,05	62
Gambar 4. 6 <i>Layout</i> model awal Taguchi.....	66
Gambar 4. 7 Diagram alur produksi bagian gerinda halus dan pengikiran	75
Gambar 4. 8 Model simulasi eksperimen ke-18	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Waktu Proses	102
Lampiran 2. Model konseptual proses produksi di SP Alumunium.....	104
Lampiran 3. Model eksperimen taguchi L18.....	105
Lampiran 4. Hasil uji prediksi	111
Lampiran 5. Hasil perhitungan MRSN.....	127
Lampiran 6. Perhitungan biaya tambahan kondisi optimal.....	136

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Persaingan industri yang semakin ketat membuat perusahaan berlomba-lomba meningkatkan kualitas hasil produksi dengan cara meningkatkan efektifitas dan efisiensi proses produksi. Persaingan harga dan kinerja untuk mempertahankan profitabilitas dan kualitas semakin mendorong kesadaran perusahaan akan kebutuhan untuk mengoptimalkan kualitas produk dan proses produksi. Hal ini menjadi persoalan umum yang banyak dihadapi oleh perusahaan manufaktur terkait bagaimana mengkombinasikan faktor-faktor produksi atau sumber daya yang ada dengan tepat.

Banyak upaya rekayasa yang digunakan dalam peningkatan kualitas dengan pengoptimalan faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses produksi, salah satunya dengan desain eksperimen. Desain eksperimen yang dapat digunakan dalam memperbaiki kualitas adalah desain faktorial. Penggunaan desain faktorial memungkinkan lebih dari satu faktor yang berpengaruh terhadap suatu respon. Jika faktor yang digunakan banyak, maka kombinasi yang digunakan juga akan banyak. Diperlukan suatu metode yang dapat digunakan untuk merancang serta menganalisis eksperimen atau percobaan yang efisien dengan hanya menggunakan sebagian dari kondisi total. Penggunaan Taguchi *Orthogonal array* dapat meminimalkan jumlah percobaan yang juga memberikan informasi sebanyak mungkin mengenai faktor yang berpengaruh.

Uji coba pada proses produksi tidak selamanya dapat langsung dilakukan pada sistem nyata. Tidak sedikit percobaan yang akan dilakukan membutuhkan investasi yang besar, bahkan dapat membawa dampak buruk terhadap sistem. Hal tersebut tentunya dapat menimbulkan kerugian pada perusahaan. Dibutuhkan suatu pendekatan yang dapat digunakan untuk mereduksi investasi perusahaan dalam melakukan uji coba pada proses

produksi. Dengan begitu, dapat dipastikan pula bahwa perbaikan yang akan diterapkan memberikan dampak yang baik bagi perusahaan.

Studi simulasi dengan bantuan komputer mulai populer dan digunakan dalam banyak bidang penelitian. Dengan menerapkan solusi yang terkomputasi dalam rekayasa produksi memungkinkan mengurangi biaya yang disebabkan oleh perusahaan akibat kesalahan pengambilan keputusan saat merencanakan lini produksi (Kikolski, 2017). Melalui *Discrete Event Simulation (DES)* dapat diketahui dampak yang ditimbulkan dari perbaikan yang akan diterapkan (Omogbai & Salonitis, 2016).

SP Alumunium merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang industri peralatan rumah tangga dengan basis utama produksi berbahan dasar logam aluminium. Adapun produk yang dihasilkan adalah wajan, ketel, citel, soblok dan lain-lain. Tipe produksi yang digunakan adalah *make to order* dan *make to stock*, dimana produksi dilakukan ketika ada pesanan, namun juga terus memproduksi produk yang sering dipesan sebagai persediaan dalam memenuhi permintaan yang mendadak.

Berdasarkan observasi awal melalui wawancara secara langsung dengan Bapak Teddy Octarianto, perusahaan dirasa kurang maksimal dalam memenuhi permintaan pelanggan yang tidak menentu. Perusahaan terpaksa harus menggandeng mitra cetak dalam memenuhi permintaan tersebut untuk menghindari larinya pelanggan ke perusahaan lain. Perencanaan produksi di SP Alumunium juga dilakukan setiap harinya. Karena perusahaan memiliki produk yang bervariasi dengan nomor yang berbeda, maka perencanaan produksi setiap harinya juga berbeda - beda. Terkadang hal tersebut juga yang membuat perusahaan kesulitan dalam menetapkan jumlah pekerja yang tepat dalam proses produksinya.

Proses produksi di bagian produksi dan *finishing 1* SP Alumunium dimulai dari peleburan alumunium, pencetakan, pendinginan, pengecekan dan perbaikan, gerinda kasar, gerinda halus, dan yang terakhir adalah pengikiran. Untuk produk ketel hanya sampai gerinda kasar dan tidak melalui gerinda halus dan pengikiran. Dari pengamatan yang dilakukan, terdapat beberapa proses tidak berjalan secara maksimal karena terjadinya *bottleneck* pada proses tersebut. Terjadinya *bottleneck* dimulai pada proses gerinda kasar hingga proses produksi selesai. Sedangkan pada proses pengecekan dan perbaikan, tidak terjadi *bottleneck* sama sekali. Bahkan pekerja pengecekan dan perbaikan sering mengalami waktu kosong (menganggur) yang cukup lama. Dari hal tersebut

diketahui bahwa proses produksi di *finishing 1* SP Alumunium tidak seimbang dan menyebabkan tidak terpenuhinya permintaan pelanggan.

Dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut, akan dilakukan analisa kembali terhadap alur proses produksi pada SP Alumunium dengan bantuan pendekatan *Discrete Event Simulation*. Analisa dilakukan untuk membuktikan bahwa masalah-masalah yang didapatkan dari pengamatan awal benar terjadi, serta menemukan masalah lain yang menyebabkan proses produksi tidak seimbang. Dari masalah – masalah tersebut diketahui faktor – faktor produksi apa saja yang menyebabkan proses produksi di SP Alumunium tidak optimal. Selanjutnya dilakukan pengoptimalan level faktor yang berpengaruh dalam proses produksi menggunakan desain eksperimen. Supaya eksperimen/percobaan lebih efisien dengan hanya menggunakan sebagian dari kondisi total, maka digunakan metode *Taguchi Orthogonal Array* dan *Discrete Event Simulation* untuk menguji setiap kombinasi faktor yang didapatkan. Perancangan kornbinasi level faktor yang optimal pun lebih rnenghemat waktu, tenaga, dan biaya. Hasil skenario optimal dapat menjadi skenario atau desain yang dapat diusulkan kepada perusahaan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Faktor produksi apa saja yang berpengaruh pada proses produksi di SP Alumunium?
2. Bagaimana kombinasi level faktor yang dapat mengoptimalkan proses produksi di SP Alumunium?
3. Bagaimana pengaruh kombinasi level faktor yang optimal terhadap output produksi di SP Alumunium?
4. Bagaimana fleksibilitas kombinasi level faktor yang diusulkan terhadap permintaan pasar di SP Alumunium?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui faktor - faktor produksi yang berpengaruh pada proses produksi di SP Alumunium
2. Mendapatkan kombinasi level faktor yang dapat mengoptimalkan proses produksi di SP Alumunium
3. Mengetahui pengaruh kombinasi level faktor yang optimal terhadap output produksi di SP Alumunium
4. Mengetahui fleksibilitas kombinasi level faktor yang diusulkan terhadap permintaan pasar di SP Alumunium.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian yang dilakukan memerlukan ruang lingkup dan fokus kajian yang terarah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan model simulasi berdasarkan kondisi periode pengambilan data berlangsung sesuai dengan proses produksi yang ada.
2. Penelitian dilakukan pada departemen produksi dan *finishing 1*.
3. Lingkup simulasi terbatas pada produk wajan dan ketel sebagai produk utama dan produk yang selalu diproduksi setiap harinya.
4. Analisa biaya yang dilakukan hanya sebatas penggajian untuk pekerja yang mana sangat dipengaruhi oleh jumlah produk yang diproduksi oleh perusahaan serta biaya penambahan peralatan yang diperlukan.
5. Simulasi model dilakukan dengan menggunakan *software Flexsim 6.0*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari adanya penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bagi Peneliti

1. Memberikan gambaran dalam metode identifikasi faktor produksi dan penentuan produksi optimal di perusahaan pada umumnya.

2. Memberikan gambaran dalam penggabungan metode eksperimenter dan simulasi sehingga mendapatkan hasil skenario yang optimum, serta dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Bagi Perusahaan

1. Memberikan informasi kepada perusahaan mengenai kondisi proses produksi saat ini melalui analisa model awal rantai produksi.
2. Perusahaan dapat merancang perbaikan pada proses produksi berdasarkan usulan perbaikan yang diberikan.
3. Dengan kombinasi level faktor optimal yang diusulkan dapat meningkatkan jumlah hasil produksi yang ada guna dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.

1.6. Sistematika Penulisan

Gambaran umum secara keseluruhan dari tahapan-tahapan dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan kondisi-kondisi umum yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian, sehingga dapat dirumuskan masalah yang menjadi pertanyaan dasar bagi penelitian ini. selanjutnya rumusan masalah yang ada akan dijabarkan menjadi beberapa tujuan penelitian yang kongkrit beserta dengan batasan-batasan masalah yang ada. Selain itu akan dijabarkan pula manfaat dilakukannya penelitian ini, baik bagi peneliti maupun bagi perusahaan.

BAB II : KAJIAN LITERATUR

Dalam tinjauan pustaka terdapat kajian deduktif dan kajian induktif. Akan dibahas secara detail landasan-landasan teori yang mendukung dan menguatkan analisa dalam penelitian ini. Selain itu juga akan ditunjukkan posisi penelitian ini dari penelitian-penelitian lain yang sejenis. Penelitian yang dijadikan referensi berasal dari artikel ilmiah yang telah dipublikasikan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Dalam bab ini terdapat objek penelitian, metode pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder, tahapan atau alur yang dilalui selama penelitian dari awal hingga akhir dalam bentuk diagram alir penelitian beserta penjelasannya.

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini menjelaskan secara singkat dan runtut mengenai data – data yang dikumpulkan dan pengolahan data yang dilakukan terhadap data – data yang telah didapatkan.

BAB V : PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan secara lebih rinci hasil dari pengolahan data dan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

BAB VI : PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

BAB II

KAJIAN LITERATUR

Pada bab ini akan dijelaskan kajian induktif dan kajian deduktif. Kajian literatur induktif adalah informasi-informasi yang diperoleh dari artikel dalam jurnal. Sedangkan kajian literatur deduktif adalah informasi-informasi yang diperoleh dari buku-buku yang sifatnya telah dianggap umum. Kedua kajian ini sangat diperlukan untuk mengetahui gab/kesenjangan penelitian yang akan dilakukan dengan kajian yang telah dilakukan. Sehingga akan menjamin *state of the art* atau tidak adanya pengulangan penelitian yang sama sehingga penelitian ini terhindar dari plagiarisasi.

2.1. Kajian Induktif

Ketika melakukan penelitian maka tidak terlepas dari melakukan tinjauan pustaka dari penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan. Penelitian terdahulu tersebut dapat dijadikan acuan apakah metode dan permasalahan yang diteliti cukup kuat dan metodenya tepat atau tidak.

Dalam penelitian ini sudah dilakukan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Terdapat 9 artikel ilmiah yang dikaji guna mendukung penelitian yang akan dilakukan ini. Beberapa artikel ilmiah tersebut diantaranya membahas *Design of Experiment*, Taguchi, *Orthogonal Array*, *Discrete event simulation*, gabungan simulasi dengan desain eksperimen optimal. Artikel yang dikaji dipublikasi bervariasi diantara tahun 2013 sampai dengan tahun 2017. Artikel yang dikaji ada yang dipublikasikan secara internasional. Berikut merupakan uraian artikel yang telah dikaji:

Penelitian yang dilakukan oleh Gomes & Trabasso (2016) mengkaji sistematika penerapan simulasi ke dalam proses *continuous improvement* (perbaikan terus-menerus)

di rantai produksi serta hubungannya dengan *kaizen tasks*. Penelitian ini mengkaji metode MAPS - Melhoria Auxiliada por Simulação (*Simulation Aided Continuous Improvement*). Menggunakan 2 studi kasus yang memberikan gambaran pentingnya penggunaan simulasi yang dapat digunakan untuk mendukung proses *continuous improvement*.

Studi simulasi mulai populer dan digunakan di banyak bidang ilmiah. Penelitian yang dilakukan Kikolski (2017), bertujuan untuk menyelidiki beberapa skenario produksi dengan menggunakan model simulasi dan mencakup tiga skenario. Penerapan solusi komputer dalam rekayasa produksi memungkinkan mengurangi biaya yang disebabkan oleh perusahaan karena keputusan yang salah ketika merencanakan dan memodernisasi lini produksi. Penelitian ini menyajikan kemungkinan penerapan model simulasi komputer dalam mempelajari skenario produksi yang dipilih. Metode dasar penelitian yang digunakan adalah studi literatur dan simulasi komputer.

Pada penelitian yang dilakukan Velumani & Tang (2017) mengambil studi kasus pada pengolahan perusahaan yang menerapkan *batch processing* yang kompleks dengan menggunakan metode simulasi. Dari output yang dihasilkan digunakan untuk mengidentifikasi pada kemacetan operasi dan status WIP (*work in process*) serta mengusulkan perubahan proses untuk meningkatkan efisiensi produk. Selain itu, simulasi juga memberikan pemahaman yang baik mengenai status operasi mesin dan *buffer*.

Penelitian yang dilakukan Garriz & Domingo (2017) menggunakan *Discrete-Event Simulation* untuk menganalisa sistem di rantai produksi pembuatan kerangka mobil sebelum membentuk sistem yang lebih baik. Penelitian ini sesuai dengan fase desain instalasi. Simulasi komputer memiliki keuntungan besar karena tidak membutuhkan investasi besar. Analisis ini telah dilakukan dari sudut pandang produktivitas dan ketersediaan instalasi. Percobaan juga telah dikembangkan pada model numerik yang sama untuk beradaptasi dan memperoleh data yang dapat direalisasikan untuk memvalidasi sistem yang sebenarnya.

Dari penelitian yang dilakukan Omogbai & Salonitis (2016) menunjukkan bahwa kemungkinan perbaikan yang dihasilkan oleh praktek lean dapat disimulasikan melalui *Discrete event simulation* (DES). Dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa tidak ada metode yang berdiri sendiri yang dapat menyelesaikan masalah dengan sangat baik.

Yang, et al. (2015) melakukan penelitian pada industri manufaktur pembuatan jaringan menggunakan VSM dan simulasi. Penelitian ini mengikuti pedoman untuk merancang *future state* VSM yang terdiri dari lima faktor yang dapat diubah secara sederhana tanpa

investasi apapun. Kelima faktor tersebut adalah: unit produksi, proses pemicu, jumlah batch, urutan produksi, dan *supermarket size*. Dengan menggunakan eksperimental dan alat optimasi simulasi, dihasilkan *future state map* yang tidak hanya meningkatkan tingkat layanan namun juga mengurangi WIP. Melihat hasil yang menjanjikan, metodologi yang diusulkan juga mudah diterapkan pada industri lain yang sejenis.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nagi, et al. (2017) menggunakan simulasi untuk meniru jalur *assembly line* yang merakit 114 produk yang berbeda pada pabrik mesin. *Line balancing* dan pengendalian WIP ditemukan sebagai elemen penggerak untuk meningkatkan *throughput*. Dihadirkan bahwa pabrik mampu meningkatkan laju *throughput* untuk memenuhi permintaan pelanggan yang lebih tinggi per hari tanpa harus bekerja lembur maupun menambah jumlah operator. Pemodelan simulasi digunakan untuk memvalidasi hasil dari penggunaan metode yang digunakan.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Azadch, et al. (2013) memberikan pemahaman mengenai pendekatan baru untuk masalah kebijakan dan perencanaan *maintenance*. Simulasi digunakan untuk membantu pengambilan keputusan untuk skenario optimal. Digunakan pula Taguchi *Orthogonal Array* untuk mengurangi jumlah skenario yang akan dieksperimenkan menggunakan simulasi. Kombinasi parameter yang digunakan adalah interval waktu antar *maintenance* pada 6 mesin yang berbeda. Tiga kebijakan berbeda juga dipertimbangkan untuk menentukan strategi yang paling efektif untuk mengoptimalkan perencanaan dengan biaya perawatan yang serendah mungkin.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Miranda, et al. (2017) mengusulkan penggabungan teknik desain eksperimental, *Discrete Event Simulation*, dan *Data Envelopment Analysis* (DEA). Desain eksperimental yang disebut *Orthogonal Array* digunakan untuk menghasilkan skenario masukan yang akan disimulasikan, dan *super-efficiency analysis* diterapkan pada model DEA dengan tingkat pengembalian variabel hingga rangking input skenario. Hasil yang diperoleh ialah pengurangan yang cukup besar dalam ruang pencarian untuk mendapatkan solusi tanpa mengurangi kualitas. Efektivitas dari pendekatan tersebut pun telah terverifikasi.

Dalam penelitian ini menganalisis alur produksi yang ada menggunakan pendekatan *Discrete Event Simulation*. Analisis dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menyebabkan proses produksi tidak optimal terjadi serta yang mempengaruhi jumlah produk jadi yang dikirim ke *finishing* 2. Selanjutnya dilakukan pengoptimalan level faktor yang berpengaruh dalam proses produksi menggunakan desain eksperimen.

Supaya eksperimen/percobaan lebih efisien dengan hanya menggunakan sebagian dari kondisi total, maka digunakan metode *Taguchi Orthogonal Array* dan *Discrete Event Simulation* untuk menguji setiap kombinasi faktor yang didapatkan. Dengan begitu, perancangan kombinasi level faktor yang optimal pun lebih rnenghemat waktu, tenaga, dan biaya. Hasil skenario optimal dapat menjadi skenario atau desain yang dapat diusulkan kepada perusahaan. Diharapkan pula usulan tersebut dapat meningkatkan proses produksi menjadi lebih efektif dan efisien dari sebelumnya.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode	Variabel/ Faktor produksi	Parameter Performansi
1	Gomes & Trabasso (2016)	Mengkaji sistematika penerapan simulasi ke dalam proses <i>continuous improvement</i> (perbaikan terus-menerus) di rantai poduksi serta hubungannya dengan <i>kaizen tasks</i> .	<i>Discrete event simulation, kaizen task</i>	Jumlah operator, kapasitas produksi, jumlah mesin, dan jenis mesin	Part yang diproduksi tiap operator dan part yang diproduksi tiap bulan
2	Kikolski (2017)	Menyelidiki beberapa skenario produksi dengan menggunakan model simulasi sehingga dapat mengurangi biaya yang disebabkan oleh perusahaan karena keputusan yang salah ketika merencanakan dan memodernisasi lini produksi.	Studi literatur dan simulasi komputer	Jumlah <i>batch</i> produksi	Persentase <i>workin period</i>
3	Velumani & Tang (2017)	Mengidentifikasi kemacetan operasi dan status WIP serta mengusulkan perubahan proses untuk meningkatkan efisiensi produk. Selain itu juga memberikan pemahaman yang baik mengenai status operasi mesin dan <i>buffer</i> .	Simulasi computer	Jumlah batch produksi, waktu proses	<i>Bottleneck</i> , utilisasi mesin, status <i>buffer</i> , jumlah WIP
4	Garriz & Domingo (2017)	Menganalisa sistem di rantai produksi pembuatan kerangka mobil sebelum membentuk sistem yang lebih baik dengan <i>Discrete-Event Simulation</i> . Penelitian ini sesuai dengan fase desain instalasi.	<i>Discrete-Event Simulation</i>	-	Jumlah <i>part</i> yang diproduksi tiap satuan waktu

No	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode	Variabel/ Faktor produksi	Parameter Performansi
5	Omogbai & Salonitis (2016)	Tujuan penelitian ini adalah memvalidasi future state yang dihasilkan dapat diimplementasikan ada sistem nyata melalui <i>Discrete event simulation</i> (DES). Dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa tidak ada metode yang berdiri sendiri yang dapat menyelesaikan masalah dengan sangat baik.	<i>Lean manufacturing, Discrete event simulation</i>	-	Persentase <i>scrap rate, motion waste, late orders, WIP, dan machine utilization</i>
6	Yang, et al. (2015)	Penelitian ini mengikuti pedoman untuk merancang <i>future state</i> VSM dengan menggunakan eksperimental dan simulasi. Dihasilkan <i>future state map</i> yang tidak hanya meningkatkan tingkat layanan namun juga mengurangi WIP.	<i>Value Stream Mapping, Simulasi komputer, Design of Experiment (Full factorial design)</i>	Unit produksi, proses pemicu, jumlah batch, dan urutan produksi	<i>Service level</i> dan jumlah WIP
7	Nagi, et al. (2017)	Penelitian ini menggunakan simulasi untuk meniru jalur <i>assembly line</i> yang merakit 114 produk yang berbeda pada pabrik mesin. <i>Line balancing</i> dan pengendalian WIP ditemukan sebagai elemen penggerak untuk meningkatkan <i>throughput</i> . Dihasilkan bahwa pabrik mampu meningkatkan laju <i>throughput</i> untuk memenuhi permintaan yang lebih tinggi per hari tanpa harus bekerja lembur atau menambah jumlah operator.	<i>Value Stream Mapping, Simulation modeling, dan Design of Experiment (Full factorial design)</i>	Jumlah WIP maksimal	Jumlah produk yang dihasilkan

No	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode	Variabel/ Faktor produksi	Parameter Performansi
8	Azadch, et al. (2013)	Memberikan pemahaman mengenai pendekatan baru untuk masalah kebijakan dan perencanaan <i>maintenance</i> . Digunakan pula Taguchi <i>Orthogonal Array</i> untuk mengurangi jumlah skenario yang akan dieksperimenkan menggunakan simulasi.	<i>Maintenance planning Simulation, Taguchi orthogonal array design, Data envelopment analysis</i>	interval waktu antar <i>maintenance</i> pada 6 mesin yang berbeda. Kebijakan <i>maintenance</i> ,	<i>Number of failure,</i>
9	Miranda, et al. (2017)	Mengusulkan penggabungan teknik perancangan eksperimental, <i>Discrete Event Simulation</i> (DES), dan <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA). Desain eksperimental yang disebut <i>Orthogonal Array</i> digunakan untuk menghasilkan skenario masukan yang akan disimulasikan, dan <i>super-efficiency analysis</i> diterapkan pada model DEA dengan tingkat pengembalian variabel hingga rangking input skenario.	<i>Taguchi Orthogonal Array, Discrete Event Simulation</i> (DES), dan <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)	Jumlah meja kerja dan Jumlah operator	<i>Search space</i>

2.2. Kajian Deduktif

2.2.1 Proses Produksi

Produksi pada hakikatnya merupakan penciptaan atau penambahan nilai baik bentuk, waktu, maupun tempat atas faktor-faktor produksi sehingga menghasilkan produk yang bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan manusia. (Reksohadiprodjo & Gitosudarmo, 2000)

Proses produksi merupakan suatu kegiatan berkelanjutan dalam menciptakan maupun menambah nilai atas faktor-faktor produksi yang ada sehingga dapat menghasilkan produk yang berguna. Suatu proses produksi yang bertujuan menciptakan nilai dapat dilihat pada proses produksi yang mengolah bahan baku menjadi barang setengah jadi atau barang jadi. Sedangkan proses produksi yang bertujuan untuk menambah nilai atau kegunaan suatu produk dapat dilihat pada proses produksi yang merubah barang setengah jadi menjadi barang jadi.

Proses produksi optimal dapat diartikan sebagai cara, metode, maupun teknik untuk menciptakan atau menambah kegunaan suatu produk dengan mengoptimalkan sumber daya produksi yang ada (Nasution & Prasetyawan, 2008). Proses produksi optimal menjadi ukuran seberapa banyak barang yang dihasilkan dalam menggunakan sejumlah kapasitas dari faktor-faktor produksi yang tersedia dengan memperoleh hasil yang optimal, baik kualitatif maupun kuantitatif.

Produksi yang efisien tergantung bagaimana perusahaan menggunakan faktor – faktor produksi (input) yang tersedia secara efektif untuk memproduksi suatu jumlah hasil (output) tertentu (Reksohadiprodjo & Gitosudarmo, 2000). Dengan memperhatikan faktor-faktor produksi yang tersedia secara lebih cermat dan teliti, proses produksi tidak akan mengalami kekurangan maupun kelebihan produk.

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Produksi

Dalam memproduksi suatu barang diperlukan sumber daya yang akan digunakan oleh perusahaan. Sumber daya tersebut menjadi faktor- faktor proses produksi yang penting, antara lain adalah bahan baku dan bahan pembantu, kapasitas mesin dan peralatan lain,

tenaga kerja, modal serta tanah untuk lokasi perusahaan (Reksohadiprodjo & Gitosudarmo, 2000). Pelaku usaha akan berusaha agar dengan faktor – faktor produksi tertentu yang ada untuk mendapatkan keuntungan yang sebesar – besarnya. Disamping faktor – faktor produksi yang tersedia, jumlah permintaan akan menentukan bagaimana kondisi proses produksi yang paling menguntungkan.

a. Bahan baku dan bahan pembantu

Jumlah bahan baku dan bahan pembantu merupakan salah satu faktor pembatas dalam menentukan jumlah barang yang akan diproduksi. Kegiatan produksi tidak akan berjalan dengan lancar apabila jumlah bahan yang dibutuhkan tidak sesuai. Kekurangan maupun kelebihan bahan baku dan bahan pembantu dapat merugikan perusahaan.

b. Kapasitas mesin dan peralatan

Kapasitas mesin dan peralatan merupakan alat yang dimiliki perusahaan dalam memproduksi barang/jasa. Suatu perusahaan tidak mungkin memproduksi melebihi kapasitas rata-rata yang dimiliki, meskipun permintaan pasar dan persediaan bahan baku tinggi. Sangat penting untuk memperhatikan kapasitas mesin agar kelancaran proses produksi tidak terganggu. Disamping itu mesin juga perlu dilakukan perawatan yang baik supaya dapat digunakan sesuai dengan umur mesinnya. Begitu juga dengan peralatan – peralatan yang digunakan oleh perusahaan.

c. Tenaga kerja

Jumlah tenaga kerja sangat berpengaruh pada kelancaran produksi karena secara langsung akan melaksanakan kegiatan produksi. Jika jumlah tenaga kerja tidak mencukup untuk mencapai target produksi maka produksi akan terhambat bahkan dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Jika jumlah tenaga kerja terlalu banyak, maka akan membebani biaya tenaga kerja yang dikeluarkan oleh perusahaan.

d. Modal/Dana

Modal merupakan sumber dana atau yang membiayai pengeluaran perusahaan dalam memproduksi suatu barang. Modal yang tersedia merupakan batasan kemampuan bagi perusahaan dalam proses produksi. Dalam perencanaan produksi perlu diperhatikan seberapa besar kemampuan perusahaan dalam penyediaan modal/dana.

e. Permintaan pasar

Peramalalan penjualan dari data historis dapat digunakan untuk mengetahui permintaan pasar. Dengan menggunakan peramalan, perusahaan dapat

memprediksi berapa permintaan pasar pada masa yang akan datang. Dengan peramalan juga dapat menentukan berapa banyak jumlah masing-masing produk yang bisa dijual pada tingkat harga tertentu.

2.2.3 *Design of Experiment*

Design of Experiment (DoE) dikenalkan oleh Fisher di Inggris pada tahun 1920an. Salah satu teknik statistik ini digunakan Fisher untuk mengetahui kombinasi optimum antara air, hujan, sinar matahari, pupuk, dan kondisi tanah sehingga menghasilkan panen terbaik (Roy, 2001). DoE merupakan teknik pendefinisian dan pencarian semua kemungkinan kondisi dalam suatu eksperimen yang melibatkan beberapa faktor (Roy, 2010).

Desain eksperimen juga merupakan evaluasi terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009). Dengan memahami bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi suatu produk atau proses, proses pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan tepat.

2.2.4 *Desain Eksperimen Taguchi*

Metode Taguchi sendiri merupakan metode yang digunakan untuk memperbaiki kualitas produk maupun proses dimana dalam waktu yang bersamaan juga dapat menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin (Soejanto, 2009). Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk atau proses “tidak sensitif” terhadap berbagai faktor seperti manusia, material, perlengkapan manufaktur, serta kondisi-kondisi operasional.

Ariani (2003), menjelaskan bahwa metode Taguchi termasuk kelompok pendekatan yang mencoba menjamin kualitas desain melalui identifikasi variabel – variabel penting yang menyebabkan penyimpangan yang terjadi pada kualitas produk maupun proses. Beberapa keunggulan metode Taguchi antara lain :

1. Desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melakukan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.

2. Desain eksperimen Taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang tidak dapat dikontrol (faktor *noise/gangguan*).
3. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor control yang menghasilkan respon optimum.

2.2.5 Tahapan Desain Eksperimen Taguchi

Pada umumnya tiga tahapan utama yang mencakup keseluruhan pendekatan eksperimen pada desain eksperimen Taguchi. Ketiga tahapan utama tersebut antara lain :

1. Tahap perencanaan

Tahap ini merupakan tahap yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor – faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks orthogonal (*orthogonal array*)

2. Tahap pelaksanaan

Tahap pelaksanaan eksperimen meliputi penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

3. Tahap analisa

Tahap analisa hasil eksperimen mencakup perhitungan SNR dan penentuan kombinasi faktor optimal.

A. Perumusan Masalah dan Tujuan Eksperimen

Langkah pertama adalah merumuskan/mengidentifikasi masalah atau fokus yang akan diselidiki dalam eksperimen. Perumusan masalah harus spesifik dan jelas secara teknis harus dapat dituangkan kedalam eksperimen yang akan dilakukan. Jika respon yang diharapkan lebih dari satu, maka harus dinyatakan dengan jelas. Setelah masalah yang akan diangkat sudah jelas, maka tujuan eksperimen pun dapat ditentukan. Tujuan tersebut melandasi mengapa eksperimen harus dilakukan dan dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang diamati.

B. Penentuan Variabel Tak Bebas (Variabel Respon)

Variabel tak bebas (Variabel Respon) merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel – variabel lain. Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel respon mana yang akan diselidiki. Respon dapat juga diartikan sebagai parameter performa keberhasilan eksperimen yang dilakukan.

C. Mengidentifikasi Variabel Bebas (Faktor – Faktor)

Variabel bebas (faktor – faktor) merupakan variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahapan ini akan dipilih faktor – faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel respon yang terkait.

Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor – faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki. Identifikasi faktor – faktor yang diteliti dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti *brainstorming*, *flowchart*, diagram sebab-akibat, dan lain – lain.

D. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Dalam metode Taguchi faktor kontrol (faktor kendali) dan faktor gangguan (faktor *noise*) perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Terdapat dua jenis faktor yaitu faktor kendali (faktor yang dapat dikendalikan oleh ahli) dan faktor noise (faktor gangguan/ faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh ahli). Faktor kendali merupakan faktor yang dinilai dapat/ingin dikendalikan atau diatur. Sedangkan faktor *noise* adalah faktor yang nilainya tidak bisa diatur maupun dikendalikan, meskipun dapat diatur faktor *noise* akan mahal biayanya.

E. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Langkah ini penting untuk ketelitian hasil eksperimen dan ongkos pelaksanaan eksperimen. Level faktor merupakan nilai-nilai tertentu atau sifat (atribut) yang diberikan

pada suatu faktor. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Namun banyak level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan ongkos eksperimen.

F. Penentuan Matriks Eksperimen

Matriks merupakan bagan angka yang memiliki arti khusus. Matriks eksperimen terdiri dari serangkaian percobaan dimana faktor dan level faktor yang ada berubah sesuai dengan matriks yang digunakan (Belavendram, 1995). Faktor dan level ini biasanya merupakan pengaturan dari berbagai parameter proses maupun produk yang ingin dikaji. Percobaan yang menggunakan matriks khusus, yang disebut matriks ortogonal (*orthogonal array*), memungkinkan efek dari beberapa parameter yang akan dilihat efisiensinya dan merupakan teknik yang penting dalam *robust design*.

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah jumlah pengukuran independen yang dapat dibuat dalam satu set data. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Pemilihan *orthogonal array* yang sesuai tergantung pada nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap – tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan jenis *orthogonal array* yang dipilih. Terdapat dua perhitungan yaitu untuk faktor dan level (v_{f1}) serta untuk *orthogonal array* (v_{OA}) yang dipilih.

- 1) Derajat kebebasan untuk faktor dan level (v_{f1})

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai v_{f1} adalah sebagai berikut :

$$v_{f1} = \text{number of level} - 1$$

Rumus diatas digunakan untuk faktor yang memiliki satu nomor level saja, untuk perancangan level faktor melibatkan multi level, maka untuk derajat kebebasan faktor dan level dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$v_{f1} = \text{degree of freedom of factor levels}$$

$$= (\text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1))_1 \\ + (\text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1))_2$$

2) Derajat kebebasan untuk *orthogonal array* (v_{OA})

Orthogonal array merupakan suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah sedangkan baris merupakan kombinasi level dari faktor yang ada dalam eksperimen. Faktor merupakan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas dari suatu produk. Dalam memilih *orthogonal array* yang sesuai, diperlukan suatu persamaan yang merepresentasikan jumlah faktor, jumlah level, serta jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model *orthogonal array* adalah sebagai berikut:

$$L_a(b^c)$$

Dimana:

L = rancangan bujursangkar latin

a = banyaknya baris/eksperimen

b = banyaknya level

c = banyaknya kolom/faktor

(b^c) = jumlah eksperimen yang seharusnya dilakukan jika menggunakan desain eksperimen biasa

Berikut merupakan *orthogonal array* standar dengan berbagai level dari Taguchi yang dapat dilihat pada table 2. 2:

Tabel 2. 2 *Orthogonal Array* standar Taguchi

2 level	3 level	4 level	5 level	gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{56}(2^1 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$

Dalam menentukan matriks mana yang akan digunakan dapat melihat 2.2. Contoh, suatu eksperimen memiliki tujuh faktor kendali masing-masing memiliki dua level. Maka, matriks yang diambil adalah $L_8(2^7)$. Dari matriks standar tersebut, dapat diketahui bahwa jika menggunakan disain eksperimen tradisional harus melakukan eksperimenter sebanyak 2^7 atau 128 eksperimen dengan kombinasi yang berbeda. Jika menggunakan Taguchi, hanya perlu melakukan 8 eksperimen saja. Berikut penjabaran kombinasi level eksperimen yang harus dilakukan yang dapat dilihat pada Gambar 2. 1 :

			A1								A2								
			B1				B2				B1				B2				
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2		
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	
E1	F1	G1																	
		G2																	
	F2	G1																	
		G2																	
E2	F1	G1																	
		G2																	
	F2	G1																	
		G2																	

Gambar 2. 1 Kombinasi level experimen $L_8(2^7)$.

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai v_{OA} adalah sebagai berikut :

$$v_{OA} = \text{number of experiments} - 1$$

$$v_{OA} = a - 1$$

Namun jika kombinasi faktor kendali dan level faktor tidak ada dalam standar *orthogonal array* eksperimen taguchi, maka dapat menggunakan standar yang terdekat, yang dapat mencakup semua faktor kendali dan level faktor. Contoh, suatu eksperimen memiliki delapan faktor kendali masing-masing memiliki dua level. Maka, sudah tidak bisa menggunakan matriks $L_8(2^7)$ karena terdapat 1 faktor yang tidak dieksperimenkan. Dipilih standar yang lebih tinggi lagi, yaitu $L_{12}(2^{11})$, sehingga dalam penentuan nilai v_{OA} dapat menggunakan angka 12 sebagai nilai a .

Dalam memilih *orthogonal array* yang sesuai, kita harus menghitung derajat kebebasan untuk faktor dan level (v_{f1}) serta untuk *orthogonal array* (v_{OA}). Dalam setiap kasus nilai v_{OA} harus sama atau lebih besar dari nilai v_{f1} ($v_{OA} \geq v_{f1}$) (Belavendram, 1995).

G. Penentuan Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan jumlah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama dalam suatu kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi dilakukan untuk tujuan :

- 1) Menambah ketelitian data eksperimen
- 2) Mengurangi tingkat kesalahan dalam eksperimen
- 3) Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakan uji signifikan hasil eksperimen

H. Ratio Signal Terhadap Noise (S/N Ratio)

Ukuran kualitas (kinerja produk) berdasarkan pendekatan “*on target with the smallest variation*” dapat diperoleh dengan mengarahkan kualitas rerata (*average*) produk menunjuk nilai nominal (target) dan mereduksi variasi atau mereduksi noise. Kedua aspek persoalan ini dapat dirangkum menjadi satu dengan menggunakan apa yang disebut dalam bidang komunikasi elektronika sebagai nisbah sinyal terhadap noise (*signal to noise ratio, SNR*).

Taguchi menggunakan istilah tersebut untuk mengukur kepekaan karakteristik mutu yang sedang diteliti dalam kondisi pengendalian terhadap pengaruh faktor noise (*noise factors*) yang tidak dapat dikendalikan. SNR bertindak sebagai indikator mutu (ukuran parameter) tertentu terhadap unjuk kerja. Ada 3 jenis S/N Ratio, yaitu :

a) *Smaller the Better (STB)*

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Meskipun demikian, dalam penentuan level faktor optimal tetap dipilih nilai S/N Ratio yang terbesar (Belavendram, 1995). Nilai S/N ratio untuk jenis karakteristik STB adalah :

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

dengan :

n = jumlah replikasi

y_i = hasil replikasi ke- i

b) *Large the Better (LTB)*

Karakteristik kualitas dimana semakin tinggi nilainya, maka kualitas semakin baik.

Nilai S/N ratio untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

dengan :

n = jumlah replikasi

y_i = hasil replikasi ke- i

c) *Nominal the Better (NTB)*

Karakteristik kualitas dimana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu. Jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N ratio untuk jenis karakteristik NTB adalah :

$$S/N_{NTB} = -10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right]$$

dimana:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

dengan :

S/N = *signal to noise ratio* yang memiliki satuan *decibell*

n = Jumlah tes di dalam percobaan/trial (jumlah replikasi)

y_i = Nilai respon cuplikan ke- i untuk jenis trial tertentu (hasil replikasi ke- i)

Setelah didapatkan nilai SNR masing – masing eksperimen kemudian dihitung efek tiap faktornya. Efek tiap faktor menunjukkan seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh masing – masing faktor untuk mengurangi *noise* dalam eksperimen.

2.2.6 Taguchi Multi Respon

Metode Taguchi kini dibedakan menjadi dua yaitu Taguchi *single respon* dan Taguchi *multi respon*. Taguchi *single respon* hanya memiliki satu respon saja sehingga dapat langsung memberikan hasil kombinasi optimal dari respon tersebut. Taguchi *multi respon* memiliki lebih dari satu respon, sehingga kombinasi optimal masing – masing respon mungkin saja berbeda. Hal tersebut menyebabkan perlu adanya penanganan lebih lanjut untuk mendapatkan kombinasi yang optimal untuk meningkatkan kualitas masing – masing respon. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah tersebut adalah Metode MRSN (*Multi Respon Signal to Noise*).

Dalam melakukan eksperimen Taguchi *multi respon* menggunakan metode MRSN terdapat beberapa tahapan, yaitu :

1) Melakukan Uji Prediksi

Uji prediksi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar faktor, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui. Analisis regresi dapat dijadikan alat bantu untuk menganalisis hubungan tersebut.

Data yang digunakan untuk analisis regresi didapatkan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk melihat secara keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan.

2) Menghitung *Quality Loss*

Untuk karakteristik *Nominal the Better (NTB)*

$$L_{ij} = k_j \left[\sigma^2 + (\bar{Y}_{ij} - m)^2 \right]$$

Untuk karakteristik *Smaller the Better (STB)*

$$L_{ij} = k_j (\sigma^2 + \bar{Y}_{ij}^2)$$

Untuk karakteristik *Larger the Better (LTB)*

$$L_{ij} = k_j \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^n \frac{1}{Y_{ijk}^2}$$

dengan :

Y_{ijk} = data untuk respon ke- j , trial ke- i , replikasi ke- k

m = nilai target

n_i = jumlah replikasi untuk trial ke- i

k_j = koefisien *quality loss* untuk respon ke- j

nilai k dapat dicari dengan rumus berikut :

$$k = A_0 / \Delta^2$$

dengan :

A_0 = biaya yang dibutuhkan

Δ = selisih kualitas

3) Menghitung Normalisasi *Quality Loss* (C_{ij})

Perhitungan Normalisasi *Quality Loss* dapat dicari dengan rumus berikut :

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_{j \max}}$$

dengan:

C_{ij} = Normalitas *Quality Loss* untuk respon ke- j , trial ke- i

L_{ij} = *Quality Loss* untuk respon ke- j , trial ke- i

$L_{j \max}$ = nilai tertinggi dari keseluruhan *Quality Loss* untuk respon ke- j

4) Menghitung *Total Normalized Quality Loss (TNQL)*

Perhitungan *Total Normalized Quality Loss (TNQL)* dapat dicari dengan rumus berikut :

$$TNQL_i = \sum W_j \times C_{ij}$$

Dimana:

W_j = bobot respon ke- j

C_{ij} = Normalitas *Quality Loss* respon ke- j , trial ke- i

Bobot masing – masing respon dapat berdasarkan tingkat kepentingan *relative* ditunjukkan oleh tabel *linguistic term*. Istilah tersebut dikonversikan kedalam bilangan *fuzzy* yang kemudian dituangkan dalam tabel *Cype Scores-of fuzzy number*.

5) Menghitung Nilai *Multi Respon Signal to Noise (MRSN)*

Perhitungan nilai MRSN dicari dengan rumus berikut :

$$MRSN_i = - 10 \times \log(TQNL_i)$$

6) Menentukan kombinasi level faktor yang optimal berdasarkan nilai MRSN terbesar.

2.2.7 Analisa Regresi

Dalam analisis regresi ada dua jenis variabel, yaitu variabel penjelas (*explanatory variable*) atau variabel bebas (*independent variable*) dan variabel repons (*response variable*) atau variabel terikat (*dependent variable*). Yang dimaksud dengan variabel bebas adalah suatu variabel yang nilainya dapat ditentukan atau dengan mudah dapat diukur. Sedangkan variabel terikat adalah suatu variabel yang nilainya sukar ditentukan atau tidak mudah diukur. Variabel bebas biasa disimbolkan dengan X dan disebut sebagai variabel yang mempengaruhi. Sedangkan variabel terikat biasa disimbolkan dengan Y dan disebut sebagai variabel yang dipengaruhi. Analisis regresi digunakan pada kedua

variabel tersebut terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui dengan sempurna.

Regresi dibagi menjadi regresi linear dan regresi nonlinear. Menurut Priyatno (2014) analisis regresi linear adalah analisis untuk mengetahui pengaruh atau hubungan secara linear antara variabel bebas terhadap variabel terikat, dan untuk memprediksi atau meramalkan suatu nilai variabel terikat berdasarkan variabel bebas. Analisis regresi linear dibedakan menjadi regresi linear sederhana dan regresi linear berganda. Regresi linear sederhana digunakan untuk mengetahui hubungan secara linear antara satu variabel bebas dengan satu variabel terikat. Sedangkan regresi linear berganda digunakan untuk mengetahui hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel bebas dengan satu variabel terikat

1) Persamaan yang digunakan untuk regresi linear sederhana yaitu :

$$Y = a + bX$$

Dimana:

Y = variabel yang diramalkan (*dependent variable*)

X = variabel yang diketahui (*independent variable*)

a = besarnya nilai Y ketika X sama dengan 0

b = besarnya nilai perubahan nilai Y apabila nilai X bertambah satu satuan atau sering disebut sebagai koefisien regresi

2) Persamaan yang digunakan untuk regresi linear berganda yaitu :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Dimana:

Y = variabel yang diramalkan (*dependent variable*)

X_1, X_2, \dots, X_n = variabel yang diketahui (*independent variable*)

a = besarnya nilai Y ketika X sama dengan 0

b_1, b_2, \dots, b_n = koefisien regresi masing masing X

2.2.8 Uji Beda

Pada uji beda ini menggunakan pengujian hipotesis rata – rata untuk data berpasangan *Paired-sample t-Test*. Prosedur ini digunakan untuk membandingkan rata – rata dari dua variabel dalam satu kelompok. Artinya analisis ini berguna untuk melakukan pengujian terhadap satu sampel yang mendapatkan perlakuan yang kemudian akan dibandingkan rata – rata dari sampel tersebut antara sebelum dan sesudah perlakuan (*treatment*).

Pengujian ini tepat untuk dilakukan dalam penelitian teknik eksperimen dimana satu sampel diberi perlakuan tertentu kemudian dibandingkan dengan kondisi sampel sebelum adanya *treatment*. Maka satu kelompok sampel akan berfungsi sebagai variabel pengendali terhadap variabel yang lain yang mendapatkan perlakuan tertentu. Bahwa perbedaan tersebut memiliki arti bisa mempengaruhi mutu karakteristik target tiap responnya (LTB,NTB atau STB) (Purbayu, 2005).

Dalam perhitungan manual, *Paired-sample t-Test* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t_{hitung} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Kemudian untuk menentukan hipotesis yang terpilih sebelumnya ditentukan terlebih dahulu nilai t_{tabel} . Untuk *Paired-sample t-Test* nilai df (degree of freedom) adalah jumlah sample dikurangi 1 atau $n-1$. Sample disini adalah jumlah set data kelompok.

2.2.9 Sistem, Model, dan Simulasi

Sistem dapat diartikan sebagai sekumpulan objek (komponen/elemen) yang saling berhubungan dan terikat secara interdependensi untuk mencapai tujuan tertentu (Banks et.al, 1996).

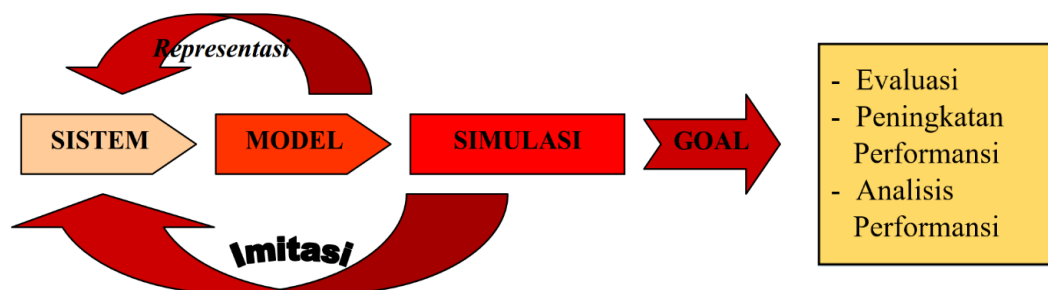
Sistem produksi merupakan sekumpulan dari sub sistem-sub sistem yang saling berinteraksi dengan tujuan mentransformasikan input produksi menjadi output produksi. Input produksi dapat berupa bahan baku, mesin, tenaga kerja, modal dan informasi,

sedangkan output produksi ialah produk yang dihasilkan dengan hasil sampingannya seperti limbah, informasi, dan sebagainya (Nasution & Prasetyawan, 2008).

Sedangkan model merupakan representasi yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan atau menganalisa suatu sistem (Khoshnevis, 1994). Membangun sebuah model merupakan langkah pertama dalam mempelajari perilaku sistem (Rubinstein & Melamed, 1998). Representasi tersebut dapat dalam bentuk *pictorial*, *verbal*, *schematic*, *scaled-down version*, maupun dengan formulasi matematik (Sridadi, 2009).

Menurut Banks et.al (1996), agar merepresentasikan sistem dengan baik, model yang dibangun harus detail. Namun tak mungkin semua variabel dalam sistem nyata dimasukkan karena tidak semua variabel tersebut relevan untuk dianalisis. Dalam memodelkan sistem hanya variabel-variabel yang mempengaruhi sistem saja yang perlu dipertimbangkan.

Simulasi sendiri merupakan imitasi (tiruan) dari suatu proses operasi maupun dari sistem nyata (Banks et.al, 1996). Perilaku suatu sistem yang berkembang dari waktu ke waktu dipelajari menggunakan pengembangan model simulasi. Setelah dikembangkan dan divalidasi, model dapat digunakan untuk menjawab berbagai macam pertanyaan “bagaimana jika” mengenai sistem nyata. Dalam beberapa contoh, model dapat dikembangkan dengan cukup sederhana menggunakan model matematis seperti kalkulus diferensial, teori probabilitas, dan teknik matematika lainnya. Namun tidak sedikit pula sistem nyata yang kompleks dan mirip satu sama lain sehingga hampir tidak mungkin diselesaikan secara matematis. Simulasi dapat menjadi solusi dari sebuah sistem yang digunakan untuk memecahkan masalah tersebut. Jika dibuat bagan hubungan antara sistem, model, dan simulasi, maka dapat dibuat seperti pada Gambar 2. 3 berikut :



Gambar 2. 2 Bagan hubungan antara sistem, model dan simulasi

Simulasi memiliki banyak keuntungan namun juga memiliki beberapa kerugian. Pegden et al (1995) dalam Banks (1996) membuat daftar keuntungan dan kerugian simulasi. Keuntungan simulasi antara lain adalah :

- 1) Dapat mengeksplorasi kebijakan baru, aturan keputusan, arus informasi, prosedur organisasi, dan sebagainya tanpa mengganggu sistem nyata yang sedang berjalan.
- 2) *Hardware* baru, desain, tata letak fisik, sistem transportasi, dan sebagainya dapat diuji tanpa melakukannya pada sumber daya yang ada.
- 3) Hipotesis tentang bagaimana atau mengapa fenomena tertentu terjadi dapat diuji untuk kelayakan hipotesis tersebut.
- 4) Dapat melebar luaskan waktu sehingga memungkinkan percepatan atau perlambatan fenomena yang sedang diselidiki.
- 5) Dapat mengetahui interaksi antar variabel yang ada.
- 6) Dapat mengetahui pentingnya pengaruh suatu variabel terhadap performansi sistem.
- 7) Dapat menemukan pekerjaan mana yang mengalami *bottleneck* secara berlebihan.
- 8) Dapat membantu memahami bagaimana sistem beroperasi.
- 9) Menjawab pertanyaan "Bagaimana-jika" yang sangat berguna dalam perancangan sistem baru.

Sedangkan kerugian/kelemahan dari simulasi adalah:

- 1) Dalam membangun model membutuhkan pelatihan khusus. Karena membuat simulasi adalah seni yang dipelajari melalui pengalaman dari waktu ke waktu. Selain itu, jika dua pemodel yang memiliki kompetensi berbeda memodelkan suatu sistem, bisa saja terdapat perbedaan dan tidak mungkin akan sama.
- 2) Hasil simulasi bisa sulit untuk ditafsirkan karena sebagian besar output simulasi adalah variabel acak (yang berdasarkan input yang acak pula). Oleh sebab itu dapat sulit untuk membedakan apakah suatu observasi merupakan hasil dari sistem hubungan timbal balik atau *randonmess*.
- 3) Pemodelan dan analisis simulasi dapat memakan waktu dan mahal untuk memodelkan sistem yang kompleks.

Yang harus dipahami ialah bahwa simulasi bukanlah alat optimasi yang menghasilkan suatu keputusan namun hanya merupakan alat pendukung keputusan (Saleh, 2006).

2.2.10 Discrete-Event Simulation

Discrete-event system simulation adalah pemodelan sistem di mana variabel negara hanya berubah pada serangkaian poin yang terpisah dalam waktu (Banks et.al, 1996). Poin atau titik ini adalah waktu dimana suatu peristiwa terjadi, dimana suatu peristiwa digambarkan sebagai kejadian seketika yang dapat mengubah keadaan sistem. (Law & Kelton, 1991). Model simulasi dianalisis dengan metode numerik daripada dengan metode analitik.

2.2.11 Validasi dan Verifikasi

Model merupakan representasi dari sistem nyata, bukan berarti semua variabel dari sistem nyata ditransformasikan ke model karena yang berpartisipasi adalah hanya variabel-variabel yang relevan dengan permasalahan dari sistem nyata yang akan dipecahkan. Maka tidak ada model yang secara absolut benar, dan tidak ada korespondensi satu-satu antara model dengan referensi sistemnya. Oleh sebab itu model yang telah dibangun harus diuji karakteristik dan kredibilitasnya, yaitu dengan uji validasi.

Uji validasi merupakan langkah untuk meyakinkan bahwa model berkelakuan atau bersifat seperti sistem nyatanya. Suatu pendekatan paling nyata dalam suatu validasi adalah membandingkan output model dengan output dari sistem nyatanya.

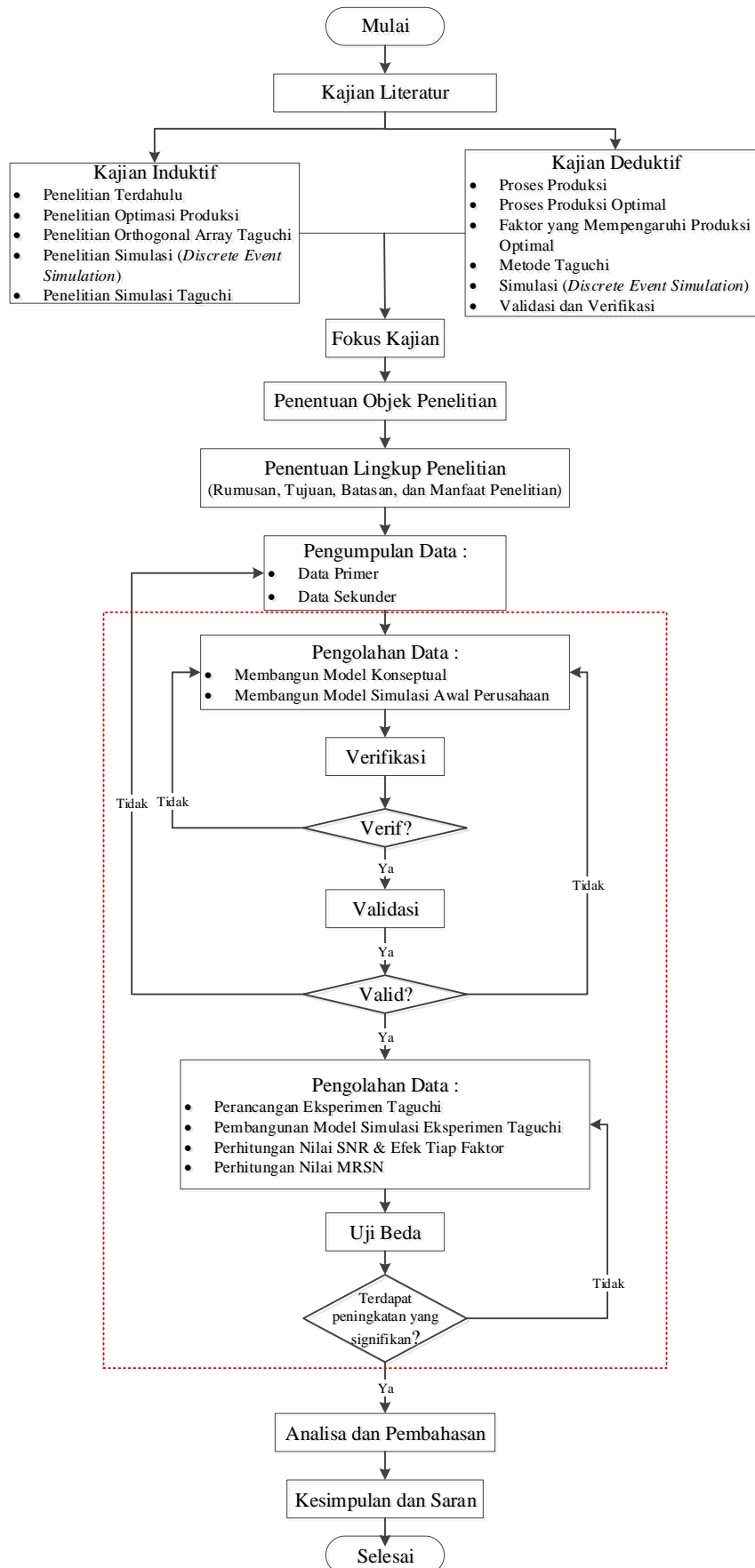
Sedangkan verifikasi merupakan proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alur. Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law & Kelton, 1991).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Perlu disusun langkah-langkah penelitian yang terstruktur guna mempermudah penelitian serta penyusunan laporan. Langkah tersebut digambarkan pada diagram alir penelitian. Menurut Banks et. al (1996), diagram alir penelitian menggunakan pendekatan *Discrete-Event Simulation* terdiri dari *Problem Formulation, Setting of objectives and overall project plan, data collection, Model conceptualization, Model translation, Verification, Validation, Experimental design, Production runs and analysis, documentation and reporting*, dan diakhiri dengan *Implementation*. Kemudian dikembangkan diagram alir untuk memperjelas langkah – langkah yang dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2. Fokus Kajian

Sebelum menentukan fokus kajian dilakukan terlebih dahulu kajian literatur (Saleh, 2008) yang sebelumnya telah dijelaskan dan dilakukan di bab 2. Setelah melakukan kajian literatur, selanjutnya melakukan diskusi untuk memilih topik dan fokus kajian yang diamati serta mampu dilakukan sehingga topik terfokus dan tertuju pada suatu persolalan yang baru (Saleh & Purnomo, 2013). Fokus kajian penelitian ini ialah membangun model eksperimen pada rantai produksi untuk mendapatkan kombinasi faktor produksi yang optimal melalui penerapan metode Taguchi dan *Discrete-Event Simulation*.

3.3. Objek Penelitian

Objek penelitian ditentukan sesuai dengan fokus kajian yang akan diangkat. Dalam penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah rantai produksi di SP Alumunium yang merupakan salah satu industri peralalatan rumah basis utama produksi berbahan dasar logam aluminium di Yogyakarta. Adapun produk utama yang dihasilkan adalah wajan dengan berbagai ukuran, serta produk ketel yang juga menjadi produk yang selalu diproduksi oleh perusahaan setiap harinya.

3.4. Penentuan Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian mencakup perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian serta manfaat dilakukannya penelitian. Lingkup penelitian ditentukan berdasarkan permasalahan yang ada pada objek penelitian sesuai dengan topik yang diangkat. Lingkup penelitian telah dijelaskan dan dilakukan di bab 1.

3.5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi pengumpulan data primer dan sekunder. Data-data yang dibutuhkan merupakan komponen atau variabel dalam permasalahan, tergantung pada perumusan masalah yang telah dibangun.

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung baik melalui metode pengamatan maupun wawancara. Data yang didapatkan dari pengamatan yaitu data waktu produksi yang dilakukan dengan *stopwatch* serta perilaku dalam proses produksi yang ada. Wawancara dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait bagaimana proses produksi yang ada di perusahaan, serta beberapa alasan terjadinya keterlambatan pemenuhan permintaan. Dalam proses wawancara tersebut juga dilakukan diskusi dan *brainstorming* untuk mendapatkan data yang terkait kemampuan perusahaan dalam mengoptimalkan sumber daya yang ada.

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari internal perusahaan baik itu berupa dokumen-dokumen perusahaan yang digunakan sebagai pendukung data primer atau dokumen lainnya untuk mendukung penelitian ini. Pengumpulan data sekunder dapat berupa data jumlah pegawai, data permintaan data historis produksi, dan data umum perusahaan seperti visi, misi, dan sejarah perusahaan. Berikut merupakan data – data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :

- a. Jenis produk yang diproduksi
- b. Data historis permintaan produk
- c. Hasil produksi per hari
- d. Alur proses produksi
- e. Waktu kedatangan bahan baku ke rantai produksi
- f. Jumlah bahan baku per hari
- g. Jumlah mesin peralatan, atau pekerja tiap proses
- h. Waktu proses tiap stasiun kerja
- i. Kapasitas tiap mesin atau pekerja
- j. Volume *batch* atau volume angkut tiap proses
- k. Dokumentasi lokasi dan proses
- l. Jam kerja efektif perusahaan
- m. Identifikasi faktor-faktor yang menyebabkan proses produksi optimal
- n. Data wawancara terkait kemampuan perusahaan untuk menambah, mengurangi, atau mengganti faktor-faktor yang menyebabkan proses produksi optimal

3.6. Pengolahan Data

Garis merah pada diagram alir penelitian menggambarkan pengolahan data. Setelah data yang dikumpulkan dinyatakan cukup, selanjutnya adalah tahap pengolahan data yang akan diuraikan sebagai berikut:

A. Pembuatan model konseptual

Model konseptual dibangun untuk hubungan-hubungan yang saling berkaitan antar variabel dalam rantai produksi yang akan diteliti. Model konseptual dapat menjadi dasar untuk membangun model simulasi pada *tools* yang digunakan.

B. Pembuatan model simulasi awal

Model simulasi dibangun untuk menyederhanakan sistem di rantai produksi, sehingga dapat membantu melakukan analisa terhadap sistem yang ada.

C. Verifikasi dan validasi

Tahap verifikasi dilakukan untuk melihat apakah model dan simulasi telah sesuai dengan apa yang diinginkan oleh pemodel. Apabila belum sesuai maka dilakukan pengecekan kembali terhadap model yang dibuat. Sedangkan tahap validasi dilakukan untuk meyakinkan pemodel bahwa model dan simulasi telah sesuai dengan sistem nyatanya. Apabila model belum valid atau belum dapat menggambarkan sistem nyata dengan baik maka dilakukan pengecekan kembali terhadap model maupun input model simulasi. Jika dirasa sudah benar namun belum mampu menggambarkan keadaan sistem nyata maka perlu dilakukan penambahan/penggantian data yang diambil.

D. Perancangan Eksperimen Taguchi

Jika sudah melalui tahap verifikasi dan validasi maka model tersebut telah merepresentasikan sistem nyata. Hal tersebut juga dapat diartikan bahwa data -data yang digunakan dalam membangun model sudah sesuai. Uraian perancangan eksperimen Taguchi sebagai berikut :

1) Pembangunan model awal Taguchi

Model awal taguchi adalah model yang akan digunakan dalam membangun model eksperimen taguchi. Perbedaan dari model awal dan model awal taguchi adalah pada bagian jenis produknya. Pada model taguchi menggunakan data permintaan, namun pengaturan produksi masih menggunakan kondisi yang

sama dengan model awal. Setelah dibangun model awal kemudian dilakukan analisa terhadap model yang telah dibangun.

2) Penentuan variabel respon atau karakteristik kualitas

Variabel respon atau sering disebut juga dengan respon menjadi parameter proses produksi yang optimal. Respon biasanya dapat diukur dan dapat ditetapkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

3) Penentuan faktor kendali

Faktor kendali didapatkan dari karakteristik kualitas yang telah ditentukan serta hasil analisa dari model awal Taguchi. Selain itu juga dengan melakukan wawancara dengan perusahaan terkait faktor – faktor apa saja yang mempengaruhi proses produksi.

4) Penentuan level faktor

Dalam menentukan level dari masing – masing faktor yang juga didapatkan dari analisa model awal Taguchi. Dari analisa tersebut dapat diketahui jika menggunakan kondisi yang ada saat ini apakah dapat memenuhi permintaan yang ada atau tidak. Selain itu juga dapat diketahui perkiraan level faktor yang dapat digunakan. Dilakukan pula diskusi dengan pihak perusahaan serta melihat kemungkinan dan kemampuan perusahaan itu sendiri dalam menambah, mengurangi, atau mengganti tiap – tiap faktor kendali yang didapatkan.

5) Penentuan *Orthogonal Array*

Penentuan *Orthogonal Array* yang digunakan sesuai dengan derajat kebebasan yang didapatkan dari jumlah faktor kendali serta level tiap faktor yang akan diatur sehingga menemukan jumlah trial yang sesuai.

E. Pembangunan Model Simulasi Eksperimen Taguchi

Setiap trial dari *orthogonal array* akan dibuat model simulasi. Jika sudah sesuai akan dilakukan simulasi terhadap setiap trial dengan banyak replikasi yang ditentukan. Parameter yang akan dilihat pada hasil dari simulasi ialah sesuai dengan variabel respon yang telah ditentukan yang menjadi tolak ukur keberhasilan proses produksi yang optimal tersebut.

F. Perhitungan Nilai SNR dan Efek Tiap Faktor

Jika sudah didapatkan hasil eksperimen dengan replikasi yang telah ditentukan sesuai dengan masing – masing respon, kemudian dihitung nilai SNR sesuai dengan karakteristik yang ditentukan, apakah LTB, STB, maupun NTB. Dilakukan

perhitungan efek tiap faktor kendali terhadap hasil SNR yang didapatkan. Efek tiap faktor menunjukkan seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh masing – masing faktor untuk mengurangi *noise* dalam setiap respon yang ditentukan. Jika menggunakan multi respon, maka memiliki lebih dari satu variabel respon, sehingga kombinasi optimal masing – masing variabel respon mungkin saja berbeda. Dibutuhkan analisa lebih lanjut menggunakan perhitungan MRSN

G. Perhitungan *Multi Respon Signal to Ratio* (MRSN)

Taguchi multi respon memiliki lebih dari satu variabel respon, sehingga kombinasi optimal masing – masing variabel respon mungkin saja berbeda. Dilakukan perhitungan MRSN untuk mendapatkan kombinasi yang optimal untuk meningkatkan kualitas masing – masing variabel respon.

1) Uji Prediksi

Uji prediksi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar faktor, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui menggunakan analisis regresi. Uji prediksi dilakukan karena pada eksperimen yang telah dilakukan hanya menggunakan sebagian eksperimen yang sudah dianggap mewakili keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Jumlah prediksi yang dilakukan sesuai dengan jumlah keseluruhan ekspeimen yang seharusnya berdasarkan faktor – faktor dan level yang mempengaruhi.

2) Menghitung *Quality Loss*

Quality Loss digunakan untuk mengetahui atribut dan fungsi kerugian dalam setiap respon yang berbeda – beda.

3) Menghitung *Normalisasi Quality Loss*

Dalam mengurangi variabilitas dibutuhkan normalisasi skala *Quality Loss* setiap respon. Penurunan kualitas yang ternormalisasi berkisaran antara 0 hingga 1. Dengan begitu *Quality Loss* disetiap respon dapat secara langsung dijumlahkan.

4) Menghitung *Total Normalized Quality Loss*

Menghitung jumlah dari normalisasi masing – masing respon sesuai dengan kepentingan serta seberapa dominannya respon tersebut dengan pembobotan.

5) Menghitung Nilai MRSN

Dari nilai MRSN masing – masing prediksi hasil eksperimen dari nilai terbesarnya dan didapatkan kondisi optimal untuk multi respon. Kondisi optimal tersebut kemudian disimulasikan.

H. Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah hasil dari simulasi kondisi optimal dapat meningkatkan kualitas respon secara signifikan jika ya, maka dapat dilanjutkan ke tahap analisa. Jika tidak maka dilakukan pengecekan kembali secara mundur apakah terdapat kesalahan dalam perhitungan MRSN hingga pada proses perancangan eksperimen yang masih belum tepat.

3.7. Analisa dan Pembahasan

Langkah ini mendeskripsikan bagaimana model awal taguchi sebagai acuan dalam membuat rancangan eksperimen Taguchi. Menganalisa hasil eksperimen serta melakukan analisa perbandingan antara model awal taguchi dengan model usulan hasil perhitungan MRSN sehingga dapat diketahui dengan jelas perbedaan antara kondisi awal dan usulan yang diberikan.

3.8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan dijelaskan jawaban atas rumusan masalah telah ditetapkan sebelumnya serta usulan perbaikan yang diperoleh juga dipaparkan untuk diimplementasikan oleh perusahaan. Tentu saja penelitian yang dilakukan belumlah sempurna dan masih dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya. Diuraikan beberapa saran yang dapat diberikan kepada peneliti selanjutnya yang akan mengembangkan penelitian ini.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan data

Pada bab ini, akan dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang dibutuhkan dan berhubungan dengan permasalahan yang diangkat. Pengumpulan data dilakukan di SP Alumunium. Data yang dibutuhkan diantaranya adalah profil perusahaan, data hasil produksi, data permintaan, waktu kerja dan *job desk* tenaga kerja, data proses produksi, serta produk apa saja yang akan diamati di SP Alumunium. Fokus penelitian dilakukan di pabrik 1 yaitu pada departemen produksi dan *finishing* 1. Data produksi yang digunakan antara lain adalah data stasiun kerja, kapasitas mesin, waktu proses dan lain-lain.

4.1.1 Sejarah dan Perkembangan Perusahaan

Perusahaan SP Alumunium merupakan perusahaan perorangan. Perusahaan ini didirikan oleh Bapak Endro Suharto. BeHK pada tahun 1963 dengan modal awal sebesar Rp 50.000,- dengan lokasi di desa Sorogenen, kelurahan Sorosutan, kecamatan Umbulharjo, Yogyakarta. Perusahaan ini telah diakui pemerintah dengan adanya izin dan memiliki Tanda Daftar Perusahaan (TDP) No. 12055302753 dengan izin usaha No. 503-T 529/75 I/1993 dan Surat Tanda Pendaftaran Industri Kecil (STPIK) dengan No. 009/IZ/A/12/VII/1990 tanggal 31 Desember 1990.

Pada awal berdirinya, perusahaan SP Alumunium hanya memproduksi sendok, irus dan entong dengan kapasitas produksi 50kg sampai 100kg/hari dan dikerjakan oleh 2 sampai 3 orang karyawan. Bahan baku yg digunakan adalah serap alumunium rongsokan hasil proses daur ulang, dan wilayah pemasarannya masih terbatas pada pasar lokal.

Pada tahun 1990 perusahaan diserahkan pada generasi penerus bapak Endro Suharto, yaitu bapak Beni Hendra Prasetya SE, dan pada masa-masa inilah perusahaan SP Alumunium berkembang pesat, dimana jenis produk yang dihasilkan bertambah dan wilayah pemasarannya pun terus diluaskan bahkan sampai keluar Jawa. SP Alumunium mulai dikembangkan menjadi usaha industri kecil menengah yang kelak bisa berkesinambungan menjadikan salah satu usaha hasil karya bangsa Indonesia dan berskala internasional dimasa depan.

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju dan kompleks, perkembangan perusahaan SP Alumunium dari tahun ke tahun mengalami peningkatan dan produk-produknya juga mulai bervariasi, mulai dari alat rumah tangga sampai dengan aksesoris, baik interior maupun eksterior. Pada tahun 1991 SP Alumunium mulai meningkatkan kapasitas produksi serta varian produk yang mengarah pada segmen pasar modern dan ekspor.

Di tahun 2008 SP Alumunium secara resmi mulai memasuki modern market melalui salah satu *wholesale* besar di Indonesia yang dahulu dikenal dengan Makro Indonesia sampai dengan sekarang ini. Kontrak atau *trading term* yang dijalankan dari tahun ke tahun membuktikan adanya peningkatan permintaan pasar yang semakin pesat. Tanpa meninggalkan segmen pasar tradisional dengan *supply* yang sudah mencapai target 60% dari kapasitas produksi, SP Alumunium masih terus mengembangkan untuk mencapai 30% segmen modern market dan 10% ekspor.

Sampai saat ini SP Alumunium sudah mencapai kapasitas produksi 3,500 kg – 4.000 kg per-hari dan didukung oleh 120 karyawan tetap serta telah memiliki 2 pabrik produksi. Luas bangunan pabrik saat ini adalah 2600 m² yg masih berada di wilayah kelurahan sorosutan. Dengan tujuan ikut menggairahkan perekonomian di Indonesia pada umumnya, dan khususnya untuk lebih mengembangkan dan membesarkan secara profesional, fokus dan komitmen untuk semua produk yang ada serta total kualitas produk yang dihasilkan agar dapat memenuhi target penetrasi market yang masih cukup besar di Indonesia.

Kini perusahaan memiliki 142 karyawan tetap dan 5 mitra kerja, baik pada produksi wajan maupun ketel. wilayah pemasarannya pun sudah meluas mencakupi 90% nasional dan 10% internasional. Jenis pasar yang telah berlangganan dengan SP Alumunium adalah pasar tradisional sebanyak 65 toko serta pasar modern sebanyak 2 toko. Selain itu SP Alumunium juga menerima pembelian satuan yang langsung dilayani di pabrik.

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

Visi Perusahaan :

Menjadikan Perusahaan yang kuat dan tumbuh dalam industri logam alumunium ditingkat nasional maupun internasional, yang memiliki daya saing tinggi.

Misi Perusahaan :

- 1) Meningkatkan nilai-nilai produktivitas perusahaan
- 2) Meningkatkan mutu dengan penerapan manajemen mutu secara kontinyu
- 3) Pengembangan kemampuan sumber daya yang dimiliki perusahaan
- 4) Mengutamakan total kualitas produk, informasi dan profesionalisme profesi
- 5) Memberi manfaat yang positif bagi lingkungan dan kehidupan di wilayah dimana perusahaan berada

Nilai – Nilai Perusahaan :

- 1) Kepuasan pelanggan sebagai skala prioritas utama
- 2) Bekerja secara profesional dan didasari dengan nilai spiritual agama dalam berkarya
- 3) Mengutamakan keselamatan dan kesehatan kerja, pelestarian lingkungan, serta memberdayakan masyarakat sekitar lingkungan

Budaya Perusahaan

- 1) Disiplin
- 2) Kerja keras dan cerdas
- 3) Komunikatif, kreatif, dan inovatif

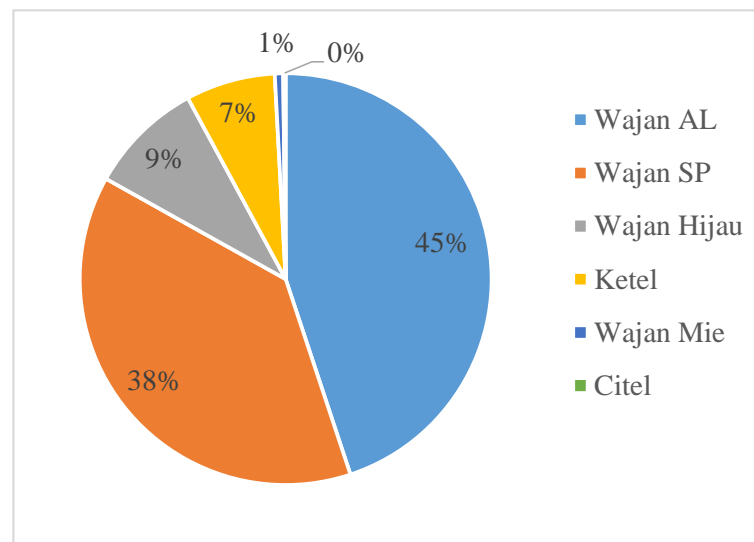
4.1.3 Hasil Produksi

Peralatan rumah tangga yang diproduksi oleh SP Alumunium antara lain wajan SP, wajan AL, wajan hijau, wajan mie, ketel dan citel. Masing-masing jenis produk memiliki nomor sendiri yang menandakan perbedaan diameter produk. Tipe produksi yang diterapkan adalah *make to stock* dan *make to order*, dimana produksi dilakukan dan ditempatkan sebagai persediaan tanpa menunggu adanya pesanan dari pelanggan, namun ketika ada

pesanan khusus, perusahaan siap melayani. Produk yang dipesan oleh pelanggan sangat bervariasi dan tidak menentu baik nomor produknya maupun jumlahnya. Berikut merupakan data permintaan periode Juli 2018 yang dapat dilihat pada Tabel 4. 1:

Tabel 4. 1. Permintaan produk SP Alumunium periode Juli 2018 (unit)

Jenis Wajan	Jumlah Permintaan	Rata-rata Permintaan/hari
Wajan SP	37421	1700,95
Wajan AL	43980	1999,09
Wajan Hijau	8829	401,32
Ketel	6882	312,81
Wajan Mie	644	29,27
Citel	189	8,59
Total	97945	4452,05

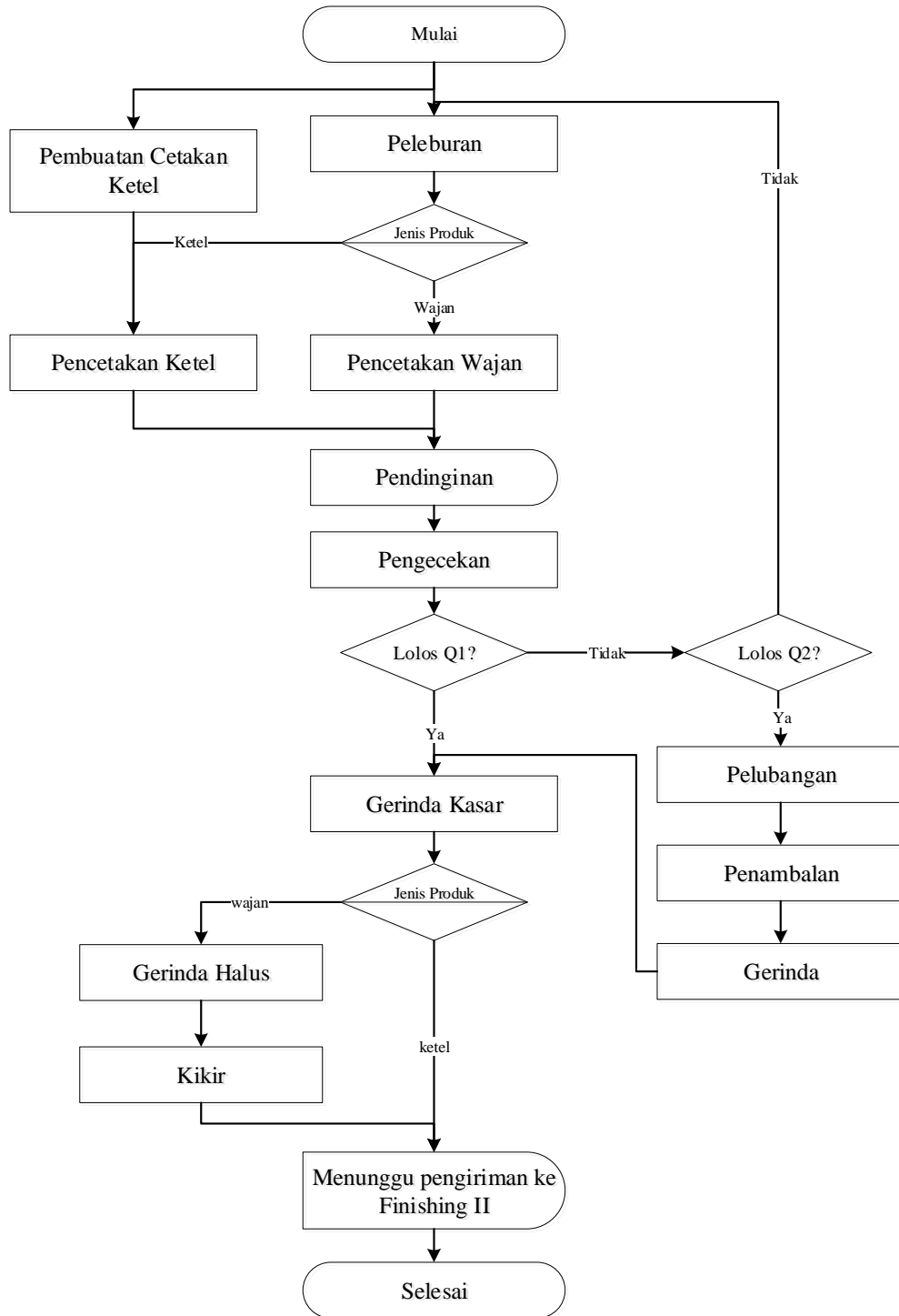


Gambar 4. 1. Diagram Permintaan produk SP Alumunium periode 2 Juli hingga 26 Juli 2018

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa permintaan wajan paling banyak ialah Wajan AL dengan rata-rata mencapai 1999,09 produk tiap harinya serta disusul dengan wajan SP dengan rata-rata permintaan 1700,95 produk dan wajan Hijau dengan permintaan 401,32 Produk. Kedua produk tersebut merupakan produk utama SP Alumunium. Selain itu, produk ketel juga menjadi produk yang selalu diproduksi setiap harinya oleh perusahaan.

4.1.4 Proses Produksi

Proses produksi dapat dilihat pada Gambar 4. 2 berikut:



Gambar 4. 2 Flowchart proses produksi

Alur produksi yang ada pada Gambar 4.2 adalah alur produksi dari departemen produksi hingga selesai finishing 1. Proses produksi wajan dan citel sama, sedangkan pada produk ketel tidak melalui proses gerinda halus dan kikir. Proses pencetakan wajan dan ketel pun berbeda. Untuk wajan dan citel menggunakan cetakan lempung sedangkan ketel masih menggunakan cetakan tanah. Berikut penjelasan proses produksi wajan dan ketel di SP Alumunium.

1. Peleburan Aluminium

Proses produksi diawali dari bahan baku berupa balok logam/aluminium, kotoran hasil bubut dan aluminium bekas yang telah dipadatkan. Bahan baku tersebut akan dimasukkan kedalam tungku peleburan yang memiliki kapasitas mencapai 4,5 ton untuk dileburkan menjadi logam cair. Logam cair tersebut selanjutnya dibawa oleh operator menggunakan cintungan kemudian dituangkan ke cetakan yang telah siap sesuai dengan jenis dan tipe produk yang dikehendaki.

2. Pencetakan

Untuk produk wajan dan citel, proses pencetakan dilakukan dengan cetakan dari lempung. Logam cair yang telah dituangkan kemudian didiamkan agar wajan tercetak dengan sempurna, kemudian wajan diambil dari cetakan dan didiamkan agar dingin. Untuk produk ketel, proses pencetakan masih dilakukan menggunakan cetakan tanah sehingga sebelum proses pencetakan, terlebih dahulu dilakukan pembuatan cetakan hingga sore hari.

3. Pendinginan

Proses pendinginan dilakukan sejak wajan selesai dicetak. Wajan akan didinginkan hingga siang hari untuk hasil cetakan pagi yang kemudian akan dibawa ke *finishing 1* (pengecekan) pada siang hari ketika akan istirahat. Kemudian hasil pencetakan di siang hari akan dibawa ke pengecekan pada sore harinya ketika waktu kerja sudah selesai dan akan didinginkan dan dilakukan pengecekan dihari berikutnya. Sedangkan untuk produk ketel, proses pendinginan sama dengan proses pendinginan pada wajan hasil cetak siang hari.

4. Pengecekan

Setelah produk dicetak dan didinginkan sementara, kemudian dilakukan pengecekan terhadap wajan dan ketel yang dilakukan secara manual. Di SP Alumunium terdapat tiga pengelompokan kualitas produksi yaitu Q1, Q2, dan Mati. Kelompok produk Q1 akan masuk ke proses selanjutnya yaitu proses gerinda kasar, kelompok produk Q2

akan masuk ke proses perbaikan sebelum dilanjutkan ke proses gerinda kasar, sedangkan kelompok produk Mati tidak dapat diperbaiki dan kemudian akan dilebur kembali dengan bahan baku lainnya.

5. Perbaikan

Produk yang masuk ke proses perbaikan adalah produk kelompok Q2 yang mana cacat yang terjadi bukan diarea minyak atau hanya pada bagian dekat dengan bibie wajan atau ketel. Jika yang diperbaiki pada area minyak, maka ketika digunakan minyak dapat merembes keluar dari wajan bagian bawah. Proses perbaikan meliputi pelubangan, penambalan, serta gerinda, berikut uraian singkat masing-masing proses:

a. Pelubangan

Pada proses ini, bagian wajan atau ketel yang cacat akan dilubangi menggunakan bor kecil dengan tujuan untuk mempermudah proses perbaikan serta hasil akhir produk rata dengan permukaan lainnya dan menambah kesan timbul pada bagian yang ditambal meskipun telah digerinda.

b. Penambalan

Proses penambalan dilakukan dengan kawat alumunium seukuran dengan lubang yang dibuat. Kawat tersebut dimasukan kedalam lubang dan ditempa menggunakan palu supaya lebih lekat menutupi lubang.

c. Gerinda

Proses gerinda dilakukan pada tambalan supaya produk rata dengan permukaan lainnya dan tidak terkesan timbul pada bagian yang ditambal.

6. Gerinda Kasar

Proses selanjutnya adalah gerinda kasar yang dilakukan supaya pinggiran dari wajan dan ketel tidak terdapat sisa sisa dari cetakan yang tidak sempurna. Proses ini merupakan akhir dari proses produksi ketel di *finishing 1*, yang kemudian akan ditempatkan diluar ruangan untuk menunggu diangkut ke lokasi *finishing 2*.

7. Gerinda Halus

Proses gerinda halus dilakukan pada produk wajan dan citel untuk lebih menghaluskan pinggiran produk hasil dari proses sebelumnya.

8. Pengikiran

Tujuan proses pengikiran hampir sama dengan gerinda halus namun dilakukan pada bagian dalam gagang wajan.

4.1.5 Waktu Kerja

Waktu kerja SP Alumunium adalah Senin – Sabtu dengan jadwal kerja sebagai berikut:

03.00 – 08.00 : Hanya peleburan

08.00 – 11.30 : Produksi

11.30 – 13.00 : Istirahat

13.00 – 15.30 : Produksi

4.1.6 Job Desk Tenaga Kerja

Pada bagian pencetakan terdiri dari tiga kelompok yaitu pekerja cor, pekerja cetak wajan, *helper*, dan pekerja cetakan ketel. Sedangkan pada *finishing* 1 terdiri dari lima kelompok yaitu pekerja Perbaikan, pekerja gerinda kasar, pekerja kikir, pekerja gerinda halus, pekerja bongkar muat. Berikut merupakan daftar tenaga kerja SP Alumunium bada bagian produksi hingga proses *finishing* 1 yang dapat dilihat pada Tabel 4.2:

Tabel 4. 2 *Job desk* tenaga kerja di SP Alumunium

No	Kelompok Kerja	Jumlah	Pekerjaan
1	Cor Alumunium	3	Peleburan, cor alumunium ke pencetakan wajan
2	Cetak Wajan	18	Pencetakan wajan
3	Helper	9	Pencetakan wajan
4	Cetak Ketel	3	Pembuatan cetakan ketel, pencetakan ketel, pengecoran ke cetakan ketel,
5	Perbaikan	4	Pengecekan, Perbaikan
6	Gerinda kasar	4	Gerinda kasar
7	Gerinda halus	4	Gerinda halus
8	Kikir	4	Pengikiran
9	Bongkar muat	2	Pemindahan dari tiap proses dan bongkar muat produk

4.1.7 Jumlah Stasiun Kerja

Di pabrik 1 SP Alumunium terdiri dari dua area kerja yaitu produksi dan *finishing* 1. Jika dijumlahkan terdapat 7 stasiun kerja yang memiliki kapasitas masing – masing. Kapasitas stasiun kerja yang dimaksud merupakan jumlah barang terbanyak yang dapat dikerjakan setiap stasiun kerja yang ada maupun produk yang dikerjakan dalam sekali angkut oleh pekerja yang ada. Berikut adalah data kapasitas yang didapatkan pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 Jumlah stasiun kerja

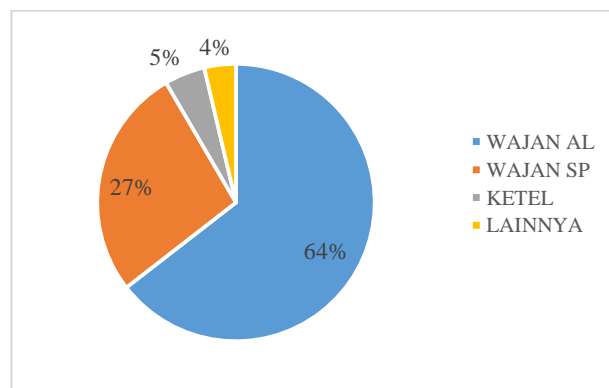
No	Stasiun Kerja	Jumlah	Kapasitas
1	Peleburan	1	4,5 ton
2	Pencetakan wajan	18	18 tumpukan wajan
3	Pencetakan ketel	3	200kg/hari
4	Perbaikan	4	100 produk/sub proses
5	Gerinda kasar	4	50 – 150 wajan/sub proses
6	Gerinda halus	4	100 – 150 wajan/sub proses
7	Pengikiran	4	100 – 150 wajan/sub proses

4.1.8 Jenis Produk yang Diamati untuk Membangun Model Awal

Produk yang diproduksi oleh perusahaan bervariasi, tidak semua produk diproduksi dalam satu hari. Data produksi harian periode Mei – Juni 2018 dapat dilihat pada Tabel 4. 4 dan Gambar 4. 3 berikut:

Tabel 4. 4 Produksi harian periode Mei – Juni 2018 (unit)

Jenis Wajan	Jumlah Produksi	Rata-rata Produksi/Hari
Wajan AL	60435	1726,71
Wajan SP	25387	725,34
Ketel	4429	126,54
Lain-lain	3447	98,49
Total	93698	2677,09



Gambar 4. 3 Data jumlah produksi periode Mei – Juni 2018

Dari diagram diatas, dapat dilihat bahwa paling banyak diproduksi adalah wajan jenis AL dengan total produksi sebanyak 64%, selanjutnya yaitu wajan SP sebanyak 27%, disusul oleh ketel dengan total produksi sebesar 5%, dan pada produk lainnya yaitu wajan mie, citel, dan produk lainnya 4%. Dari data tersebut, dapat diperkecil kembali sehingga

lebih berfokus kepada produk wajan AL dan wajan SP. Sedangkan untuk produk ketel juga menjadi fokus dalam pembuatan model awal meskipun hanya memproduksi 5% daripada keseluruhan produk karena proses pencetakannya yang berbeda. Untuk menentukan nomor berapa saja yang akan menjadi fokus pengamatan dalam membangun model awal perusahaan, disajikan tabel frekuensi produksi serta jumlah produksi dari tiap nomor produk selama periode Mei – Juni 2018 (35 hari kerja) yang dapat dilihat pada Tabel 4. 5 berikut:

Tabel 4. 5 Frekuensi dan jumlah produksi tiap nomor selama 35 hari kerja (unit)

No	Jenis Produk	Frekuensi (Hari)	Jumlah Produksi	No	Jenis Produk	Frekuensi (Hari)	Jumlah Produksi
1	KTL	35	4429	16	20 AL	19	1497
2	12 AL	34	11375	17	28 SP	18	871
3	24 SP	33	4628	18	13 SP	17	840
4	20 SP	32	3766	19	10 SP	16	2463
5	13 AL	32	11066	20	14 SP	15	1359
6	14 AL	32	9986	21	11 SP	8	46
7	22 SP	29	2671	22	16 SP	7	85
8	10 AL	29	8762	23	15 SP	6	61
9	18 SP	28	4006	24	24 AL	6	384
10	26 SP	28	2224	25	22 AL	4	88
11	11 AL	28	6659	26	32 SP	3	4
12	18 AL	28	3776	27	30 SP	1	1
13	15 AL	24	3680	28	36 SP	1	1
14	16 AL	22	3154	29	26 AL	1	4
15	12 SP	19	2361	30	28 AL	1	4

Penentuan nomor produk yang akan diamati didasarkan pada frekuensi atau seringnya produk tersebut diproduksi dalam 35 hari kerja sebelumnya. Untuk produk ketel tidak diuraikan penomorannya karena hanya mencakup 4% dari keseluruhan produksi yang dilakukan. Dari data yang ada, diambil nomor produk yang memiliki frekuensi lebih dari 50% periode atau lebih dari 17 hari dan didapatkan 17 jenis produk yang sering dikerjakan.

Sebelumnya, perusahaan telah memberikan pemetaan kembali ukuran wajan menjadi tiga jenis antara lain wajan kecil yaitu wajan no 10, 11, 12, 13, 14, dan 15, wajan sedang yaitu wajan no 16, 18, dan 20, serta wajan besar yaitu wajan no 22, 24, 26, 28, 30, 32, dan 36 untuk produk SP sedangkan untuk produk AL hanya sampai no 28. Dari keterangan tersebut, didapatkan tipe – tipe produk yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain dapat dilihat pada Tabel 4. 6 berikut :

Tabel 4. 6 Tipe produk yang akan diteliti

No	Jenis Produk	Nomor Produk
1	Wajan kecil	12 SP, 10 AL, 11 AL, 12 AL, 13 AL, 14 AL, 15 AL
2	Wajan sedang	18 SP, 20 SP, 16 AL, 18 AL, 20 AL
3	Wajan besar	22 SP, 24 SP, 26 SP, 28 SP
4	Ketel	

4.1.9 Jenis Produk yang Diamati untuk Merancang Eksperimen Taguchi

Dalam penentuan nomor berapa saja yang akan menjadi fokus untuk membangun model rancangan eksperimen Taguchi, digunakan data permintaan pada bulan Juli 2018. Produk wajan AL dan wajan Hijau sebenarnya sama dalam proses produksi pada *finishing 1*, sehingga kedua produk tersebut dapat disatukan menjadi wajan AL saja. Berikut disajikan tabel jumlah permintaan serta frekuensi permintaan wajan pada Tabel 4. 7:

Tabel 4. 7 Frekuensi dan jumlah permintaan tiap nomor bulan Juli 2018 (unit)

No	No Wajan	Frekuensi (hari)	Permintaan/hari	No	No Wajan	Frekuensi (hari)	Permintaan/hari
1	KTL	17	6882	20	18 AL	15	2111
2	11 SP	21	3831	21	26 SP	14	983
3	12 SP	21	3882	22	20 AL	14	1352
4	13 SP	21	3901	23	28 SP	13	589
5	10 SP	20	4031	24	22 AL	12	970
6	14 SP	20	3493	25	24 AL	11	671
7	15 SP	20	3047	26	MIE 30	9	320
8	16 SP	19	3737	27	MIE 35	9	251
9	24 SP	19	2605	28	32 SP	8	65
10	12 AL	19	8754	29	30 SP	7	41
11	13 AL	18	7345	30	MIE 40	6	73
12	14 AL	18	7413	31	36 SP	5	49
13	16 AL	18	6774	32	CTL 40	3	33
14	18 SP	17	2635	33	CTL 29	2	50
15	20 SP	17	2380	34	CTL 34	2	50
16	22 SP	17	2152	35	CTL 16	1	3
17	11 AL	17	5340	36	CTL 18	1	3
18	15 AL	17	6797	37	CTL 25	1	25
19	10 AL	16	5282	38	CTL 37	1	25

Hampir sama dengan penentuan pada pembuatan model awal perusahaan, penentuan untuk model awal Taguchi juga lebih didasarkan pada frekuensi. Dalam hal ini adalah frekuensi permintaan atau seringnya produk tersebut diminta oleh pasar. Produk ketel tidak diuraikan penomorannya seperti pada pembuatan model awal perusahaan.

Penentuan nomor wajan yang akan digunakan juga didasarkan pada ketersediaan cetakan wajan pada departemen produksi, karena sudah tidak memungkinkan lagi untuk ditambah cetakan karena ketersediaan tempat yang kurang. Karena cetakan wajan berjumlah 18, maka maksimal produk yang dapat digunakan juga berjumlah 18 produk.

Dari data yang ada dapat dilihat 18 produk yang memiliki jumlah permintaan yang paling banyak juga memiliki frekuensi permintaan yang lebih tinggi daripada produk lainnya yaitu lebih dari 16 kali dari 22 hari permintaan. Dari 18 nomor wajan yang diambil pun merupakan nomor wajan yang paling banyak diminta. Berdasarkan pemetaan oleh perusahaan terhadap ukuran wajan, maka didapatkan tipe – tipe produk yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain yang dapat dilihat pada Tabel 4. 8 berikut :

Tabel 4. 8 tipe produk yang akan digunakan

No	Jenis Produk	Nomor Produk
1	Wajan kecil	10 AL, 11 AL, 12 AL, 13 AL, 14 AL, 15 AL, 10 SP, 11 SP, 12 SP, 13 SP, 14 SP, 15 SP
2	Wajan sedang	16 SP, 18 SP, 20 SP, 16 AL
3	Wajan besar	22 SP, 24 SP
4	Ketel	

4.1.10 Pengambilan Data Waktu Proses

Pemetaan ukuran produk juga mempengaruhi pada waktu proses tiap produk. Produk yang masuk kedalam ukuran yang sama maka waktu proses pada masing masing stasiun kerja juga relatif sama. Untuk produk wajan dipetakan menjadi kecil, sedang, dan besar, sedangkan untuk produk ketel tidak dipetakan karena persentase produksinya tidak lebih dari 10%, bahkan hanya 5% saja berdasarkan pengambilan data untuk membuat model awal simulasi. Selain itu juga dikarenakan pengerjaan ketel di departemen *Finishing* 1 hanya sampai gerinda kasar, sehingga tidak terlalu mempengaruhi hasil *finishing* wajan.

Waktu proses wajan dibedakan berdasarkan ukurannya kecuali pada proses setup cetakan wajan, sortir serta perbaikan yang mencakup proses pelubangan, tambal, serta gerinda karena tersebut memiliki waktu yang relatif sama meskipun berbeda ukurannya. Waktu proses sortir serta perbaikan tersebut berlaku juga untuk produk ketel. Data waktu proses yang berhasil dikumpulkan dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.1.11 Pengambilan Data Klasifikasi Produk

Setelah produk dicetak dan didinginkan sementara, kemudian dilakukan pengecekan terhadap wajan dan ketel yang dilakukan secara manual. Di SP Alumunium terdapat tiga pengelompokan kualitas produksi yaitu Q1, Q2, dan Mati. Berikut merupakan persentase pengelompokan kelas wajan selama periode Mei – Juni 2018 yang dapat dilihat pada Tabel 4. 9 serta produk ketel pada Tabel 4. 10:

Tabel 4. 9 Persentase hasil pegecekan dan pengelompokan wajan

No	Q1	Q2	Mati	No	Q1	Q2	Mati
1	80.61%	12.77%	6.63%	11	83.00%	13.79%	3.21%
2	84.68%	11.23%	4.09%	12	80.45%	15.05%	4.50%
3	83.09%	12.24%	4.68%	13	81.89%	13.55%	4.56%
4	85.20%	10.04%	4.75%	14	78.44%	14.31%	7.25%
5	84.37%	11.77%	3.86%	15	80.49%	13.98%	5.53%
6	84.51%	11.25%	4.24%	16	83.19%	11.08%	5.73%
7	84.81%	11.55%	3.64%	17	82.77%	10.60%	6.63%
8	85.65%	11.00%	3.35%	18	82.99%	11.16%	5.85%
9	84.92%	10.50%	4.58%	19	82.63%	12.55%	4.81%
10	73.96%	21.16%	4.87%	20	81.36%	14.12%	4.53%
Rata-rata					82.45%	12.69%	4.86%

Tabel 4. 10 Persentase hasil pegecekan dan pengelompokan ketel

No	Q1	Q2	Mati	No	Q1	Q2	Mati
1	96.46%	0.00%	3.54%	14	96.43%	2.68%	0.89%
2	98.23%	0.00%	1.77%	15	96.49%	1.75%	1.75%
3	97.35%	0.00%	2.65%	16	96.32%	0.00%	3.68%
4	94.69%	1.77%	3.54%	17	96.30%	0.00%	3.70%
5	95.58%	0.00%	4.42%	18	95.45%	0.91%	3.64%
6	92.11%	4.39%	3.51%	19	93.85%	0.00%	6.15%
7	94.62%	1.54%	3.85%	20	96.85%	0.79%	2.36%
8	94.74%	4.39%	0.88%	21	93.94%	0.76%	5.30%
9	96.49%	0.88%	2.63%	22	96.99%	0.75%	2.26%
10	95.61%	0.88%	3.51%	23	95.42%	0.00%	4.58%
11	95.61%	0.00%	4.39%	24	97.41%	0.00%	2.59%
12	97.37%	1.75%	0.88%	25	98.52%	0.00%	1.48%
13	94.64%	1.79%	3.57%				
Rata-rata					95.90%	1.00%	3.10%

4.2. Pengolahan Data

Dalam sub bab ini akan dilakukan pengolahan data yang dibutuhkan dan berhubungan dengan permasalahan yang diteliti. Pengolahan data dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*, *software simulasi Flexsim*, dan *software statistik SPSS*.

4.2.1 Pengolahan Data Waktu Proses

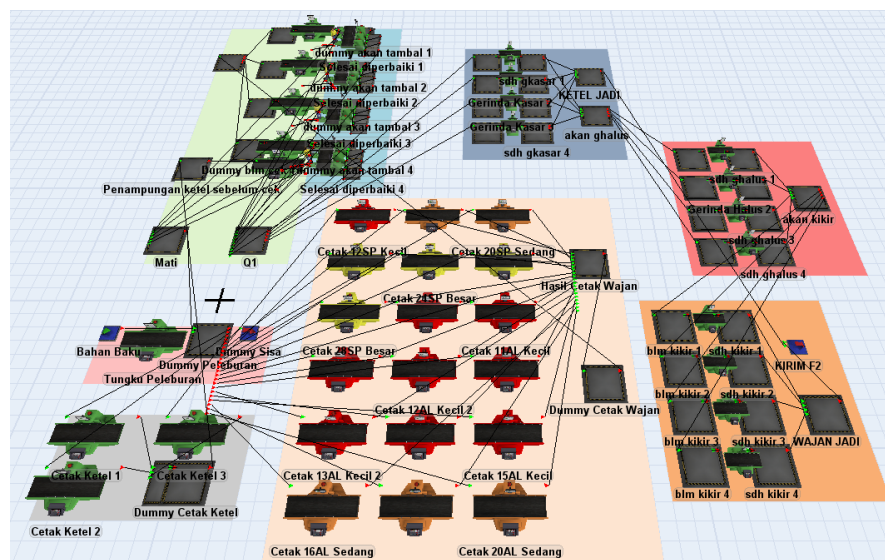
Dari data waktu proses pada Lampiran 1, kemudian dicari distribusi statistik yang sesuai dengan data yang ada. Pencarian distribusi statistik tersebut menggunakan *tools Expertfit* yang terdapat pada *software Flexsim 6.0*. Distribusi statistik yang didapatkan dari setiap proses berdasarkan pemetaan tipe produk oleh perusahaan dapat dilihat pada Tabel 4. 11 sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Distribusi waktu proses

Nama Proses		Waktu Proses
Persiapan cetakan wajan		beta(0.251002, 1.712133, 0.935538, 3.200709, 0)
Pencetakan wajan	Kecil	johnsonbounded(0.007673, 1.244339, -1.895166, 1.199529, 0)
	Sedang	loglaplace(0.000000, 1.411833, 7.539824, 0)
	Besar	beta(1.265853, 3.848411, 0.997164, 2.003807, 0)
Pencetakan ketel		loglaplace(0.000000, 6.651200, 2.586687, 0)
Pengecekan		gamma(0.047257, 0.015874, 2.576208, 0)
Perbaikan	Pelubangan	loglogistic(0.049740, 0.081846, 2.394465, 0)
	Penambalan	inversegaussian(0.151375, 0.445020, 1.388614, 0)
	Gerinda	beta(0.134721, 0.964798, 0.901166, 3.244948, 0)
Gerinda kasar	Kecil	beta(0.141453, 0.526812, 1.491625, 1.388907, 0)
	Sedang	johnsonbounded(0.230172, 1.210014, 2.082611, 1.054356, 0)
	Besar	beta(0.839935, 2.345972, 1.482703, 2.349267, 0)
Gerinda halus	Ketel	weibull(0.000000, 0.789972, 3.792874, 0)
	Kecil	weibull(0.271262, 0.084575, 2.223212, 0)
	Sedang	beta(0.005934, 0.697358, 14.604554, 17.980694, 0)
Pengikiran	Besar	loglaplace(0.371108, 0.132447, 2.382638, 0)
	Kecil	loglaplace(0.077505, 0.364948, 8.295502, 0)
	Sedang	johnsonbounded(0.369600, 0.889325, 0.627969, 0.806722, 0)
	Besar	johnsonbounded(0.540536, 1.392712, 1.236478, 0.744039, 0)

4.2.2 Perancangan Model Awal

Model yang disimulasikan pada penelitian ini ialah model eksperimen Taguchi. Namun sebelumnya, dibuat model awal atau inisial model rantai produksi yang ada saat ini di SP Alumunium yang bertujuan untuk menguji verifikasi dan validasi dari model yang merepresentasikan sistem nyata yang ada. Sebelum dirancang model awal, dirancang terlebih dahulu model konseptual dari rantai produksi SP Alumunium. Model konseptual dapat dilihat pada Lampiran 2. Perancangan model simulasi menggunakan *software Flexsim 6*. Berikut merupakan tampilan model awal yang dibuat berdasarkan kondisi sistem nyata, terlihat pada Gambar 4. 4 dibawah ini:



Gambar 4. 4 Model awal simulasi

4.2.2.1 Batasan Model Simulasi

Model merupakan penyederhanaan dari sistem nyata, sehingga terdapat beberapa batasan asumsi dan batasan yang digunakan dalam pembuatan model. Batasan – batasan tersebut antara lain:

1) Kedatangan bahan baku

Dalam memodelkan menggunakan *software Flexsim 6.0*, kedatangan bahan baku yang dimaksud ialah kedatangan entitas kedalam model yang mana merepresentasikan waktu kedatangan ke rantai produksi.

Kedatangan entitas yang ada ialah bahan baku aluminium batangan. Semua entitas diasumsikan telah ada di lantai produksi ketika simulasi dimulai. Karena bahan baku yang tersedia di perusahaan dalam bentuk batangan yang akan dilebur serta jumlah wajan dan ketel yang akan dicetak tidak menentu, maka diasumsikan jumlah bahan baku yang datang akan selalu memenuhi produksi cetak dalam sehari.

Karena asumsi yang diberikan tersebut pula, maka bahan baku tidak menjadi salah satu faktor yang dapat dikendalikan dalam perancangan eksperimen taguchi yang akan dilakukan.

2) Peleburan aluminium

Pada proses peleburan tidak menggunakan objek yang merepresentasikan mesin/alat, namun menggunakan asumsi waktu, yang mana bahan baku siap pada pukul 03.00 pagi, sesuai dengan waktu peleburan dimulai, serta siap dicetak pada pukul 8.00 pagi sesuai jam operasional bagian produksi. Entitas yang datang baru dapat masuk ke mesin pencetakan pada pukul 8.00 pagi.

3) Pencetakan ketel

Karena proses pencetakan ketel masih menggunakan cetakan tanah, maka cetakan harus dibuat terlebih dahulu, baru kemudian ketika jam produksi cetak wajan selesai, proses pengecoran aluminium pada cetakan tanah dilakukan. Dengan begitu, jumlah ketel yang dihasilkan juga tergantung dengan jumlah cetakan tanah yang dihasilkan. Oleh karena itu, proses pengecoran aluminium cair tidak dimodelkan, namun hanya proses pembuatan cetakan ketel saja karena jumlah outputnya sama. Asumsi tersebut dimasukan tidak akan mempengaruhi hasil simulasi serta pada proses analisa yang akan dilakukan.

4) *Dummy* penampungan

Dummy penampungan digunakan agar model dapat berjalan sesuai dengan mekanisme di sistem nyatanya. *Dummy* digunakan di beberapa proses antara lain pada pencetakan ketel, pencetakan wajan, ketel jadi serta wajan jadi. Pencetakan ketel digunakan supaya pemindahan hasil pencetakan ketel dilakukan disore hari setelah produksi selesai. Hal tersebut sesuai dengan keadaan di perusahaan yang mana produk ketel yang diproduksi hari ini akan dicek atau disortir keesokan harinya. Penggunaan *Dummy* pencetakan wajan juga hampir sama dengan ketel namun pemindahan dilakukan dua kali dalam sehari yaitu pada siang hari ketika istirahat dan mulai dilakukan finishing 1 setelah istirahat serta pada sore hari dan akan dikerjakan dihari

berikutnya. Dummy wajan dan ketel jadi digunakan untuk mempermudah menghitung hasil kedua produk tersebut.

5) Waktu Simulasi dan status *initial inventory*

Waktu simulasi/*run time simulation* tidak dilakukan tiap 1 hari kerja namun dilakukan secara continuous selama 30 hari lebih. Dalam pembuatan model tidak digunakan inisial *inventory* / WIP, dikarenakan inisial *inventory* tiap harinya berubah dan tidak bisa dibuat dalam model apabila hanya dilakukan simulasi tiap 1 hari saja. Sebagai ganti maka output simulasi hari pertama simulasi tidak digunakan untuk analisa karena akan digunakan untuk *initial inventory* di hari kedua. dengan *run time* yang panjang, maka *intial inventory* tiap harinya pun berbeda.

6) Kapasitas stasiun kerja dan tenaga kerja

Kapasitas stasiun kerja dan jumlah tenaga kerja saling berhubungan. Dikarenakan proses dilakukan secara manual dan hanya menggunakan peralatan yang mendukung seperti alat mencetakan, alat gerinda, alat kikir dan sebagainya, maka kapasitas tiap stasiun kerja menyesuaikan dengan kapasitas dari masing masing tenaga kerja dalam memproses produk yang ada yaitu 1 produk dalam 1 kali memproses. Sehingga jika ingin menambah kapasitas, perlu menambah jumlah tenaga kerja juga.

Tenaga kerja tidak divisualisasikan menggunakan objek tenaga kerja yang ada melainkan hanya menggunakan objek mesin untuk penyederhanaan. Hal tersebut tidak mempengaruhi hasil simulasi secara signifikan dikarenakan proses pemindahan barang yang diangkut pekerja tidak diperhitungkan serta objek mesin yang ada dapat beroperasi tanpa adanya pekerja.

4.2.2.2 Pendefinisian Entitas

Pendefinisian entitas yang berbeda pada *Flexsim* menggunakan atribut *Item type and color* dan *label* yang mana berbentuk *numerical*. Dalam hal ini *item type and color* digunakan untuk membedakan nomor produk wajan SP, wajan AL dan ketel serta memberikan warna pada setiap *item type*. Sedangkan label digunakan untuk membedakan ukuran setiap wajan dikarenakan waktu proses masing- masing stasiun kerja dibedakan oleh ukurannya. Label ukuran terdapat empat, yaitu 1 untuk wajan kecil, 2 untuk wajan sedang, 3 untuk wajan besar, serta 4 untuk ketel Berikut penentuan *item type* yang digunakan pada formulasi model simulasi yang disajikan pada Tabel 4. 12 berikut :

Tabel 4. 12 Item type produk wajan SP, wajan AL dan ketel

Nomor Produk	Item Type	Label	Nomor Produk	Item Type	Label
12 SP	1	1	12 AL	10	1
18 SP	2	2	13 AL	11	1
20 SP	3	2	14 AL	12	1
22 SP	4	3	15 AL	13	1
24 SP	5	3	16 AL	14	1
26 SP	6	3	18 AL	15	2
28 SP	7	3	20 AL	16	2
10 AL	8	1	KTL	17	4
11 AL	9	1			

Sedangkan bahan baku aluminium tidak didefinisikan sehingga *default* menjadi item type 1 karena setelah dicetak, maka *itemtype* dari bahan baku akan berubah.

4.2.2.3 Pendefinisian *Resources*, Waktu Proses dan Kapasitas Proses

Pada *software Flexsim 6.0* objek yang digunakan untuk membuat model disebut *resources* yang dibagi menjadi dua jenis, yaitu *fix resources* dan *mobile resources* atau sering disebut *task executor*. *Fix resources* merupakan objek yang bersifat tetap dan dapat memberikan perintah kepada *task executor*. *Fix resources* dapat berupa kedatangan, penampungan dan proses, baik yang menggunakan mesin maupun manual atau dengan alat. *Task executor* merupakan *resources* yang akan menjalankan tugas yang diberikan seperti memproses dan mengirim entitas dari *fix resource* satu ke *fix resources* lainnya.

Dalam pendefinisian pekerja tidak semua menggunakan object *task executor* namun digunakan pada pekerja perbaikan saja karena menangani dua proses yang berbeda yaitu pengecekan dan perbaikan. Sehingga ketika sedang dilakukan proses pengecekan, maka proses perbaikan berhenti, begitu juga sebaliknya. Waktu proses yang didefinisikan pada model sesuai dengan distribusi data yang telah dicari menggunakan *tools expertfit*. Waktu process atau *process time* pada masing-masing pekerja dalam menyelesaikan satu produk dengan kapasitas *processor* 1. Kapasitas *processor* merupakan representasi dari kemampuan setiap pekerja untuk memproses produk dalam sekali proses. Sedangkan pada penampungan atau *queue*, kapasitas yang dimaksud merupakan jumlah barang terbanyak yang dapat ditampung pada sebuah penampungan atau *queue*. Dalam model simulasi yang dibuat, pendefinisian *queue* juga merepresentasikan banyaknya produk yang dikerjakan dalam sekali angkut. Berikut adalah data kapasitas yang digunakan dalam perancangan model simulasi pada tabel 4. 13:

Tabel 4. 13 Pendefinisian masing – masing objek pada model simulasi menggunakan *tools Flexsim 6.0*

No	Stasiun Kerja	Nama Objek	Tipe Objek	Jumlah Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
1	Peleburan	Bahan Baku	<i>Source</i>	1	-	Merepresentasikan kedatangan entitas dalam sistem
		Dummy Peleburan	<i>Queue</i>	1	7000	Merepresentasikan tungku peleburan yang dapat mendistribusikan alumuniumcair ke pencetakan yang ada ketika proses produksi dimulai
		Dummy Sisa	<i>Sink</i>	1	-	Akan mengambil seluruh sisa entitas logam cair yang tidak akan bisa digunakan lagi di hari berikutnya
2	Pencetakan wajan	Cetak (nomor wajan) (ukuran wajan)	<i>Processor</i>	18	1	Merepresentasikan mesin pencetakan wajan dengan nomor masing – masing, visualisasi perbedaan ukuran menggunakan warna mesin. Wajan kecil = merah, sedang = jingga, besar = kuning
		Hasil Cetak Wajan	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasikan pendinginan produk wajan
		Dummy Cetak Wajan	<i>Queue</i>	1	∞	Sebagai dummy dalam pemindahan wajan pada waktu tertentu yaitu siang hari saat istirahat dan sore hari saat jam kerja selesai
3	Pencetakan Ketel	Cetak Ketel	<i>Processor</i>	3	1	Merepresentasikan proses pembuatan cetakan ketel yang dilakukan oleh masing-masing pekerja
		Hasil Cetak Ketel	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasikan pendinginan produk ketel
		Dummy Cetak Ketel	<i>Queue</i>	1	∞	Sebagai dummy dalam pemindahan wajan pada waktu tertentu yaitu sore hari saat jam kerja selesai
4	Pengecekan & Perbaikan	Penampungan Wajan Sebelum Cek	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasikan tempat wajan sebelum dilakukan pengecekan
		Penampungan Ketel Sebelum Cek	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasikan tempat ketel sebelum dilakukan pengecekan
		Dummy belum Cek	<i>Queue</i>	4	100	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kemampuan angkut tiap pekerja pengecekan untuk kemudian dilakukan pengecekan
		Pengecekan Wajan	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses pengecekan wajan yang dilakukan oleh 4 pekerja
		Pengecekan Ketel	<i>Processor</i>	1	1	Merepresentasikan proses pengecekan ketel yang dilakukan oleh pekerja ke-4
		Operator QC	<i>Operator</i>	4	-	Merepresentasikan jumlah pekerja pengecekan dan perbaikan

No	Stasiun Kerja	Nama Objek	Tipe Objek	Jumlah Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
		Akan diperbaiki	<i>Queue</i>	4	100	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau tumpukan produk pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dilakukan perbaikan. Produk yang masuk pada penampungan ini adalah kualitas Q2
		Pelubangan	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses pelubangan produk
		Akan tambal	<i>Queue</i>	4	100	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau tumpukan maksimal produk pada tiap pekerja untuk kemudian dilakukan penambalan
		Penambalan	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses penambalan produk
		Akan gerinda	<i>Queue</i>	4	100	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau tumpukan maksimal produk pada tiap pekerja untuk kemudian dilakukan gerinda hasil perbaikan
		Gerinda	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses gerinda produk
		Q1	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasikan produk yang siap digerinda. Produk yang masuk pada penampungan ini adalah kualitas Q1 dan Q2
		Mati	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasikan penampungan yang digunakan untuk produk mati yang kemudian akan dilebur kembali diproduk yang siap digerinda. Produk yang masuk pada penampungan ini adalah kualitas Q1 dan Q2
		Belum gerinda kasar	<i>Queue</i>	4	50 – 150	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kapasitas angkut pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dilakukan proses gerinda kasar.
		Gerinda kasar	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses gerida kasar
5	Gerinda Kasar	Sudah gerinda kasar	<i>Queue</i>	4	50 – 150	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kapasitas angkut pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dibawa ke proses gerinda halus. Produk akan dibawa ketika semua yang diangkut telah dikerjakan oleh pekerja.
		Akan g halus	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasi penampungan wajan sebelum proses gerinda halus
		Ketel Jadi	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasi tempat ketel menunggu sebelum dikirim ke <i>finishing</i> 2 di pabrik 2

No	Stasiun Kerja	Nama Objek	Tipe Objek	Jumlah Objek	Kapasitas/ Objek	Keterangan
6	Gerinda Halus	Belum gerinda halus	<i>Queue</i>	4	100 – 150	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kapasitas angkut pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dilakukan proses gerinda halus.
		Gerinda halus	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses gerinda halus
		Sudah gerinda halus	<i>Queue</i>	4	100 – 150	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kapasitas angkut pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dibawa ke proses pengikiran. Produk akan dibawa ketika semua yang diangkut telah dikerjakan oleh pekerja.
		Akan kikir	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasi penampungan wajan sebelum proses pengikiran
7	Pengikiran	Belum kikir	<i>Queue</i>	4	100 – 150	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kapasitas angkut pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dilakukan proses pengikiran.
		Pengikiran	<i>Processor</i>	4	1	Merepresentasikan proses pengikiran
		Sudah kikir	<i>Queue</i>	4	100 – 150	Merepresentasikan jumlah <i>batch</i> atau kapasitas angkut pada tiap pekerja untuk untuk kemudian dibawa ke proses pengikiran. Produk akan dibawa ketika semua yang diangkut telah dikerjakan oleh pekerja.
		Wajan Jadi	<i>Queue</i>	1	∞	Merepresentasi tempat wajan menunggu sebelum dikirim ke <i>finishing 2</i> di pabrik 2
		Kirim F2	<i>Sink</i>	1	-	Merepresentasikan distribusi produk ke finishing 2 yang juga sebagai akhir dari proses produksi dalam model

4.2.3 Validasi Model

Setelah dilakukan simulasi model awal perusahaan, selanjutnya dilakukan uji validasi untuk mengetahui apakah model simulasi yang dibuat telah merepresentasikan kondisi nyata yang ada di rantai produksi. Uji validasi yang digunakan ialah uji statistik dengan uji kesamaan dua rata-rata, uji kesamaan dua variansi, dan uji kecocokan. Sebelum dilakukan perhitungan validasi model awal perusahaan, dilakukan penentuan jumlah replikasi output model simulasi dengan menggunakan data pada Tabel 4. 14 berikut:

Tabel 4. 14 Hasil produksi dengan replikasi awal

Replikasi	Simulasi	Nyata
1	2629	2725
2	2684	2842
3	2699	2708
4	2711	2657
5	2687	2778
6	2706	2663
7	2620	2751
8	2614	2669
9	2698	2590
10	2750	2596
11	2697	2560
12	2701	2614
13	2722	2579
14	2743	2572
15	2678	2640
16	2591	2528
17	2707	2781
18	2625	2542
19	2710	2659
20	2681	2797
21	2715	2822
22	2687	2517
23	2731	2620
24	2647	2551
25	2672	2736
26	2691	2696
27	2691	2674
28	2686	2684
29	2689	2643
30	2717	2780
Mean	2685,97	2665,80
SD (v)	38,32	91,77

Beberapa parameter yang digunakan adalah nilai α , β , dan δ . Nilai α menunjukkan terminologi statistik menolak H_0 ketika H_0 adalah benar, atau dalam terminologi

pemodelan adalah penolakan model yang valid. Sehingga lebih kecil nilai α , maka kemungkinan menolak model yang valid semakin kecil. Nilai β menunjukkan terminologi statistik kesalahan untuk menolak H_0 ketika H_1 adalah benar, atau dalam terminologi pemodelan adalah kesalahan menolak model yang tidak valid. Sehingga lebih kecil nilai β , maka semakin kecil pula kesalahan menolak model yang tidak valid. Sedangkan nilai δ adalah nilai yang digunakan dalam menentukan jumlah replikasi berdasarkan nilai α dan β yang digunakan. Nilai δ dapat dihitung dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\delta = \frac{|E(Y) - \mu_0|}{\sigma} = \frac{|2685,97 - 2665,8|}{38,32} = 0,526$$

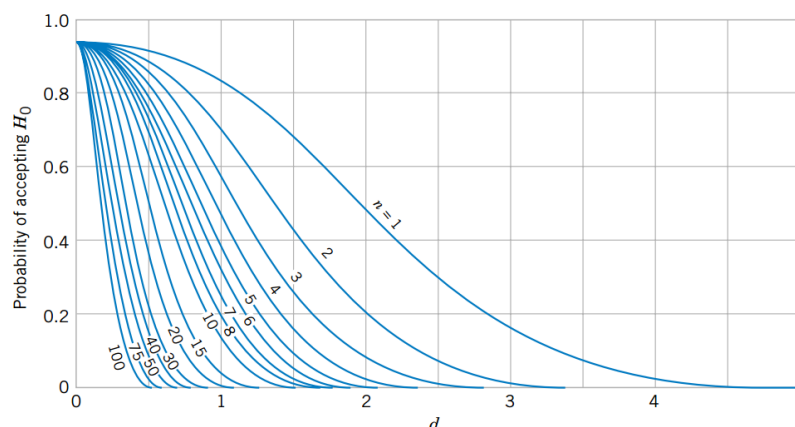
dengan :

$E(Y)$ = Rata – rata data simulasi

μ_0 = Rata – rata data sistem nyata

σ = Standar deviasi data simulasi

Berdasarkan grafik penentuan jumlah replikasi dengan α sebesar 0,05 pada Gambar 4. 5, dengan menggunakan nilai β sebesar 0,2 dan nilai δ sebesar 0,526 maka didapatkan jumlah n (jumlah replikasi) sebesar 30 replikasi. Sehingga pada perhitungan validasi akan digunakan 30 replikasi hasil simulasi sesuai dengan jumlah replikasi awal.



Gambar 4. 5 Grafik penentuan jumlah replikasi dengan α sebesar 0,05

Kemudian dilakukan pengujian validasi model. Langkah dalam menguji hipotesis ini adalah sebagai berikut:

1. Uji Kesamaan Dua Rata – Rata

Uji kesamaan dua rata – rata digunakan untuk mengetahui perbandingan performansi antara sistem nyata dengan model simulasi yang diterjemahkan dalam nilai jumlah rata – rata output dari kedua populasi tersebut.

1) Menentukan Hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatifnya (H_1)

H_0 : Rata – rata output produksi dalam model sama dengan rata – rata output produksi sistem nyata (model valid)

H_1 : Rata – rata output produksi dalam model tidak sama dengan rata – rata output produksi sistem nyata (model tidak valid)

Tingkat kepercayaan = 95%, maka $\alpha = 0,05$; $\alpha/2 = 0,025$

2) Menentukan daerah penerimaan

$$t_{(\alpha/2,df)} = t_{(0,025,29)} = 2,045$$

Daerah kritis berada dua sisi yaitu: $< - 2,045$ dan $> 2,045$. Sehingga daerah penerimaannya adalah $- 2,045 < t_{hitung} < 2,045$

3) Menghitung t_{hitung}

$$t_{hitung} = \frac{Mean_1 - Mean_2}{\sqrt{sp^2 \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

dengan

$$sp^2 = \frac{(n_1 - 1)v_1^2 + (n_2 - 1)v_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

sehingga,

$$sp^2 = \frac{(30 - 1)2665,80^2 + (30 - 1)2685,97^2}{30 + 30 - 2} = 4944,93$$

$$t_{hitung} = \frac{2665,80 - 2685,97}{\sqrt{4944,93 \times \left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30}\right)}} = -1,1071$$

4) Memberikan kesimpulan

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui t_{hitung} berada diantara $-t_{tabel}$ dan t_{tabel} ($-2,045 < -1,1071 < 2,045$). t_{hitung} berada pada daerah penerimaan, maka H_0 diterima. Dinyatakan rmodel memiliki validitas yang cukup untuk parameter output rata – rata.

2. Uji Kesamaan Dua Variansi

Dalam melakukan proses pengujian selisih maupun kesamaan dua rata – rata, selalu diasumsikan bahwa kedua populasi memiliki variansi yang sama. Agar hasil uji kesamaan dua rata – rata yang dilakukan sebelumnya benar, maka perlu sebuah kepastian bahwa asumsi tentang persamaan dua variansi terpenuhi.

- 1) Menentukan Hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatifnya (H_1)

H_0 : Variansi output produksi dalam model sama dengan variansi output produksi sistem nyata (model valid)

H_1 : Variansi output produksi dalam model tidak sama dengan variansi output produksi sistem nyata (model tidak valid)

Tingkat kepercayaan = 95%, maka $\alpha = 0,05$; $\alpha/2 = 0,025$; $1 - \alpha/2 = 0,975$

- 2) Menentukan daerah penerimaan

$$F_{(1-\alpha/2, df1, df2)} = F_{(0,975, 29, 29)} = 0,476$$

$$F_{(\alpha/2, df1, df2)} = F_{(0,025, 29, 29)} = 2,101$$

Daerah kritis berada dua sisi yaitu: $< 0,476$ dan $> 2,101$. Sehingga daerah penerimaannya adalah $-0,476 < F_{hitung} < 2,101$

- 3) Menghitung F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{2665,80^2}{2685,97^2} = 5,736$$

- 4) Memberikan kesimpulan

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui F_{hitung} berada di daerah kritis ($5,736 > 2,101$). Dikarenakan F_{hitung} berada diluar daerah penerimaan, maka H_0 ditolak. Dinyatakan rmodel memiliki validitas yang kurang untuk parameter output variansi.

3. Uji Kecocokan

Pengujian terakhir adalah menguji bahan antara hasil model simulasi memiliki kecocokan dengan sistem nyata yang diamati. Disebut uji kecocokan karena digunakan untuk menguji apakah frekuensi yang diobservasi (dihasilkan) melalui model simulasi memang konsisten dengan frekuensi teoritisnya (sistem nyata).

- 1) Menentukan Hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatifnya (H_1)

H_0 : probabilitas semua kejadian sama, hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata (model valid)

H_1 : hasil simulasi tidak sesuai dengan sistem nyata (model tidak valid)

Tingkat kepercayaan = 95%, maka $\alpha = 0,05$

- 2) Menentukan daerah penerimaan

$$X^2_{(\alpha/2,df)} = F_{(0,05,29)} = 42,557$$

Daerah kritis berada satu sisi yaitu: $> 42,557$. Sehingga daerah penerimaannya adalah $X^2_{hitung} \leq 42,557$

- 3) Menghitung X^2_{hitung}

$$X^2_{hitung} = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = 41,39$$

- 4) Memberikan kesimpulan

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui X^2_{hitung} berada kurang dari X^2_{tabel} ($41,39 < 42,557$). Dikarenakan X^2_{hitung} berada pada daerah penerimaan, maka H_0 diterima. Dinyatakan model valid, data hasil simulasi dapat diterima dengan hasil dari sistem nyata.

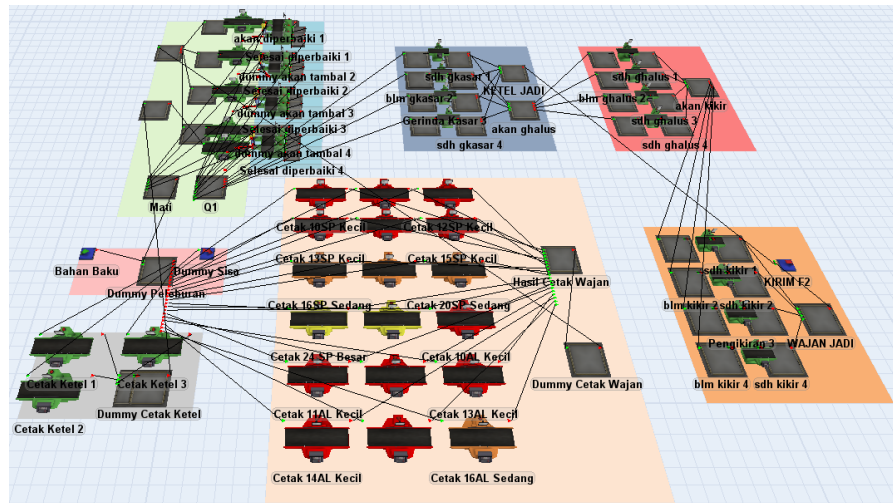
Dari ketiga uji validasi statistik diketahui bahwa uji kesamaan variansi tidak valid. Hal tersebut dikarenakan perbedaan output produksi yang sangat bervariasi yang belum dapat dicover oleh pemodelan yang dilakukan, seperti perbedaan waktu menganggur masing – masing operator seperti untuk kebutuhan pribadi atau kerusakan peralatan dan perbaikan peralatan yang tidak terjadwalkan tidak disertakan dalam rmodel simulasi. Selain itu dikarenakan sistem nyata lebih fleksibel dalam hal pengangkutan produk dari proses satu proses lainnya yang mana pada pendefinisian model bersifat lebih baku. Namun dari hasil uji kecocokan data simulasi telah valid, sehingga dapat dinyatakan keseluruhan model valid dan dapat digunakan untuk analisa. Hal tersebut dikarenakan uji kecocokan data telah mencakupi parameter rata – rata, variansi, dan gamma (Walpole & Myers, 1995). Sehingga uji kecocokan data memiliki kredibilitas yang tinggi untuk uji validasi model simulasi.

4.2.4 Perancangan Eksperimen Taguchi

4.2.4.1 Perancangan Model Awal Taguchi

Setelah model awal valid, maka dapat disimpulkan bahwa inputan yang dimasukkan kedalam model simulasi telah merepresentasikan dan telah sesuai dengan kelakuan sistem nyatanya yang ada di lantai produksi SP Aluminium. Kemudian model akan disesuaikan

kembali dengan permintaan yang akan datang yaitu permintaan periode Juli 2018. Perubahan model hanya terdapat pada penyesuaian nomor wajan yang banyak diminta pada periode tersebut. Nomor wajan yang akan dimodel telah ditentukan pada tahap pengumpulan data yaitu berjumlah 18 nomor wajan. Berikut merupakan *layout* model awal Taguchi yang dapat dilihat pada Gambar 4. 6:



Gambar 4. 6 *Layout* model awal Taguchi

Dalam hal ini juga *item type and color* digunakan untuk membedakan nomor produk wajan SP, wajan AL dan ketel serta memberikan warna pada setiap *item type*. Digunakan pula *label* untuk membedakan ukuran setiap wajan dikarenakan waktu proses masing-masing stasiun kerja dibedakan oleh ukurannya. Label ukuran terdapat empat, yaitu 1 untuk wajan kecil, 2 untuk wajan sedang, 3 untuk wajan besar, serta 4 untuk ketel. Berikut penentuan *item type* yang digunakan pada formulasi model simulasi yang disajikan pada Tabel 4. 15 :

Tabel 4. 15 Item type produk wajan SP, wajan AL dan ketel

Nomor Produk	Item Type	Label	Nomor Produk	Item Type	Label
10 SP	1	1	24 SP	11	3
11 SP	2	1	10 AL	12	1
12 SP	3	1	11 AL	13	1
13 SP	4	1	12 AL	14	1
14 SP	5	1	13 AL	15	1
15 SP	6	1	14 AL	16	1
16 SP	7	2	15 AL	17	1
18 SP	8	2	16 AL	18	2
20 SP	9	2	KTL	19	4
22 SP	10	3			

Berdasarkan kepada permintaan pada bulan Juli 2018, maka jumlah produk yang harus diproduksi dengan cetakan lempung (wajan) rata-rata 4139,23/hari atau 4140 produk/hari dan cetakan tanah (ketel) rata-rata 312,82/hari atau 313 produk/hari.

Model awal taguchi kemudian disimulasikan untuk didapatkan berapa jumlah produk yang mampu diproduksi perusahaan dengan kondisi awal perusahaan. Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa hasil produksi awal perusahaan 2726 produk dan 123 produk. Nilai tersebut belum dapat memenuhi jumlah produk yang harus diproduksi oleh perusahaan.

4.2.4.2 Perancangan Respon

Respon atau karakteristik kualitas biasanya dapat diukur dan dapat ditetapkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Respon diartikan sebagai parameter performansi keberhasilan eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini respon yang digunakan adalah jumlah produk yang didistribusikan ke *finishing 2*, yang mencakup jumlah produk ketel dan jumlah produk wajan. Pemilihan kedua faktor tersebut dikarenakan ingin memaksimalkan produksi wajan dan ketel untuk memenuhi permintaan yang ada.

4.2.4.3 Penentuan Faktor Kendali

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dibedakan menjadi dua, yaitu faktor terkendali dan faktor tak terkendali (*noise*). Faktor terkendali adalah faktor – faktor yang ditetapkan selama proses perancangan proses. Penentuan faktor kendali didasarkan pada faktor – faktor proses produksi yang penting menurut Reksohadiprodjo dan Gitoosudarmo (2000) yaitu, bahan baku dan bahan pembantu, kapasitas mesin dan peralatan lain, tenaga kerja, modal serta tanah. Disamping itu terdapat pula faktor jumlah permintaan yang juga akan menentukan kondisi proses produksi yang paling menguntungkan.

Tidak semua faktor – faktor proses produksi dapat dijadikan faktor kendali. Perlu disesuaikan kembali dengan keadaan di perusahaan serta disesuaikan dengan batasan pembuatan model simulasi yang digunakan. berikut ulasan mengenai faktor – faktor yang ada :

1. Bahan baku dan bahan pembantu

Dalam pembuatan model simulasi digunakan asumsi jumlah bahan baku yang datang akan selalu memenuhi produksi cetak dalam sehari. Karena asumsi tersebut, maka bahan baku tidak menjadi salah satu faktor yang dapat dikendalikan. Jumlah maupun atau jenis bahan baku tidak digunakan dalam penelitian. Asumsi tersebut digunakan karena memang pada proses peleburan, bahan dimasukan secara bertahap dan sulit diperkirakan kapan saja akan ditambahkan serta akan menghasilkan berapa unit wajan atau ketel dalam seharinya. Kualitas bahan juga tidak dapat dimodelkan karena bahan dalam satuan kontinu yang akan melebur dengan bahan lainnya.

2. Kapasitas mesin dan peralatan

Dalam pembuatan model simulasi, kapasitas mesin (peralatan) dan jumlah tenaga kerja saling berhubungan, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Sehingga jika ingin menambah kapasitas, perlu menambah jumlah tenaga kerja juga.

3. Jumlah pekerja yang ada disetiap proses

Karena tenaga kerja tidak divisualisasikan menggunakan objek tenaga kerja yang ada melainkan hanya menggunakan objek mesin untuk penyederhanaan. Penambahan atau pengurangan jumlah pekerja yang ada disetiap proses perlu dilakukan untuk melihat bagaimana kondisi proses produksi yang seimbang dengan jumlah produksi yang dapat memenuhi permintaan yang ada.

4. Modal/dana

Modal merupakan sumber dana atau yang membiayai pengeluaran perusahaan dalam memproduksi suatu barang. Dalam kasus ini modal tidak dapat dijadikan faktor kendali namun menjadi output dari eksperimen yang akan dilakukan.

5. Tanah

Tanah juga menjadi faktor penting dalam poses produksi untuk lokasi perusahaan. Dalam kasus ini tanah tidak dapat digunakan untuk faktor kendali karena tidak dapat dikendalikan lokasinya. Namun, ketersediaan tempat digunakan untuk pertimbangan penempatan sumber daya maksimal yang akan ditambahkan.

6. Permintaan pasar

Permintaan pasar tidak dapat dijadikan faktor kendali karena permintaan pasar yang ada dijadikan acuan atau input dari model eksperimen yang mana akan menjadi target eksperimen.

7. Alur produksi

Selain dari faktor – faktor produksi sebelumnya, alur produksi juga mempengaruhi proses produksi di rantai produksi, khususnya di SP Aluminium. Berdasarkan alur produksi yang ada, proses gerinda halus dan pengikiran dapat dilakukan menjadi lebih dari satu alur. Proses gerinda halus adalah proses menghauskan bagian pinggiran atau luaran wajan sehingga serabut2 kecil yang masih ada dapat hilang. Sedangkan proses pengikiran adalah proses menghaluskan bagian gagang atau pegangan wajan bagian dalam sehingga serabut2 kecil yang masih ada dapat hilang. Kedua proses tersebut adalah dua proses yang berbeda letaknya, dengan begitu urutan prosesnya dapat berubah namun tetap harus melewati keduanya

Dari uraian diatas didapatkan dua jenis faktor kendali yaitu jumlah tenaga kerja (sekaligus jumlah peralatan yang digunakan) dan alur produksi. Pada faktor kendali jumlah tenaga kerja dapat diuraikan kembali pada masing – masing prosesnya.

Karena cetakan wajan hanya berjumlah 18, maka jumlah produk yang dapat diproduksi juga terbatas. Maka perlu dilakukan pengecekan terlebih dahulu apakah dengan rancangan 18 cetakan lempung mampu memproduksi sekitar 4140 produk. Hal tersebut dikarenakan sudah tidak memungkinkan lagi untuk ditambah cetakan ketel yang ada di rantai produksi karena keterbatasan tempat. Selain dari proses pencetakan wajan, masih terdapat kemungkinan untuk ditambah maupun dikurangi, sehingga dilakukan analisa pada setiap proses lainnya dengan menggunakan model tersebut. Hasil dari 15 replikasi simulasi dapat dilihat pada Tabel 4. 15 sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Rata – rata 15 replikasi simulasi

	Rata - Rata Replikasi (unit)		
	Wajan	Ketel	Total
Hasil Cetak	3421,80	134,27	3556,07
Total Hasil Pengecekan	3286,00	132,53	3418,53
Hasil Gerinda Kasar	2968,27	122,93	3091,20
Hasil Gerinda Halus	2967,80	-	2967,80
Hasil Produksi	2725,93	122,93	2848,87

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa rata – rata produk wajan yang dapat dicetak sebanyak 3421,80 dan ketel sebanyak 134,27. Sedangkan untuk produk yang lolos (tidak mati dan sudah diperbaiki) rata – rata sebanyak 3286, dan ketel sebanyak 132,53 dengan total produk sebanyak 3418,53. Karena jumlah produksi cetak wajan belum mampu mencapai target pemenuhan permintaan, maka jumlah produksi yang ditargetkan adalah mampu menghabiskan seluruh wajan yang telah dicetak. Untuk pemenuhan target produksi sisanya dapat melalui mitra. Sedangkan untuk cetakan ketel perlu penambahan pekerja karena produk yang dicetak belum dapat memenuhi permintaan yang ada, namun tetap terdapat batasan jumlah operator. Pada proses lain masih dapat dilakukan perubahan karena masih memungkinkan. Total hasil pengecekan juga merupakan total produk yang siap diproses pada proses selanjutnya yaitu gerinda kasar. Dikarenakan masih kurangnya target yang diproduksi pada hasil pengecekan, maka tidak hanya cetakan ketel saja namun juga pada bagian pengecekan dapat dipertimbangkan untuk diatur kembali jumlah pekerjanya.

Analisis yang sama dilakukan kepada hasil dari setiap proses yang lainnya. Dapat dilihat dari hasil proses gerinda kasar, gerinda halus dan hasil produksi (hasil kikir untuk produk wajan) juga belum dapat memenuhi permintaan yang ada, sehingga perlu penyesuaian jumlah tenaga kerja. Dapat disimpulkan yang akan dijadikan faktor kendali dari faktor jumlah pekerja antara lain dapat dilihat pada Tabel 4. 17:

Tabel 4. 17 Faktor kendali

No	Faktor Kendali
1	Jumlah pekerja pencetakan ketel
2	Jumlah pekerja pengecekan dan perbaikan
3	Jumlah pekerja gerinda kasar
4	Jumlah pekerja gerinda halus
5	Jumlah pekerja pengikiran

Selain penyesuaian jumlah tenaga kerja, dilakukan juga perubahan kecil pada alur produksi yang ada, yaitu pada proses gerinda halus serta pengikiran. Proses gerinda halus adalah proses menghauskan bagian pinggiran atau luaran wajan sehingga serabut2 kecil yang masih ada dapat hilang. Sedangkan proses pengikiran adalah proses menghaluskan bagian gagang atau pegangan wajan bagian dalam sehingga serabut2 kecil yang masih ada dapat hilang. Kedua proses tersebut adalah dua proses yang berbeda letaknya, dengan

begitu urutan prosesnya dapat berubah namun tetap melalui kedua proses tersebut. Alur proses yang awalnya gerinda halus terlebih dahulu kemudian pengikiran dapat dibalik sesuai dengan kondisi yang ada. Dengan begitu faktor kendali bertambah menjadi 6, antara lain dapat dilihat pada Tabel 4. 18 berikut:

Tabel 4. 18 Faktor kendali

No	Faktor Kendali	Kode
1	Alur gerinda halus dan pengikiran	A
2	Jumlah pekerja pencetakan ketel	B
3	Jumlah pekerja pengecekan dan perbaikan	C
4	Jumlah pekerja gerinda kasar	D
5	Jumlah pekerja gerinda halus	E
6	Jumlah pekerja pengikiran	F

4.2.4.4 Penentuan Level Faktor

Level faktor ditentukan dengan menganalisa lebih lanjut hasil produksi disetiap prosesnya. Dari rata – rata hasil tiap proses, kemudian dihitung kebutuhan pekerja disetiap prosesnya. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan pekerja tiap proses pada Tabel 4. 19 :

Tabel 4. 19. Perhitungan jumlah pekerja yang dibutuhkan

Proses	Jumlah Pekerja (orang)	Hasil (unit)	Hasil/pekerja	Target (unit)	Pekerja yang dibutuhkan	Pembulatan (orang)
B	3	133	44.33	313	7.06	8
C	4	3419	854.75	3557	4.16	5
D	4	3092	773.00	3557	4.60	5
E	4	2968	742.00	3422	4.61	5
F	4	2849	712.25	3422	4.80	5

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa setidaknya terdapat 5 pekerja disetiap prosesnya supaya dapat menyelesaikan hasil cetak dan memenuhi permintaan yang ada. Namun, selain dari hasil setiap prosesnya, ditinjau pula status *inventory* *WIP* yang terjadi. Rangkuman *inventory* *WIP* dari setiap proses dapat dilihat pada Tabel 4. 20:

Tabel 4. 20. Status *inventory* *WIP* *Finishing 1*

WIP	Rata-rata
Akan pengecekan	0
Akan gerinda kasar	2998,8
Akan gerinda halus	59,8

Akan Pengikiran	2460,6
-----------------	--------

Pada WIP pengecekan rata-rata 0, menunjukkan bahwa semua produk dari pencetakan sudah dilakukan pengecekan. Tidak adanya WIP juga memungkinkan pekerja di pengecekan menganggur karena tidak ada lagi produk yang harus dicek dan diperbaiki. Begitu juga dengan WIP gerinda halus yang rata-rata hanya 59,8. Pekerja gerinda halus dapat mengangkat dan memproduksi 50-150 per-*batch*-nya. Hal tersebut juga memungkinkan pekerja di gerinda halus menganggur pada saat-saat tertentu untuk menunggu produk selanjutnya diproduksi.

Setelah peninjauan dari hasil simulasi model awal Taguchi tersebut, ternyata masih terdapat kemungkinan pekerja yang menganggur dan memungkinkan untuk dipindahkan ke proses lain yang memiliki WIP yang lebih tinggi. Dari hasil simulasi *software Flexsim* 6.0, persentase waktu pekerja menganggur ketika waktu kerja dapat dilihat dari % *idle* tiap proses maupun tiap pekerjanya. Hasil tersebut dapat dilihat dari rata – rata hasil 15 replikasi simulasi pada Tabel 4. 21 sebagai berikut:

Tabel 4. 21 Rata – rata %*idle* hasil 15 replikasi simulasi

Lokasi	Rata – rata
Pengecekan dan perbaikan 1	44.12%
Pengecekan dan perbaikan 2	42.92%
Pengecekan dan perbaikan 3	43.36%
Pengecekan dan perbaikan 4	40.27%
Rata – rata idle pengecekan dan perbaikan	42.67%
Gerinda Halus 1	21.97%
Gerinda Halus 2	16.94%
Gerinda Halus 3	15.97%
Gerinda Halus 4	18.73%
Rata – rata % <i>idle</i> gerinda halus	18.40%

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa level 1 dari kedua faktor kendali dapat lebih rendah dari 5 pekerja. Sedangkan untuk proses gerinda kasar dan pengikiran tidak terdapat *idle* yang tinggi bahkan hamper tidak terdapat *idle*. Hal tersebut didapatkan bahwa setidaknya terdapat 5 pekerja disetiap prosesnya supaya dapat menyelesaikan hasil cetak yang ada. Sedangkan untuk level lainnya dapat lebih tinggi daripada kebutuhan 5 pekerja. Level faktor dari setiap faktor kendali dapat dilihat pada Tabel 4. 22 berikut:

Tabel 4. 22 Level faktor dari setiap faktor kendali

Kode	Faktor Kendali	Level 1	Level 2	Level 3
A	Alur gerinda halus dan pengikiran	Sesuai alur	Dapat didahulukan	-
B	Jumlah pekerja pencetakan ketel	4 operator	5 operator	6 operator
C	Jumlah pekerja pengecekan & perbaikan	3 operator	4 operator	5 operator
D	Jumlah pekerja gerinda kasar	4 operator	5 operator	6 operator
E	Jumlah pekerja gerinda halus	3 operator	4 operator	5 operator
F	Jumlah pekerja pengikiran	4 operator	5 operator	6 operator

4.2.4.5 Penentuan Matriks Eksperimen

Dari faktor kendali serta level faktor yang telah didapatkan, kemudian ditentukan tabel matriks eksperimen yang akan digunakan. Dilakukan perhitungan derajat kebebasan (*degree of freedom*) (df) terlebih dahulu. Terdapat dua perhitungan yaitu untuk faktor dan level (v_{f1}) serta untuk *orthogonal array* (v_{OA}) yang dipilih. Karena perancangan level faktor melibatkan multi level yaitu terdapat 1 faktor dengan 2 level dan 5 faktor dengan 3 level, maka derajat kebebasan faktor dan level dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 v_{f1} &= \text{degree of freedom of factor levels} \\
 &= (\text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1))_1 \\
 &\quad + (\text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1))_2 \\
 v_{f1} &= (1 \times (2 - 1)) + (5 \times (3 - 1)) = 11
 \end{aligned}$$

Terdapat satu faktor kendali dengan dua level faktor serta lima faktor kendali dengan tiga level faktor, sehingga rumus L yang digunakan adalah 2^13^5 . Namun karena dalam taguchi tidak ada rumus $\text{Ln}(2^13^5)$ maka menggunakan yang terdekat yaitu L18 (2^13^7) dengan 18 kali eksperimen. Derajat kebebasan *orthogonal array* dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 v_{OA} &= \text{degree of freedom of orthogonal array} \\
 &= \text{number of experiments} - 1 \\
 v_{OA} &= 18 - 1 = 17
 \end{aligned}$$

Karena $v_{OA} > v_{f1}$, maka matriks orthogonal yang dipilih sudah sesuai dengan ketentuan dan dapat digunakan untuk pengaturan eksperimen yang akan dilakukan. *Orthogonal array* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. 23 berikut :

Tabel 4. 23. *Orthogonal Array* L18 (2^{13^7})

Trial ke-	Faktor Kendali							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

Faktor G dan H tidak diikutsertakan dalam eksperimen karena hanya terdapat enam faktor saja. Sehingga didapatkan *orthogonal array* yang sesuai untuk enam faktor kendali seperti pada Tabel 4. 24 berikut :

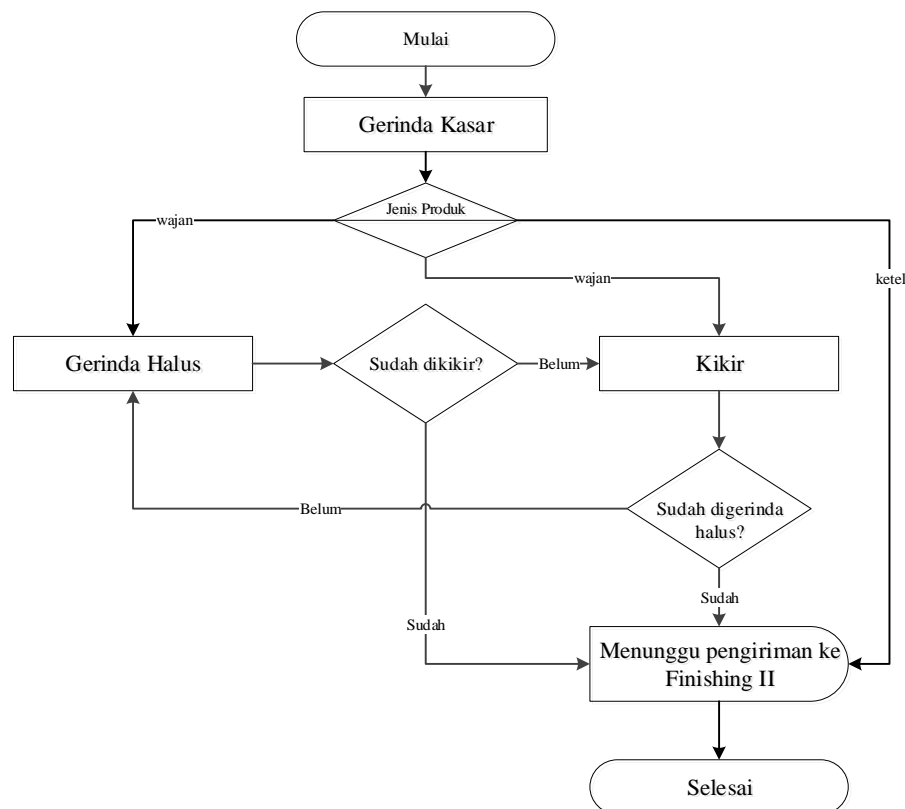
Tabel 4. 24 *Orthogonal Array* yang digunakan

Trial	Faktor Kendali						Nilai					
	A	B	C	D	E	F	X _A	X _B	X _C	X _D	X _E	X _F
1	1	1	1	1	1	1	1	4	3	4	3	4
2	1	1	2	2	2	2	1	4	4	5	4	5
3	1	1	3	3	3	3	1	4	5	6	5	6
4	1	2	1	1	2	2	1	5	3	4	4	5
5	1	2	2	2	3	3	1	5	4	5	5	6
6	1	2	3	3	1	1	1	5	5	6	3	4
7	1	3	1	2	1	3	1	6	3	5	3	6
8	1	3	2	3	2	1	1	6	4	6	4	4
9	1	3	3	1	3	2	1	6	5	4	5	5
10	2	1	1	3	3	2	2	4	3	6	5	5
11	2	1	2	1	1	3	2	4	4	4	3	6
12	2	1	3	2	2	1	2	4	5	5	4	4

Trial	Faktor Kendali						Nilai					
	A	B	C	D	E	F	X _A	X _B	X _C	X _D	X _E	X _F
13	2	2	1	2	3	1	2	5	3	5	5	4
14	2	2	2	3	1	2	2	5	4	6	3	5
15	2	2	3	1	2	3	2	5	5	4	4	6
16	2	3	1	3	2	3	2	6	3	6	4	6
17	2	3	2	1	3	1	2	6	4	4	5	4
18	2	3	3	2	1	2	2	6	5	5	3	5

4.2.5 Perancangan Model Eksperimen

Model eksperimen tidak jauh berbeda dengan model awal Taguchi, hanya saja jumlah mesin/pekerja disetiap prosesnya berbeda-beda sesuai dengan kombinasi pada masing masing trial. Namun untuk faktor kendali alur proses gerinda halus dan kikir terdapat perubahan logika alur produksi pada model simulasinya untuk level 2 faktor kendali tersebut. Berikut diagram alir untuk kondisi level 2 yang dapat dilihat pada Gambar 4. 7 :

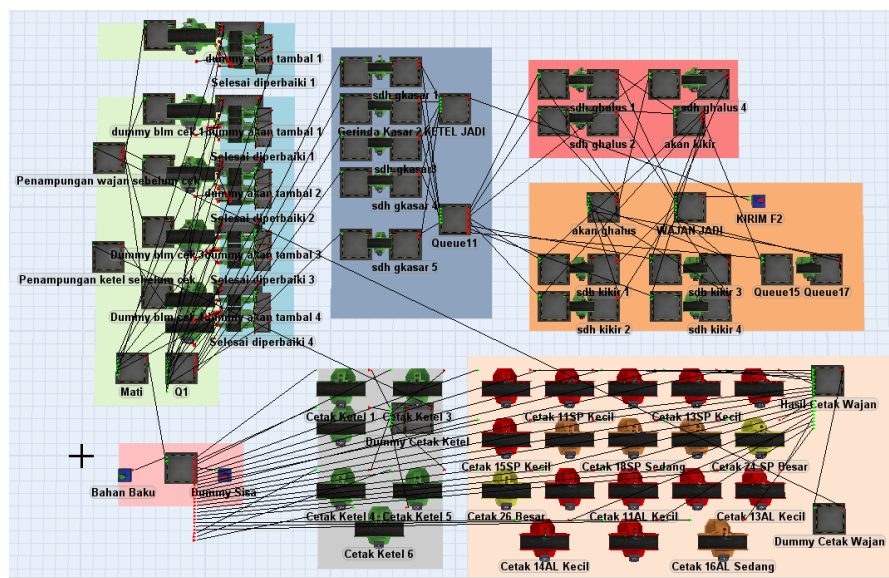


Gambar 4. 7 Diagram alur produksi bagian gerinda halus dan pengikiran

Alur proses diatas adalah potongan proses untuk menggambarkan proses gerinda halus dan pengikiran yang akan diubah. Dari alur proses tersebut, maka pada model akan

dibuat *dummy* penampungan setelah proses gerinda halus dan pengikiran untuk mengetahui apakah produk tersebut telah masuk pada proses pengikiran atau gerinda halus. Untuk mempermudah, maka pada masing – masing proses diberi *label* dengan nama “alur”. Setelah produk melalui gerinda kasar kemudian akan diberi label +1. Kemudian akan dialirkan ke proses gerinda halus atau pengikiran sesuai dengan proses mana yang sedang menganggur. Kemudian setelah dilakukan proses gerinda halus/kikir, kemudian produk yang masih berlabel 1 akan dialirkan ke masing – masing *dummy* penampungan untuk dilakukan pengikiran/gerinda halus. Pada masing – masing penampungan tersebut kemudian produk diberi label +10, sehingga nilainya menjadi 11. Setelah melalui proses kikir/gerinda halus, kemudian produk yang berlabel 11 tidak akan dialirkan lagi untuk diproduksi, namun akan menunggu pengiriman ke finishing II.

Berikut merupakan salah satu *capture* dari model eksperimen ke-18 dengan level 2 faktor kendali alur proses pengikiran dan gerinda halus yang dapat diubah dapat dilihat pada Gambar 4. 8. Sedangkan model eksperimen lainnya dapat dilihat di Lampiran 3.



Gambar 4. 8 Model simulasi eksperimen ke-18

4.2.6 Simulasi Model Eksperimen

Setelah semua model simulasi eksperimen dibuat, kemudian dilakukan run simulasi pada setiap model dengan masing – masing 15 replikasi. Berikut hasil dari simulasi model eksperimen dengan dua parameter yaitu hasil produksi wajan pada Tabel 4. 25. dan hasil produksi ketal pada Tabel 4. 26 :

Tabel 4. 25 Hasil eksperimen respon jumlah produksi wajan (unit)

E	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
1	2618	2712	2731	2720	2715	2728	2732	2728	2717	2723	2732	2728	2726	2749	2716
2	3304	3276	3294	3255	3289	3310	3287	3255	3357	3283	3246	3271	3258	3271	3298
3	3285	3252	3281	3298	3282	3285	3251	3296	3308	3273	3298	3260	3296	3281	3257
4	2770	2797	2874	2883	2934	2968	2868	2786	2842	2880	2900	2931	2781	2917	2838
5	3336	3179	3323	3288	3254	3234	3355	3221	3240	3175	3312	3317	3281	3291	3304
6	2719	2709	2716	2716	2746	2732	2727	2748	2740	2703	2737	2730	2724	2735	2746
7	2981	2942	2964	2958	2973	2951	3002	2962	2976	2982	2964	2972	2981	2951	2971
8	2748	2732	2760	2709	2710	2726	2730	2728	2721	2733	2751	2740	2730	2721	2705
9	2856	2848	2864	2908	2890	2858	2822	2831	2842	2945	2912	2864	2875	2830	2796
10	3271	3279	3265	3302	3268	3242	3316	3231	3319	3255	3270	3270	3258	3265	3246
11	2740	2918	2855	2910	2956	2932	2904	2924	2887	2963	2915	2922	2913	2916	2866
12	2775	2721	2750	2732	2740	2723	2711	2715	2734	2748	2707	2717	2734	2728	2729
13	2804	2720	2730	2710	2705	2741	2732	2720	2741	2735	2725	2737	2725	2757	2705
14	3181	2954	2946	2955	2971	2952	2963	2967	2975	2961	2970	2946	2952	2951	2984
15	2889	2730	2887	2899	3055	2861	2833	2736	2871	2881	2840	2943	2979	2806	2889
16	3313	3250	3333	3229	3199	3364	3237	3344	3242	3307	3317	3346	3251	3275	3291
17	2642	2722	2703	2710	2741	2733	2724	2735	2715	2735	2728	2687	2729	2717	2702
18	3095	2976	2963	2946	2977	2959	2955	2957	2977	2971	2963	2969	2950	2957	2969

Tabel 4. 26 Hasil eksperimen respon jumlah produksi ketel (unit)

E	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
1	191	188	182	194	161	158	119	143	166	188	148	175	151	164	117
2	140	166	180	164	169	155	187	164	161	159	174	182	178	163	183
3	177	187	164	151	159	169	155	174	181	172	157	189	172	169	137
4	233	232	220	202	199	161	212	219	216	214	225	215	124	212	224
5	197	196	206	195	222	225	226	225	228	309	221	216	212	217	215
6	221	212	230	209	209	221	217	222	221	223	208	191	220	228	231
7	197	222	213	207	206	210	222	200	227	217	204	205	205	221	223
8	201	213	210	226	217	213	224	212	210	186	212	227	208	220	221
9	196	204	204	200	130	137	191	219	209	210	170	134	136	183	225
10	174	175	171	173	170	164	163	182	160	173	152	162	180	169	162
11	177	175	174	165	180	174	103	263	174	187	182	171	168	105	109
12	179	175	177	168	168	172	168	185	162	170	162	191	170	179	171
13	214	225	211	210	203	224	220	210	220	243	220	224	198	213	201
14	213	232	219	217	217	235	202	219	225	225	219	202	208	223	221
15	195	236	194	165	197	132	144	198	179	203	196	220	198	174	202
16	208	225	261	243	255	255	258	262	260	234	233	261	268	268	258
17	259	239	262	159	141	230	268	271	263	234	166	120	263	249	273
18	256	236	256	255	263	257	263	265	255	261	274	265	246	257	257

4.2.7 Perhitungan *Signal to Noise Ratio (SNR)* dan Efek Tiap Faktor Terhadap Masing – masing Respon

Dalam perhitungan *Signal to Noise Ratio (SNR)* menggunakan *SN Larger the Better (LTB)*, baik respon jumlah produksi wajan maupun ketel. Hal tersebut dikarenakan

semakin besar jumlah produk wajan dan ketel yang diproduksi maka akan semakin baik. Perhitungan ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$S/N_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

Efek tiap faktor perhitungan secara manual menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Efek\ Faktor = \frac{1}{a} \sum SNR$$

1) Respon Jumlah Produksi Wajan

Berikut merupakan contoh perhitungan manual SNR hasil eksperimen ke-1 respon jumlah produksi wajan :

$$S/N_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{15} \times \left(\frac{1}{2618^2} + \frac{1}{2712^2} + \dots + \frac{1}{2716^2} \right) \right] = 68,685\ dB$$

Tabel 4. 27 di bawah ini adalah hasil perhitungan SNR untuk semua eksperimen pada respon jumlah produksi wajan :

Tabel 4. 27 Nilai SNR respon jumlah produksi wajan

Trial	L18						SNR (dB)
1	1	1	1	1	1	1	68.685
2	1	1	2	2	2	2	70.326
3	1	1	3	3	3	3	70.318
4	1	2	1	1	2	2	69.136
5	1	2	2	2	3	3	70.298
6	1	2	3	3	1	1	68.718
7	1	3	1	2	1	3	69.451
8	1	3	2	3	2	1	68.722
9	1	3	3	1	3	2	69.133
10	2	1	1	3	3	2	70.291
11	2	1	2	1	1	3	69.248
12	2	1	3	2	2	1	68.726
13	2	2	1	2	3	1	68.730
14	2	2	2	3	1	2	69.466
15	2	2	3	1	2	3	69.157
16	2	3	1	3	2	3	70.332
17	2	3	2	1	3	1	68.674
18	2	3	3	2	1	2	69.460

Contoh perhitungan secara manual untuk Efek faktor B level 1 :

$$\begin{aligned} \text{Efek Faktor} &= \frac{1}{6} (68,685 + 70,326 + 70,318 + 70,291 + 69,281 + 68,726) \\ &= 69,599 \text{ dB} \end{aligned}$$

Tabel 4. 28 di bawah ini adalah efek tiap faktor untuk SNR respon jumlah produksi wajan yang menunjukkan seberapa besar efek yang ditimbulkan oleh masing – masing faktor untuk mengurangi *noise* dalam produksi wajan:

Tabel 4. 28 Efek tiap faktor untuk respon produksi wajan

Level	A	B	C	D	E	F
1	69.421	69.599	69.437	69.005	69.171	68.709
2	69.343	69.251	69.456	69.499	69.400	69.635
3		69.295	69.252	69.641	69.682	69.801
Delta	0,077	0,358	0,211	0,633	0,495	1,095
Ranking	6	4	5	2	3	1

Menurut Belavendram (1995), formulasi terbaik didapat dari pemilihan nilai SNR dengan level faktor yang paling besar. Sehingga dari produksi wajan, didapatkan formulasi A1 B1 C2 D3 E3 F3. Dalam menentukan faktor yang signifikan berpengaruh, dapat diambil dari setengah dari jumlah faktor yang ada. Karena dari *ranking* efek tiap faktor dapat diketahui bahwa faktor D E dan F mempengaruhi respon produksi wajan sedangkan faktor A, B, dan C tidak mempengaruhi, maka untuk D, E dan F level faktor yang diambil adalah memiliki efek paling besar sedangkan sisanya diambil yang paling murah. Sehingga didapatkan kombinasi faktor yang optimal adalah A1 B1 C1 D3 E3 F3.

2) Respon Jumlah Produksi Ketel

Berikut merupakan contoh perhitungan manual SNR hasil eksperimen ke-1 respon jumlah produksi ketel :

$$S/N_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{15} \times \left(\frac{1}{191^2} + \frac{1}{188^2} + \dots + \frac{1}{117^2} \right) \right] = 43,925 \text{ dB}$$

Tabel 4. 29 di bawah ini adalah hasil perhitungan SNR untuk semua eksperimen pada respon jumlah produksi ketel :

Tabel 4. 29 Nilai SNR respon jumlah produksi ketel

Trial	L18						SNR (dB)
1	1	1	1	1	1	1	43.925
2	1	1	2	2	2	2	44.452
3	1	1	3	3	3	3	44.391
4	1	2	1	1	2	2	45.952
5	1	2	2	2	3	3	46.740
6	1	2	3	3	1	1	46.721
7	1	3	1	2	1	3	46.500
8	1	3	2	3	2	1	46.550
9	1	3	3	1	3	2	44.777
10	2	1	1	3	3	2	44.512
11	2	1	2	1	1	3	43.677
12	2	1	3	2	2	1	44.742
13	2	2	1	2	3	1	46.645
14	2	2	2	3	1	2	46.764
15	2	2	3	1	2	3	45.232
16	2	3	1	3	2	3	47.890
17	2	3	2	1	3	1	46.129
18	2	3	3	2	1	2	48.209

Kemudian dihitung efek tiap faktor perhitungan secara manual. Berikut contoh perhitungan secara manual untuk Efek faktor B level 1 :

$$\begin{aligned}
 \text{Efek Faktor} &= \frac{1}{6} (43,925 + 44,452 + 44,391 + 44,512 + 43,677 + 44,742) \\
 &= 44,283 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 30 di bawah ini adalah efek tiap faktor untuk SNR respon jumlah produksi ketel yang menunjukkan seberapa besar efek yang ditimbulkan oleh masing masing faktor untuk mengurangi *noise* dalam produksi ketel:

Tabel 4. 30 Efek tiap faktor untuk respon produksi ketel

Level	A	B	C	D	E	F
1	45,556	44,283	45,904	44,949	45,966	45,785
2	45,978	46,342	45,719	46,215	45,803	45,778
3		46,676	45,679	46,138	45,869	45,738
Delta	0,422	2,393	0,225	1,266	0,163	0,047
Ranking	3	1	4	2	5	6

Karena dari *ranking* efek tiap faktor dapat diketahui bahwa faktor A B dan D mempengaruhi respon produksi wajan sedangkan faktor C, E, dan F tidak mempengaruhi, maka untuk A B dan D level faktor yang diambil adalah memiliki efek paling besar sedangkan sisanya diambil yang paling murah. Sehingga didapatkan kombinasi faktor kendali yang optimal adalah A2 B3 C1 D2 E1 F1. Dilihat dari nilai *SNR*, maka kombinasi level faktor yang optimal untuk kedua respon tidak sama, sehingga perlu dilakukan optimasi multi respon.

4.2.8 Penentuan Level Faktor Optimal Menggunakan *Multi Respon Signal to Ratio (MRSN)*

Dikarenakan kombinasi optimal antara respon jumlah produksi wajan dan respon jumlah produksi ketel berbeda (produksi wajan A1 B1 C1 D3 E3 F3 dan produksi ketel A2 B3 C1 D2 E1 F1), maka perlu dilakukan perhitungan *Multi Respon Signal to Ratio (MRSN)* untuk mengetahui kombinasi optimal untuk kedua respon.

4.2.8.1 Uji Prediksi

Uji prediksi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar faktor, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui. Analisis regresi dapat dijadikan alat bantu untuk menganalisis hubungan tersebut.

Data yang digunakan untuk analisis regresi didapatkan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk melihat secara keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Uji prediksi dilakukan karena pada eksperimen Taguchi hanya terdapat 18 trial atau 18 eksperimen yang sudah dianggap mewakili keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Karena memiliki $L_n = 2^1 3^5$ maka jumlah prediksi yang harus dilakukan adalah sebanyak $(2) \times (3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3) = 486$ trial atau eksperimen secara keseluruhan. Masing masing trial tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4.

Dalam uji prediksi ini menggunakan regresi linear berganda karena melibatkan lebih dari satu variabel yang mempengaruhi. Regresi linear dilakukan dengan bantuan *software*

SPSS. dari koefisien regresi yang didapatkan, kemudian dilakukan pengujian terhadap keseluruhan eksperimen dengan rumus berikut:

$$Y_{ij} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Dimana:

Y_{ij} = variabel yang diramalkan (*dependent variable*), yaitu hasil prediksi eksperimen ke- i , pada respon j

X_1, X_2, \dots, X_n = variabel yang diketahui (*independent variable*), yaitu nilai level tiap faktor

b_1, b_2, \dots, b_n = koefisien regresi masing masing faktor, hasil regresi linear berganda

1) Respon Jumlah Produksi Wajan

Berikut merupakan hasil dari regresi linear berganda respon jumlah produksi wajan pada Tabel 4. 31 disetiap replikasinya :

Tabel 4. 31 Hasil regresi masing – masing replikasi respon jumlah produksi wajan

Replikasi	a	b _A	b _B	b _C	b _D	b _E	b _F
R1	1088.94	10.33	-29.83	-11.50	166.83	71.67	186.50
R2	1718.22	-19.67	-57.33	-38.67	120.75	65.75	162.92
R3	1563.97	-41.67	-49.08	-36.33	115.58	82.58	187.75
R4	1644.64	-38.00	-63.08	-25.25	98.25	84.25	190.42
R5	1728.19	-20.11	-63.33	-8.67	73.75	66.83	196.83
R6	1739.22	-31.67	-52.42	-48.00	101.75	69.92	187.00
R7	1727.89	-44.33	-60.92	-49.00	111.75	76.42	185.50
R8	1601.08	-25.11	-49.33	-40.67	131.17	62.33	175.75
R9	1685.94	-31.33	-70.75	-30.42	119.25	74.42	179.67
R10	1690.25	-15.67	-47.67	-30.08	92.08	67.92	183.67
R11	1588.47	-46.33	-44.42	-37.58	109.67	80.33	188.83
R12	1617.56	-30.67	-49.17	-41.75	101.42	72.33	201.75
R13	1531.22	-17.89	-55.75	-13.67	100.67	76.50	194.42
R14	1808.75	-41.56	-63.25	-48.08	107.75	73.50	176.08
R15	1603.19	-27.78	-56.50	-31.75	118.50	63.17	189.58

Contoh perhitungan prediksi eksperimen dengan kombinasi level faktor A1 B1 C1 D1 E1 F2 (eksperimen ke 55) pada replikasi 2 respon wajan adalah sebagai berikut:

$$Y_{55\ 1} = 1718.222 + (-19.667 \times 1) + (-57.333 \times 4) + (-38.667 \times 3) + (120.750 \times 4) \\ + (65.750 \times 3) + (162.917 \times 5) = 2849 \text{ produk}$$

Kemudian dilakukan pula perhitungan prediksi keseluruhan eksperimen yang dapat dilihat pada Lampiran2

2) Respon Jumlah Produksi Ketel

Berikut merupakan hasil dari regresi linear berganda respon produksi ketel pada Tabel 4. 32 disetiap replikasinya :

Tabel 4. 32 Hasil regresi masing – masing replikasi

Replikasi	a	b _A	b _B	b _C	b _D	b _E	b _F
R1	146,556	13,556	23,250	0,583	-4,750	-3,167	-9,500
R2	113,333	10,889	22,750	-1,417	-2,500	-3,250	-0,917
R3	85,694	12,889	29,833	-2,750	1,583	-4,667	-5,000
R4	119,694	0,778	22,917	-6,750	11,167	-13,250	-3,333
R5	38,556	13,556	17,083	-5,667	18,250	-17,583	10,000
R6	7,500	21,556	25,833	-7,000	22,083	-8,833	-4,417
R7	-74,972	4,000	44,250	-4,667	15,167	8,083	-9,000
R8	13,528	30,778	26,500	3,917	-3,500	-2,583	6,583
R9	10,917	8,778	35,000	-3,500	4,167	-0,583	0,583
R10	54,556	5,778	24,417	-2,500	-1,917	3,333	6,500
R11	46,639	9,444	23,667	-1,250	7,833	-12,417	6,417
R12	58,472	9,111	11,833	-4,333	16,417	-13,667	11,167
R13	-70,444	32,556	25,583	1,333	18,000	-3,083	1,083
R14	-15,889	6,667	37,417	-4,750	15,833	0,167	-8,250
R15	-87,333	8,667	48,167	3,167	6,667	4,583	-5,833

Contoh perhitungan prediksi eksperimen dengan kombinasi level faktor A1 B1 C1 D2 E1 F1 pada replikasi 15 respon ketel adalah sebagai berikut:

$$Y_{15\ 2} = -87,333 + (8,667 \times 1) + (48,167 \times 4) + \dots + (-5,833 \times 5) = 148 \text{ produk}$$

Kemudian dilakukan pula perhitungan prediksi keseluruhan eksperimen yang dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.2.8.2 Menghitung *Quality Loss* (L_{ij})

Perhitungan *Quality Loss* untuk karakteristik LTB dicari dengan rumus berikut :

$$L_{ij} = k_j \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^n \frac{1}{Y_{ijk}^2}$$

1) Respon Jumlah Produksi Wajan

Jika dilakukan simulasi terhadap kombinasi faktor kendali yang optimal untuk respon jumlah produksi wajan yaitu A1 B1 C1 D3 E3 F3, maka didapatkan hasil rata rata jumlah produksi wajan sebanyak 3279 produk. Jika dibandingkan dengan hasil rata rata jumlah produksi wajan pada kondisi awal yang hanya dapat memproduksi sebanyak 2726 produk, maka selisih keduanya adalah $3279 - 2726 = 553$ produk. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, biaya yang diperlukan untuk menaikkan output produksi tersebut adalah sebesar Rp. 282.004,846. Dengan begitu, nilai k dari respon jumlah produksi wajan dapat dihitung sebagai berikut :

$$k_1 = \frac{282004,846}{553} = 0,9222$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon jumlah produksi wajan :

$$L_{11} = 0,9222 \times \frac{1}{15} \left(\frac{1}{2574^2} + \frac{1}{2686^2} + \dots + \frac{1}{2676^2} \right) = 0,000000128$$

Dilakukan pula perhitungan *Quality Loss* keseluruhan eksperimen pada respon jumlah produksi wajan yang dapat dilihat pada Lampiran 5. Dapat dilihat pula bahwa nilai L_{ij} maksimum untuk respon jumlah produksi wajan adalah pada eksperimen ke-52 sebesar 0,000000150.

2) Respon Jumlah Produksi Ketel

Sedangkan jika dilakukan simulasi terhadap kombinasi faktor kendali yang optimal untuk respon jumlah produksi ketel yaitu A2 B3 C1 D2 E1 F1, maka didapatkan hasil rata rata jumlah produksi ketel sebanyak 253 produk. Jika dibandingkan dengan hasil rata rata jumlah produksi ketel pada kondisi awal yang hanya dapat memproduksi sebanyak 123 produk, maka selisih keduanya adalah $253 - 123 = 130$ produk. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, biaya yang diperlukan untuk menaikkan output produksi tersebut adalah sebesar Rp. 376.296,739. Dengan begitu, nilai k dari respon jumlah produksi wajan dapat dihitung sebagai berikut :

$$k_2 = \frac{376296,739}{130} = 22,2661$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon jumlah produksi ketel:

$$L_{12} = 22,2661 \times \frac{1}{15} \left(\frac{1}{189^2} + \frac{1}{188^2} + \dots + \frac{1}{141^2} \right) = 0,00083$$

Dilakukan pula perhitungan *Quality Loss* keseluruhan eksperimen pada respon jumlah produksi wajan yang dapat dilihat pada Lampiran 5. Dapat dilihat pula bahwa nilai L_{ij} maksimum untuk respon jumlah produksi wajan adalah pada eksperimen ke-439 sebesar 0,00102.

4.2.8.3 Menghitung Normalisasi *Quality Loss* (C_{ij})

Perhitungan Normalisasi *Quality Loss* dapat dicari dengan rumus berikut :

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_{max}}$$

Dimana:

C_{ij} = Normalitas *Quality Loss*

L_{ij} = *Quality Loss*

L_{\max} = nilai tertinggi dari keseluruhan *Quality Loss*

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon jumlah produksi wajan :

$$C_{11} = 0,000000128 / 0,000000150 = 0,855$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon jumlah produksi ketel :

$$C_{12} = 0,00083 / 0,00102 = 0,819$$

Dilakukan pula perhitungan Normalitas *Quality Loss* keseluruhan eksperimen disetiap responnya yang dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.2.8.4 Menghitung *Total Normalized Quality Loss (TNQL)*

Perhitungan *Total Normalized Quality Loss (TNQL)* dapat dicari dengan rumus berikut :

$$TNQL_i = \sum W_j \times C_{ij}$$

Dimana:

W_j = bobot masing – masing respon

C_{ij} = Normalitas *Quality Loss*

Karena terdapat dua respon, maka dipilih istilah linguisiknya adalah “tinggi” dan “sedang”. Tingkat kepentingan *relative* ditunjukkan oleh tabel *linguistic term*. Istilah tersebut dikonversikan kedalam bilangan *fuzzy*. Berdasarkan tabel *Cype Scores-of fuzzy*

number, diperoleh respon 1 sebesar 0.750 serta untuk respon 2 sebesar 0.583. Penentuan pembobotan (*w*) didasarkan atas kepentingan serta seberapa dominannya respon tersebut. Karena produk utamanya adalah wajan, serta biaya yang ditimbulkan pun lebih rendah wajan maka dipilih bobot respon 1 untuk wajan serta bobot respon 2 untuk ketel. Bobot masing – masing respon dapat dihitung seperti berikut :

$$w_1 (\text{wajan}) = 0,750 / (0,750 + 0,583) = 0,5626$$

$$w_2 (\text{ketel}) = 0,583 / (0,750 + 0,583) = 0,4374$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama :

$$TNQL_1 = (0,5626 \times 0,855) + (0,4374 \times 0,819) = 0,839$$

Dilakukan pula perhitungan $TNQL_i$ keseluruhan eksperimen yang dapat dilihat pada Tabel Lampiran 5.

4.2.8.5 Menghitung Nilai *Multi Respon Signal to Ratio (MRSN)*

Perhitungan Nilai MRSN dicari dengan rumus berikut :

$$MRSN_i = -10 \times \log(TQNL_i)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama :

$$MRSN_1 = -10 \times \log(0,839) = 0,761$$

Dilakukan pula perhitungan MRSN keseluruhan eksperimen yang dapat dilihat pada Lampiran 5. Nilai MRSN terbesar dan maksimal adalah 3,13, yaitu pada percobaan ke-

480. Sehingga dapat disimpulkan dari perhitungan nilai MRSN kombinasi optimal dari yang eksperimen yang dilakukan adalah A2 B3 C1 D3 E3 F3.

4.2.9 Simulasi Kombinasi Optimal Hasil Perhitungan MRSN

Dilakukan simulasi terhadap kondisi optimal untuk mengetahui dan membuktikan bahwa hasil prediksi kombinasi optimum yang telah diperoleh memang menunjukkan peningkatan pada kualitas output. Dilakukan simulasi dengan model kombinasi eksperimen optimal yaitu dengan alur proses gerinda halus dan pengikiran yang dapat diseling, jumlah pencetakan ketel 6 operator, pengecekan dan perbaikan 3 operator, gerinda kasar 6 operator, gerinda halus 5 operator dan pengikiran 6 operator. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil kedua respon seperti pada Tabel 4. 33 :

Tabel 4. 33 Hasil simulasi kondisi optimal

Replikasi ke-	Hasil Produksi (unit)	
	Wajan	Ketel
1	3234	254
2	3321	252
3	3216	260
4	3242	260
5	3252	250
6	3304	272
7	3289	253
8	3274	256
9	3274	278
10	3298	262
11	3292	245
12	3316	242
13	3269	246
14	3248	253
15	3339	267
Rata – rata	3278	257

Dari tabel 4. 33 dapat dilihat bahwa rata – rata produksi meningkat dari 2726 menjadi 3278 produk wajan per hari serta peningkatan pada produk ketel dari 123 produk menjadi 257 produk per hari.

4.2.10 Uji Beda

Paired-sample t-Test digunakan dalam uji beda pada masing – masing respon. Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil kondisi prediksi lebih baik dari data hasil kondisi awal. Uji ini juga digunakan untuk melihat signifikansi peningkatan dari respon yang ada. Pengujian dilakukan dengan bantuan *software SPSS*.

a) Hipotesis.

H_0 : usulan tidak memberikan hasil yang lebih baik ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : kondisi usulan lebih baik dari kondisi standar ($\mu_1 < \mu_2$)

Dimana μ_1 adalah rata – rata jumlah produksi awal dan μ_2 adalah rata – rata jumlah produksi usulan optimal

b) Tingkat signifikansi : $\alpha = 5\%$

c) Kriteria Pengujian

H_0 diterima jika nilai *P-value* $\geq \alpha$

H_0 ditolak jika nilai *P-value* $< \alpha$

Berikut data yang akan dibandingkan dalam uji beda pada Tabel 4. 34 :

Tabel 4. 34 Data yang akan dibandingkan

Replikasi ke-	Wajan		Ketel	
	Awal	Optimal	Awal	Optimal
1	2709	3234	124	254
2	2710	3321	140	252
3	2748	3216	129	260
4	2720	3242	136	260
5	2741	3252	127	250
6	2704	3304	145	272
7	2738	3289	138	253
8	2727	3274	83	256
9	2739	3274	70	278
10	2733	3298	103	262
11	2742	3292	127	245
12	2732	3316	122	242
13	2728	3269	137	246
14	2699	3248	135	253
15	2719	3339	128	267

Tabel 4. 35 Hasil *Paired-sample t-Test*

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	wajan.awal - wajan.optimal	-551.933	40.0151	7.1586	-574.093	-529.7737	-53.421	14	.000
Pair 2	ketel.awal - ketel.optimal	-133.733	26.8846	7.4216	-148.6215	-118.8452	-19.266	14	.000

Berdasarkan output dari uji beda pada Tabel 4. 35, dari respon wajan (*Pair 1*) maupun ketel (*Pair 2*) didapatkan bahwa nilai *p-value* (*Sig. (2-tailed)*) lebih kecil dari nilai α (0.05) yaitu 0.000 pada kedua respon. Maka, H_0 ditolak, terdapat perbedaan rata rata hasil eksperimen pada respon jumlah produksi pada simulasi usulan dan kondisi standar. Sehingga kondisi usulan lebih baik dari kondisi standar, baik pada respon jumlah produksi wajan maupun jumlah produksi ketel.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisa Model Awal Taguchi

Dari hasil simulasi model awal Taguchi, diketahui bahwa kondisi awal perusahaan belum mampu memenuhi permintaan pasar. Pengoptimalan faktor-faktor produksi dilakukan menyesuaikan dengan kemampuan perusahaan serta batasan – batasan pembuatan model simulasi yang digunakan. Karena hasil cetak wajan pun masih belum mampu memenuhi permintaan yang ada juga maka target jumlah produksi pada eksperimen taguchi adalah menghabiskan hasil wajan di *finishing 2* supaya mendapatkan hasil yang semaksimal mungkin.

Dalam penelitian ini faktor kendali dapat berupa faktor – faktor yang mempengaruhi proses produksi yang optimal seperti jumlah/jenis bahan baku, kapasitas mesin, tenaga kerja, modal/dana, serta permintaan pasar. Namun dari faktor – faktor tersebut, tidak semuanya akan dimodelkan dan tidak semuanya dapat dimodelkan. Pemilihan faktor kendali serta level faktor disesuaikan dengan keadaan perusahaan serta disesuaikan dengan batasan pembuatan model simulasi yang digunakan.

Jumlah atau jenis bahan baku tidak digunakan dalam penelitian karena jumlah bahan baku yang ada diasumsikan selalu memenuhi kebutuhan peleburan, sehingga tidak digunakan sebagai faktor yang mempengaruhi. Asumsi tersebut digunakan karena memang pada proses peleburan, bahan dimasukkan secara bertahap dan sulit diperkirakan kapan saja akan ditambahkan. Kualitas bahan tidak dapat dimodelkan karena bahan dalam satuan kontinu yang akan melebur dengan bahan lainnya. Asumsi ini tidak mempengaruhi output simulasi yang dilakukan, sehingga dapat digunakan.

Faktor kapasitas mesin menyesuaikan dengan jumlah operator yang ada. Hal tersebut dikarenakan proses dilakukan dengan peralatan yang hanya dikerjakan oleh seorang

operator serta hanya memproduksi satu produk saja dalam sekali proses. Sehingga jika ingin menambah kapasitas mesin dalam 1 kali proses saja tidak bisa, namun harus menambah jumlah operator juga. pada faktor jumlah operator ini dilakukan eksperimen hampir terhadap seluruh proses kecuali pada pencetakan wajan.

Pada faktor jumlah pekerja pencetakan ketel, level faktor tidak diaplikasikan semaksimal mungkin sesuai dengan perhitungan kebutuhan pekerja dikarenakan keterbatasan area, sama halnya dengan jumlah pencetakan wajan. Hanya saja masih memungkinkan ditambahkan hingga 6 orang. Selain itu juga karena pelatihan yang dilakukan untuk pekerja baru dilakukan cukup lama. Proses pencetakan ketel dilakukan dengan manual dengan cetakan tanah sehingga lebih sulit dibandingkan dengan cetakan wajan. Dengan begitu sisa jumlah produk yang belum dapat dipenuhi dapat diproduksi oleh mitra.

Pengurangan yang dilakukan pada faktor jumlah produksi pengecekan dan perbaikan tidak dilakukan secara *extream*. Meskipun memiliki rata-rata *%idle* yang tinggi, namun ketika jumlah pengecekan hanya 2 saja belum mampu untuk menghabiskan seluruh produk yang telah diproduksi pada pencetakan, sedangkan targetnya adalah memproduksi produk hasil pencetakan dengan maksimal. Hal tersebut juga terjadi pada proses gerinda halus yang memiliki rata-rata *%idle* yang tinggi. Pada proses gerinda kasar dan pengikiran tidak dilakukan pengurangan operator dikarenakan pada proses tersebut terjadi *bottleneck* untuk dapat masuk ke proses tersebut. Karena gerinda kasar dan pengikiran memiliki WIP yang tinggi, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak memungkinkan dilakukan pengurangan pekerja pada proses tersebut karena hanya akan menambah WIP disetiap harinya.

Permintaan pasar tidak menjadi faktor yang mempengaruhi namun menjadi input dari model eksperimen yang menjadi target dari hasil eksperimen. Sedangkan modal/dana menjadi output dari eksperimen yang dilakukan.

5.2. Analisa Hasil Eksperimen Taguchi

Dari hasil eksperimen didapatkan hasil level faktor optimal untuk respon jumlah produksi wajan adalah A1 B1 C1 D3 E3 F3. Dengan uraian alur produksi gerinda halus dan pengikiran sama seperti kondisi awal, pada pencetakan ketel terdapat 4 pekerja, proses pengecekan dan perbaikan 3 pekerja, proses gerinda kasar 6 pekerja, proses gerinda halus

5 pekerja, dan proses pengikiran 6 pekerja. Sedangkan dari hasil eksperimen didapatkan hasil level faktor optimal untuk respon jumlah produksi wajan adalah A2 B3 C1 D2 E1 F1. Dengan uraian alur produksi gerinda halus dan pengikiran dapat diseling, pada pencetakan ketel terdapat 6 pekerja, proses pengecekan dan perbaikan 3 pekerja, proses gerinda kasar 5 pekerja, proses gerinda halus 3 pekerja, dan proses pengikiran 4 pekerja.

Perbedaan tersebut terjadi dapat dikarenakan terdapat perbedaan alur proses antara wajan dan ketel. Alur proses produksi wajan tidak memerlukan proses pencetakan wajan, sudah otomatis proses tersebut tidak akan mempengaruhi secara signifikan respon jumlah produksi wajan, sehingga sudah pasti kondisi optimal pada level 1. Begitu juga pada respon jumlah produksi wajan, alur proses ketel tidak memerlukan proses gerinda halus dan pengikiran, sehingga sudah pasti kedua proses tersebut tidak mempengaruhi secara signifikan, bahkan tidak mempengaruhi sama sekali. Sebaliknya, proses gerinda kasar, gerinda halus, dan pengikiran sangat berperan dalam menentukan jumlah produksi wajan, sehingga tidak salah jika ketiga faktor tersebut berpengaruh secara signifikan. Terpilihnya level 3 pada masing-masing faktor kendali pun dapat dikarenakan perancangan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai atau jumlah produksi wajan yang sebanyak banyaknya (memproduksi semua hasil pencetakan), sehingga terpilihlah jumlah operator yang terbanyak. Begitu juga dengan pencetakan ketel yang mana level 3 terpilih menjadi level faktor yang optimal.

Masing – masing respon memiliki kombinasi level faktor yang berbeda. Namun karena perusahaan harus memproduksi keduanya serta perlu menemukan kombinasi yang optimal untuk kedua respon, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut sehingga dapat menemukan kondisi optimal dengan kedua respon yang ada.

5.3. Analisa Hasil MRSN

Langkah pertama dalam menghitung nilai MRSN adalah dengan menentukan hasil regresi linear berganda dari tiap replikasi di setiap responnya sehingga dapat mengetahui bagaimana hubungan tiap replikasi dengan kombinasi level faktor yang ada. Setelah didapatkan koefisien regresi, kemudian dilakukan perhitungan prediksi hasil eksperimen terhadap 486 trial.

Kombinasi level faktor yang dapat mengoptimalkan proses produksi di SP Aluminium sehingga dapat meningkatkan hasil produksi dari wajan dan ketel adalah alur

proses gerinda halus dan pengikiran yang awalnya berurutan menjadi dapat diseling/didahulukan, jumlah pekerja cetak ketel yang awalnya hanya 3 menjadi 6 orang, jumlah pekerja pengecekan yang awalnya 4 berkurang menjadi 3 orang, jumlah pekerja gerinda kasar yang awalnya 4 menjadi 6 orang, jumlah pekerja gerinda halus yang awalnya 4 menjadi 5 orang, serta jumlah pekerja pengikiran yang awalnya 4 menjadi 6 orang. Dengan total penambahan pekerja sebanyak 7 orang dan pengalihan pekerja sebanyak 1 orang, dilakukan simulasi dengan 15 replikasi.

Dari simulasi yang dilakukan diketahui bahwa rata – rata produksi meningkat dari 2726 menjadi 3278 produk wajan per hari serta peningkatan pada produk ketel dari 123 produk menjadi 257 produk per hari. Secara angka, nilai tersebut lebih baik dari ada kondisi awal, serta tidak jauh berbeda dengan kondisi optimal dari masing-masing respon yaitu 3279 produk pada kondisi optimal respon wajan dan 253 produk pada kondisi optimal respon ketel.

Namun peningkatan jumlah produksi tersebut belum tentu memberikan peningkatan yang signifikan. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian secara statistik apakah hasil dari usulan yang diberikan memberikan peningkatan yang signifikan terhadap output produksi wajan dan ketel. Karena secara statistik, meskipun nilai tersebut lebih tinggi, jika tetap berada dalam batas penerimaan, maka masih dianggap sama atau tidak berbeda secara signifikan.

5.4. Analisa Perbandingan

Setelah dilakukan pengujian menggunakan *Paired-sample t-Test*, Hasil simulasi dari rancangan kombinasi level faktor usulan menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap hasil produksi baik produk wajan maupun ketel. Hal ini terlihat dari *Paired-sample t-Test* yang dilakukan yang mana menunjukkan nilai P-value < signifikansi. Secara keseluruhan perancangan ini telah menghasilkan suatu rancangan yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan yang mana dapat meningkatkan jumlah produksi dengan rata – rata sebesar 3287 produk untuk respon jumlah produksi wajan dan rata – rata sebesar 241 produk untuk respon jumlah produksi ketel.

Selain dari output *Paired-sample t-Test*, dapat diketahui bahwa rancangan usulan yang dilakukan memberikan peningkatan biaya produksi yang mencakup kebutuhan

biaya penambahan pekerja disetiap prosesnya. Berikut merupakan perbandingan output serta biaya yang dibutuhkan dalam mencapai rancangan optimal :

Tabel 5. 1 Perbandingan jumlah produksi kondisi awal dengan hasil kombinasi optimal

	Kondisi Awal	Kondisi Optimal	Peningkatan	% Peningkatan
Produksi wajan (unit)	2726	3278	552	20%
Produksi ketel (unit)	123	257	134	109%
Produksi total (unit)	2849	3535	686	24%
Jumlah pekerja (orang)	46	53	7	15%

Tabel 5. 2 Perbandingan biaya yang dibutuhkan kondisi awal dengan kondisi optimal

	Biaya yang dibutuhkan	Peningkatan	Persentase Peningkatan
Kondisi Awal	Rp 4.329.228,22		
Kondisi Optimal	Rp 4.855.504,94	Rp 526.276,72	12,16%

Tabel 5. 3 Perbandingan pendapatan potensial kondisi awal dengan kondisi optimal

	Pendapatan Potensial	Peningkatan	Persentase Peningkatan
Kondisi Awal	Rp135,363,611.82		
Kondisi Optimal	Rp170,955,996.67	Rp35,592,384.85	26,29%

Dari Tabel 5. 1 diketahui bahwa peningkatan produksi wajan dan ketel yang dapat diproduksi oleh perusahaan sendiri meningkat, berturut – turut sebesar 20% dan 109%. Peningkatan tersebut sejalan dengan peningkatan kebutuhan biaya yang dibutuhkan untuk menambah level optimal sebesar 12,16% pada Tabel 5. 2. Biaya tersebut mencakup biaya penambahan 7 pekerja serta penambahan peralatan gerinda dan kikir.

Jika dibandingkan dengan kenaikan biaya yang terjadi, persentase kenaikan jumlah produksi lebih besar. Sehingga jika dipertimbangkan dari kenaikan tersebut lebih menguntungkan bagi perusahaan karena menambah 7 orang hanya dengan peningkatan biaya produksi, perusahaan mampu meningkatkan jumlah produksi secara signifikan. Dari Tabel 5. 3 dapat dilihat bahwa peningkatan pendapatan potensial dari produk yang dikerjakan sendiri meningkat lebih besar dari pada biaya produksi, yaitu sebesar Rp35.592.384,85 per harinya. Kembali pada tujuan dari perancangan ini, peningkatan persentase yang terjadi telah membuktikan bahwa rancangan usulan dapat meningkatkan output produksi berupa jumlah produksi wajan dan ketel, disamping itu juga dapat meningkatkan keuntungan perusahaan. Usulan dapat dikatakan lebih baik dalam upaya

meningkatkan jumlah produksi wajan dan ketel sehingga mampu memenuhi pasar dengan peningkatan kapasitas produksi dari perusahaan sendiri.

Pada bab sebelumnya telah diuraikan bahwa perusahaan dapat memetakan jenis wajan dengan waktu pengerjaannya yang hampir sama. Jenis wajan dibedakan menjadi tiga yaitu wajan kecil, wajan sedang, dan wajan besar. Dengan begitu usulan kombinasi level faktor yang diberikan juga tidak hanya dapat berlaku bagi nomor produk yang diamati saja, namun juga dapat digunakan untuk memenuhi permintaan wajan yang mencakupi 12 produk kecil, 4 produk sedang, serta 2 produk besar karena perkiraan waktu proses yang sama. Sehingga pengaturan model taguchi ini dapat digunakan pula selain untuk kombinasi nomor produk yang dipilih saja namun juga untuk kombinasi ukuran yang sama.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya, aka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Faktor – faktor yang mempengaruhi proses produksi di SP Alumunium antara lain adalah alur proses gerinda halus dan pengikiran, jumlah pekerja cetak ketel, jumlah pekerja pengecekan, jumlah pekerja gerinda kasar, jumlah pekerja gerinda halus, serta jumlah pekerja pengikiran.
2. Level faktor yang dapat mengoptimalkan proses produksi di SP Alumunium guna meningkatkan hasil produksi dari wajan dan ketel adalah alur proses gerinda halus dan pengikiran yang awalnya berurutan menjadi dapat diseling atau didahulukan, jumlah pekerja cetak ketel yang awalnya hanya 3 menjadi 6 orang, jumlah pekerja pengecekan yang aawalnya 4 berkurang menjadi 3 orang, jumlah pekerja gerinda kasar wang awalnya 4 menjadi 6 orang, jumlah pekerja gerinda halus yang awalnya 4 menjadi 5 orang, serta jumlah pekerja pengikiran yang awalnya 4 menjadi 6 orang. Melalui total penambahan pekerja sebanyak 7 orang dan pengalihan pekerja sebanyak 1 orang dapat meningkatkan output produksi secara signifikan.
3. Rata – rata produksi untuk produk wajan meningkat sebesar 20% dari 2726 unit menjadi 3278 unit wajan per hari, sedangkan produk ketel juga mengalami peningkatan rata-rata produksi sebesar 109% dari 123 unit menjadi 257 unit per hari. Sehingga total peningkatan produk secara keseluruhan sebanyak 686 produk, yang mana adanya peningkatan tersebut akan membutuhkan biaya sebesar Rp 526.276,72. Biaya tersebut mencakup kebutuhan penggajian bagi penambahan pekerja sesuai dengan hasil simulasi yang dijalankan serta biaya depersiasi peralatan yang digunakan. Melalui

peningkatan biaya produksi tersebut, perusahaan mampu meningkatkan potensial pendapatannya menjadi Rp35,592,384.85. Usulan dapat dikatakan lebih baik dalam upaya meningkatkan jumlah produksi wajan dan ketel sehingga mampu memenuhi pasar dengan peningkatan kapasitas produksi dari perusahaan sendiri.

4. Berdasarkan pemetaan ukuran perusahaan yang memiliki kesamaan dalam waktu proses produksi, usulan kombinasi level faktor yang diberikan juga tidak hanya dapat berlaku bagi nomor produk yang diamati saja, namun juga dapat digunakan untuk memenuhi permintaan wajan dengan ukuran yang sama pula. Ukuran yang dapat digunakan antara lain 12 produk kecil, 4 produk sedang, serta 2 produk besar. Sehingga pengaturan model Taguchi ini dapat digunakan pula selain untuk kombinasi nomor produk yang dipilih saja namun juga untuk kombinasi ukuran yang sama.

6.2. Saran

Penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga terdapat beberapa kelemahan yang dapat dipenuhi pada penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Dapat mempertimbangkan pemilihan faktor yang mempengaruhi secara signifikan menggunakan uji ANOVA karena mungkin saja semua faktor, hanya beberapa faktor saja, atau bahkan tidak ada faktor yang mempengaruhi secara signifikan.
2. Pada analisa lebih lanjut dapat menyertakan biaya produksi lainnya supaya analisa biaya lebih terperinci dan dapat lebih mengetahui berapa potensial keuntungan maupun kerugian yang dialami oleh perusahaan ketika menerapkan rancangan usulan kondisi optimal yang diberikan.
3. Penelitian yang dilakukan di SP Alumunium untuk selanjutnya dapat dilakukan pada bagian *Finishing 2* di pabrik 2 SP Alumunium dan dilanjutkan pada *Finishing 3*, atau pada keseluruhan proses produksi.
4. Penelitian selanjutnya dapat melibatkan faktor permintaan pasar yang fluktuatif sebagai faktor *noise* (faktor yang tidak dapat dikendalikan).

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, D. W. (2003). *Pengendalian Kualitas Statistik*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Asmungi. (2007). *Simulasi Komputer Sistem Diskrit*. Yogyakarta: ANDI.
- Assauri, S. (1993). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Azadch, A., Sheikhalishahi, M., Firoozi, M., & Khalili, S. (2013). An Integrated multi-criteria Taguchi computer simulation-DEA approach for optimum maintenance policy and planning by incorporating learning effects. *International Journal of Production Research, Vol 51*, 5374-5385.
- Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. L. (1996). *Discrete-Event System Simulation*. Jersey: Prentice Hall.
- Belavendram, N. (1995). *Quality by Design*. London: Prentice Hall.
- Garriz, C., & Domingo, R. (2017). Simulation, through discrete events, of industrial processes in productive environments. *Procedia Manufacturing*, 1074-1081.
- Gomes, V. E., & Trabasso, L. G. (2016). A Proposal Simulation Method towards Continuous Improvement in Discrete Manufacturing. *49th CIRP Conference on Manufacturing Systems* (pp. 270 – 275). Elsevier.
- Kakiay, T. J. (2004). *Pengantar Sistem Simulasi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Khoshnevis, B. (1994). *Discrete System Simulation International Edition*. Singapore: McGraw-Hill.
- Kikolski, M. (2017). Study of Production Scenarios with the Use of Simulation Models. *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management* (pp. 321-328). Elsevier.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modelling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Miranda, R. d., Montevechi, J. A., Silva, A. F., & Marins, F. A. (2017). Increasing the efficiency in integer simulation optimization: Reducing the search space through data envelopment analysis and orthogonal array. *European Journal of Operational Research, Vol 267*, 673-681.
- Nagi, M., Chen, F. F., & Wan, H.-D. (2017). Throughput Rate Improvement in a Multiproduct Assembly Line Using Lean and Simulation Modeling and Analysis. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (pp. 27-30). Modena: Elsevier.
- Nasution, A. H., & Prasetyawan, Y. (2008). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Omogbai, O., & Salonitis, K. (2016). Manufacturing system lean improvement design using discrete event simulation. *49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2016)* (pp. 195–200). Elsevier B.V.
- Priyanto, D. (2014). *SPSS 22 Pengolah Data Terpraktis*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Purbayu, B. S. (2005). *Analisa Statistik dengan Menggunakan Microsoft Excel dan SPSS*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Reksohadiprodjo, S., & Gitosudarmo, I. (2000). *Manajemen Produksi*. Yogyakarta: BPFE.
- Roy, R. K. (2001). *Design of Experiments Using the Taguchi Approach : 16 Steps to Product and Process Improvement*. New York: A Wiley-Interscience Publication.
- Roy, R. K. (2010). *A Primer on the Taguchi Method, Second Edition*. Michigan: SME.
- Rubinstein, R. Y., & Melamed, B. (1998). *Modern Simulation and Modeling*. New York: A Wiley-Interscience Publication.
- Saleh, C. (2006). Simulasi Penentuan Titik Pertemuan Sistem Manufaktur Bertingkat Push and Pull. *TEKNOIN, Vol. 11, No. 1*, 1-12.
- Saleh, C. (2008). *Metodologi Penelitian Sebuah Petunjuk Praktis*. Yogyakarta: CV. Jaya Abadi.
- Saleh, C., & Purnomo, M. R. (2013). *Metodelogi Penelitian*. Yogyakarta: Jaya Abadi.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sridadi, B. (2009). *Pemodelan dan Simulasi Sistem : Teori Aplikasi dan Contoh Program dalam Bahasa C*. Bandung: Informatika Bandung.
- Velumani, S., & Tang, H. (2017). Operations status and bottleneck analysis and improvement of a batch process manufacturing line using discrete event simulation. *45th SME North American Manufacturing Research Conference* (pp. 100-111). Los Angeles: Elsever.
- Walpole, R. E., & Myers, R. H. (1995). *Ilmu Pelung dan Statstika untuk Insinyur dan Ilmuwan Terjemahan RK Sembiring*. Bandung: Penerbit ITB.
- Yamit, Z. (2005). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Yogyakarta: Ekonisia.
- Yang, T., Kuo, Y., Su, C.-T., & Hou, C.-L. (2015). Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems, Vol 34*, 66-73.

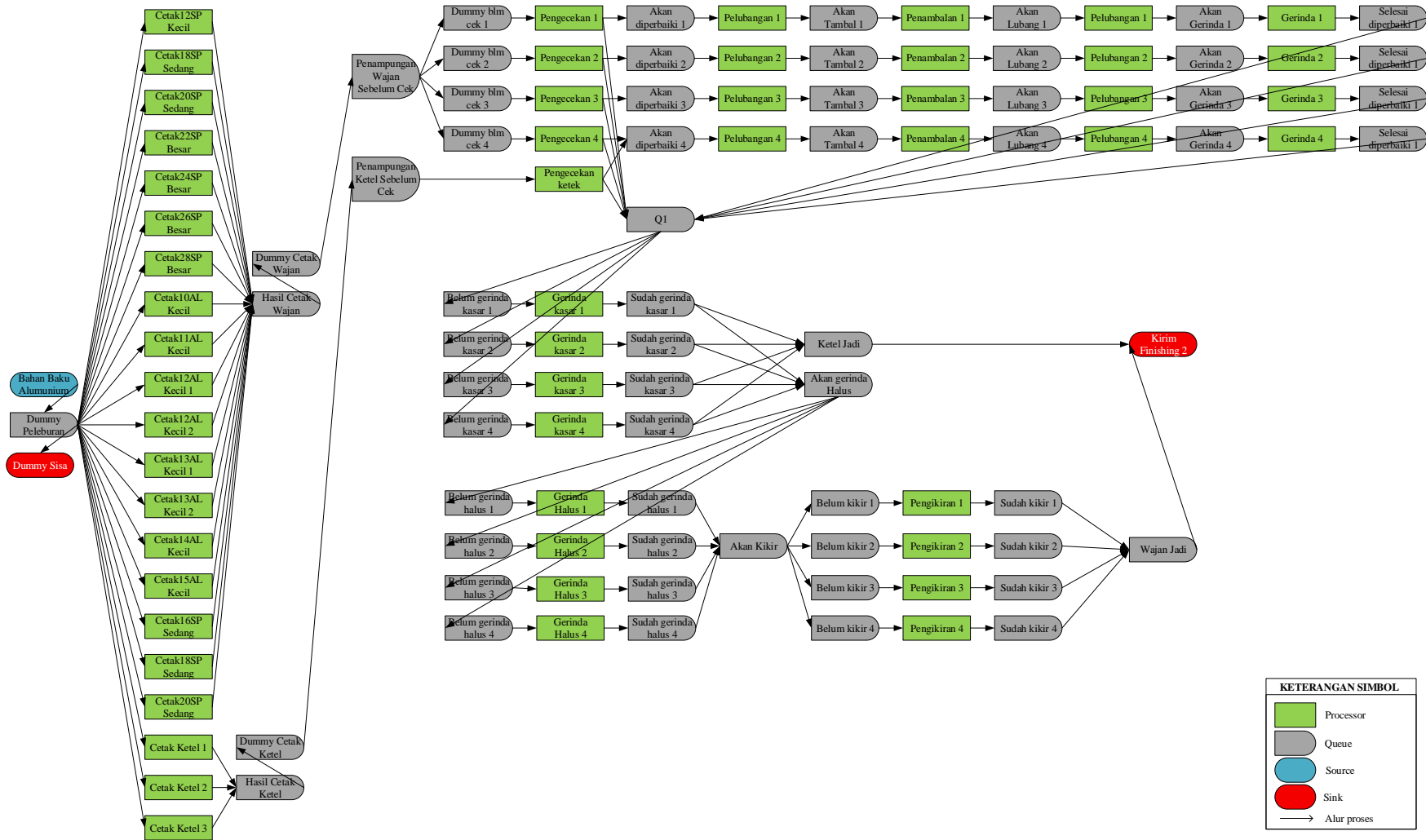
LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Waktu Proses

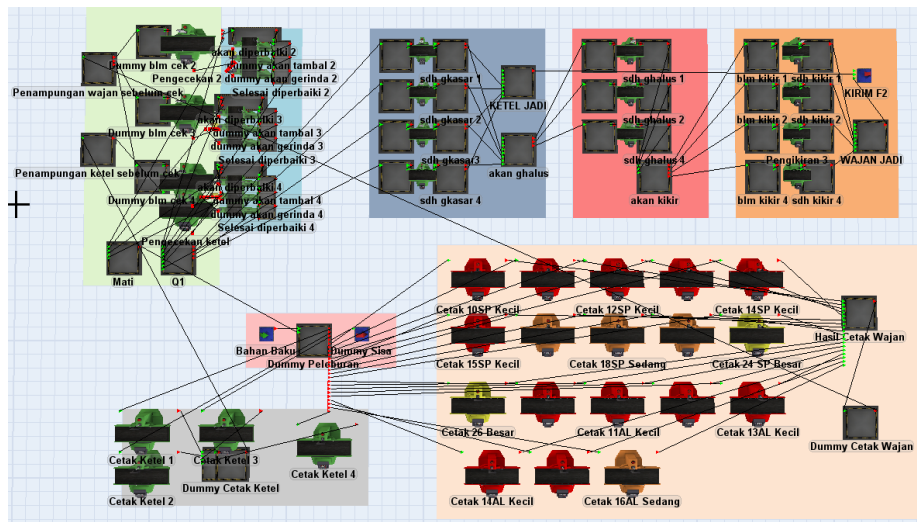
No	Persiapan Cetak	Cetak Wajan			Cetak Sortir Ketel	Sortir	Perbaikan			Gerinda Kasar				Gerinda Halus			Kikir		
		Kecil	Sedang	Besar			Lubang	Tambal	Gerinda	Kecil	Sedang	Besar	Ketel	Kecil	Sedang	Besar	Kecil	Sedang	Besar
1	0,880	1,114	1,298	1,479	3,769	0,086	0,123	1,528	0,147	0,319	0,280	2,226	0,563	0,329	0,252	0,433	0,475	0,401	0,912
2	0,655	0,615	1,203	1,284	6,668	0,094	0,104	0,651	0,348	0,457	0,283	1,080	0,633	0,381	0,259	0,455	0,554	0,453	0,917
3	0,367	1,039	1,412	1,367	6,517	0,072	0,178	0,972	0,331	0,422	0,450	1,316	0,684	0,388	0,296	0,449	0,465	0,442	1,066
4	0,448	1,221	1,256	1,402	6,651	0,065	0,315	0,276	0,306	0,358	0,310	1,311	0,786	0,364	0,246	0,458	0,634	0,498	0,883
5	0,352	1,120	1,071	1,488	8,188	0,062	0,104	0,722	0,286	0,413	0,732	1,671	0,755	0,341	0,320	0,946	0,576	0,431	0,926
6	1,432	1,038	1,558	1,438	6,704	0,087	0,118	0,502	0,308	0,424	0,498	1,437	0,760	0,370	0,335	0,470	0,328	0,513	0,895
7	0,529	0,832	1,289	2,668	11,587	0,110	0,084	0,771	0,338	0,425	0,280	1,594	0,865	0,445	0,235	0,509	0,342	0,471	0,957
8	0,518	0,902	1,493	2,355	11,420	0,082	0,132	0,881	0,548	0,402	0,280	1,455	0,896	0,308	0,228	0,506	0,473	0,395	0,996
9	0,814	1,153	1,432	3,632	7,836	0,089	0,092	0,483	0,509	0,449	0,244	1,086	0,822	0,340	0,285	0,485	0,452	0,468	0,575
10	0,670	0,972	1,374	1,778	6,518	0,066	0,122	0,524	0,431	0,460	0,498	1,629	0,592	0,344	0,280	0,528	0,448	0,512	0,576
11	0,963	0,965	1,810	2,436	9,071	0,094	0,266	0,380	0,136	0,386	0,331	0,927	0,425	0,309	0,338	0,443	0,462	0,467	0,648
12	0,946	1,154	1,618	2,331	5,503	0,089	0,163	0,540	0,204	0,430	0,286	1,293	0,846	0,306	0,330	0,515	0,428	0,509	0,772
13	0,453	1,162	1,208	3,228	7,859	0,069	0,524	0,435	0,228	0,507	0,365	1,107	1,235	0,328	0,314	0,471	0,422	0,534	0,673
14	0,428	1,136	0,791	2,749	5,901	0,103	0,253	0,421	0,181	0,338	0,459	1,555	0,672	0,309	0,353	0,545	0,422	0,642	0,841
15	0,816	1,082	0,817	2,356	5,850	0,065	0,118	0,760	0,149	0,514	0,361	0,924	0,319	0,342	0,318	0,516	0,360	0,654	1,068
16	0,375	1,041	1,792	2,779	2,818	0,143	0,162	0,391	0,167	0,383	0,590	1,144	0,392	0,397	0,321	0,605	0,428	0,725	0,600
17	0,556	1,041	1,834	2,572	11,549	0,061	0,153	0,284	0,180	0,351	0,556	1,620	0,382	0,397	0,331	0,588	0,377	0,714	0,592
18	0,343	1,017	1,764	3,170	13,143	0,066	0,114	0,342	0,225	0,278	0,329	2,025	1,065	0,366	0,351	0,501	0,418	0,740	0,669
19	0,372	1,024	1,366	1,746	17,299	0,065	0,149	0,476	0,178	0,277	0,275	1,746	0,353	0,351	0,363	0,519	0,473	0,701	0,627
20	0,277	1,041	1,409	1,994	17,583	0,082	0,090	0,500	0,330	0,190	0,456	1,472	0,537	0,285	0,283	0,671	0,423	0,538	0,544
21	0,548	1,000	1,140	2,923	6,896	0,052	0,177	0,467	0,167	0,352	0,588	0,945	0,717	0,362	0,173	0,495	0,458	0,567	0,615
22	0,319	1,145	1,130	2,006	5,843	0,084	0,079	0,350	0,163	0,197	0,318	1,077	0,542	0,397	0,319	0,442	0,450	0,833	0,657
23	0,943	0,813	1,501	2,850	8,739	0,054	0,136	0,877	0,175	0,156	0,365	1,720	0,394	0,349	0,270	0,434	0,475	0,623	0,625
24	0,368	1,132	1,385	2,297	18,069	0,072	0,109	0,484	0,227	0,319	0,287	1,347	0,581	0,301	0,442	0,406	0,425	0,655	0,610

No	Persiapan Cetak	Cetak Wajan			Cetak Ketel	Sortir	Perbaikan			Gerinda Kasar				Gerinda Halus			Kikir		
		Kecil	Sedang	Besar			Lubang	Tambal	Gerinda	Kecil	Sedang	Besar	Ketel	Kecil	Sedang	Besar	Kecil	Sedang	Besar
25	0,586	0,848	1,477	1,651	7,507	0,089	0,098	0,559	0,342	0,248	0,367	1,436	0,854	0,303	0,395	0,523	0,537	0,450	0,614
26	0,265	1,060	1,376	2,099	15,180	0,096	0,146	0,881	0,288	0,230	0,342	1,638	0,701	0,304	0,320	0,652	0,437	0,692	0,685
27	0,255	0,584	1,549	1,569	14,761	0,091	0,110	0,561	0,211	0,202	0,268	1,849	0,669	0,330	0,435	0,694	0,448	0,571	0,639
28	0,281	1,056	1,436	1,721	5,703	0,145	0,106	0,667	0,545	0,246	0,407	1,124	0,717	0,348	0,370	0,493	0,385	0,450	0,646
29	0,322	0,819	1,495	1,305	15,256	0,090	0,125	0,803	0,433	0,234	0,341	0,989	0,959	0,348	0,319	0,528	0,427	0,603	0,578
30	0,846	1,098	1,346	1,908	16,118	0,074	0,108	0,790	0,479	0,278	0,343	1,807	0,848	0,343	0,397	0,488	0,418	0,383	0,568
31	0,827	0,827	1,639	1,891	8,104	0,136	0,132	0,515	0,285				0,940						
32	0,587	1,060	1,336	1,736	6,165	0,140	0,056	0,393	0,618				0,901						
33	0,953	0,837	1,468	2,309	19,644	0,091	0,589	0,433	0,508				0,825						
34	0,519	0,823	1,458	2,343	12,081	0,095	0,151	0,396	0,300				0,869						
35	0,508	1,156	1,744	1,507	5,916	0,130	0,335	0,859	0,760				0,877						

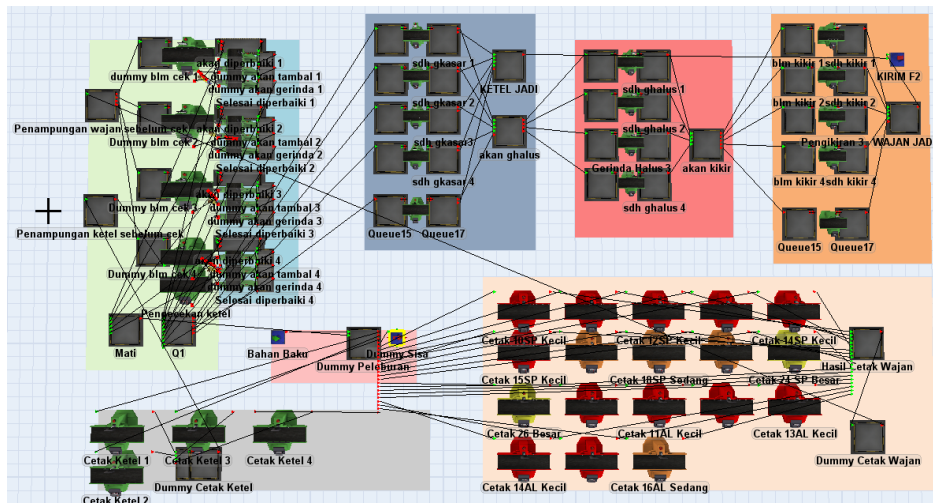
Lampiran 2. Model konseptual proses produksi di SP Aluminium



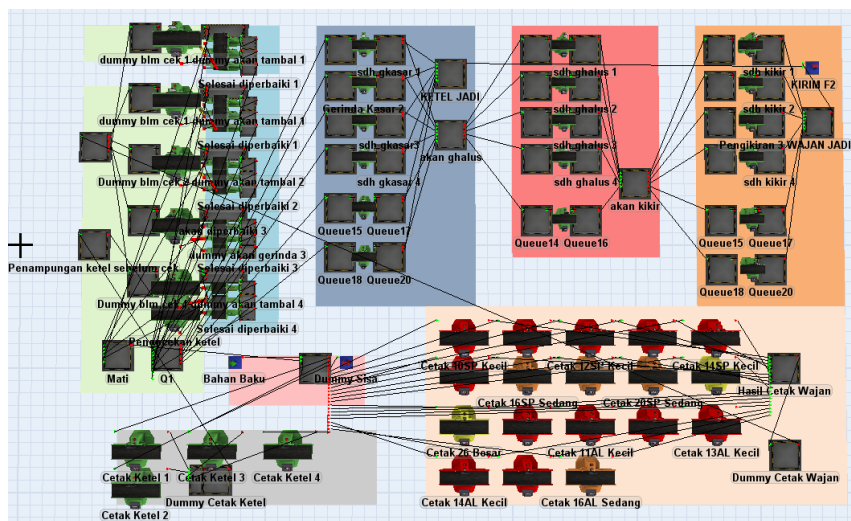
Lampiran 3. Model eksperimen taguchi L18



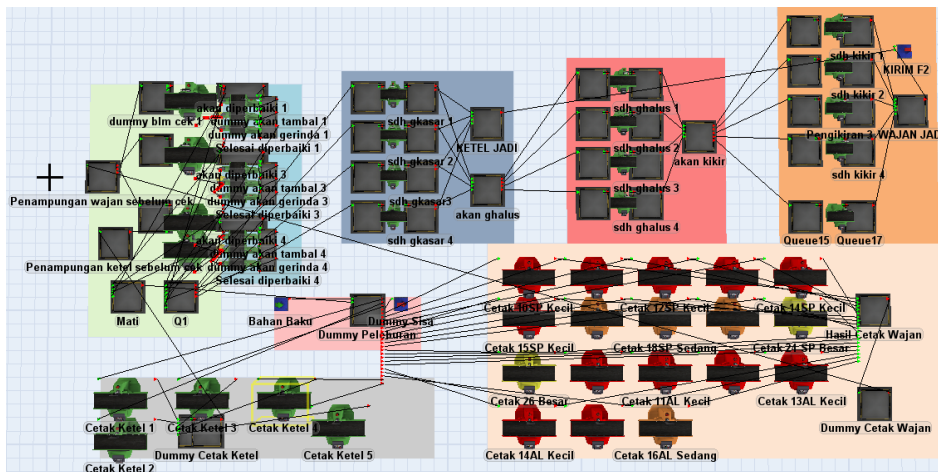
Trial 1



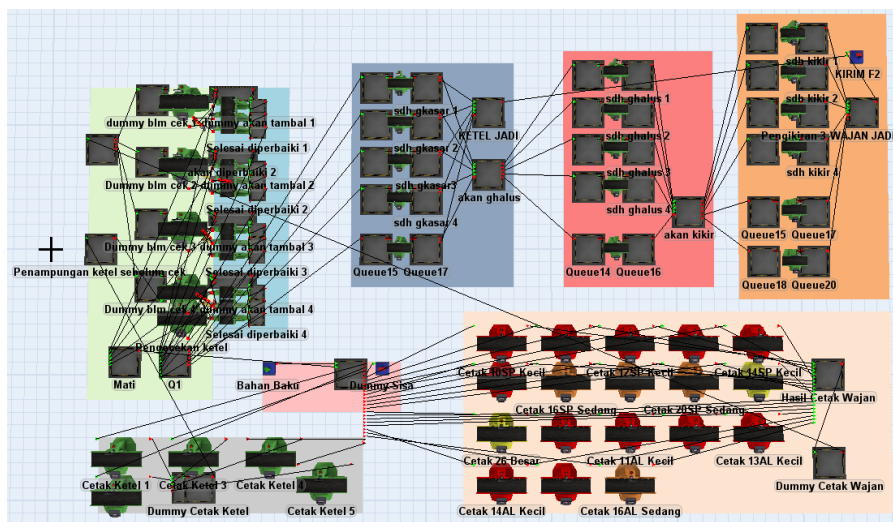
Trial 2



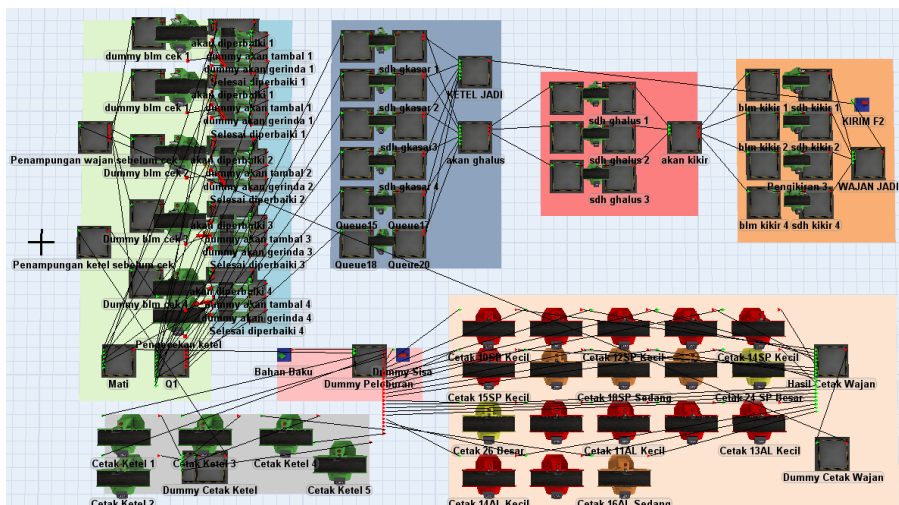
Trial 3



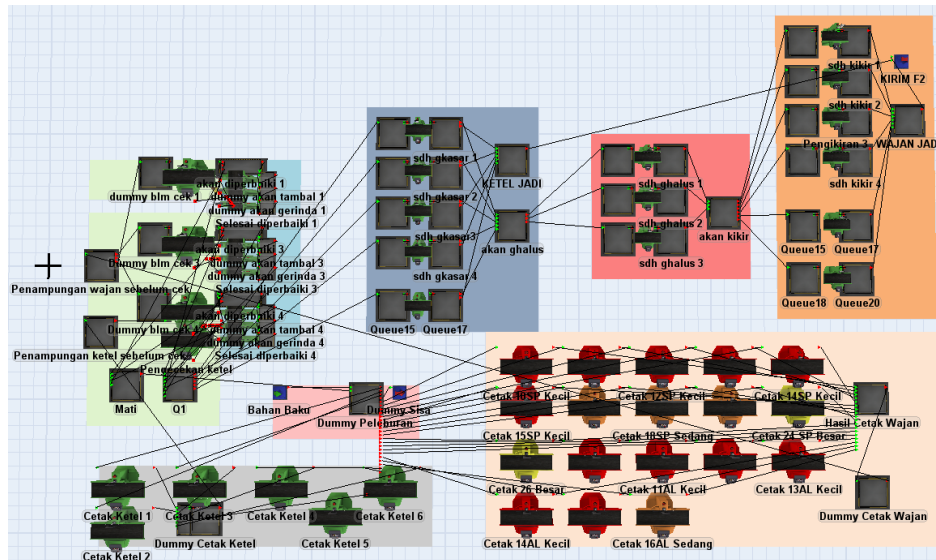
Trial 4



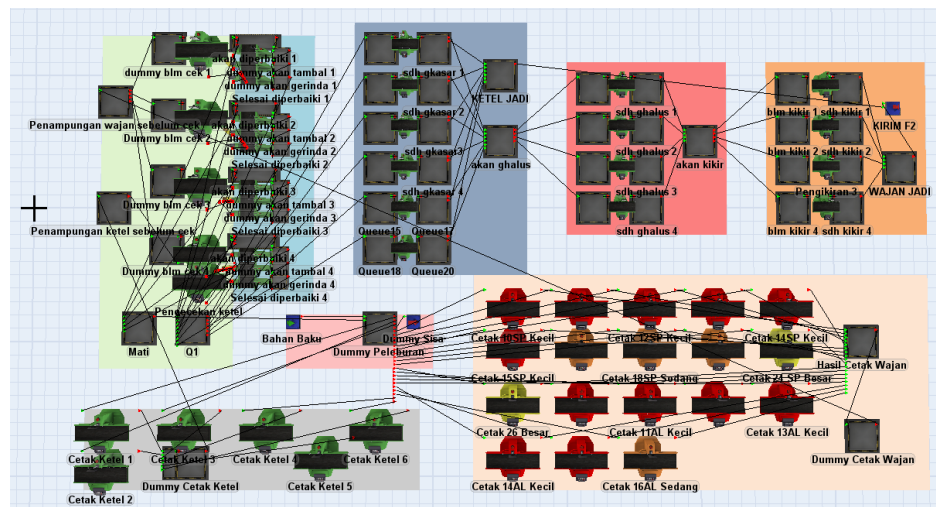
Trial 5



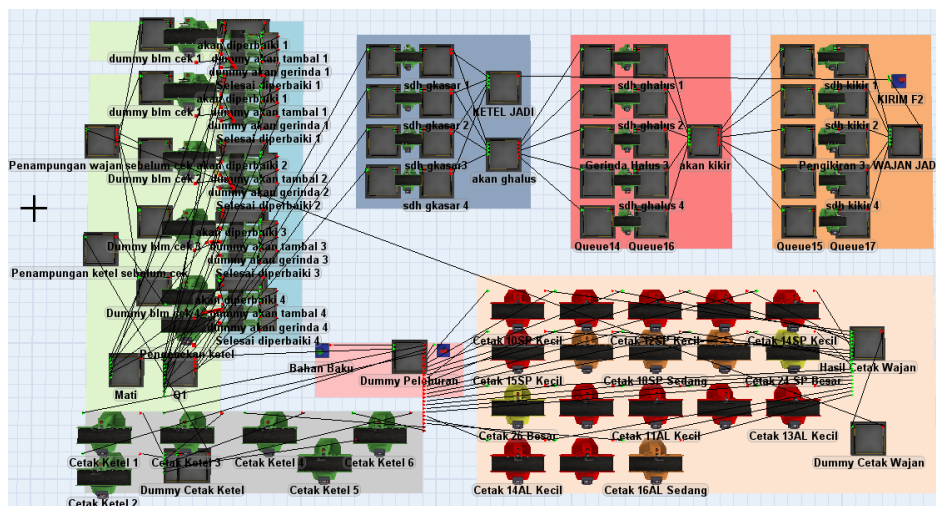
Trial 6



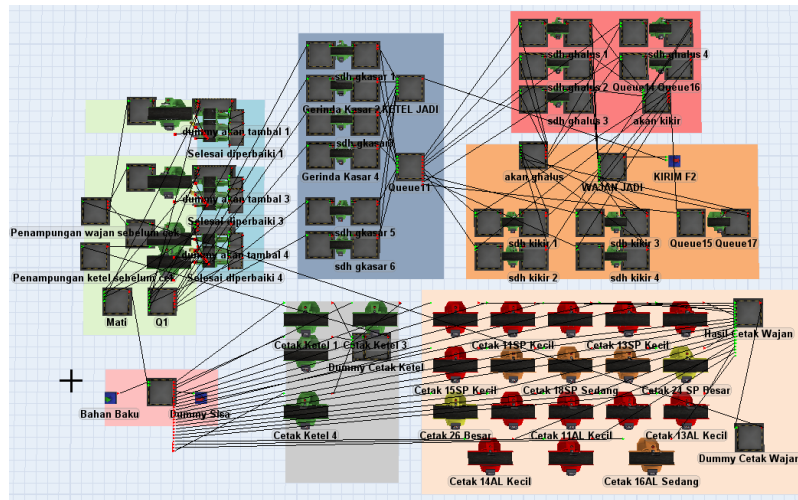
Trial 7



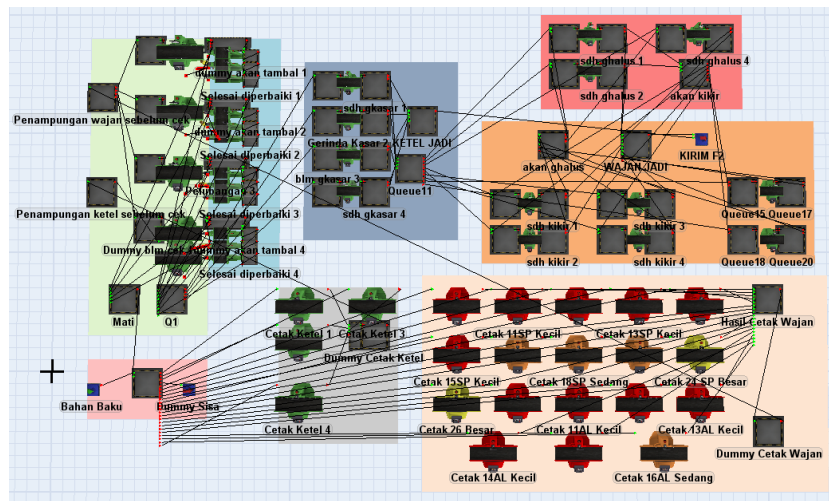
Trial 8



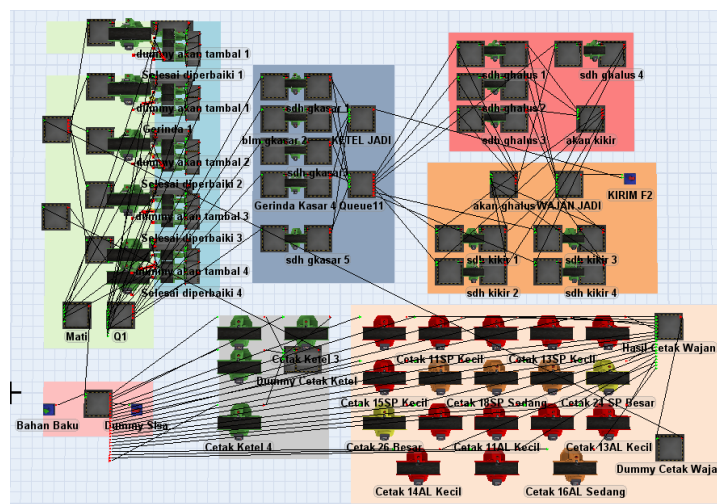
Trial 9



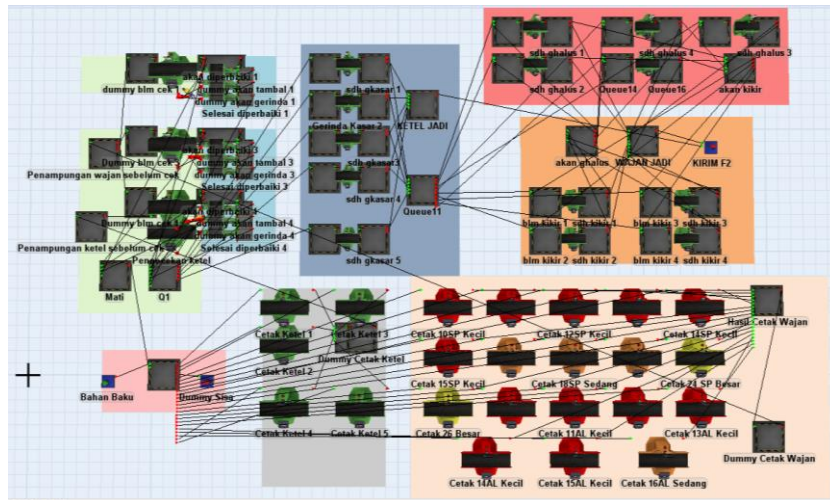
Trial 10



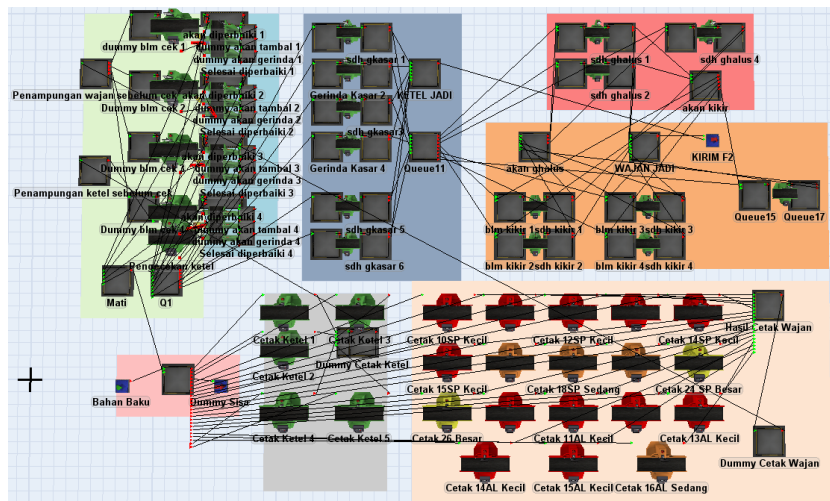
Trial 11



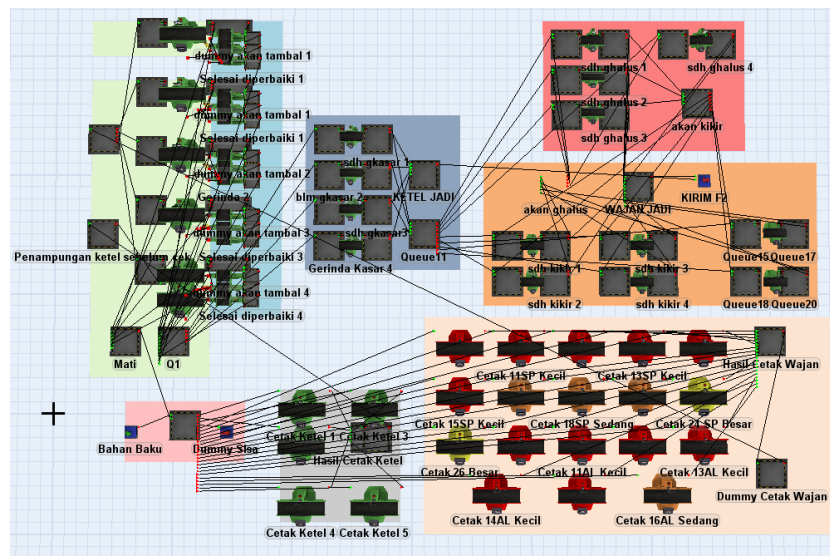
Trial 12



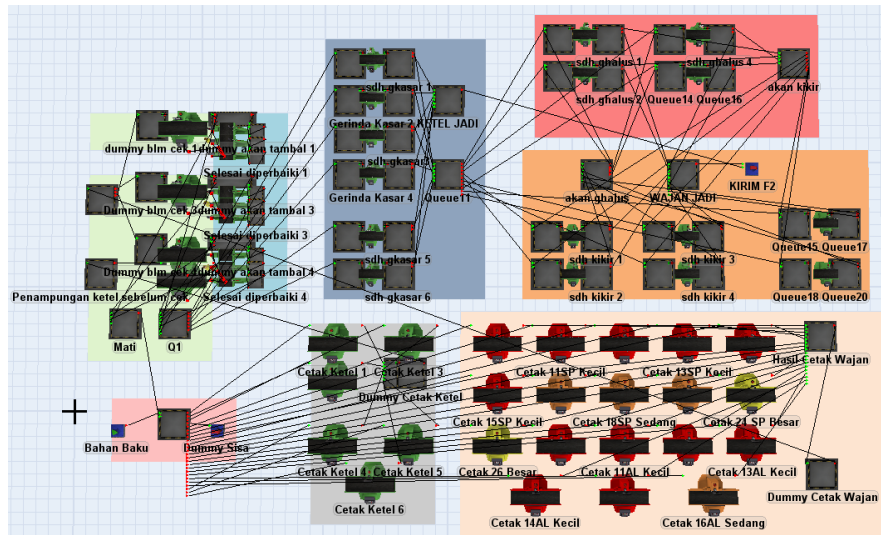
Trial 13



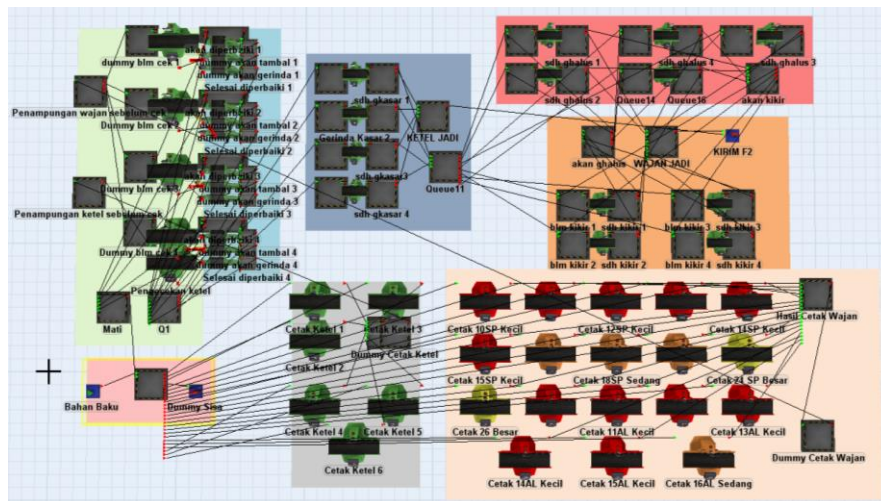
Trial 14



Trial 15



Trial 16



Trial 17

Lampiran 4. Hasil uji prediksi

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
1	2574	2686	2679	2686	2712	2719	2712	2672	2700	2701	2687	2695	2660	2726	2676	189	188	182	184	164	156	141	167	167	179	167	172	136	158	141
2	2741	2806	2794	2785	2786	2821	2823	2803	2819	2793	2797	2797	2760	2834	2795	184	186	184	195	182	178	157	164	171	177	175	188	154	173	148
3	2908	2927	2910	2883	2860	2923	2935	2934	2938	2885	2907	2898	2861	2942	2913	179	183	186	206	201	200	172	160	175	175	183	205	172	189	154
4	2563	2647	2642	2661	2703	2671	2663	2631	2669	2671	2650	2653	2646	2678	2645	189	187	180	177	159	149	137	171	163	177	166	167	137	153	144
5	2730	2768	2758	2759	2777	2773	2774	2762	2789	2763	2759	2755	2747	2786	2763	185	184	181	188	177	171	152	168	168	175	174	184	155	169	151
6	2896	2888	2873	2858	2851	2875	2886	2893	2908	2855	2869	2856	2847	2894	2882	180	182	183	200	195	193	167	164	172	173	182	200	173	184	158
7	2551	2608	2606	2636	2695	2623	2614	2590	2639	2641	2612	2612	2632	2630	2613	190	185	177	170	153	142	132	175	160	174	165	163	139	148	147
8	2718	2729	2721	2734	2768	2725	2725	2722	2758	2733	2722	2713	2733	2738	2731	185	183	179	182	171	164	147	171	164	172	173	180	157	164	154
9	2885	2850	2837	2832	2842	2827	2837	2853	2877	2825	2831	2814	2834	2846	2850	181	180	180	193	189	186	162	168	168	170	180	196	175	180	161
10	2544	2628	2629	2623	2649	2667	2651	2622	2629	2653	2643	2646	2604	2663	2620	212	211	212	207	181	182	186	194	202	204	191	184	162	195	189
11	2711	2749	2745	2722	2722	2768	2762	2754	2748	2745	2752	2747	2705	2771	2738	207	208	214	218	200	204	201	190	206	202	199	200	180	211	196
12	2878	2870	2861	2820	2796	2870	2874	2885	2868	2837	2862	2849	2805	2879	2857	203	206	215	229	218	226	216	187	210	200	207	216	198	227	203
13	2533	2590	2593	2598	2640	2619	2602	2582	2599	2623	2605	2604	2590	2615	2588	213	209	210	200	176	175	181	198	198	201	190	179	163	190	192
14	2700	2710	2709	2696	2714	2720	2713	2713	2718	2715	2715	2706	2691	2723	2707	208	207	211	211	194	197	196	194	203	199	197	196	181	206	199
15	2867	2831	2824	2795	2788	2822	2825	2844	2837	2807	2825	2807	2792	2830	2825	203	204	213	222	212	219	211	191	207	197	205	212	199	222	206
16	2521	2551	2557	2573	2631	2571	2553	2541	2568	2593	2568	2562	2577	2567	2556	213	208	207	193	170	168	176	201	195	199	188	175	164	185	196
17	2688	2672	2672	2671	2705	2672	2664	2672	2687	2685	2677	2664	2677	2675	2675	209	205	208	205	188	190	192	198	199	197	196	191	182	201	202
18	2855	2792	2788	2769	2779	2774	2776	2803	2807	2777	2787	2765	2778	2782	2793	204	203	210	216	206	212	207	194	203	195	204	208	200	217	209
19	2515	2571	2580	2560	2585	2614	2590	2573	2558	2606	2598	2597	2548	2600	2563	235	234	242	230	198	208	230	220	237	228	215	195	187	232	237
20	2681	2692	2696	2659	2659	2716	2702	2704	2678	2698	2708	2698	2649	2708	2682	231	231	244	241	217	230	245	217	241	226	222	212	205	248	244
21	2848	2812	2812	2757	2733	2818	2813	2835	2797	2790	2818	2800	2750	2815	2800	226	229	245	252	235	252	260	213	245	224	230	228	223	264	251
22	2503	2532	2544	2535	2577	2566	2541	2532	2528	2575	2561	2555	2535	2552	2532	236	232	239	223	193	201	225	224	233	226	213	191	189	228	241
23	2670	2653	2660	2633	2650	2668	2653	2664	2647	2668	2670	2656	2635	2659	2650	231	230	241	234	211	223	240	221	238	224	221	208	207	243	247
24	2837	2774	2775	2732	2724	2770	2764	2795	2766	2760	2780	2758	2736	2767	2769	226	227	243	245	229	245	256	217	242	222	229	224	225	259	254
25	2492	2494	2508	2510	2568	2518	2492	2492	2497	2545	2523	2513	2521	2504	2500	237	231	237	216	187	194	221	228	230	223	212	187	190	223	244
26	2658	2614	2623	2608	2642	2620	2604	2623	2617	2637	2633	2615	2622	2611	2618	232	228	238	227	205	216	236	224	234	221	220	203	208	239	250
27	2825	2735	2739	2706	2716	2722	2715	2754	2736	2730	2743	2716	2722	2719	2737	227	226	240	239	224	238	251	221	238	219	228	220	226	255	257
28	2585	2666	2637	2648	2692	2687	2667	2647	2668	2685	2641	2664	2642	2685	2649	202	199	195	185	178	178	145	198	176	185	177	181	169	164	150
29	2751	2787	2752	2747	2766	2789	2779	2778	2788	2777	2751	2766	2742	2792	2767	198	196	197	196	196	200	161	194	180	183	185	197	187	180	156
30	2918	2907	2868	2845	2839	2891	2891	2909	2907	2869	2860	2867	2843	2900	2886	193	194	199	207	214	222	176	191	184	181	192	214	205	196	163

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
31	2573	2627	2601	2623	2683	2639	2618	2606	2638	2655	2603	2623	2628	2637	2617	203	198	193	178	172	171	141	202	172	183	175	177	170	159	153
32	2740	2748	2716	2721	2757	2741	2730	2737	2757	2747	2713	2724	2729	2744	2735	198	195	194	189	190	193	156	198	176	181	183	193	188	175	160
33	2907	2869	2832	2820	2831	2843	2842	2868	2877	2839	2823	2826	2829	2852	2854	193	193	196	200	209	215	171	195	181	179	191	209	206	191	166
34	2562	2589	2564	2598	2675	2591	2569	2565	2608	2625	2566	2581	2614	2589	2585	204	196	190	171	166	164	136	206	169	180	174	172	171	155	156
35	2728	2709	2680	2696	2748	2693	2681	2697	2727	2717	2675	2682	2715	2696	2704	199	194	191	182	185	186	151	202	173	178	182	189	189	171	163
36	2895	2830	2795	2794	2822	2795	2793	2828	2846	2809	2785	2784	2816	2804	2822	194	191	193	194	203	208	166	199	177	176	190	205	207	186	169
37	2555	2609	2588	2585	2629	2635	2606	2597	2598	2638	2596	2615	2586	2621	2592	226	222	225	208	195	203	190	224	211	210	200	193	194	202	198
38	2722	2729	2703	2684	2702	2737	2718	2729	2717	2730	2706	2717	2687	2729	2711	221	219	227	219	213	226	205	221	215	208	208	209	212	217	205
39	2888	2850	2819	2782	2776	2839	2830	2860	2836	2822	2816	2818	2787	2837	2829	216	217	228	230	231	248	220	217	219	206	216	226	230	233	211
40	2543	2570	2551	2560	2620	2587	2557	2557	2567	2607	2559	2574	2572	2573	2560	226	220	222	201	189	196	185	228	207	207	199	188	195	197	201
41	2710	2691	2667	2658	2694	2689	2669	2688	2687	2700	2669	2675	2673	2681	2679	221	218	224	212	207	219	200	225	211	205	207	205	213	213	208
42	2877	2811	2783	2757	2767	2791	2781	2819	2806	2792	2778	2776	2774	2789	2797	217	215	226	223	226	241	215	221	216	203	215	221	231	229	214
43	2532	2531	2515	2535	2611	2539	2508	2516	2537	2577	2521	2532	2559	2525	2529	227	219	220	194	183	189	180	232	204	205	198	184	197	192	204
44	2699	2652	2631	2633	2685	2641	2620	2647	2656	2669	2631	2633	2659	2633	2647	222	216	221	205	202	212	196	229	208	203	206	200	215	208	211
45	2865	2773	2746	2731	2759	2743	2732	2778	2775	2762	2741	2735	2760	2741	2766	217	214	223	217	220	234	211	225	212	201	214	217	233	224	218
46	2525	2551	2539	2522	2565	2583	2545	2548	2527	2590	2552	2566	2530	2558	2536	249	244	255	231	212	229	234	251	246	234	224	205	220	239	246
47	2692	2672	2654	2621	2639	2684	2657	2679	2646	2682	2662	2668	2631	2666	2654	244	242	257	242	230	251	249	247	250	232	232	221	238	255	253
48	2859	2793	2770	2719	2713	2786	2769	2810	2765	2774	2771	2769	2732	2774	2773	239	239	258	253	248	273	264	244	254	230	240	237	256	271	259
49	2513	2513	2502	2497	2557	2535	2496	2507	2497	2560	2514	2524	2517	2510	2504	249	243	252	224	206	222	229	255	242	231	223	200	221	234	249
50	2680	2633	2618	2595	2630	2636	2608	2639	2616	2652	2624	2626	2617	2618	2622	245	241	254	235	224	244	244	251	246	230	231	217	239	250	256
51	2847	2754	2734	2694	2704	2738	2720	2770	2735	2744	2734	2727	2718	2726	2741	240	238	255	246	243	266	260	248	251	228	238	233	257	266	263
52	2502	2474	2466	2472	2548	2487	2447	2467	2466	2530	2477	2483	2503	2462	2472	250	242	250	217	201	215	225	259	239	229	222	196	222	230	252
53	2669	2595	2582	2570	2622	2588	2559	2598	2585	2622	2587	2584	2604	2570	2591	245	239	251	228	219	237	240	255	243	227	229	212	240	245	259
54	2836	2715	2697	2668	2695	2690	2671	2729	2705	2714	2696	2685	2704	2678	2709	241	237	253	239	237	259	255	252	247	225	237	229	258	261	266
55	2761	2849	2866	2877	2909	2906	2897	2848	2879	2885	2876	2897	2854	2902	2866	179	187	177	181	174	152	132	174	168	186	174	183	137	149	135
56	2928	2969	2982	2975	2983	3008	3009	2979	2999	2977	2986	2998	2955	3010	2985	175	185	179	192	192	174	148	170	172	184	181	199	155	165	142
57	3094	3090	3097	3073	3056	3110	3121	3110	3118	3069	3095	3100	3055	3118	3103	170	182	181	203	211	196	163	167	176	182	189	216	173	181	149
58	2749	2810	2830	2852	2900	2858	2848	2807	2849	2855	2838	2855	2840	2854	2834	180	186	175	174	169	145	128	178	164	183	172	179	138	145	138
59	2916	2931	2946	2950	2974	2960	2960	2938	2968	2947	2948	2957	2941	2962	2953	175	183	176	185	187	167	143	174	168	181	180	195	156	160	145
60	3083	3051	3061	3048	3048	3062	3072	3069	3088	3039	3058	3058	3042	3070	3071	170	181	178	196	205	189	158	171	172	179	188	211	174	176	152
61	2738	2771	2794	2826	2892	2810	2799	2766	2819	2824	2801	2813	2827	2806	2803	181	184	172	167	163	138	123	182	161	181	171	174	140	140	142

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
62	2905	2892	2909	2925	2965	2912	2911	2897	2938	2917	2911	2915	2927	2914	2921	176	182	174	178	181	160	138	178	165	179	179	191	158	156	148
63	3071	3013	3025	3023	3039	3014	3023	3029	3057	3009	3020	3016	3028	3022	3040	171	179	175	189	199	182	153	175	169	177	187	207	176	171	155
64	2731	2791	2817	2814	2846	2854	2836	2798	2809	2837	2832	2848	2798	2839	2810	203	210	207	204	191	177	177	200	203	210	197	195	163	187	183
65	2898	2912	2933	2912	2919	2955	2948	2929	2928	2929	2941	2949	2899	2947	2928	198	207	209	215	210	200	192	197	207	208	205	211	181	203	190
66	3065	3033	3048	3010	2993	3057	3060	3061	3047	3021	3051	3051	3000	3055	3047	193	205	210	226	228	222	207	193	211	206	213	228	199	218	197
67	2719	2753	2781	2789	2837	2806	2787	2758	2778	2807	2794	2806	2785	2791	2778	203	208	205	197	186	170	172	204	199	208	196	190	164	182	187
68	2886	2873	2896	2887	2911	2907	2899	2889	2898	2899	2904	2907	2885	2899	2896	198	206	206	208	204	193	187	201	203	206	204	207	182	198	193
69	3053	2994	3012	2985	2984	3009	3011	3020	3017	2991	3013	3009	2986	3007	3015	194	203	208	219	222	215	202	197	207	204	212	223	200	214	200
70	2708	2714	2745	2763	2828	2758	2738	2717	2748	2777	2756	2764	2771	2743	2746	204	207	202	190	180	163	167	208	196	205	195	186	165	177	190
71	2875	2835	2860	2862	2902	2859	2850	2848	2867	2869	2866	2866	2872	2851	2865	199	205	203	201	198	186	183	205	200	203	203	203	183	193	196
72	3042	2955	2976	2960	2976	2961	2962	2979	2986	2961	2976	2967	2972	2958	2983	194	202	205	212	216	208	198	201	204	201	210	219	201	209	203
73	2701	2734	2768	2751	2782	2801	2775	2749	2738	2789	2787	2799	2743	2776	2753	226	233	237	226	208	203	221	227	238	235	221	207	188	224	232
74	2868	2855	2884	2849	2856	2903	2887	2880	2857	2881	2897	2900	2843	2884	2872	221	230	239	238	227	225	236	223	242	233	229	223	206	240	238
75	3035	2975	2999	2947	2930	3005	2999	3011	2976	2973	3007	3001	2944	2991	2990	216	228	240	249	245	247	251	220	246	231	237	239	224	256	245
76	2690	2695	2732	2725	2774	2753	2726	2708	2708	2759	2750	2757	2729	2728	2721	226	231	234	220	203	196	216	231	234	232	220	202	190	219	235
77	2856	2816	2847	2824	2847	2855	2838	2839	2827	2851	2859	2858	2830	2836	2840	222	229	236	231	221	218	231	227	238	230	228	219	208	235	241
78	3023	2937	2963	2922	2921	2957	2950	2971	2946	2943	2969	2960	2930	2943	2958	217	226	238	242	239	240	247	224	242	228	235	235	226	251	248
79	2678	2657	2695	2700	2765	2705	2677	2668	2677	2729	2712	2715	2715	2680	2690	227	230	232	213	197	189	212	235	231	230	219	198	191	215	238
80	2845	2777	2811	2798	2839	2807	2789	2799	2796	2821	2822	2816	2816	2787	2808	222	227	233	224	215	211	227	231	235	228	226	214	209	230	245
81	3012	2898	2927	2897	2912	2909	2901	2930	2916	2913	2931	2918	2917	2895	2927	218	225	235	235	234	233	242	228	239	226	234	231	227	246	251
82	2771	2829	2825	2839	2889	2874	2853	2822	2848	2869	2830	2866	2836	2861	2838	193	198	190	181	188	173	136	205	176	192	183	192	170	156	144
83	2938	2950	2940	2937	2963	2976	2965	2954	2967	2961	2939	2968	2937	2969	2957	188	196	192	193	206	195	152	201	180	190	191	208	188	172	151
84	3105	3070	3056	3035	3036	3078	3076	3085	3087	3053	3049	3069	3038	3076	3075	183	193	194	204	224	217	167	198	185	188	199	225	206	188	157
85	2760	2790	2788	2814	2880	2826	2804	2782	2818	2839	2792	2824	2823	2813	2807	193	197	188	175	182	166	132	208	173	189	182	188	171	151	147
86	2926	2911	2904	2912	2954	2928	2916	2913	2937	2931	2902	2926	2923	2920	2925	189	194	189	186	200	188	147	205	177	187	190	204	189	167	154
87	3093	3032	3019	3010	3028	3030	3027	3044	3056	3023	3011	3027	3024	3028	3044	184	192	191	197	219	210	162	201	181	185	198	221	207	183	160
88	2748	2752	2752	2788	2871	2778	2755	2741	2787	2809	2755	2783	2809	2765	2775	194	195	185	168	176	159	127	212	169	187	181	183	172	146	150
89	2915	2872	2868	2887	2945	2880	2867	2872	2907	2901	2864	2884	2910	2872	2893	189	193	186	179	195	181	142	209	173	185	188	200	190	162	157
90	3082	2993	2983	2985	3019	2982	2978	3003	3026	2993	2974	2986	3010	2980	3012	185	190	188	190	213	203	157	205	178	183	196	216	208	178	164
91	2741	2772	2776	2776	2825	2822	2792	2773	2777	2821	2785	2817	2780	2798	2782	216	221	220	204	205	199	181	231	211	216	207	204	195	193	192
92	2908	2892	2891	2874	2899	2924	2904	2904	2897	2913	2895	2918	2881	2905	2900	211	218	222	216	223	221	196	228	215	214	215	220	213	209	199

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
93	3075	3013	3007	2972	2973	3026	3015	3035	3016	3005	3005	3020	2982	3013	3019	207	216	223	227	241	243	211	224	220	212	222	237	231	225	205
94	2730	2733	2739	2751	2817	2774	2743	2732	2747	2791	2748	2775	2767	2749	2750	217	219	217	198	199	192	176	235	208	214	206	200	197	189	195
95	2897	2854	2855	2849	2891	2876	2855	2864	2866	2883	2857	2877	2867	2857	2869	212	217	219	209	217	214	191	231	212	212	213	216	215	204	202
96	3063	2974	2970	2947	2964	2978	2966	2995	2985	2975	2967	2978	2968	2965	2987	207	214	221	220	236	236	206	228	216	210	221	232	233	220	209
97	2718	2694	2703	2725	2808	2726	2694	2692	2717	2761	2710	2734	2753	2701	2718	217	218	215	191	193	185	171	239	204	211	204	195	198	184	198
98	2885	2815	2818	2824	2882	2828	2806	2823	2836	2853	2820	2835	2854	2809	2837	213	215	216	202	212	207	187	235	208	209	212	212	216	200	205
99	3052	2936	2934	2922	2956	2930	2917	2954	2955	2945	2929	2936	2954	2917	2955	208	213	218	213	230	229	202	232	213	207	220	228	234	216	212
100	2711	2714	2726	2713	2762	2770	2731	2724	2707	2774	2741	2768	2725	2734	2725	239	244	250	227	222	225	225	258	246	240	230	216	221	231	240
101	2878	2835	2842	2811	2836	2871	2843	2855	2826	2866	2851	2869	2825	2842	2844	235	241	252	238	240	247	240	254	250	239	238	232	239	247	247
102	3045	2956	2958	2909	2910	2973	2954	2986	2945	2958	2960	2971	2926	2950	2962	230	239	253	250	258	269	255	251	255	237	246	249	257	262	254
103	2700	2676	2690	2687	2753	2722	2682	2683	2676	2743	2703	2726	2711	2686	2694	240	242	247	221	216	218	220	261	243	238	229	211	222	226	243
104	2867	2796	2806	2786	2827	2823	2794	2814	2795	2836	2813	2828	2812	2794	2812	235	240	249	232	234	240	235	258	247	236	237	228	240	242	250
105	3034	2917	2921	2884	2901	2925	2905	2945	2915	2928	2923	2929	2912	2902	2931	230	237	250	243	253	262	251	254	251	234	245	244	258	258	257
106	2688	2637	2654	2662	2745	2674	2633	2642	2646	2713	2666	2684	2697	2638	2662	241	241	245	214	211	211	216	265	239	235	228	207	223	221	247
107	2855	2758	2769	2760	2819	2775	2745	2774	2765	2805	2775	2786	2798	2746	2780	236	238	246	225	229	233	231	262	243	234	236	223	241	237	253
108	3022	2878	2885	2859	2892	2877	2856	2905	2884	2898	2885	2887	2899	2854	2899	231	236	248	236	247	255	246	258	248	232	244	240	259	253	260
109	2947	3011	3054	3067	3106	3093	3083	3023	3059	3068	3065	3099	3049	3078	3056	170	186	172	177	184	147	123	180	168	192	180	194	138	141	129
110	3114	3132	3170	3166	3179	3195	3194	3154	3178	3160	3175	3200	3149	3186	3174	165	184	174	188	202	169	139	177	172	190	188	211	156	157	136
111	3281	3253	3285	3264	3253	3297	3306	3286	3298	3252	3284	3301	3250	3294	3293	160	181	176	200	221	191	154	173	176	188	196	227	174	173	143
112	2936	2973	3018	3042	3097	3045	3034	2983	3029	3038	3027	3057	3035	3030	3024	170	185	170	171	179	140	119	184	165	190	179	190	140	136	133
113	3103	3094	3133	3140	3171	3147	3145	3114	3148	3130	3137	3158	3136	3138	3142	166	182	171	182	197	162	134	181	169	188	187	206	158	152	139
114	3269	3214	3249	3239	3245	3249	3257	3245	3267	3222	3247	3260	3236	3246	3261	161	180	173	193	215	184	149	177	173	186	194	223	176	168	146
115	2924	2934	2981	3017	3088	2997	2985	2942	2998	3008	2990	3015	3021	2982	2992	171	183	167	164	173	133	114	188	161	187	178	185	141	132	136
116	3091	3055	3097	3115	3162	3099	3096	3073	3118	3100	3099	3117	3122	3090	3111	166	181	169	175	191	155	129	185	165	185	185	202	159	147	142
117	3258	3176	3213	3213	3236	3201	3208	3204	3237	3192	3209	3218	3223	3198	3229	162	178	170	186	209	177	144	181	169	183	193	218	177	163	149
118	2917	2954	3005	3004	3042	3041	3022	2974	2988	3021	3020	3049	2993	3015	2999	193	209	202	200	201	173	168	207	203	217	204	206	164	178	178
119	3084	3075	3121	3102	3116	3142	3133	3105	3108	3113	3130	3151	3093	3123	3118	188	206	204	211	220	195	183	203	207	215	212	222	182	194	184
120	3251	3196	3236	3201	3190	3244	3245	3236	3227	3205	3240	3252	3194	3231	3236	184	204	205	223	238	217	198	200	211	213	219	239	200	210	191
121	2906	2915	2969	2979	3034	2993	2973	2933	2958	2991	2983	3008	2979	2967	2967	194	208	200	193	196	166	163	211	200	214	203	202	165	174	181
122	3073	3036	3084	3077	3107	3094	3084	3064	3077	3083	3093	3109	3080	3075	3086	189	205	201	205	214	188	178	207	204	212	210	218	183	190	187
123	3240	3157	3200	3175	3181	3196	3196	3196	3196	3175	3202	3211	3180	3183	3204	184	203	203	216	232	210	193	204	208	210	218	234	201	205	194

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
124	2894	2877	2932	2954	3025	2945	2924	2893	2928	2960	2945	2966	2965	2919	2936	194	206	197	187	190	159	158	215	196	212	201	197	166	169	184
125	3061	2998	3048	3052	3099	3046	3035	3024	3047	3053	3055	3067	3066	3027	3054	190	204	198	198	208	181	174	211	200	210	209	214	184	185	191
126	3228	3118	3163	3150	3173	3148	3147	3155	3166	3145	3165	3169	3167	3135	3173	185	201	200	209	226	203	189	208	204	208	217	230	202	201	197
127	2888	2897	2956	2941	2979	2988	2961	2925	2918	2973	2976	3000	2937	2952	2943	216	232	232	223	218	199	212	233	238	241	227	218	189	216	226
128	3054	3018	3071	3039	3053	3090	3073	3056	3037	3065	3086	3102	3038	3060	3061	212	229	234	234	237	221	227	230	242	239	235	234	207	232	232
129	3221	3138	3187	3138	3127	3192	3184	3187	3156	3157	3195	3203	3138	3167	3180	207	227	235	245	255	243	242	226	246	237	243	251	225	248	239
130	2876	2858	2920	2916	2970	2940	2912	2884	2887	2943	2938	2959	2923	2904	2911	217	230	229	216	213	192	207	237	235	239	226	213	191	211	229
131	3043	2979	3035	3014	3044	3042	3024	3015	3006	3035	3048	3060	3024	3012	3029	212	228	231	228	231	214	222	234	239	237	234	230	209	227	236
132	3210	3100	3151	3112	3118	3144	3135	3146	3126	3127	3158	3161	3125	3119	3148	207	225	233	239	249	236	238	230	243	235	242	246	227	243	242
133	2865	2819	2883	2891	2962	2892	2863	2843	2857	2913	2901	2917	2910	2856	2879	218	229	227	210	207	185	203	241	231	236	225	209	192	206	232
134	3031	2940	2999	2989	3035	2994	2975	2974	2976	3005	3011	3018	3010	2964	2998	213	226	228	221	225	207	218	238	235	234	233	226	210	222	239
135	3198	3061	3114	3087	3109	3096	3086	3106	3095	3097	3120	3120	3111	3071	3116	208	224	230	232	244	229	233	234	239	232	241	242	228	238	245
136	2958	2992	3012	3029	3086	3061	3038	2998	3028	3053	3019	3068	3031	3037	3028	183	197	185	178	198	169	127	211	177	198	190	203	171	148	138
137	3124	3113	3128	3128	3159	3163	3150	3129	3147	3145	3128	3169	3131	3145	3146	179	195	187	189	216	191	143	208	181	196	197	220	189	164	145
138	3291	3233	3244	3226	3233	3265	3262	3261	3266	3237	3238	3271	3232	3252	3265	174	192	189	200	234	213	158	204	185	194	205	236	207	179	151
139	2946	2953	2976	3004	3077	3013	2989	2958	2997	3023	2981	3026	3017	2989	2996	184	196	183	171	192	162	123	215	173	196	188	199	172	143	141
140	3113	3074	3092	3102	3151	3115	3101	3089	3117	3115	3091	3128	3118	3097	3115	179	193	184	183	210	184	138	212	178	194	196	215	190	159	148
141	3280	3195	3207	3201	3224	3217	3213	3220	3236	3207	3200	3229	3218	3204	3233	174	191	186	194	229	206	153	208	182	192	204	232	208	175	155
142	2935	2914	2940	2979	3068	2965	2940	2917	2967	2992	2943	2984	3003	2941	2964	185	194	180	165	186	155	118	219	170	193	187	195	173	138	144
143	3101	3035	3055	3077	3142	3067	3052	3048	3086	3085	3053	3086	3104	3048	3083	180	192	181	176	205	177	133	215	174	191	195	211	191	154	151
144	3268	3156	3171	3175	3216	3169	3164	3179	3205	3177	3163	3187	3205	3156	3201	175	189	183	187	223	199	148	212	178	189	203	227	209	170	158
145	2928	2934	2963	2966	3022	3009	2977	2949	2957	3005	2974	3019	2975	2974	2971	207	220	215	201	215	195	172	238	212	223	213	215	196	185	186
146	3095	3055	3079	3064	3096	3111	3089	3080	3076	3097	3084	3120	3076	3081	3090	202	217	217	212	233	217	187	234	216	221	221	231	214	201	193
147	3261	3176	3194	3163	3170	3213	3201	3211	3196	3189	3193	3222	3176	3189	3208	197	215	218	223	251	239	202	231	220	219	229	248	232	217	200
148	2916	2896	2927	2941	3014	2961	2928	2908	2927	2975	2937	2977	2961	2926	2940	207	218	212	194	209	188	167	242	208	220	212	211	198	180	189
149	3083	3017	3043	3039	3087	3063	3040	3039	3046	3067	3046	3078	3062	3033	3058	202	216	214	205	227	210	182	238	213	218	220	227	216	196	196
150	3250	3137	3158	3137	3161	3165	3152	3171	3165	3159	3156	3180	3163	3141	3177	198	213	216	217	246	232	197	235	217	216	228	244	234	212	203
151	2905	2857	2891	2916	3005	2913	2879	2868	2896	2945	2899	2935	2948	2877	2908	208	217	210	188	203	181	162	245	205	218	211	206	199	176	193
152	3072	2978	3006	3014	3079	3015	2991	2999	3015	3037	3009	3037	3048	2985	3026	203	215	211	199	222	203	178	242	209	216	219	223	217	191	199
153	3238	3099	3122	3112	3152	3117	3103	3130	3135	3129	3118	3138	3149	3093	3145	198	212	213	210	240	225	193	238	213	214	226	239	235	207	206
154	2898	2877	2914	2903	2959	2957	2916	2900	2886	2957	2930	2970	2919	2910	2915	230	243	245	224	232	220	216	264	247	247	237	227	222	223	234

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
155	3065	2998	3030	3001	3033	3058	3028	3031	3006	3049	3039	3071	3020	3018	3033	225	240	247	235	250	243	231	261	251	245	245	243	240	238	241
156	3232	3119	3145	3100	3106	3160	3140	3162	3125	3141	3149	3172	3120	3126	3152	220	238	248	246	268	265	246	257	255	243	253	260	258	254	248
157	2886	2838	2878	2878	2950	2909	2867	2859	2856	2927	2892	2928	2905	2862	2883	230	241	242	217	226	213	211	268	243	244	236	223	223	218	238
158	3053	2959	2993	2976	3024	3010	2979	2990	2975	3019	3002	3029	3006	2970	3002	226	239	244	228	244	236	226	265	248	243	243	239	241	234	244
159	3220	3080	3109	3074	3098	3112	3091	3121	3094	3111	3111	3131	3107	3078	3120	221	236	245	240	263	258	242	261	252	241	251	255	259	249	251
160	2875	2800	2842	2853	2942	2861	2818	2818	2825	2897	2855	2886	2892	2814	2851	231	240	240	210	221	206	207	272	240	242	234	218	225	213	241
161	3042	2921	2957	2951	3015	2962	2930	2949	2945	2989	2964	2988	2992	2922	2970	226	237	241	222	239	229	222	268	244	240	242	235	243	229	247
162	3209	3041	3073	3049	3089	3064	3042	3081	3064	3081	3074	3089	3093	3030	3088	222	235	243	233	257	251	237	265	248	238	250	251	261	245	254
163	2646	2751	2761	2771	2779	2789	2788	2734	2774	2769	2768	2767	2736	2800	2740	186	185	178	171	147	147	150	165	166	183	155	158	133	158	146
164	2813	2872	2877	2869	2853	2891	2900	2865	2893	2861	2877	2869	2837	2908	2858	181	182	179	182	165	169	165	161	171	181	163	175	151	174	152
165	2980	2993	2992	2967	2926	2993	3012	2996	3013	2953	2987	2970	2938	3015	2977	176	180	181	193	183	191	180	158	175	179	170	191	169	189	159
166	2634	2713	2725	2745	2770	2741	2739	2693	2744	2739	2730	2726	2723	2752	2708	186	183	175	164	141	140	145	168	163	180	154	154	134	153	149
167	2801	2833	2840	2844	2844	2843	2851	2825	2863	2831	2840	2827	2823	2859	2826	182	181	177	175	159	162	160	165	167	178	161	170	152	169	156
168	2968	2954	2956	2942	2918	2945	2963	2956	2982	2923	2949	2929	2924	2967	2945	177	178	178	186	177	184	175	161	171	176	169	187	170	185	162
169	2623	2674	2688	2720	2762	2693	2690	2653	2713	2709	2692	2684	2709	2704	2676	187	182	172	157	135	133	140	172	159	178	152	149	136	148	152
170	2790	2795	2804	2818	2835	2795	2802	2784	2833	2801	2802	2785	2810	2811	2795	182	179	174	168	154	155	155	169	164	176	160	166	154	164	159
171	2957	2916	2920	2917	2909	2897	2914	2915	2952	2893	2912	2887	2910	2919	2913	177	177	175	180	172	177	171	165	168	174	168	182	172	180	165
172	2616	2694	2712	2708	2716	2737	2727	2685	2703	2721	2723	2718	2680	2737	2683	209	208	208	194	164	173	194	191	201	207	178	170	159	195	194
173	2783	2815	2828	2806	2789	2838	2839	2816	2823	2813	2833	2820	2781	2844	2802	204	205	209	205	182	195	209	188	206	205	186	186	177	211	201
174	2950	2936	2943	2904	2863	2940	2951	2947	2942	2905	2942	2921	2882	2952	2920	199	203	211	216	200	217	224	184	210	203	194	203	195	227	207
175	2605	2655	2676	2682	2707	2689	2678	2644	2673	2691	2686	2677	2667	2688	2651	210	206	205	187	158	166	189	195	198	205	177	166	160	190	197
176	2771	2776	2791	2781	2781	2790	2790	2775	2792	2783	2795	2778	2767	2796	2770	205	204	206	198	176	188	204	191	202	203	185	182	178	206	204
177	2938	2897	2907	2879	2854	2892	2902	2906	2912	2875	2905	2879	2868	2904	2888	200	201	208	209	195	210	219	188	206	201	193	198	196	222	210
178	2593	2617	2639	2657	2698	2641	2629	2603	2643	2661	2648	2635	2653	2640	2620	210	205	202	180	152	159	184	199	194	202	176	161	161	186	200
179	2760	2737	2755	2755	2772	2742	2741	2735	2762	2753	2758	2736	2754	2748	2738	205	202	204	191	171	181	200	195	199	200	184	178	179	201	207
180	2927	2858	2871	2854	2846	2844	2853	2866	2881	2845	2867	2838	2854	2856	2857	201	200	205	202	189	203	215	192	203	198	192	194	197	217	214
181	2586	2637	2663	2645	2652	2684	2666	2635	2633	2673	2679	2669	2625	2673	2627	232	230	237	217	181	199	238	218	236	231	202	182	184	233	242
182	2753	2757	2779	2743	2726	2786	2778	2767	2752	2766	2788	2771	2725	2781	2745	227	228	239	228	199	221	253	214	241	230	210	198	202	248	249
183	2920	2878	2894	2841	2800	2888	2890	2898	2871	2858	2898	2872	2826	2889	2864	223	225	241	239	217	243	268	211	245	228	218	215	220	264	255
184	2575	2598	2627	2619	2644	2636	2617	2595	2602	2643	2641	2627	2611	2625	2595	233	229	235	210	175	192	233	221	233	229	201	177	185	228	245
185	2742	2719	2742	2718	2717	2738	2729	2726	2722	2735	2751	2729	2712	2733	2713	228	226	236	221	193	214	249	218	237	227	209	194	203	244	252

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
186	2908	2840	2858	2816	2791	2840	2841	2857	2841	2828	2860	2830	2812	2841	2832	223	224	238	232	212	236	264	214	241	225	217	210	221	259	259
187	2563	2559	2590	2594	2635	2588	2568	2554	2572	2613	2604	2586	2597	2577	2563	233	227	232	203	169	185	229	225	229	226	200	173	187	223	248
188	2730	2680	2706	2692	2709	2690	2680	2685	2691	2705	2713	2687	2698	2685	2682	229	225	234	214	188	207	244	222	234	225	207	190	205	239	255
189	2897	2801	2821	2791	2782	2792	2792	2816	2810	2797	2823	2788	2799	2793	2800	224	222	235	225	206	229	259	218	238	223	215	206	223	255	262
190	2656	2732	2719	2733	2759	2757	2744	2709	2743	2753	2721	2737	2718	2758	2712	199	196	191	172	160	169	154	195	175	188	164	167	165	164	154
191	2823	2852	2835	2831	2833	2859	2855	2840	2862	2845	2831	2838	2819	2866	2830	194	193	192	183	178	191	169	192	179	187	172	184	183	180	161
192	2990	2973	2951	2929	2906	2961	2967	2971	2981	2937	2941	2940	2920	2974	2949	190	191	194	194	197	213	184	188	183	185	180	200	201	196	168
193	2645	2693	2683	2707	2750	2709	2695	2668	2712	2723	2684	2695	2705	2710	2680	200	194	188	165	154	162	149	199	172	186	163	163	167	160	158
194	2812	2814	2799	2806	2824	2811	2806	2800	2832	2815	2793	2796	2805	2818	2799	195	192	190	176	173	184	164	196	176	184	171	179	185	175	164
195	2978	2935	2914	2904	2898	2913	2918	2931	2951	2907	2903	2898	2906	2926	2917	190	189	191	187	191	206	179	192	180	182	179	196	203	191	171
196	2633	2654	2647	2682	2741	2661	2646	2628	2682	2693	2646	2653	2691	2662	2648	200	193	185	158	149	155	144	203	168	183	162	159	168	155	161
197	2800	2775	2762	2780	2815	2763	2757	2759	2801	2785	2756	2755	2792	2770	2767	196	190	187	169	167	177	159	200	172	182	170	175	186	171	167
198	2967	2896	2878	2879	2889	2865	2869	2890	2921	2877	2865	2856	2892	2878	2885	191	188	188	180	185	199	175	196	176	180	177	191	204	187	174
199	2626	2674	2670	2670	2695	2705	2683	2660	2672	2705	2677	2688	2663	2695	2655	222	218	221	194	177	195	198	222	210	213	188	179	191	202	203
200	2793	2795	2786	2768	2769	2807	2795	2791	2791	2798	2786	2789	2763	2803	2774	218	216	222	206	195	217	213	218	214	211	196	195	209	218	209
201	2960	2916	2902	2866	2843	2908	2906	2922	2911	2890	2896	2890	2864	2910	2892	213	213	224	217	214	239	228	215	218	209	204	212	227	233	216
202	2615	2636	2634	2644	2687	2657	2634	2619	2642	2675	2639	2646	2649	2647	2624	223	217	218	188	172	188	193	226	207	210	187	175	192	197	206
203	2782	2756	2750	2743	2761	2759	2746	2750	2761	2767	2749	2747	2750	2755	2742	218	215	219	199	190	210	208	222	211	208	195	191	210	213	212
204	2949	2877	2865	2841	2834	2860	2857	2881	2880	2860	2859	2849	2850	2862	2861	214	212	221	210	208	232	223	219	215	207	202	208	228	229	219
205	2603	2597	2598	2619	2678	2609	2585	2578	2611	2645	2602	2604	2635	2599	2592	224	216	215	181	166	181	188	230	203	208	185	170	194	192	209
206	2770	2718	2713	2717	2752	2711	2697	2710	2731	2737	2711	2706	2736	2707	2710	219	213	217	192	184	203	204	226	207	206	193	187	212	208	216
207	2937	2839	2829	2816	2826	2812	2808	2841	2850	2829	2821	2807	2837	2814	2829	214	211	218	203	202	225	219	223	211	204	201	203	230	224	222
208	2597	2617	2621	2607	2632	2653	2622	2610	2601	2658	2632	2638	2607	2632	2599	246	241	250	217	194	220	242	248	245	237	212	191	217	239	251
209	2763	2738	2737	2705	2706	2754	2734	2742	2721	2750	2742	2740	2707	2739	2717	241	239	252	229	213	243	257	245	249	235	219	207	235	255	257
210	2930	2859	2852	2803	2780	2856	2845	2873	2840	2842	2852	2841	2808	2847	2836	236	236	254	240	231	265	272	241	253	233	227	224	253	271	264
211	2585	2578	2585	2581	2623	2605	2573	2570	2571	2628	2595	2597	2593	2584	2567	246	240	248	211	189	213	237	252	242	235	210	187	218	234	254
212	2752	2699	2701	2680	2697	2706	2685	2701	2690	2720	2704	2698	2694	2691	2686	242	237	249	222	207	236	253	249	246	233	218	203	236	250	261
213	2919	2820	2816	2778	2771	2808	2796	2832	2809	2812	2814	2800	2794	2799	2804	237	235	251	233	225	258	268	245	250	231	226	219	254	266	267
214	2574	2540	2549	2556	2615	2557	2524	2529	2541	2598	2557	2555	2579	2536	2535	247	238	245	204	183	206	233	256	238	232	209	182	219	230	257
215	2740	2660	2664	2654	2689	2658	2636	2660	2660	2690	2667	2656	2680	2643	2654	242	236	246	215	201	229	248	253	242	230	217	199	237	246	264
216	2907	2781	2780	2753	2762	2760	2747	2791	2779	2782	2777	2758	2781	2751	2772	237	233	248	226	219	251	263	249	246	228	225	215	255	261	270

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
217	2832	2914	2949	2961	2976	2976	2974	2910	2954	2953	2956	2969	2931	2976	2929	176	184	173	167	157	143	141	171	167	189	161	169	134	149	140
218	2999	3035	3064	3059	3049	3078	3085	3041	3073	3045	3066	3071	3031	3084	3048	171	181	174	179	175	165	156	168	171	187	169	186	152	165	147
219	3166	3156	3180	3158	3123	3180	3197	3172	3192	3137	3176	3172	3132	3191	3166	167	179	176	190	193	187	171	164	175	185	177	202	170	181	153
220	2821	2876	2913	2936	2967	2928	2925	2869	2923	2922	2919	2927	2917	2928	2897	177	182	170	161	151	136	136	175	163	187	160	165	135	145	143
221	2988	2996	3028	3034	3041	3030	3036	3000	3043	3015	3028	3029	3018	3036	3016	172	180	172	172	169	158	151	172	168	185	168	181	153	161	150
222	3155	3117	3144	3132	3115	3132	3148	3132	3162	3107	3138	3130	3118	3143	3134	167	177	173	183	187	180	166	168	172	183	176	198	171	176	156
223	2809	2837	2876	2911	2958	2880	2876	2829	2893	2892	2881	2886	2903	2880	2866	177	181	167	154	145	129	131	179	160	184	159	161	137	140	146
224	2976	2958	2992	3009	3032	2982	2987	2960	3012	2984	2991	2987	3004	2987	2984	173	179	169	165	164	151	146	175	164	182	167	177	155	156	153
225	3143	3078	3107	3107	3106	3084	3099	3091	3132	3077	3101	3089	3105	3095	3103	168	176	170	176	182	173	162	172	168	180	174	193	173	172	160
226	2803	2857	2900	2898	2912	2924	2913	2861	2883	2905	2912	2920	2875	2913	2873	199	207	203	190	174	169	185	198	202	214	185	181	160	187	188
227	2969	2978	3015	2996	2986	3025	3024	2992	3002	2997	3022	3021	2976	3020	2991	195	204	204	201	192	191	200	194	206	212	193	198	178	203	195
228	3136	3098	3131	3095	3060	3127	3136	3123	3122	3089	3131	3123	3076	3128	3110	190	202	206	213	210	213	215	191	210	210	201	214	196	219	201
229	2791	2818	2863	2873	2904	2876	2864	2820	2853	2875	2874	2878	2861	2865	2841	200	205	200	184	168	162	180	202	198	211	184	177	161	182	191
230	2958	2939	2979	2971	2977	2977	2975	2951	2972	2967	2984	2980	2962	2972	2959	195	203	201	195	186	184	195	198	203	209	191	193	179	198	198
231	3125	3060	3095	3069	3051	3079	3087	3082	3091	3059	3094	3081	3063	3080	3078	191	200	203	206	205	206	210	195	207	207	199	210	197	214	205
232	2780	2780	2827	2848	2895	2828	2815	2779	2822	2845	2837	2837	2848	2816	2809	201	204	197	177	162	155	175	205	195	209	182	172	162	177	194
233	2946	2900	2943	2946	2969	2929	2926	2910	2942	2937	2946	2938	2948	2924	2928	196	201	199	188	181	177	191	202	199	207	190	189	180	193	201
234	3113	3021	3058	3044	3043	3031	3038	3042	3061	3029	3056	3039	3049	3032	3046	191	199	200	199	199	199	206	198	203	205	198	205	198	209	208
235	2773	2800	2851	2835	2849	2871	2852	2811	2812	2857	2868	2871	2819	2849	2816	223	229	232	213	191	194	229	224	237	238	209	193	185	224	236
236	2940	2920	2966	2933	2923	2973	2963	2942	2932	2949	2977	2972	2920	2957	2935	218	227	234	224	209	217	244	221	241	236	216	209	203	240	243
237	3106	3041	3082	3031	2997	3075	3075	3074	3051	3041	3087	3074	3020	3065	3053	213	224	236	236	227	239	259	217	245	234	224	226	221	256	250
238	2761	2761	2814	2810	2840	2823	2803	2771	2782	2827	2830	2829	2805	2801	2784	223	228	230	206	185	187	224	228	233	235	207	189	187	220	239
239	2928	2882	2930	2908	2914	2925	2914	2902	2901	2919	2940	2931	2906	2909	2903	219	225	231	218	203	210	240	225	238	234	215	205	205	235	246
240	3095	3002	3046	3006	2988	3027	3026	3033	3020	3011	3049	3032	3007	3017	3021	214	223	233	229	222	232	255	221	242	232	223	221	223	251	253
241	2750	2722	2778	2784	2832	2775	2754	2730	2752	2797	2792	2787	2792	2753	2753	224	227	227	200	179	180	220	232	230	233	206	184	188	215	243
242	2917	2843	2894	2883	2905	2877	2865	2861	2871	2889	2902	2889	2892	2861	2871	219	224	229	211	198	203	235	228	234	231	214	201	206	231	249
243	3083	2964	3009	2981	2979	2979	2977	2992	2990	2981	3012	2990	2993	2969	2990	214	222	230	222	216	225	250	225	238	229	222	217	224	246	256
244	2843	2895	2907	2923	2956	2944	2929	2885	2923	2937	2910	2939	2913	2934	2901	190	195	186	168	170	164	145	202	176	195	171	178	167	156	149
245	3010	3015	3023	3021	3029	3046	3041	3016	3042	3029	3020	3040	3013	3042	3020	185	192	187	179	188	186	160	198	180	193	179	195	185	172	155
246	3176	3136	3138	3120	3103	3148	3153	3147	3161	3121	3129	3141	3114	3150	3138	180	190	189	191	207	209	175	195	184	191	186	211	203	188	162
247	2831	2856	2871	2898	2947	2896	2880	2844	2892	2907	2872	2897	2899	2886	2870	190	193	183	161	164	157	140	206	172	192	169	174	168	151	152

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
248	2998	2977	2986	2996	3021	2998	2992	2975	3011	2999	2982	2998	3000	2994	2988	186	191	185	173	183	179	155	202	176	191	177	190	186	167	158
249	3165	3097	3102	3094	3094	3100	3104	3106	3131	3091	3092	3100	3100	3102	3107	181	188	186	184	201	202	170	199	181	189	185	207	204	183	165
250	2820	2817	2835	2873	2938	2848	2831	2803	2862	2877	2835	2855	2885	2838	2838	191	192	180	155	159	150	135	210	169	190	168	170	169	147	155
251	2987	2938	2950	2971	3012	2950	2943	2935	2981	2969	2945	2956	2986	2946	2956	186	189	182	166	177	172	150	206	173	188	176	186	187	162	162
252	3153	3059	3066	3069	3086	3052	3055	3066	3100	3061	3054	3058	3087	3054	3075	181	187	183	177	195	195	166	203	177	186	184	203	205	178	168
253	2813	2837	2858	2860	2892	2892	2868	2835	2852	2889	2866	2889	2857	2871	2845	213	218	216	191	187	190	189	228	211	219	194	190	192	194	197
254	2980	2958	2974	2958	2966	2994	2980	2967	2971	2981	2975	2991	2958	2979	2963	208	215	217	202	205	212	204	225	215	217	202	207	210	209	203
255	3147	3079	3089	3057	3040	3095	3092	3098	3090	3073	3085	3092	3058	3087	3082	203	213	219	213	224	234	219	221	219	216	210	223	228	225	210
256	2801	2799	2822	2835	2884	2844	2819	2795	2821	2859	2828	2848	2843	2823	2813	214	216	213	184	182	183	184	232	207	217	193	186	193	189	200
257	2968	2919	2937	2933	2957	2946	2931	2926	2941	2951	2938	2949	2944	2931	2932	209	214	214	196	200	205	199	229	211	215	201	202	211	205	207
258	3135	3040	3053	3031	3031	3047	3043	3057	3060	3043	3047	3050	3045	3038	3050	204	211	216	207	218	227	214	225	216	213	209	219	229	220	213
259	2790	2760	2785	2810	2875	2796	2770	2754	2791	2829	2790	2806	2830	2775	2781	214	215	210	178	176	176	179	236	204	214	192	182	195	184	203
260	2957	2881	2901	2908	2949	2898	2882	2885	2910	2921	2900	2907	2930	2883	2900	209	212	212	189	194	198	195	233	208	212	200	198	213	200	210
261	3124	3001	3017	3006	3022	2999	2994	3016	3029	3013	3010	3009	3031	2990	3018	205	210	213	200	212	220	210	229	212	211	208	214	231	216	216
262	2783	2780	2809	2797	2829	2840	2807	2786	2781	2841	2821	2840	2801	2808	2788	236	240	245	214	204	216	233	255	246	244	218	202	218	231	245
263	2950	2901	2925	2895	2903	2941	2919	2917	2900	2934	2931	2942	2902	2916	2907	231	238	247	225	223	238	248	251	250	242	226	218	236	247	252
264	3117	3021	3040	2993	2976	3043	3031	3048	3020	3026	3041	3043	3003	3023	3025	227	235	249	236	241	260	263	248	254	240	234	235	254	263	258
265	2772	2741	2773	2772	2820	2792	2758	2745	2751	2811	2784	2798	2788	2760	2757	237	239	243	207	199	209	228	259	242	241	217	198	219	226	248
266	2938	2862	2888	2870	2894	2893	2870	2877	2870	2903	2893	2900	2888	2867	2875	232	236	244	218	217	231	244	255	246	239	225	214	237	242	255
267	3105	2983	3004	2968	2968	2995	2982	3008	2989	2996	3003	3001	2989	2975	2994	227	234	246	230	235	253	259	252	251	237	232	231	255	258	261
268	2760	2703	2736	2746	2812	2744	2709	2705	2720	2781	2746	2757	2774	2712	2725	237	237	240	201	193	202	224	263	239	239	216	193	220	221	251
269	2927	2823	2852	2845	2885	2845	2821	2836	2839	2873	2856	2858	2875	2819	2843	233	235	241	212	211	224	239	259	243	237	223	210	238	237	258
270	3094	2944	2968	2943	2959	2947	2933	2967	2959	2965	2965	2960	2975	2927	2962	228	232	243	223	229	246	254	256	247	235	231	226	256	253	265
271	3019	3077	3137	3152	3173	3163	3159	3086	3134	3136	3145	3171	3125	3152	3119	167	183	168	164	167	138	132	178	168	196	168	180	135	141	134
272	3186	3198	3252	3250	3246	3265	3271	3217	3253	3228	3255	3272	3226	3260	3237	162	180	169	175	185	160	147	174	172	194	175	197	153	157	141
273	3353	3319	3368	3348	3320	3367	3383	3348	3372	3320	3365	3374	3326	3367	3356	157	178	171	186	203	183	162	171	176	192	183	213	171	173	147
274	3007	3039	3100	3126	3164	3115	3110	3045	3103	3106	3108	3129	3111	3104	3087	167	182	165	157	161	131	127	182	164	193	166	176	136	136	137
275	3174	3159	3216	3225	3238	3217	3222	3176	3222	3198	3217	3231	3212	3212	3206	163	179	167	168	179	153	142	178	168	191	174	193	154	152	144
276	3341	3280	3331	3323	3311	3319	3334	3307	3342	3290	3327	3332	3313	3319	3324	158	177	168	180	197	176	157	175	172	189	182	209	172	168	151
277	2996	3000	3064	3101	3155	3067	3061	3004	3073	3076	3070	3087	3098	3056	3055	168	180	162	151	155	124	122	186	161	191	165	172	138	132	140
278	3163	3121	3180	3199	3229	3169	3173	3135	3192	3168	3180	3189	3198	3164	3174	163	178	164	162	174	146	137	182	165	189	173	188	156	148	147

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
279	3330	3241	3295	3298	3303	3271	3285	3267	3311	3260	3289	3290	3299	3271	3292	158	175	165	173	192	169	153	179	169	187	181	205	174	163	154
280	2989	3020	3088	3088	3109	3111	3098	3036	3063	3089	3101	3122	3069	3089	3062	190	206	198	187	184	164	176	204	203	220	191	192	161	179	182
281	3156	3141	3203	3187	3183	3212	3210	3167	3182	3181	3210	3223	3170	3196	3181	185	203	199	198	202	186	191	201	207	218	199	209	179	194	189
282	3323	3261	3319	3285	3257	3314	3322	3299	3301	3273	3320	3325	3271	3304	3299	180	201	201	209	220	208	206	197	211	216	207	225	197	210	196
283	2978	2981	3051	3063	3101	3063	3049	2996	3032	3058	3063	3080	3056	3041	3031	191	204	195	180	178	157	171	208	199	218	190	188	162	174	185
284	3144	3102	3167	3161	3174	3164	3161	3127	3152	3151	3173	3181	3156	3148	3149	186	202	196	191	196	179	186	205	203	216	198	204	180	190	192
285	3311	3223	3282	3260	3248	3266	3273	3258	3271	3243	3283	3283	3257	3256	3268	181	199	198	203	215	201	201	201	207	214	206	221	198	206	199
286	2966	2943	3015	3038	3092	3015	3000	2955	3002	3028	3026	3038	3042	2993	2999	191	203	192	173	172	150	166	212	196	215	189	184	163	169	189
287	3133	3063	3130	3136	3166	3116	3112	3086	3121	3120	3135	3140	3143	3100	3117	186	200	194	185	191	172	182	209	200	213	197	200	181	185	195
288	3300	3184	3246	3234	3239	3218	3224	3217	3240	3213	3245	3241	3243	3208	3236	182	198	195	196	209	194	197	205	204	211	204	216	199	201	202
289	2959	2963	3038	3025	3046	3058	3037	2987	2992	3041	3056	3073	3014	3025	3006	213	228	227	210	201	190	220	231	238	244	215	204	186	216	230
290	3126	3083	3154	3124	3120	3160	3149	3118	3111	3133	3166	3174	3114	3133	3124	208	226	229	221	219	212	235	227	242	243	223	221	204	232	237
291	3293	3204	3270	3222	3193	3262	3261	3249	3231	3225	3276	3275	3215	3241	3243	204	223	231	232	237	234	250	224	246	241	231	237	222	248	244
292	2948	2924	3002	3000	3037	3010	2988	2946	2962	3011	3019	3031	3000	2977	2974	214	227	225	203	195	183	215	235	234	242	214	200	188	211	234
293	3115	3045	3118	3098	3111	3112	3100	3077	3081	3103	3128	3132	3101	3085	3093	209	225	226	214	213	205	231	231	238	240	222	216	206	227	240
294	3281	3165	3233	3197	3185	3214	3212	3209	3200	3195	3238	3234	3201	3193	3211	204	222	228	225	232	227	246	228	242	238	229	233	224	243	247
295	2936	2885	2966	2975	3029	2962	2939	2906	2931	2981	2981	2989	2986	2929	2942	214	226	222	196	189	176	211	239	231	239	213	195	189	207	237
296	3103	3006	3081	3073	3102	3064	3051	3037	3050	3073	3091	3091	3087	3037	3061	210	223	224	208	208	198	226	235	235	238	220	212	207	222	243
297	3270	3127	3197	3171	3176	3166	3163	3168	3170	3165	3201	3192	3188	3145	3179	205	221	225	219	226	220	241	232	239	236	228	228	225	238	250
298	3029	3058	3095	3114	3152	3131	3115	3061	3102	3121	3099	3140	3107	3110	3091	180	194	181	165	180	160	136	209	176	201	177	190	168	148	143
299	3196	3178	3211	3212	3226	3233	3226	3192	3221	3213	3209	3242	3208	3218	3210	175	191	182	176	198	182	151	205	180	200	185	206	186	164	149
300	3363	3299	3326	3310	3300	3335	3338	3323	3341	3305	3318	3343	3308	3326	3328	171	189	184	187	217	204	166	202	185	198	193	222	204	180	156
301	3018	3019	3059	3088	3144	3083	3066	3020	3072	3090	3061	3099	3093	3062	3059	181	192	178	158	174	153	131	212	173	199	176	185	169	143	146
302	3185	3140	3174	3187	3218	3185	3177	3151	3191	3183	3171	3200	3194	3170	3178	176	190	180	169	193	175	146	209	177	197	184	202	187	159	153
303	3351	3260	3290	3285	3291	3287	3289	3282	3310	3275	3281	3301	3295	3278	3296	171	187	181	180	211	197	161	205	181	195	192	218	205	175	159
304	3006	2980	3022	3063	3135	3035	3017	2979	3041	3060	3024	3057	3080	3014	3028	181	191	175	151	169	146	126	216	169	196	175	181	170	138	149
305	3173	3101	3138	3161	3209	3137	3128	3110	3161	3152	3133	3158	3180	3122	3146	177	189	177	163	187	168	141	213	173	195	182	197	188	154	156
306	3340	3222	3253	3260	3283	3239	3240	3242	3280	3245	3243	3260	3281	3230	3265	172	186	178	174	205	190	157	209	178	193	190	214	206	170	162
307	2999	3000	3046	3050	3089	3079	3054	3011	3031	3073	3054	3091	3051	3047	3035	203	217	211	188	197	186	180	235	211	226	201	201	193	185	191
308	3166	3121	3161	3149	3163	3181	3166	3142	3151	3165	3164	3193	3152	3155	3153	199	214	212	199	215	208	195	232	215	224	209	218	211	201	198
309	3333	3242	3277	3247	3237	3282	3277	3274	3270	3257	3274	3294	3253	3263	3272	194	212	214	210	234	230	210	228	220	222	216	234	229	217	204

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
310	2988	2962	3010	3025	3080	3031	3005	2971	3001	3043	3017	3049	3038	2999	3003	204	215	208	181	192	179	175	239	208	223	200	197	195	181	194
311	3155	3082	3125	3123	3154	3133	3117	3102	3120	3135	3127	3151	3138	3107	3121	199	213	209	192	210	201	190	235	212	221	207	213	213	196	201
312	3322	3203	3241	3222	3228	3234	3228	3233	3240	3227	3236	3252	3239	3215	3240	195	210	211	203	228	223	205	232	216	220	215	230	231	212	207
313	2976	2923	2973	3000	3072	2983	2956	2930	2971	3013	2979	3008	3024	2951	2971	205	214	205	174	186	172	170	243	204	221	198	193	196	176	197
314	3143	3044	3089	3098	3146	3085	3068	3061	3090	3105	3089	3109	3125	3059	3090	200	211	207	185	204	194	186	239	208	219	206	209	214	192	204
315	3310	3164	3204	3196	3219	3186	3179	3192	3209	3197	3199	3210	3225	3166	3208	195	209	208	197	222	216	201	236	213	217	214	226	232	207	211
316	2970	2943	2997	2987	3026	3027	2993	2962	2961	3025	3010	3042	2996	2984	2978	227	239	240	211	214	212	224	262	246	250	224	213	219	223	239
317	3136	3064	3112	3086	3100	3128	3105	3093	3080	3117	3120	3143	3096	3092	3097	222	237	242	222	233	234	239	258	250	248	232	230	237	239	246
318	3303	3184	3228	3184	3173	3230	3216	3224	3199	3209	3229	3245	3197	3199	3215	217	234	244	233	251	256	254	255	255	246	240	246	255	254	252
319	2958	2904	2960	2962	3017	2979	2944	2921	2930	2995	2972	3000	2982	2936	2946	227	238	238	204	209	205	219	265	243	248	223	209	220	218	242
320	3125	3025	3076	3060	3091	3080	3056	3052	3050	3087	3082	3102	3083	3044	3065	223	235	239	215	227	227	235	262	247	246	231	225	238	234	249
321	3292	3146	3192	3159	3165	3182	3167	3184	3169	3179	3192	3203	3183	3151	3183	218	233	241	226	245	249	250	258	251	244	239	242	256	250	256
322	2947	2866	2924	2937	3008	2931	2895	2881	2900	2965	2935	2958	2968	2888	2915	228	237	235	197	203	198	215	269	239	245	222	205	221	213	245
323	3113	2986	3040	3035	3082	3032	3007	3012	3019	3057	3045	3060	3069	2995	3033	223	234	236	208	221	220	230	266	243	243	230	221	239	229	252
324	3280	3107	3155	3133	3156	3134	3118	3143	3138	3149	3154	3161	3170	3103	3152	218	232	238	220	239	242	245	262	248	241	238	237	257	245	259
325	2718	2817	2844	2855	2846	2859	2864	2796	2849	2837	2848	2840	2813	2873	2803	183	182	173	157	129	138	158	162	166	186	142	144	130	158	150
326	2884	2938	2959	2953	2919	2961	2976	2928	2968	2929	2958	2941	2913	2981	2921	178	179	175	169	147	160	173	158	170	184	150	161	148	174	157
327	3051	3059	3075	3051	2993	3062	3088	3059	3087	3021	3067	3043	3014	3089	3040	173	177	176	180	166	183	188	155	174	182	158	177	166	190	164
328	2706	2778	2807	2830	2837	2811	2815	2756	2818	2807	2810	2798	2799	2825	2771	183	180	170	151	123	131	153	166	162	183	141	140	131	153	153
329	2873	2899	2923	2928	2911	2913	2927	2887	2937	2899	2920	2899	2900	2933	2890	178	178	172	162	142	153	168	162	166	182	149	157	149	169	160
330	3040	3020	3039	3026	2985	3014	3039	3018	3057	2991	3030	3001	3000	3041	3008	174	175	174	173	160	176	183	159	171	180	157	173	167	185	167
331	2695	2740	2771	2804	2828	2763	2766	2715	2788	2777	2773	2756	2785	2777	2739	184	179	168	144	118	124	148	170	159	181	140	136	133	148	157
332	2861	2861	2887	2903	2902	2865	2878	2846	2907	2869	2882	2858	2886	2885	2858	179	176	169	155	136	146	163	166	163	179	148	152	151	164	163
333	3028	2981	3002	3001	2976	2966	2990	2977	3026	2961	2992	2959	2987	2993	2976	174	174	171	166	154	169	179	163	167	177	156	169	169	180	170
334	2688	2760	2795	2792	2782	2807	2804	2747	2778	2789	2803	2791	2757	2810	2746	206	204	203	180	146	164	202	188	201	210	166	156	155	195	198
335	2855	2881	2910	2890	2856	2908	2915	2878	2897	2881	2913	2892	2858	2918	2865	201	202	205	192	164	186	217	185	205	208	174	173	173	211	205
336	3021	3001	3026	2988	2930	3010	3027	3009	3016	2973	3023	2993	2958	3026	2983	196	199	206	203	183	208	232	181	209	207	182	189	191	227	212
337	2676	2721	2758	2767	2774	2759	2755	2706	2747	2759	2766	2749	2743	2762	2715	206	203	200	174	140	157	197	192	197	208	165	152	157	191	202
338	2843	2842	2874	2865	2847	2860	2866	2838	2867	2851	2876	2850	2844	2870	2833	202	200	202	185	159	179	212	189	201	206	173	168	175	206	208
339	3010	2963	2989	2963	2921	2962	2978	2969	2986	2943	2985	2952	2945	2977	2952	197	198	203	196	177	201	228	185	206	204	180	185	193	222	215
340	2665	2682	2722	2741	2765	2711	2706	2666	2717	2729	2728	2707	2730	2714	2683	207	201	197	167	135	150	193	196	194	205	164	148	158	186	205

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
341	2832	2803	2838	2840	2839	2812	2817	2797	2836	2821	2838	2809	2830	2822	2801	202	199	199	178	153	172	208	193	198	203	171	164	176	202	211
342	2998	2924	2953	2938	2913	2914	2929	2928	2956	2913	2948	2910	2931	2929	2920	197	196	201	189	171	194	223	189	202	202	179	180	194	217	218
343	2658	2702	2746	2729	2719	2754	2743	2698	2707	2741	2759	2741	2701	2747	2690	229	227	233	203	163	190	246	215	236	235	190	168	181	233	247
344	2825	2823	2861	2827	2793	2856	2854	2829	2826	2833	2869	2843	2802	2855	2808	224	225	234	214	181	212	261	211	240	233	198	184	199	249	253
345	2992	2944	2977	2925	2867	2958	2966	2960	2946	2926	2978	2944	2903	2962	2927	220	222	236	226	200	234	276	208	244	231	205	201	217	264	260
346	2646	2664	2709	2704	2710	2706	2694	2657	2677	2711	2721	2700	2688	2699	2658	230	226	230	197	158	183	241	219	232	232	188	164	182	228	250
347	2813	2785	2825	2802	2784	2808	2805	2788	2796	2803	2831	2801	2788	2806	2777	225	223	232	208	176	205	257	215	236	230	196	180	200	244	256
348	2980	2905	2940	2900	2858	2910	2917	2919	2915	2895	2941	2903	2889	2914	2895	220	221	233	219	194	227	272	212	241	228	204	197	218	260	263
349	2635	2625	2673	2678	2702	2658	2645	2616	2646	2681	2684	2658	2674	2651	2626	230	224	227	190	152	176	237	223	229	230	187	159	184	223	253
350	2802	2746	2788	2777	2775	2760	2756	2748	2766	2773	2794	2759	2775	2758	2745	225	222	229	201	170	198	252	219	233	228	195	176	202	239	260
351	2969	2867	2904	2875	2849	2862	2868	2879	2885	2865	2903	2861	2875	2866	2863	221	219	230	212	188	220	267	216	237	226	203	192	220	255	266
352	2728	2797	2802	2817	2826	2827	2820	2771	2817	2821	2802	2809	2795	2832	2775	196	192	186	158	143	160	162	193	175	192	152	154	162	165	159
353	2895	2918	2918	2915	2899	2929	2932	2903	2937	2913	2911	2911	2895	2939	2894	191	190	188	169	161	182	177	189	179	190	160	170	180	180	166
354	3062	3039	3033	3013	2973	3031	3044	3034	3056	3005	3021	3012	2996	3047	3012	187	187	189	181	179	204	192	186	183	188	168	186	198	196	172
355	2716	2759	2766	2792	2817	2779	2771	2731	2787	2791	2764	2767	2781	2784	2743	197	191	183	152	137	153	157	197	171	189	151	149	164	160	162
356	2883	2880	2881	2890	2891	2881	2883	2862	2906	2883	2874	2869	2882	2891	2862	192	189	185	163	155	175	172	193	175	187	158	166	182	176	169
357	3050	3000	2997	2988	2964	2983	2995	2993	3025	2975	2983	2970	2982	2999	2980	187	186	186	174	173	197	187	190	179	185	166	182	200	191	175
358	2705	2720	2729	2766	2808	2731	2722	2690	2756	2761	2726	2726	2767	2736	2712	197	190	181	145	131	146	152	201	168	187	149	145	165	155	165
359	2872	2841	2845	2865	2882	2833	2834	2821	2876	2853	2836	2827	2868	2843	2830	192	187	182	156	149	168	167	197	172	185	157	161	183	171	172
360	3039	2962	2961	2963	2956	2935	2946	2952	2995	2945	2946	2928	2969	2951	2949	188	185	184	167	168	190	183	194	176	183	165	178	201	187	179
361	2698	2740	2753	2754	2762	2775	2759	2722	2747	2773	2757	2760	2739	2768	2719	219	215	216	181	160	186	206	219	210	216	176	165	188	202	207
362	2865	2861	2869	2852	2836	2877	2871	2853	2866	2865	2867	2861	2840	2876	2837	215	213	217	192	178	208	221	216	214	214	183	182	206	218	214
363	3032	2982	2984	2950	2910	2978	2983	2984	2985	2958	2976	2963	2940	2984	2956	210	210	219	204	196	230	236	212	218	212	191	198	224	234	220
364	2687	2701	2717	2729	2754	2727	2710	2681	2716	2743	2720	2718	2725	2720	2687	220	214	213	174	154	179	201	223	206	214	174	161	189	197	210
365	2853	2822	2832	2827	2827	2829	2822	2813	2835	2835	2829	2820	2826	2828	2805	215	211	215	186	172	201	216	220	210	212	182	177	207	213	217
366	3020	2943	2948	2925	2901	2930	2934	2944	2955	2927	2939	2921	2927	2936	2924	210	209	216	197	190	223	232	216	214	210	190	194	225	229	224
367	2675	2663	2680	2703	2745	2679	2661	2641	2686	2713	2682	2676	2712	2672	2655	220	212	210	168	148	172	197	227	203	211	173	157	191	192	213
368	2842	2784	2796	2802	2819	2781	2773	2772	2805	2805	2792	2778	2812	2780	2774	216	210	212	179	167	194	212	224	207	209	181	173	209	208	220
369	3009	2904	2911	2900	2892	2882	2885	2903	2924	2897	2901	2879	2913	2888	2892	211	207	214	190	185	216	227	220	211	207	189	190	227	224	227
370	2668	2683	2704	2691	2699	2722	2698	2673	2676	2726	2713	2711	2683	2705	2662	243	238	246	204	177	212	250	246	245	241	199	177	214	239	255
371	2835	2804	2819	2789	2773	2824	2810	2804	2795	2818	2822	2812	2784	2813	2781	238	235	247	215	195	234	265	242	249	239	207	194	232	255	262

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
372	3002	2924	2935	2887	2846	2926	2922	2935	2914	2910	2932	2914	2885	2921	2899	233	233	249	226	213	256	280	239	253	237	215	210	250	271	269
373	2657	2644	2668	2666	2690	2674	2649	2632	2645	2696	2675	2669	2670	2657	2630	243	237	243	197	171	205	245	250	241	238	198	173	215	235	258
374	2824	2765	2783	2764	2764	2776	2761	2763	2765	2788	2785	2770	2770	2765	2749	238	234	245	209	189	227	261	246	245	236	206	189	233	250	265
375	2990	2886	2899	2862	2838	2878	2873	2894	2884	2880	2894	2872	2871	2873	2867	234	232	246	220	208	249	276	243	249	234	214	206	251	266	272
376	2645	2605	2631	2640	2682	2626	2600	2591	2615	2666	2638	2627	2656	2609	2599	244	235	240	191	165	198	241	254	238	236	197	169	216	230	262
377	2812	2726	2747	2739	2755	2728	2712	2723	2734	2758	2747	2729	2757	2717	2717	239	233	242	202	184	220	256	250	242	234	205	185	234	246	268
378	2979	2847	2862	2837	2829	2830	2824	2854	2853	2850	2857	2830	2857	2825	2836	234	230	243	213	202	242	271	247	246	232	212	201	252	262	275
379	2904	2980	3031	3045	3043	3046	3050	2972	3028	3020	3037	3042	3007	3049	2992	173	181	168	154	139	134	149	169	166	192	149	156	131	150	144
380	3071	3101	3147	3144	3116	3148	3162	3103	3148	3113	3146	3143	3108	3157	3111	168	178	170	165	157	156	164	165	171	191	157	172	149	165	151
381	3238	3222	3263	3242	3190	3249	3273	3235	3267	3205	3256	3244	3208	3265	3229	164	176	171	176	176	178	179	162	175	189	164	188	167	181	158
382	2893	2941	2995	3020	3034	2998	3001	2932	2998	2990	2999	3000	2993	3001	2961	174	179	165	147	133	127	144	172	163	190	148	151	132	145	148
383	3059	3062	3111	3118	3108	3100	3113	3063	3117	3082	3109	3101	3094	3109	3079	169	177	167	159	152	149	159	169	167	188	155	168	150	161	154
384	3226	3183	3226	3217	3181	3201	3224	3194	3236	3175	3218	3203	3195	3217	3198	164	174	169	170	170	171	174	165	171	186	163	184	168	177	161
385	2881	2903	2959	2995	3025	2950	2952	2891	2967	2960	2962	2958	2980	2953	2929	174	178	163	141	128	120	139	176	159	187	146	147	134	140	151
386	3048	3023	3074	3093	3099	3052	3064	3022	3087	3052	3071	3059	3080	3061	3047	169	175	164	152	146	142	154	173	164	186	154	163	152	156	157
387	3215	3144	3190	3191	3173	3153	3175	3153	3206	3144	3181	3161	3181	3169	3166	165	173	166	163	164	164	170	169	168	184	162	180	170	172	164
388	2874	2923	2982	2982	2979	2994	2989	2923	2958	2973	2992	2992	2951	2986	2936	196	203	198	177	156	160	193	195	201	217	172	167	157	187	193
389	3041	3043	3098	3081	3053	3095	3101	3054	3077	3065	3102	3094	3052	3094	3054	192	201	200	188	174	182	208	192	206	215	180	184	175	203	199
390	3208	3164	3214	3179	3127	3197	3213	3185	3196	3157	3212	3195	3153	3202	3173	187	198	201	199	193	204	223	188	210	213	188	200	193	219	206
391	2863	2884	2946	2957	2971	2946	2940	2882	2927	2943	2955	2951	2938	2938	2904	197	202	195	170	150	153	188	199	198	214	171	163	158	182	196
392	3030	3005	3062	3055	3044	3047	3052	3013	3046	3035	3064	3052	3038	3046	3023	192	199	197	181	169	175	203	195	202	212	179	180	176	198	202
393	3196	3126	3177	3154	3118	3149	3164	3145	3166	3127	3174	3153	3139	3154	3141	187	197	198	193	187	197	219	192	206	211	187	196	194	214	209
394	2851	2845	2910	2932	2962	2898	2891	2842	2897	2913	2917	2909	2924	2890	2872	197	201	192	164	145	146	184	203	194	212	170	159	159	178	199
395	3018	2966	3025	3030	3036	2999	3003	2973	3016	3005	3027	3010	3025	2998	2991	193	198	194	175	163	168	199	199	199	210	178	175	177	193	206
396	3185	3087	3141	3128	3109	3101	3115	3104	3135	3097	3136	3112	3125	3105	3109	188	196	196	186	181	190	214	196	203	208	186	192	195	209	212
397	2844	2865	2933	2919	2916	2941	2928	2874	2887	2925	2948	2943	2896	2923	2879	220	226	228	200	173	186	237	222	236	241	196	179	182	224	241
398	3011	2986	3049	3017	2990	3043	3040	3005	3006	3017	3058	3045	2996	3031	2998	215	224	229	211	191	208	252	218	241	239	204	196	200	240	247
399	3178	3107	3164	3116	3063	3145	3152	3136	3125	3109	3167	3146	3097	3138	3116	210	221	231	222	210	230	267	215	245	237	212	212	218	256	254
400	2833	2827	2897	2894	2907	2893	2879	2833	2856	2895	2910	2901	2882	2875	2848	220	225	225	193	168	179	232	225	233	239	195	175	183	220	244
401	3000	2947	3013	2992	2981	2995	2991	2964	2976	2987	3020	3003	2983	2983	2966	215	222	227	204	186	201	248	222	237	237	203	191	201	236	251
402	3167	3068	3128	3090	3055	3097	3103	3095	3095	3079	3130	3104	3083	3090	3085	211	220	228	216	204	223	263	218	241	235	211	208	219	251	257

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
403	2821	2788	2861	2869	2899	2845	2830	2792	2826	2865	2873	2860	2868	2827	2816	221	223	222	186	162	172	228	229	229	236	194	171	185	215	247
404	2988	2909	2976	2967	2972	2947	2942	2923	2945	2957	2982	2961	2969	2934	2934	216	221	224	198	180	194	243	226	234	234	201	187	203	231	254
405	3155	3030	3092	3065	3046	3049	3054	3055	3064	3049	3092	3063	3070	3042	3053	211	218	225	209	198	216	258	222	238	232	209	203	221	247	260
406	2914	2960	2990	3007	3022	3014	3006	2947	2997	3005	2990	3011	2989	3008	2965	187	192	181	155	153	156	153	199	175	198	158	165	163	156	153
407	3081	3081	3105	3106	3096	3116	3117	3078	3116	3097	3100	3112	3090	3116	3083	182	189	183	166	171	178	168	196	179	196	166	181	181	172	160
408	3248	3202	3221	3204	3170	3218	3229	3209	3235	3189	3210	3214	3191	3223	3202	177	187	184	177	189	200	183	192	183	194	174	198	199	188	166
409	2903	2922	2953	2982	3014	2966	2957	2906	2967	2975	2953	2969	2976	2960	2933	187	190	178	148	147	149	148	203	172	196	157	160	165	152	156
410	3070	3042	3069	3080	3088	3068	3068	3038	3086	3067	3062	3071	3076	3067	3051	182	188	180	159	165	171	163	200	176	194	165	177	183	167	163
411	3237	3163	3185	3179	3161	3170	3180	3169	3205	3159	3172	3172	3177	3175	3170	178	185	181	171	183	193	178	196	180	192	173	193	201	183	170
412	2891	2883	2917	2957	3005	2918	2908	2866	2936	2945	2915	2927	2962	2912	2901	188	189	176	141	141	142	143	207	168	193	156	156	166	147	159
413	3058	3004	3033	3055	3079	3020	3019	2997	3055	3037	3025	3029	3063	3019	3020	183	186	177	153	159	164	158	204	172	191	164	172	184	163	166
414	3225	3125	3148	3153	3153	3122	3131	3128	3175	3129	3135	3130	3163	3127	3138	178	184	179	164	178	186	174	200	176	189	171	189	202	178	173
415	2885	2903	2941	2944	2959	2962	2945	2898	2926	2957	2946	2962	2933	2945	2908	210	214	211	178	170	181	197	226	210	223	182	177	189	194	201
416	3051	3024	3056	3043	3033	3064	3056	3029	3045	3049	3056	3063	3034	3052	3027	205	212	212	189	188	203	212	222	214	221	190	193	207	210	208
417	3218	3145	3172	3141	3107	3165	3168	3160	3165	3141	3165	3165	3135	3160	3145	200	209	214	200	206	226	227	219	218	219	198	209	225	225	215
418	2873	2864	2904	2919	2950	2914	2896	2857	2896	2927	2908	2920	2920	2896	2876	210	213	208	171	164	174	192	230	207	220	181	172	190	189	204
419	3040	2985	3020	3017	3024	3016	3007	2988	3015	3019	3018	3021	3020	3004	2995	206	210	210	182	182	196	207	226	211	218	189	189	208	205	211
420	3207	3106	3136	3116	3098	3117	3119	3119	3134	3111	3128	3123	3121	3112	3113	201	208	211	193	200	219	223	223	215	216	196	205	226	221	218
421	2862	2826	2868	2894	2942	2866	2847	2816	2865	2897	2871	2878	2906	2848	2845	211	211	205	164	158	167	188	234	203	218	179	168	192	184	208
422	3028	2946	2984	2992	3016	2968	2958	2948	2985	2989	2980	2980	3007	2956	2963	206	209	207	176	177	189	203	230	207	216	187	184	210	200	214
423	3195	3067	3099	3090	3089	3069	3070	3079	3104	3081	3090	3081	3107	3064	3082	201	206	209	187	195	212	218	227	211	214	195	201	228	216	221
424	2855	2846	2892	2881	2896	2909	2884	2848	2855	2909	2902	2913	2878	2881	2852	233	237	241	201	187	207	241	252	245	247	206	188	215	231	249
425	3022	2966	3007	2979	2970	3011	2996	2980	2975	3001	3011	3014	2978	2989	2970	228	235	242	212	205	229	256	249	249	245	213	205	233	247	256
426	3188	3087	3123	3078	3043	3113	3107	3111	3094	3094	3121	3115	3079	3097	3089	224	232	244	223	223	251	271	245	253	243	221	221	251	263	263
427	2843	2807	2855	2856	2887	2861	2835	2808	2825	2879	2864	2871	2864	2833	2820	234	236	238	194	181	200	236	256	242	245	204	184	216	226	253
428	3010	2928	2971	2954	2961	2963	2947	2939	2944	2971	2974	2972	2965	2941	2938	229	233	240	205	199	222	252	253	246	243	212	200	234	242	259
429	3177	3049	3086	3052	3035	3065	3058	3070	3064	3063	3083	3074	3065	3049	3057	224	231	241	216	218	244	267	249	250	241	220	217	252	258	266
430	2832	2768	2819	2831	2878	2813	2786	2767	2795	2849	2826	2829	2850	2785	2788	234	234	235	187	175	193	232	260	238	242	203	180	217	222	256
431	2999	2889	2935	2929	2952	2915	2898	2898	2914	2941	2936	2930	2951	2893	2907	229	232	237	198	194	215	247	257	242	240	211	196	235	237	262
432	3165	3010	3050	3027	3026	3017	3009	3029	3033	3033	3046	3032	3052	3001	3025	225	229	238	210	212	237	262	253	246	238	219	213	253	253	269
433	3091	3143	3219	3236	3239	3233	3235	3148	3208	3204	3226	3243	3202	3225	3182	164	180	163	151	149	130	140	175	167	199	155	167	132	141	139

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
434	3257	3264	3335	3334	3313	3335	3347	3279	3327	3296	3335	3345	3302	3333	3300	159	177	165	162	167	152	155	172	171	197	163	183	150	157	145
435	3424	3384	3450	3432	3387	3436	3459	3410	3446	3388	3445	3446	3403	3441	3419	154	175	166	173	186	174	170	168	175	195	171	200	168	173	152
436	3079	3104	3183	3211	3231	3185	3186	3107	3178	3174	3188	3202	3188	3177	3150	164	178	160	144	143	123	135	179	163	196	154	162	133	137	142
437	3246	3225	3298	3309	3304	3287	3298	3238	3297	3266	3298	3303	3289	3285	3269	159	176	162	155	162	145	150	176	168	195	162	179	151	152	148
438	3413	3346	3414	3407	3378	3388	3410	3370	3416	3358	3407	3404	3389	3393	3387	155	173	164	166	180	167	165	172	172	193	170	195	169	168	155
439	3068	3066	3147	3185	3222	3137	3137	3067	3147	3144	3150	3160	3174	3129	3118	165	177	158	137	138	116	130	183	160	194	153	158	135	132	145
440	3234	3186	3262	3284	3296	3239	3249	3198	3266	3236	3260	3261	3275	3237	3237	160	174	159	148	156	138	145	179	164	192	161	175	153	148	152
441	3401	3307	3378	3382	3370	3340	3361	3329	3386	3328	3370	3363	3376	3345	3355	155	172	161	160	174	160	161	176	168	190	168	191	171	164	158
442	3061	3086	3170	3173	3176	3181	3175	3099	3137	3156	3181	3194	3146	3162	3125	187	202	193	174	166	155	184	202	202	223	179	179	158	179	187
443	3228	3206	3286	3271	3250	3282	3286	3230	3256	3249	3291	3296	3246	3270	3244	182	200	195	185	184	177	199	198	206	221	187	195	176	195	193
444	3394	3327	3401	3369	3324	3384	3398	3361	3376	3341	3400	3397	3347	3378	3362	177	197	196	196	203	200	214	195	210	220	195	211	194	210	200
445	3049	3047	3134	3147	3167	3133	3126	3058	3107	3126	3144	3152	3132	3114	3094	187	201	190	167	160	148	179	206	198	221	178	174	159	174	190
446	3216	3168	3249	3246	3241	3234	3237	3189	3226	3218	3253	3254	3233	3222	3212	183	199	192	178	179	170	194	202	203	219	185	191	177	190	197
447	3383	3288	3365	3344	3315	3336	3349	3320	3345	3311	3363	3355	3333	3330	3331	178	196	193	189	197	193	210	199	207	217	193	207	195	206	203
448	3038	3008	3097	3122	3159	3085	3077	3017	3076	3096	3106	3111	3118	3066	3062	188	200	187	160	155	141	175	209	195	218	176	170	160	169	193
449	3205	3129	3213	3220	3232	3186	3188	3148	3196	3188	3216	3212	3219	3174	3180	183	197	189	171	173	163	190	206	199	216	184	186	178	185	200
450	3371	3250	3329	3319	3306	3288	3300	3280	3315	3280	3325	3313	3320	3282	3299	178	195	191	183	191	186	205	202	203	215	192	203	196	201	206
451	3031	3028	3121	3110	3113	3128	3114	3049	3066	3109	3137	3145	3090	3099	3069	210	225	223	197	183	181	228	228	237	248	203	190	183	216	235
452	3198	3149	3237	3208	3186	3230	3225	3180	3186	3201	3246	3246	3191	3207	3187	205	223	224	208	201	203	243	225	241	246	210	207	201	232	242
453	3365	3270	3352	3306	3260	3332	3337	3312	3305	3293	3356	3348	3291	3314	3306	201	220	226	219	220	225	258	221	245	244	218	223	219	248	248
454	3019	2990	3085	3084	3104	3080	3065	3009	3036	3079	3099	3103	3076	3051	3037	211	224	220	190	178	174	223	232	233	245	201	186	185	211	238
455	3186	3110	3200	3183	3178	3182	3176	3140	3155	3171	3209	3205	3177	3159	3156	206	221	222	201	196	196	239	229	238	243	209	203	203	227	245
456	3353	3231	3316	3281	3252	3284	3288	3271	3275	3263	3318	3306	3278	3266	3274	201	219	223	212	214	218	254	225	242	241	217	219	221	243	251
457	3008	2951	3048	3059	3095	3032	3016	2968	3006	3049	3062	3061	3063	3003	3005	211	222	217	183	172	167	219	236	230	243	200	182	186	207	241
458	3175	3072	3164	3157	3169	3134	3127	3099	3125	3141	3171	3163	3163	3111	3124	206	220	219	194	190	189	234	232	234	241	208	198	204	223	248
459	3342	3192	3280	3256	3243	3236	3239	3230	3244	3233	3281	3264	3264	3218	3242	202	217	220	205	208	211	249	229	238	239	216	215	222	238	255
460	3101	3123	3178	3198	3219	3201	3191	3123	3177	3188	3179	3213	3184	3184	3154	177	191	176	152	163	151	144	206	176	205	165	176	165	148	147
461	3268	3244	3293	3296	3293	3303	3303	3254	3296	3281	3289	3314	3284	3292	3273	172	188	178	163	181	173	159	202	180	203	173	192	183	164	154
462	3435	3365	3409	3394	3367	3405	3415	3385	3415	3373	3399	3415	3385	3399	3391	168	186	179	174	199	195	174	199	184	201	180	209	201	180	161
463	3089	3085	3141	3173	3211	3153	3142	3082	3146	3158	3142	3171	3170	3136	3122	178	189	173	145	157	144	139	210	172	202	163	172	166	143	150
464	3256	3205	3257	3271	3284	3255	3254	3213	3265	3250	3251	3272	3271	3244	3241	173	187	175	156	175	166	154	206	176	200	171	188	184	159	157

Trial	Respon Wajan															Respon Ketel														
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
465	3423	3326	3372	3369	3358	3357	3366	3345	3385	3343	3361	3374	3371	3351	3359	168	184	176	167	193	188	169	203	181	198	179	204	202	175	164
466	3078	3046	3105	3147	3202	3105	3093	3042	3116	3128	3104	3129	3156	3088	3091	178	188	171	138	151	137	134	214	169	200	162	167	167	139	154
467	3245	3167	3220	3246	3276	3207	3205	3173	3235	3220	3214	3231	3257	3195	3209	173	185	172	149	169	159	149	210	173	198	170	184	185	154	160
468	3412	3287	3336	3344	3349	3309	3317	3304	3354	3312	3323	3332	3358	3303	3328	169	183	174	160	188	181	165	207	177	196	178	200	203	170	167
469	3071	3066	3128	3135	3156	3149	3130	3074	3106	3141	3135	3163	3128	3121	3098	200	213	206	175	180	177	188	232	211	229	188	188	190	185	195
470	3238	3187	3244	3233	3230	3251	3242	3205	3225	3233	3244	3265	3229	3228	3216	196	211	207	186	198	199	203	229	215	227	196	204	208	201	202
471	3405	3307	3360	3331	3303	3352	3354	3336	3344	3325	3354	3366	3329	3336	3335	191	208	209	197	216	221	218	225	219	225	204	221	226	217	209
472	3060	3027	3092	3109	3147	3101	3081	3033	3075	3111	3097	3122	3114	3073	3066	201	212	203	168	174	170	183	236	207	227	187	183	191	181	199
473	3226	3148	3208	3208	3221	3203	3193	3164	3195	3203	3207	3223	3215	3180	3184	196	209	205	179	192	192	198	233	211	225	195	200	209	197	205
474	3393	3269	3323	3306	3295	3304	3305	3295	3314	3295	3317	3325	3316	3288	3303	191	207	206	190	210	214	214	229	216	223	203	216	227	212	212
475	3048	2989	3056	3084	3139	3053	3032	2992	3045	3081	3060	3080	3101	3024	3034	201	211	200	161	168	163	179	240	204	224	186	179	193	176	202
476	3215	3109	3171	3182	3212	3155	3144	3123	3164	3173	3169	3181	3201	3132	3153	197	208	202	172	187	185	194	237	208	222	194	195	211	192	208
477	3382	3230	3287	3281	3286	3256	3256	3255	3284	3265	3279	3283	3302	3240	3271	192	206	204	183	205	207	209	233	212	220	202	212	229	208	215
478	3041	3009	3079	3072	3093	3096	3069	3024	3035	3093	3090	3114	3072	3057	3041	224	236	236	197	197	203	232	259	246	254	212	200	216	223	244
479	3208	3129	3195	3170	3166	3198	3181	3155	3154	3185	3200	3216	3173	3165	3160	219	234	237	209	215	225	247	255	250	252	220	216	234	239	250
480	3375	3250	3311	3268	3240	3300	3293	3287	3274	3277	3310	3317	3273	3273	3278	214	231	239	220	233	247	262	252	254	250	228	232	252	255	257
481	3030	2970	3043	3046	3084	3048	3020	2984	3005	3063	3053	3073	3058	3009	3009	224	235	233	191	191	196	227	263	242	251	211	195	217	218	247
482	3197	3091	3159	3145	3158	3150	3132	3115	3124	3155	3162	3174	3159	3117	3128	219	232	235	202	209	218	243	259	246	249	219	212	235	234	253
483	3363	3211	3274	3243	3231	3252	3244	3246	3243	3247	3272	3275	3260	3225	3246	215	230	236	213	228	240	258	256	251	247	226	228	253	250	260
484	3018	2931	3007	3021	3075	3000	2971	2943	2974	3033	3015	3031	3045	2961	2978	225	233	230	184	185	189	223	267	239	249	210	191	218	213	250
485	3185	3052	3122	3119	3149	3102	3083	3074	3094	3125	3125	3132	3145	3069	3096	220	231	232	195	204	211	238	263	243	247	217	207	236	229	257
486	3352	3173	3238	3218	3223	3204	3195	3205	3213	3217	3235	3234	3246	3177	3215	215	228	233	206	222	233	253	260	247	245	225	224	254	245	263

Lampiran 5. Hasil perhitungan MRSN

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
1	1	1	1	1	1	1	0.000000128	0.855	0.481	0.00131	0.819	0.358	0.839	0.761	479
2	1	1	1	2	1	1	0.000000118	0.788	0.444	0.00117	0.732	0.320	0.764	1.171	439
3	1	1	1	3	1	1	0.000000109	0.729	0.410	0.00107	0.669	0.293	0.703	1.531	353
4	1	1	2	1	1	1	0.000000131	0.877	0.493	0.00134	0.842	0.368	0.861	0.649	482
5	1	1	2	2	1	1	0.000000121	0.807	0.454	0.00119	0.749	0.327	0.782	1.071	450
6	1	1	2	3	1	1	0.000000112	0.746	0.420	0.00109	0.681	0.298	0.718	1.440	381
7	1	1	3	1	1	1	0.000000134	0.899	0.506	0.00139	0.869	0.380	0.886	0.528	485
8	1	1	3	2	1	1	0.000000124	0.827	0.465	0.00123	0.769	0.336	0.801	0.961	466
9	1	1	3	3	1	1	0.000000114	0.763	0.429	0.00111	0.698	0.305	0.735	1.340	406
10	1	2	1	1	1	1	0.000000133	0.891	0.501	0.00094	0.589	0.258	0.759	1.197	433
11	1	2	1	2	1	1	0.000000123	0.820	0.461	0.00086	0.537	0.235	0.696	1.572	347
12	1	2	1	3	1	1	0.000000113	0.757	0.426	0.00079	0.497	0.217	0.643	1.916	230
13	1	2	2	1	1	1	0.000000137	0.913	0.514	0.00097	0.605	0.265	0.779	1.087	448
14	1	2	2	2	1	1	0.000000126	0.840	0.472	0.00088	0.549	0.240	0.713	1.470	375
15	1	2	2	3	1	1	0.000000116	0.775	0.436	0.00081	0.507	0.222	0.658	1.819	269
16	1	2	3	1	1	1	0.000000140	0.937	0.527	0.00099	0.623	0.272	0.800	0.972	464
17	1	2	3	2	1	1	0.000000129	0.861	0.484	0.00090	0.563	0.246	0.730	1.365	396
18	1	2	3	3	1	1	0.000000119	0.793	0.446	0.00083	0.517	0.226	0.673	1.722	298
19	1	3	1	1	1	1	0.000000139	0.929	0.523	0.00072	0.453	0.198	0.720	1.424	384
20	1	3	1	2	1	1	0.000000128	0.853	0.480	0.00066	0.416	0.182	0.662	1.790	275
21	1	3	1	3	1	1	0.000000118	0.787	0.443	0.00062	0.389	0.170	0.613	2.126	159
22	1	3	2	1	1	1	0.000000142	0.953	0.536	0.00074	0.463	0.202	0.738	1.318	410
23	1	3	2	2	1	1	0.000000131	0.874	0.492	0.00068	0.425	0.186	0.678	1.689	308
24	1	3	2	3	1	1	0.000000120	0.806	0.453	0.00063	0.395	0.173	0.626	2.033	189
25	1	3	3	1	1	1	0.000000146	0.978	0.550	0.00076	0.474	0.207	0.757	1.207	431
26	1	3	3	2	1	1	0.000000134	0.896	0.504	0.00069	0.435	0.190	0.695	1.583	341
27	1	3	3	3	1	1	0.000000123	0.825	0.464	0.00064	0.403	0.176	0.640	1.936	225
28	2	1	1	1	1	1	0.000000131	0.873	0.491	0.00112	0.703	0.307	0.799	0.976	463
29	2	1	1	2	1	1	0.000000120	0.805	0.453	0.00101	0.635	0.278	0.730	1.364	398
30	2	1	1	3	1	1	0.000000111	0.744	0.418	0.00093	0.583	0.255	0.674	1.716	302
31	2	1	2	1	1	1	0.000000134	0.895	0.504	0.00115	0.723	0.316	0.820	0.862	471
32	2	1	2	2	1	1	0.000000123	0.824	0.464	0.00104	0.652	0.285	0.749	1.258	423
33	2	1	2	3	1	1	0.000000114	0.761	0.428	0.00095	0.596	0.261	0.689	1.619	328
34	2	1	3	1	1	1	0.000000137	0.918	0.517	0.00119	0.747	0.327	0.843	0.739	480
35	2	1	3	2	1	1	0.000000126	0.844	0.475	0.00107	0.669	0.293	0.767	1.149	442
36	2	1	3	3	1	1	0.000000116	0.779	0.438	0.00098	0.611	0.267	0.705	1.516	357
37	2	2	1	1	1	1	0.000000136	0.910	0.512	0.00082	0.517	0.226	0.738	1.319	409
38	2	2	1	2	1	1	0.000000125	0.837	0.471	0.00076	0.474	0.208	0.678	1.685	312
39	2	2	1	3	1	1	0.000000116	0.772	0.435	0.00070	0.442	0.193	0.628	2.022	195
40	2	2	2	1	1	1	0.000000140	0.934	0.525	0.00085	0.532	0.233	0.758	1.205	432
41	2	2	2	2	1	1	0.000000128	0.857	0.482	0.00077	0.486	0.212	0.695	1.581	343
42	2	2	2	3	1	1	0.000000118	0.791	0.445	0.00072	0.450	0.197	0.642	1.926	228
43	2	2	3	1	1	1	0.000000143	0.958	0.539	0.00087	0.546	0.239	0.778	1.092	447
44	2	2	3	2	1	1	0.000000131	0.879	0.495	0.00079	0.497	0.217	0.712	1.476	372
45	2	2	3	3	1	1	0.000000121	0.810	0.456	0.00073	0.459	0.201	0.656	1.829	265
46	2	3	1	1	1	1	0.000000142	0.949	0.534	0.00064	0.402	0.176	0.710	1.489	367
47	2	3	1	2	1	1	0.000000130	0.871	0.490	0.00059	0.373	0.163	0.653	1.849	254
48	2	3	1	3	1	1	0.000000120	0.803	0.452	0.00056	0.350	0.153	0.605	2.184	143
49	2	3	2	1	1	1	0.000000146	0.974	0.548	0.00066	0.412	0.180	0.728	1.377	395
50	2	3	2	2	1	1	0.000000134	0.893	0.503	0.00061	0.380	0.166	0.669	1.745	287
51	2	3	2	3	1	1	0.000000123	0.822	0.463	0.00057	0.356	0.156	0.618	2.089	172
52	2	3	3	1	1	1	0.000000150	1.000	0.563	0.00067	0.422	0.184	0.747	1.267	421
53	2	3	3	2	1	1	0.000000137	0.916	0.515	0.00062	0.390	0.170	0.686	1.638	321
54	2	3	3	3	1	1	0.000000126	0.843	0.474	0.00058	0.363	0.159	0.633	1.988	207
55	1	1	1	1	1	2	0.000000112	0.748	0.421	0.00132	0.830	0.363	0.784	1.057	456
56	1	1	1	2	1	2	0.000000104	0.693	0.390	0.00118	0.740	0.324	0.714	1.465	379

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
57	1	1	1	3	1	2	0.000000096	0.644	0.363	0.00108	0.674	0.295	0.657	1.822	267
58	1	1	2	1	1	2	0.000000114	0.766	0.431	0.00136	0.853	0.373	0.804	0.948	467
59	1	1	2	2	1	2	0.000000106	0.709	0.399	0.00121	0.760	0.332	0.731	1.361	399
60	1	1	2	3	1	2	0.000000098	0.658	0.370	0.00110	0.690	0.302	0.672	1.727	295
61	1	1	3	1	1	2	0.000000117	0.784	0.441	0.00140	0.881	0.385	0.826	0.830	473
62	1	1	3	2	1	2	0.000000108	0.725	0.408	0.00124	0.778	0.340	0.748	1.260	422
63	1	1	3	3	1	2	0.000000101	0.672	0.378	0.00113	0.705	0.308	0.687	1.632	323
64	1	2	1	1	1	2	0.000000116	0.777	0.437	0.00094	0.591	0.259	0.696	1.575	346
65	1	2	1	2	1	2	0.000000108	0.719	0.405	0.00086	0.538	0.235	0.640	1.939	224
66	1	2	1	3	1	2	0.000000100	0.667	0.376	0.00080	0.498	0.218	0.594	2.266	117
67	1	2	2	1	1	2	0.000000119	0.796	0.448	0.00097	0.607	0.265	0.713	1.469	376
68	1	2	2	2	1	2	0.000000110	0.735	0.414	0.00088	0.551	0.241	0.655	1.840	259
69	1	2	2	3	1	2	0.000000102	0.682	0.384	0.00081	0.508	0.222	0.606	2.176	145
70	1	2	3	1	1	2	0.000000122	0.815	0.458	0.00100	0.624	0.273	0.731	1.358	401
71	1	2	3	2	1	2	0.000000113	0.752	0.423	0.00090	0.564	0.246	0.670	1.741	289
72	1	2	3	3	1	2	0.000000104	0.697	0.392	0.00083	0.519	0.227	0.619	2.081	177
73	1	3	1	1	1	2	0.000000121	0.808	0.455	0.00072	0.450	0.197	0.652	1.860	250
74	1	3	1	2	1	2	0.000000112	0.746	0.420	0.00066	0.415	0.182	0.602	2.206	135
75	1	3	1	3	1	2	0.000000103	0.692	0.389	0.00062	0.388	0.170	0.559	2.525	57
76	1	3	2	1	1	2	0.000000124	0.827	0.466	0.00074	0.461	0.202	0.667	1.757	286
77	1	3	2	2	1	2	0.000000114	0.764	0.430	0.00068	0.424	0.185	0.615	2.110	164
78	1	3	2	3	1	2	0.000000106	0.707	0.398	0.00063	0.395	0.173	0.571	2.436	74
79	1	3	3	1	1	2	0.000000127	0.848	0.477	0.00075	0.472	0.206	0.683	1.654	317
80	1	3	3	2	1	2	0.000000117	0.782	0.440	0.00069	0.434	0.190	0.630	2.010	197
81	1	3	3	3	1	2	0.000000108	0.723	0.407	0.00064	0.402	0.176	0.583	2.344	94
82	2	1	1	1	1	2	0.000000114	0.763	0.429	0.00114	0.715	0.313	0.742	1.296	414
83	2	1	1	2	1	2	0.000000106	0.706	0.397	0.00103	0.643	0.281	0.679	1.683	313
84	2	1	1	3	1	2	0.000000098	0.656	0.369	0.00094	0.590	0.258	0.627	2.026	191
85	2	1	2	1	1	2	0.000000117	0.781	0.439	0.00117	0.736	0.322	0.761	1.185	434
86	2	1	2	2	1	2	0.000000108	0.722	0.406	0.00105	0.660	0.289	0.695	1.578	344
87	2	1	2	3	1	2	0.000000100	0.670	0.377	0.00096	0.604	0.264	0.641	1.930	226
88	2	1	3	1	1	2	0.000000120	0.800	0.450	0.00122	0.762	0.333	0.783	1.062	453
89	2	1	3	2	1	2	0.000000110	0.739	0.416	0.00109	0.680	0.297	0.713	1.468	377
90	2	1	3	3	1	2	0.000000102	0.685	0.386	0.00099	0.618	0.270	0.656	1.831	264
91	2	2	1	1	1	2	0.000000119	0.793	0.446	0.00083	0.520	0.227	0.673	1.718	300
92	2	2	1	2	1	2	0.000000110	0.733	0.413	0.00076	0.477	0.208	0.621	2.069	179
93	2	2	1	3	1	2	0.000000102	0.680	0.383	0.00071	0.443	0.194	0.576	2.392	83
94	2	2	2	1	1	2	0.000000121	0.812	0.457	0.00085	0.532	0.233	0.690	1.614	330
95	2	2	2	2	1	2	0.000000112	0.750	0.422	0.00078	0.488	0.213	0.635	1.971	211
96	2	2	2	3	1	2	0.000000104	0.695	0.391	0.00072	0.452	0.198	0.589	2.300	106
97	2	2	3	1	1	2	0.000000124	0.832	0.468	0.00088	0.549	0.240	0.708	1.500	361
98	2	2	3	2	1	2	0.000000115	0.767	0.432	0.00080	0.499	0.218	0.650	1.869	246
99	2	2	3	3	1	2	0.000000106	0.711	0.400	0.00074	0.461	0.202	0.602	2.206	134
100	2	3	1	1	1	2	0.000000123	0.825	0.464	0.00064	0.401	0.176	0.639	1.942	221
101	2	3	1	2	1	2	0.000000114	0.761	0.428	0.00059	0.372	0.163	0.591	2.283	112
102	2	3	1	3	1	2	0.000000105	0.705	0.397	0.00056	0.349	0.152	0.549	2.602	43
103	2	3	2	1	1	2	0.000000126	0.845	0.475	0.00066	0.411	0.180	0.655	1.837	260
104	2	3	2	2	1	2	0.000000117	0.779	0.438	0.00061	0.380	0.166	0.605	2.185	142
105	2	3	2	3	1	2	0.000000108	0.721	0.406	0.00057	0.356	0.156	0.561	2.508	60
106	2	3	3	1	1	2	0.000000129	0.866	0.487	0.00067	0.421	0.184	0.671	1.732	292
107	2	3	3	2	1	2	0.000000119	0.798	0.449	0.00062	0.389	0.170	0.619	2.084	173
108	2	3	3	3	1	2	0.000000110	0.738	0.415	0.00058	0.362	0.158	0.574	2.415	77
109	1	1	1	1	1	3	0.000000099	0.660	0.371	0.00136	0.853	0.373	0.744	1.283	418
110	1	1	1	2	1	3	0.000000092	0.614	0.346	0.00121	0.756	0.331	0.676	1.698	305
111	1	1	1	3	1	3	0.000000086	0.573	0.323	0.00110	0.688	0.301	0.623	2.053	182
112	1	1	2	1	1	3	0.000000101	0.674	0.379	0.00140	0.874	0.382	0.762	1.181	438
113	1	1	2	2	1	3	0.000000094	0.627	0.353	0.00124	0.775	0.339	0.692	1.601	337

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
114	1	1	2	3	1	3	0.000000087	0.585	0.329	0.00112	0.702	0.307	0.636	1.965	213
115	1	1	3	1	1	3	0.000000103	0.689	0.388	0.00145	0.907	0.397	0.784	1.055	457
116	1	1	3	2	1	3	0.000000096	0.641	0.360	0.00127	0.799	0.349	0.710	1.489	366
117	1	1	3	3	1	3	0.000000089	0.597	0.336	0.00115	0.720	0.315	0.651	1.865	248
118	1	2	1	1	1	3	0.000000102	0.684	0.385	0.00095	0.597	0.261	0.646	1.898	236
119	1	2	1	2	1	3	0.000000095	0.636	0.358	0.00087	0.544	0.238	0.596	2.249	121
120	1	2	1	3	1	3	0.000000089	0.593	0.334	0.00080	0.503	0.220	0.553	2.570	49
121	1	2	2	1	1	3	0.000000105	0.699	0.393	0.00098	0.612	0.268	0.661	1.798	271
122	1	2	2	2	1	3	0.000000097	0.650	0.365	0.00089	0.556	0.243	0.609	2.156	148
123	1	2	2	3	1	3	0.000000090	0.605	0.340	0.00082	0.513	0.224	0.565	2.482	65
124	1	2	3	1	1	3	0.000000107	0.715	0.402	0.00101	0.631	0.276	0.678	1.685	311
125	1	2	3	2	1	3	0.000000099	0.664	0.373	0.00091	0.569	0.249	0.622	2.060	181
126	1	2	3	3	1	3	0.000000092	0.618	0.348	0.00084	0.523	0.229	0.576	2.392	82
127	1	3	1	1	1	3	0.000000106	0.709	0.399	0.00072	0.452	0.198	0.597	2.242	123
128	1	3	1	2	1	3	0.000000098	0.659	0.371	0.00066	0.417	0.182	0.553	2.574	48
129	1	3	1	3	1	3	0.000000092	0.613	0.345	0.00062	0.389	0.170	0.515	2.879	12
130	1	3	2	1	1	3	0.000000108	0.725	0.408	0.00074	0.462	0.202	0.610	2.144	152
131	1	3	2	2	1	3	0.000000101	0.673	0.379	0.00068	0.425	0.186	0.564	2.484	64
132	1	3	2	3	1	3	0.000000094	0.626	0.352	0.00063	0.396	0.173	0.526	2.794	18
133	1	3	3	1	1	3	0.000000111	0.742	0.418	0.00076	0.473	0.207	0.625	2.044	186
134	1	3	3	2	1	3	0.000000103	0.688	0.387	0.00069	0.434	0.190	0.577	2.389	84
135	1	3	3	3	1	3	0.000000096	0.639	0.360	0.00064	0.404	0.177	0.536	2.705	26
136	2	1	1	1	1	3	0.000000101	0.672	0.378	0.00117	0.733	0.321	0.699	1.555	349
137	2	1	1	2	1	3	0.000000094	0.625	0.352	0.00105	0.657	0.287	0.639	1.944	219
138	2	1	1	3	1	3	0.000000087	0.583	0.328	0.00096	0.603	0.264	0.592	2.278	113
139	2	1	2	1	1	3	0.000000103	0.687	0.387	0.00121	0.756	0.331	0.717	1.444	380
140	2	1	2	2	1	3	0.000000095	0.639	0.359	0.00108	0.675	0.295	0.655	1.841	258
141	2	1	2	3	1	3	0.000000089	0.595	0.335	0.00098	0.615	0.269	0.604	2.192	139
142	2	1	3	1	1	3	0.000000105	0.703	0.395	0.00125	0.783	0.342	0.738	1.321	408
143	2	1	3	2	1	3	0.000000098	0.652	0.367	0.00111	0.696	0.304	0.671	1.730	294
144	2	1	3	3	1	3	0.000000091	0.608	0.342	0.00101	0.631	0.276	0.618	2.090	171
145	2	2	1	1	1	3	0.000000104	0.697	0.392	0.00084	0.525	0.229	0.622	2.065	180
146	2	2	1	2	1	3	0.000000097	0.648	0.364	0.00077	0.481	0.211	0.575	2.404	80
147	2	2	1	3	1	3	0.000000090	0.603	0.339	0.00071	0.447	0.196	0.535	2.716	25
148	2	2	2	1	1	3	0.000000107	0.713	0.401	0.00086	0.540	0.236	0.637	1.959	214
149	2	2	2	2	1	3	0.000000099	0.662	0.372	0.00079	0.493	0.216	0.588	2.308	104
150	2	2	2	3	1	3	0.000000092	0.616	0.346	0.00073	0.456	0.199	0.546	2.630	38
151	2	2	3	1	1	3	0.000000109	0.729	0.410	0.00088	0.554	0.242	0.652	1.855	252
152	2	2	3	2	1	3	0.000000101	0.676	0.380	0.00080	0.504	0.221	0.601	2.212	131
153	2	2	3	3	1	3	0.000000094	0.629	0.354	0.00074	0.467	0.204	0.558	2.535	53
154	2	3	1	1	1	3	0.000000108	0.723	0.407	0.00064	0.402	0.176	0.583	2.344	93
155	2	3	1	2	1	3	0.000000100	0.671	0.377	0.00060	0.374	0.163	0.541	2.669	32
156	2	3	1	3	1	3	0.000000093	0.624	0.351	0.00056	0.350	0.153	0.505	2.971	6
157	2	3	2	1	1	3	0.000000111	0.740	0.416	0.00066	0.413	0.180	0.597	2.243	122
158	2	3	2	2	1	3	0.000000103	0.686	0.386	0.00061	0.381	0.167	0.553	2.576	47
159	2	3	2	3	1	3	0.000000095	0.638	0.359	0.00057	0.357	0.156	0.515	2.883	10
160	2	3	3	1	1	3	0.000000113	0.757	0.426	0.00067	0.422	0.185	0.611	2.143	153
161	2	3	3	2	1	3	0.000000105	0.701	0.394	0.00062	0.390	0.170	0.565	2.480	66
162	2	3	3	3	1	3	0.000000097	0.651	0.366	0.00058	0.364	0.159	0.525	2.794	17
163	1	1	1	1	2	1	0.000000121	0.811	0.456	0.00137	0.858	0.375	0.832	0.800	476
164	1	1	1	2	2	1	0.000000112	0.749	0.421	0.00122	0.764	0.334	0.756	1.216	429
165	1	1	1	3	2	1	0.000000104	0.694	0.391	0.00111	0.695	0.304	0.695	1.582	342
166	1	1	2	1	2	1	0.000000124	0.831	0.467	0.00142	0.888	0.388	0.856	0.677	481
167	1	1	2	2	2	1	0.000000115	0.766	0.431	0.00125	0.785	0.343	0.775	1.109	445
168	1	1	2	3	2	1	0.000000106	0.710	0.399	0.00114	0.712	0.312	0.711	1.483	371
169	1	1	3	1	2	1	0.000000127	0.851	0.479	0.00147	0.921	0.403	0.882	0.548	484
170	1	1	3	2	2	1	0.000000117	0.784	0.441	0.00129	0.807	0.353	0.795	0.999	461

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
171	1	1	3	3	2	1	0.000000109	0.726	0.408	0.00116	0.728	0.318	0.727	1.387	393
172	1	2	1	1	2	1	0.000000126	0.844	0.475	0.00099	0.622	0.272	0.747	1.267	420
173	1	2	1	2	2	1	0.000000116	0.778	0.438	0.00090	0.563	0.246	0.684	1.648	320
174	1	2	1	3	2	1	0.000000108	0.720	0.405	0.00083	0.519	0.227	0.632	1.992	204
175	1	2	2	1	2	1	0.000000129	0.864	0.486	0.00102	0.640	0.280	0.766	1.155	440
176	1	2	2	2	2	1	0.000000119	0.797	0.448	0.00092	0.578	0.253	0.701	1.544	350
177	1	2	2	3	2	1	0.000000110	0.737	0.414	0.00085	0.530	0.232	0.646	1.896	238
178	1	2	3	1	2	1	0.000000132	0.886	0.499	0.00106	0.662	0.289	0.788	1.035	459
179	1	2	3	2	2	1	0.000000122	0.816	0.459	0.00095	0.592	0.259	0.718	1.439	382
180	1	2	3	3	2	1	0.000000113	0.753	0.424	0.00086	0.541	0.237	0.661	1.800	270
181	1	3	1	1	2	1	0.000000131	0.879	0.494	0.00076	0.477	0.209	0.703	1.530	354
182	1	3	1	2	2	1	0.000000121	0.809	0.455	0.00070	0.437	0.191	0.646	1.896	239
183	1	3	1	3	2	1	0.000000112	0.748	0.421	0.00065	0.405	0.177	0.598	2.233	125
184	1	3	2	1	2	1	0.000000135	0.901	0.507	0.00078	0.490	0.214	0.721	1.420	385
185	1	3	2	2	2	1	0.000000124	0.828	0.466	0.00071	0.447	0.195	0.662	1.794	274
186	1	3	2	3	2	1	0.000000114	0.765	0.430	0.00066	0.414	0.181	0.611	2.137	155
187	1	3	3	1	2	1	0.000000138	0.924	0.520	0.00080	0.504	0.220	0.740	1.307	412
188	1	3	3	2	2	1	0.000000127	0.849	0.478	0.00073	0.457	0.200	0.677	1.692	307
189	1	3	3	3	2	1	0.000000117	0.783	0.441	0.00067	0.422	0.185	0.625	2.040	188
190	2	1	1	1	2	1	0.000000124	0.828	0.466	0.00117	0.736	0.322	0.788	1.037	458
191	2	1	1	2	2	1	0.000000114	0.764	0.430	0.00106	0.662	0.289	0.719	1.431	383
192	2	1	1	3	2	1	0.000000106	0.707	0.398	0.00097	0.605	0.265	0.663	1.787	277
193	2	1	2	1	2	1	0.000000127	0.848	0.477	0.00121	0.758	0.332	0.809	0.923	470
194	2	1	2	2	2	1	0.000000117	0.782	0.440	0.00108	0.679	0.297	0.737	1.326	407
195	2	1	2	3	2	1	0.000000108	0.723	0.407	0.00099	0.620	0.271	0.678	1.687	310
196	2	1	3	1	2	1	0.000000130	0.869	0.489	0.00125	0.785	0.344	0.832	0.797	477
197	2	1	3	2	2	1	0.000000120	0.800	0.450	0.00112	0.699	0.306	0.756	1.213	430
198	2	1	3	3	2	1	0.000000111	0.740	0.416	0.00101	0.636	0.278	0.694	1.584	340
199	2	2	1	1	2	1	0.000000129	0.861	0.485	0.00087	0.543	0.238	0.722	1.413	387
200	2	2	1	2	2	1	0.000000119	0.794	0.447	0.00079	0.496	0.217	0.664	1.780	278
201	2	2	1	3	2	1	0.000000110	0.734	0.413	0.00073	0.459	0.201	0.614	2.119	161
202	2	2	2	1	2	1	0.000000132	0.883	0.497	0.00089	0.558	0.244	0.741	1.303	413
203	2	2	2	2	2	1	0.000000122	0.813	0.457	0.00081	0.508	0.222	0.680	1.677	314
204	2	2	2	3	2	1	0.000000112	0.751	0.423	0.00075	0.469	0.205	0.628	2.023	193
205	2	2	3	1	2	1	0.000000135	0.905	0.509	0.00092	0.576	0.252	0.761	1.184	436
206	2	2	3	2	2	1	0.000000125	0.833	0.468	0.00083	0.522	0.228	0.697	1.570	348
207	2	2	3	3	2	1	0.000000115	0.769	0.432	0.00077	0.480	0.210	0.642	1.921	229
208	2	3	1	1	2	1	0.000000134	0.897	0.505	0.00068	0.423	0.185	0.690	1.612	331
209	2	3	1	2	2	1	0.000000123	0.826	0.465	0.00062	0.390	0.170	0.635	1.972	210
210	2	3	1	3	2	1	0.000000114	0.763	0.429	0.00058	0.364	0.159	0.588	2.306	105
211	2	3	2	1	2	1	0.000000138	0.920	0.518	0.00069	0.434	0.190	0.707	1.504	360
212	2	3	2	2	2	1	0.000000126	0.846	0.476	0.00064	0.398	0.174	0.650	1.870	245
213	2	3	2	3	2	1	0.000000117	0.780	0.439	0.00059	0.371	0.162	0.601	2.209	133
214	2	3	3	1	2	1	0.000000141	0.944	0.531	0.00071	0.446	0.195	0.726	1.389	391
215	2	3	3	2	2	1	0.000000130	0.867	0.488	0.00065	0.408	0.179	0.666	1.763	283
216	2	3	3	3	2	1	0.000000119	0.799	0.450	0.00061	0.379	0.166	0.616	2.108	166
217	1	1	1	1	2	2	0.000000106	0.712	0.401	0.00138	0.866	0.379	0.779	1.083	449
218	1	1	1	2	2	2	0.000000099	0.661	0.372	0.00123	0.769	0.337	0.708	1.498	362
219	1	1	1	3	2	2	0.000000092	0.615	0.346	0.00112	0.700	0.306	0.652	1.857	251
220	1	1	2	1	2	2	0.000000109	0.728	0.410	0.00143	0.894	0.391	0.801	0.966	465
221	1	1	2	2	2	2	0.000000101	0.675	0.380	0.00126	0.789	0.345	0.725	1.397	390
222	1	1	2	3	2	2	0.000000094	0.628	0.353	0.00114	0.716	0.313	0.666	1.762	284
223	1	1	3	1	2	2	0.000000111	0.745	0.419	0.00148	0.926	0.405	0.824	0.840	472
224	1	1	3	2	2	2	0.000000103	0.690	0.388	0.00130	0.813	0.355	0.744	1.286	417
225	1	1	3	3	2	2	0.000000096	0.641	0.361	0.00117	0.733	0.320	0.681	1.667	316
226	1	2	1	1	2	2	0.000000110	0.739	0.416	0.00099	0.620	0.271	0.687	1.632	324
227	1	2	1	2	2	2	0.000000102	0.685	0.385	0.00090	0.562	0.246	0.631	1.999	200

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
228	1	2	1	3	2	2	0.000000095	0.637	0.358	0.00083	0.518	0.226	0.585	2.331	98
229	1	2	2	1	2	2	0.000000113	0.756	0.425	0.00102	0.638	0.279	0.704	1.522	355
230	1	2	2	2	2	2	0.000000105	0.700	0.394	0.00092	0.576	0.252	0.646	1.898	235
231	1	2	2	3	2	2	0.000000097	0.650	0.366	0.00084	0.528	0.231	0.597	2.240	124
232	1	2	3	1	2	2	0.000000116	0.773	0.435	0.00105	0.659	0.288	0.724	1.406	388
233	1	2	3	2	2	2	0.000000107	0.716	0.403	0.00094	0.591	0.258	0.661	1.797	272
234	1	2	3	3	2	2	0.000000099	0.664	0.374	0.00086	0.541	0.237	0.611	2.143	154
235	1	3	1	1	2	2	0.000000115	0.767	0.432	0.00076	0.474	0.207	0.639	1.946	218
236	1	3	1	2	2	2	0.000000106	0.710	0.400	0.00069	0.435	0.190	0.590	2.294	108
237	1	3	1	3	2	2	0.000000099	0.660	0.371	0.00064	0.404	0.177	0.548	2.614	40
238	1	3	2	1	2	2	0.000000117	0.785	0.442	0.00078	0.486	0.213	0.654	1.842	257
239	1	3	2	2	2	2	0.000000109	0.726	0.409	0.00071	0.443	0.194	0.603	2.200	138
240	1	3	2	3	2	2	0.000000101	0.674	0.379	0.00066	0.411	0.180	0.559	2.526	56
241	1	3	3	1	2	2	0.000000120	0.804	0.452	0.00080	0.499	0.218	0.671	1.736	291
242	1	3	3	2	2	2	0.000000111	0.743	0.418	0.00072	0.454	0.199	0.617	2.100	169
243	1	3	3	3	2	2	0.000000103	0.689	0.388	0.00067	0.420	0.184	0.571	2.432	76
244	2	1	1	1	2	2	0.000000108	0.725	0.408	0.00118	0.741	0.324	0.732	1.353	405
245	2	1	1	2	2	2	0.000000101	0.673	0.379	0.00106	0.667	0.292	0.670	1.736	290
246	2	1	1	3	2	2	0.000000094	0.626	0.352	0.00097	0.609	0.267	0.619	2.084	174
247	2	1	2	1	2	2	0.000000111	0.742	0.418	0.00123	0.768	0.336	0.753	1.230	427
248	2	1	2	2	2	2	0.000000103	0.688	0.387	0.00109	0.685	0.300	0.687	1.632	325
249	2	1	2	3	2	2	0.000000096	0.639	0.360	0.00100	0.624	0.273	0.633	1.988	205
250	2	1	3	1	2	2	0.000000114	0.759	0.427	0.00127	0.793	0.347	0.774	1.112	443
251	2	1	3	2	2	2	0.000000105	0.703	0.396	0.00113	0.707	0.309	0.705	1.520	356
252	2	1	3	3	2	2	0.000000098	0.653	0.368	0.00102	0.641	0.280	0.648	1.887	242
253	2	2	1	1	2	2	0.000000113	0.753	0.424	0.00087	0.543	0.237	0.661	1.796	273
254	2	2	1	2	2	2	0.000000104	0.698	0.393	0.00079	0.497	0.217	0.610	2.148	151
255	2	2	1	3	2	2	0.000000097	0.648	0.365	0.00073	0.460	0.201	0.566	2.473	67
256	2	2	2	1	2	2	0.000000115	0.771	0.434	0.00089	0.559	0.244	0.678	1.688	309
257	2	2	2	2	2	2	0.000000107	0.713	0.401	0.00081	0.508	0.222	0.624	2.051	184
258	2	2	2	3	2	2	0.000000099	0.662	0.373	0.00075	0.470	0.205	0.578	2.379	86
259	2	2	3	1	2	2	0.000000118	0.789	0.444	0.00092	0.575	0.252	0.696	1.577	345
260	2	2	3	2	2	2	0.000000109	0.730	0.411	0.00083	0.521	0.228	0.639	1.948	216
261	2	2	3	3	2	2	0.000000101	0.677	0.381	0.00077	0.480	0.210	0.591	2.285	111
262	2	3	1	1	2	2	0.000000117	0.783	0.440	0.00067	0.420	0.184	0.624	2.047	185
263	2	3	1	2	2	2	0.000000108	0.724	0.407	0.00062	0.388	0.170	0.577	2.388	85
264	2	3	1	3	2	2	0.000000100	0.672	0.378	0.00058	0.362	0.158	0.536	2.704	27
265	2	3	2	1	2	2	0.000000120	0.801	0.451	0.00069	0.431	0.188	0.639	1.944	220
266	2	3	2	2	2	2	0.000000111	0.741	0.417	0.00063	0.397	0.174	0.590	2.289	110
267	2	3	2	3	2	2	0.000000103	0.687	0.386	0.00059	0.370	0.162	0.548	2.612	41
268	2	3	3	1	2	2	0.000000123	0.821	0.462	0.00071	0.443	0.194	0.655	1.836	261
269	2	3	3	2	2	2	0.000000113	0.758	0.426	0.00065	0.406	0.178	0.604	2.189	141
270	2	3	3	3	2	2	0.000000105	0.702	0.395	0.00060	0.378	0.165	0.560	2.517	58
271	1	1	1	1	2	3	0.000000094	0.630	0.354	0.00141	0.881	0.385	0.740	1.310	411
272	1	1	1	2	2	3	0.000000088	0.587	0.330	0.00125	0.782	0.342	0.672	1.723	296
273	1	1	1	3	2	3	0.000000082	0.549	0.309	0.00113	0.710	0.310	0.619	2.082	176
274	1	1	2	1	2	3	0.000000096	0.643	0.362	0.00146	0.913	0.399	0.761	1.185	435
275	1	1	2	2	2	3	0.000000090	0.599	0.337	0.00128	0.804	0.352	0.689	1.619	327
276	1	1	2	3	2	3	0.000000084	0.560	0.315	0.00116	0.725	0.317	0.632	1.992	203
277	1	1	3	1	2	3	0.000000098	0.657	0.370	0.00151	0.945	0.413	0.783	1.062	454
278	1	1	3	2	2	3	0.000000091	0.612	0.344	0.00132	0.827	0.362	0.706	1.513	358
279	1	1	3	3	2	3	0.000000085	0.571	0.321	0.00119	0.743	0.325	0.646	1.897	237
280	1	2	1	1	2	3	0.000000098	0.652	0.367	0.00099	0.624	0.273	0.640	1.940	222
281	1	2	1	2	2	3	0.000000091	0.607	0.342	0.00090	0.566	0.247	0.589	2.298	107
282	1	2	1	3	2	3	0.000000085	0.567	0.319	0.00083	0.522	0.228	0.547	2.619	39
283	1	2	2	1	2	3	0.000000100	0.666	0.375	0.00102	0.642	0.281	0.656	1.832	263
284	1	2	2	2	2	3	0.000000093	0.620	0.349	0.00092	0.580	0.254	0.602	2.201	137

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
285	1	2	2	3	2	3	0.000000086	0.578	0.325	0.00085	0.532	0.233	0.558	2.533	54
286	1	2	3	1	2	3	0.000000102	0.681	0.383	0.00106	0.663	0.290	0.673	1.719	299
287	1	2	3	2	2	3	0.000000095	0.633	0.356	0.00095	0.594	0.260	0.616	2.103	167
288	1	2	3	3	2	3	0.000000088	0.590	0.332	0.00087	0.544	0.238	0.570	2.440	72
289	1	3	1	1	2	3	0.000000101	0.676	0.380	0.00075	0.473	0.207	0.587	2.313	101
290	1	3	1	2	2	3	0.000000094	0.629	0.354	0.00069	0.434	0.190	0.544	2.648	34
291	1	3	1	3	2	3	0.000000088	0.586	0.330	0.00064	0.404	0.177	0.506	2.955	7
292	1	3	2	1	2	3	0.000000103	0.691	0.389	0.00077	0.484	0.212	0.600	2.215	130
293	1	3	2	2	2	3	0.000000096	0.642	0.361	0.00071	0.444	0.194	0.555	2.555	52
294	1	3	2	3	2	3	0.000000089	0.598	0.337	0.00066	0.412	0.180	0.517	2.868	13
295	1	3	3	1	2	3	0.000000106	0.706	0.397	0.00079	0.498	0.218	0.615	2.110	165
296	1	3	3	2	2	3	0.000000098	0.656	0.369	0.00072	0.454	0.198	0.567	2.461	71
297	1	3	3	3	2	3	0.000000091	0.611	0.344	0.00067	0.420	0.184	0.527	2.780	21
298	2	1	1	1	2	3	0.000000096	0.641	0.361	0.00121	0.755	0.330	0.691	1.604	335
299	2	1	1	2	2	3	0.000000089	0.597	0.336	0.00108	0.679	0.297	0.633	1.986	208
300	2	1	1	3	2	3	0.000000083	0.558	0.314	0.00099	0.618	0.270	0.584	2.332	97
301	2	1	2	1	2	3	0.000000098	0.655	0.369	0.00125	0.782	0.342	0.711	1.484	369
302	2	1	2	2	2	3	0.000000091	0.610	0.343	0.00111	0.696	0.305	0.648	1.887	243
303	2	1	2	3	2	3	0.000000085	0.569	0.320	0.00101	0.635	0.278	0.598	2.232	126
304	2	1	3	1	2	3	0.000000100	0.669	0.377	0.00130	0.812	0.355	0.732	1.356	403
305	2	1	3	2	2	3	0.000000093	0.623	0.350	0.00115	0.719	0.314	0.665	1.774	280
306	2	1	3	3	2	3	0.000000087	0.581	0.327	0.00104	0.651	0.285	0.611	2.137	156
307	2	2	1	1	2	3	0.000000099	0.664	0.374	0.00087	0.546	0.239	0.613	2.127	158
308	2	2	1	2	2	3	0.000000092	0.618	0.348	0.00080	0.499	0.218	0.566	2.471	68
309	2	2	1	3	2	3	0.000000086	0.577	0.325	0.00074	0.463	0.202	0.527	2.783	20
310	2	2	2	1	2	3	0.000000101	0.679	0.382	0.00090	0.561	0.246	0.627	2.024	192
311	2	2	2	2	2	3	0.000000094	0.631	0.355	0.00082	0.512	0.224	0.579	2.372	88
312	2	2	2	3	2	3	0.000000088	0.589	0.331	0.00075	0.473	0.207	0.538	2.693	30
313	2	2	3	1	2	3	0.000000104	0.694	0.390	0.00092	0.580	0.253	0.644	1.912	231
314	2	2	3	2	2	3	0.000000096	0.645	0.363	0.00084	0.525	0.230	0.592	2.273	115
315	2	2	3	3	2	3	0.000000090	0.601	0.338	0.00077	0.483	0.211	0.549	2.601	44
316	2	3	1	1	2	3	0.000000103	0.688	0.387	0.00067	0.420	0.184	0.571	2.433	75
317	2	3	1	2	2	3	0.000000096	0.640	0.360	0.00062	0.388	0.170	0.530	2.759	22
318	2	3	1	3	2	3	0.000000089	0.597	0.336	0.00058	0.363	0.159	0.494	3.059	2
319	2	3	2	1	2	3	0.000000105	0.704	0.396	0.00069	0.431	0.188	0.584	2.333	96
320	2	3	2	2	2	3	0.000000098	0.654	0.368	0.00063	0.397	0.174	0.541	2.665	33
321	2	3	2	3	2	3	0.000000091	0.609	0.343	0.00059	0.370	0.162	0.504	2.973	5
322	2	3	3	1	2	3	0.000000108	0.720	0.405	0.00071	0.442	0.194	0.598	2.230	127
323	2	3	3	2	2	3	0.000000100	0.668	0.376	0.00065	0.407	0.178	0.554	2.566	50
324	2	3	3	3	2	3	0.000000093	0.622	0.350	0.00060	0.378	0.165	0.515	2.881	11
325	1	1	1	1	3	1	0.000000115	0.770	0.433	0.00147	0.920	0.403	0.836	0.779	478
326	1	1	1	2	3	1	0.000000107	0.713	0.401	0.00129	0.810	0.354	0.755	1.219	428
327	1	1	1	3	3	1	0.000000099	0.662	0.372	0.00116	0.730	0.319	0.692	1.601	336
328	1	1	2	1	3	1	0.000000118	0.788	0.443	0.00152	0.956	0.418	0.861	0.648	483
329	1	1	2	2	3	1	0.000000109	0.729	0.410	0.00133	0.834	0.365	0.775	1.109	446
330	1	1	2	3	3	1	0.000000101	0.676	0.380	0.00119	0.748	0.327	0.707	1.504	359
331	1	1	3	1	3	1	0.000000121	0.807	0.454	0.00158	0.990	0.433	0.887	0.520	486
332	1	1	3	2	3	1	0.000000111	0.745	0.419	0.00138	0.862	0.377	0.796	0.988	462
333	1	1	3	3	3	1	0.000000103	0.691	0.389	0.00123	0.768	0.336	0.725	1.399	389
334	1	2	1	1	3	1	0.000000120	0.800	0.450	0.00106	0.667	0.292	0.742	1.295	415
335	1	2	1	2	3	1	0.000000111	0.740	0.416	0.00095	0.597	0.261	0.677	1.692	306
336	1	2	1	3	3	1	0.000000103	0.686	0.386	0.00087	0.546	0.239	0.625	2.043	187
337	1	2	2	1	3	1	0.000000123	0.819	0.461	0.00110	0.688	0.301	0.762	1.182	437
338	1	2	2	2	3	1	0.000000113	0.757	0.426	0.00098	0.613	0.268	0.694	1.587	339
339	1	2	2	3	3	1	0.000000105	0.701	0.394	0.00089	0.558	0.244	0.639	1.947	217
340	1	2	3	1	3	1	0.000000126	0.839	0.472	0.00113	0.711	0.311	0.783	1.061	455
341	1	2	3	2	3	1	0.000000116	0.774	0.436	0.00101	0.632	0.276	0.712	1.475	374

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
342	1	2	3	3	3	1	0.000000107	0.717	0.403	0.00091	0.573	0.251	0.654	1.844	256
343	1	3	1	1	3	1	0.000000124	0.832	0.468	0.00081	0.509	0.223	0.691	1.606	334
344	1	3	1	2	3	1	0.000000115	0.768	0.432	0.00074	0.463	0.202	0.635	1.975	209
345	1	3	1	3	3	1	0.000000106	0.711	0.400	0.00068	0.426	0.186	0.587	2.316	100
346	1	3	2	1	3	1	0.000000128	0.853	0.480	0.00084	0.524	0.229	0.709	1.495	363
347	1	3	2	2	3	1	0.000000118	0.786	0.442	0.00076	0.474	0.207	0.650	1.873	244
348	1	3	2	3	3	1	0.000000109	0.727	0.409	0.00069	0.435	0.190	0.600	2.221	128
349	1	3	3	1	3	1	0.000000131	0.874	0.492	0.00086	0.540	0.236	0.728	1.378	394
350	1	3	3	2	3	1	0.000000120	0.805	0.453	0.00078	0.486	0.213	0.666	1.768	281
351	1	3	3	3	3	1	0.000000111	0.744	0.419	0.00071	0.446	0.195	0.614	2.121	160
352	2	1	1	1	3	1	0.000000117	0.785	0.442	0.00124	0.779	0.341	0.783	1.064	451
353	2	1	1	2	3	1	0.000000109	0.726	0.409	0.00111	0.696	0.305	0.713	1.468	378
354	2	1	1	3	3	1	0.000000101	0.674	0.379	0.00101	0.634	0.277	0.656	1.828	266
355	2	1	2	1	3	1	0.000000120	0.804	0.452	0.00129	0.808	0.353	0.806	0.939	468
356	2	1	2	2	3	1	0.000000111	0.743	0.418	0.00114	0.717	0.314	0.732	1.357	402
357	2	1	2	3	3	1	0.000000103	0.689	0.388	0.00104	0.651	0.285	0.672	1.723	297
358	2	1	3	1	3	1	0.000000123	0.823	0.463	0.00134	0.840	0.368	0.831	0.805	474
359	2	1	3	2	3	1	0.000000114	0.760	0.428	0.00118	0.742	0.325	0.752	1.236	426
360	2	1	3	3	3	1	0.000000105	0.704	0.396	0.00106	0.667	0.292	0.688	1.625	326
361	2	2	1	1	3	1	0.000000122	0.817	0.459	0.00092	0.577	0.252	0.712	1.476	373
362	2	2	1	2	3	1	0.000000113	0.754	0.424	0.00083	0.523	0.229	0.653	1.851	253
363	2	2	1	3	3	1	0.000000104	0.699	0.393	0.00077	0.482	0.211	0.604	2.191	140
364	2	2	2	1	3	1	0.000000125	0.836	0.471	0.00095	0.597	0.261	0.731	1.358	400
365	2	2	2	2	3	1	0.000000115	0.772	0.434	0.00086	0.538	0.235	0.669	1.743	288
366	2	2	2	3	3	1	0.000000107	0.714	0.402	0.00079	0.493	0.216	0.618	2.093	170
367	2	2	3	1	3	1	0.000000128	0.857	0.482	0.00098	0.616	0.270	0.752	1.239	425
368	2	2	3	2	3	1	0.000000118	0.790	0.444	0.00088	0.552	0.242	0.686	1.636	322
369	2	2	3	3	3	1	0.000000109	0.731	0.411	0.00081	0.505	0.221	0.632	1.993	202
370	2	3	1	1	3	1	0.000000127	0.850	0.478	0.00072	0.448	0.196	0.674	1.712	304
371	2	3	1	2	3	1	0.000000117	0.784	0.441	0.00066	0.411	0.180	0.620	2.073	178
372	2	3	1	3	3	1	0.000000108	0.725	0.408	0.00061	0.381	0.167	0.575	2.407	79
373	2	3	2	1	3	1	0.000000130	0.871	0.490	0.00074	0.462	0.202	0.692	1.600	338
374	2	3	2	2	3	1	0.000000120	0.802	0.451	0.00067	0.421	0.184	0.636	1.969	212
375	2	3	2	3	3	1	0.000000111	0.742	0.417	0.00062	0.389	0.170	0.587	2.312	102
376	2	3	3	1	3	1	0.000000133	0.893	0.502	0.00076	0.475	0.208	0.710	1.487	368
377	2	3	3	2	3	1	0.000000123	0.822	0.462	0.00069	0.431	0.189	0.651	1.864	249
378	2	3	3	3	3	1	0.000000113	0.759	0.427	0.00064	0.398	0.174	0.601	2.209	132
379	1	1	1	1	3	2	0.000000101	0.678	0.382	0.00146	0.918	0.401	0.783	1.063	452
380	1	1	1	2	3	2	0.000000094	0.630	0.355	0.00129	0.810	0.354	0.709	1.494	364
381	1	1	1	3	3	2	0.000000088	0.588	0.331	0.00117	0.731	0.320	0.651	1.867	247
382	1	1	2	1	3	2	0.000000104	0.693	0.390	0.00152	0.952	0.416	0.806	0.935	469
383	1	1	2	2	3	2	0.000000096	0.644	0.362	0.00133	0.833	0.364	0.727	1.387	392
384	1	1	2	3	3	2	0.000000090	0.600	0.338	0.00120	0.750	0.328	0.666	1.768	282
385	1	1	3	1	3	2	0.000000106	0.708	0.399	0.00158	0.990	0.433	0.831	0.802	475
386	1	1	3	2	3	2	0.000000098	0.658	0.370	0.00137	0.861	0.377	0.747	1.268	419
387	1	1	3	3	3	2	0.000000092	0.612	0.345	0.00123	0.769	0.336	0.681	1.669	315
388	1	2	1	1	3	2	0.000000105	0.703	0.396	0.00105	0.660	0.289	0.684	1.649	319
389	1	2	1	2	3	2	0.000000098	0.653	0.367	0.00095	0.592	0.259	0.626	2.031	190
390	1	2	1	3	3	2	0.000000091	0.608	0.342	0.00087	0.543	0.238	0.580	2.368	89
391	1	2	2	1	3	2	0.000000107	0.719	0.404	0.00109	0.681	0.298	0.702	1.535	352
392	1	2	2	2	3	2	0.000000100	0.667	0.375	0.00097	0.609	0.266	0.642	1.926	227
393	1	2	2	3	3	2	0.000000093	0.621	0.349	0.00089	0.555	0.243	0.592	2.276	114
394	1	2	3	1	3	2	0.000000110	0.735	0.414	0.00112	0.703	0.308	0.721	1.420	386
395	1	2	3	2	3	2	0.000000102	0.682	0.383	0.00100	0.626	0.274	0.657	1.822	268
396	1	2	3	3	3	2	0.000000095	0.634	0.357	0.00091	0.569	0.249	0.605	2.179	144
397	1	3	1	1	3	2	0.000000109	0.729	0.410	0.00080	0.502	0.220	0.630	2.006	199
398	1	3	1	2	3	2	0.000000101	0.677	0.381	0.00073	0.458	0.200	0.581	2.360	90

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
399	1	3	1	3	3	2	0.000000094	0.629	0.354	0.00067	0.423	0.185	0.539	2.683	31
400	1	3	2	1	3	2	0.000000112	0.746	0.420	0.00082	0.516	0.226	0.646	1.900	234
401	1	3	2	2	3	2	0.000000103	0.691	0.389	0.00075	0.469	0.205	0.594	2.263	118
402	1	3	2	3	3	2	0.000000096	0.643	0.362	0.00069	0.432	0.189	0.550	2.593	46
403	1	3	3	1	3	2	0.000000114	0.763	0.430	0.00085	0.532	0.233	0.662	1.790	276
404	1	3	3	2	3	2	0.000000106	0.707	0.398	0.00077	0.481	0.210	0.608	2.161	147
405	1	3	3	3	3	2	0.000000098	0.657	0.369	0.00071	0.442	0.193	0.563	2.496	63
406	2	1	1	1	3	2	0.000000103	0.691	0.389	0.00125	0.781	0.342	0.730	1.365	397
407	2	1	1	2	3	2	0.000000096	0.642	0.361	0.00111	0.698	0.305	0.667	1.762	285
408	2	1	1	3	3	2	0.000000089	0.598	0.337	0.00102	0.637	0.278	0.615	2.111	162
409	2	1	2	1	3	2	0.000000106	0.706	0.397	0.00129	0.809	0.354	0.751	1.242	424
410	2	1	2	2	3	2	0.000000098	0.656	0.369	0.00115	0.719	0.314	0.683	1.653	318
411	2	1	2	3	3	2	0.000000091	0.611	0.344	0.00104	0.652	0.285	0.629	2.016	196
412	2	1	3	1	3	2	0.000000108	0.722	0.406	0.00134	0.842	0.368	0.775	1.110	444
413	2	1	3	2	3	2	0.000000100	0.670	0.377	0.00119	0.743	0.325	0.702	1.537	351
414	2	1	3	3	3	2	0.000000093	0.623	0.351	0.00107	0.670	0.293	0.644	1.911	233
415	2	2	1	1	3	2	0.000000107	0.716	0.403	0.00091	0.573	0.251	0.654	1.846	255
416	2	2	1	2	3	2	0.000000099	0.665	0.374	0.00083	0.521	0.228	0.602	2.204	136
417	2	2	1	3	3	2	0.000000093	0.619	0.348	0.00077	0.480	0.210	0.558	2.531	55
418	2	2	2	1	3	2	0.000000110	0.733	0.412	0.00094	0.592	0.259	0.671	1.731	293
419	2	2	2	2	3	2	0.000000102	0.680	0.382	0.00085	0.535	0.234	0.616	2.102	168
420	2	2	2	3	3	2	0.000000095	0.632	0.356	0.00078	0.492	0.215	0.571	2.437	73
421	2	2	3	1	3	2	0.000000112	0.750	0.422	0.00098	0.612	0.268	0.690	1.614	329
422	2	2	3	2	3	2	0.000000104	0.695	0.391	0.00088	0.550	0.241	0.631	1.996	201
423	2	2	3	3	3	2	0.000000097	0.646	0.363	0.00080	0.503	0.220	0.583	2.341	95
424	2	3	1	1	3	2	0.000000111	0.744	0.418	0.00071	0.444	0.194	0.613	2.129	157
425	2	3	1	2	3	2	0.000000103	0.689	0.388	0.00065	0.408	0.178	0.566	2.471	69
426	2	3	1	3	3	2	0.000000096	0.641	0.361	0.00060	0.379	0.166	0.526	2.788	19
427	2	3	2	1	3	2	0.000000114	0.761	0.428	0.00073	0.456	0.200	0.628	2.022	194
428	2	3	2	2	3	2	0.000000105	0.705	0.396	0.00067	0.418	0.183	0.579	2.372	87
429	2	3	2	3	3	2	0.000000098	0.655	0.368	0.00062	0.387	0.169	0.537	2.697	29
430	2	3	3	1	3	2	0.000000116	0.779	0.438	0.00075	0.470	0.206	0.644	1.911	232
431	2	3	3	2	3	2	0.000000108	0.721	0.405	0.00068	0.429	0.187	0.593	2.270	116
432	2	3	3	3	3	2	0.000000100	0.669	0.376	0.00063	0.396	0.173	0.549	2.601	45
433	1	1	1	1	3	3	0.000000090	0.602	0.339	0.00148	0.926	0.405	0.744	1.286	416
434	1	1	1	2	3	3	0.000000084	0.562	0.316	0.00130	0.818	0.358	0.674	1.715	303
435	1	1	1	3	3	3	0.000000079	0.526	0.296	0.00118	0.739	0.323	0.619	2.084	175
436	1	1	2	1	3	3	0.000000092	0.614	0.346	0.00154	0.963	0.421	0.767	1.154	441
437	1	1	2	2	3	3	0.000000086	0.573	0.322	0.00134	0.842	0.368	0.691	1.607	333
438	1	1	2	3	3	3	0.000000080	0.536	0.302	0.00121	0.757	0.331	0.633	1.988	206
439	1	1	3	1	3	3	0.000000094	0.627	0.353	0.00160	1.000	0.437	0.790	1.023	460
440	1	1	3	2	3	3	0.000000087	0.585	0.329	0.00139	0.870	0.380	0.709	1.491	365
441	1	1	3	3	3	3	0.000000082	0.547	0.308	0.00124	0.778	0.340	0.648	1.887	241
442	1	2	1	1	3	3	0.000000093	0.623	0.350	0.00105	0.659	0.288	0.638	1.950	215
443	1	2	1	2	3	3	0.000000087	0.581	0.327	0.00095	0.594	0.260	0.586	2.319	99
444	1	2	1	3	3	3	0.000000081	0.543	0.305	0.00087	0.544	0.238	0.544	2.648	35
445	1	2	2	1	3	3	0.000000095	0.636	0.358	0.00109	0.681	0.298	0.656	1.834	262
446	1	2	2	2	3	3	0.000000089	0.592	0.333	0.00097	0.609	0.266	0.600	2.221	129
447	1	2	2	3	3	3	0.000000083	0.554	0.311	0.00089	0.557	0.243	0.555	2.558	51
448	1	2	3	1	3	3	0.000000097	0.649	0.365	0.00112	0.705	0.308	0.674	1.716	301
449	1	2	3	2	3	3	0.000000090	0.605	0.340	0.00100	0.628	0.275	0.615	2.111	163
450	1	2	3	3	3	3	0.000000084	0.565	0.318	0.00091	0.570	0.250	0.567	2.463	70
451	1	3	1	1	3	3	0.000000096	0.645	0.363	0.00080	0.499	0.218	0.581	2.358	91
452	1	3	1	2	3	3	0.000000090	0.600	0.338	0.00073	0.456	0.199	0.537	2.698	28
453	1	3	1	3	3	3	0.000000084	0.561	0.316	0.00067	0.422	0.185	0.500	3.008	4
454	1	3	2	1	3	3	0.000000098	0.658	0.370	0.00082	0.513	0.224	0.595	2.256	119
455	1	3	2	2	3	3	0.000000092	0.613	0.345	0.00074	0.466	0.204	0.549	2.607	42

Trial	Faktor Kendali						Respon 1 (Wajan)			Respon 2 (Ketel)			TNQL	MRSN	Rank
	A	B	C	D	E	F	L ₁	C ₁	w*C ₁	L ₂	C ₂	w*C ₂			
456	1	3	2	3	3	3	0.000000086	0.572	0.322	0.00069	0.431	0.189	0.510	2.921	9
457	1	3	3	1	3	3	0.000000101	0.673	0.379	0.00084	0.529	0.231	0.610	2.148	150
458	1	3	3	2	3	3	0.000000094	0.626	0.352	0.00076	0.479	0.210	0.562	2.506	61
459	1	3	3	3	3	3	0.000000087	0.584	0.328	0.00070	0.441	0.193	0.521	2.829	14
460	2	1	1	1	3	3	0.000000092	0.612	0.344	0.00126	0.790	0.345	0.690	1.612	332
461	2	1	1	2	3	3	0.000000085	0.571	0.321	0.00113	0.706	0.309	0.630	2.006	198
462	2	1	1	3	3	3	0.000000080	0.535	0.301	0.00102	0.642	0.281	0.582	2.353	92
463	2	1	2	1	3	3	0.000000093	0.625	0.352	0.00131	0.821	0.359	0.711	1.483	370
464	2	1	2	2	3	3	0.000000087	0.583	0.328	0.00116	0.729	0.319	0.647	1.893	240
465	2	1	2	3	3	3	0.000000081	0.545	0.307	0.00105	0.660	0.289	0.596	2.251	120
466	2	1	3	1	3	3	0.000000095	0.638	0.359	0.00136	0.853	0.373	0.732	1.354	404
467	2	1	3	2	3	3	0.000000089	0.595	0.335	0.00120	0.754	0.330	0.664	1.775	279
468	2	1	3	3	3	3	0.000000083	0.556	0.313	0.00108	0.678	0.296	0.609	2.152	149
469	2	2	1	1	3	3	0.000000095	0.634	0.357	0.00092	0.575	0.251	0.608	2.162	146
470	2	2	1	2	3	3	0.000000088	0.591	0.332	0.00083	0.522	0.228	0.561	2.512	59
471	2	2	1	3	3	3	0.000000083	0.552	0.311	0.00077	0.482	0.211	0.521	2.828	16
472	2	2	2	1	3	3	0.000000097	0.647	0.364	0.00095	0.593	0.259	0.623	2.053	183
473	2	2	2	2	3	3	0.000000090	0.603	0.339	0.00086	0.536	0.235	0.574	2.412	78
474	2	2	2	3	3	3	0.000000084	0.563	0.317	0.00079	0.494	0.216	0.533	2.736	23
475	2	2	3	1	3	3	0.000000099	0.661	0.372	0.00098	0.612	0.268	0.640	1.939	223
476	2	2	3	2	3	3	0.000000092	0.616	0.346	0.00088	0.551	0.241	0.588	2.310	103
477	2	2	3	3	3	3	0.000000086	0.574	0.323	0.00081	0.505	0.221	0.544	2.643	36
478	2	3	1	1	3	3	0.000000098	0.656	0.369	0.00070	0.441	0.193	0.562	2.500	62
479	2	3	1	2	3	3	0.000000091	0.611	0.344	0.00065	0.406	0.178	0.521	2.828	15
480	2	3	1	3	3	3	0.000000085	0.570	0.321	0.00060	0.378	0.165	0.486	3.130	1
481	2	3	2	1	3	3	0.000000100	0.671	0.377	0.00072	0.454	0.199	0.576	2.396	81
482	2	3	2	2	3	3	0.000000093	0.624	0.351	0.00066	0.416	0.182	0.533	2.732	24
483	2	3	2	3	3	3	0.000000087	0.582	0.327	0.00062	0.386	0.169	0.496	3.042	3
484	2	3	3	1	3	3	0.000000102	0.685	0.386	0.00075	0.468	0.204	0.590	2.290	109
485	2	3	3	2	3	3	0.000000095	0.637	0.359	0.00068	0.427	0.187	0.545	2.634	37
486	2	3	3	3	3	3	0.000000089	0.594	0.334	0.00063	0.395	0.173	0.507	2.949	8

Lampiran 6. Perhitungan biaya tambahan kondisi optimal

Biaya Peralatan dan Mesin

1) Gerinda Tangan

Harga mesin = Rp. 600.000,-

Umur mesin = 2 tahun

Biaya perawatan :

Ganti mata gerinda = Rp. 72.000,- / 2 minggu

$$\text{Biaya depersiasi} = \frac{\text{Rp.}600.000,-}{2} = \text{Rp.} 300.000,-/\text{tahun}$$

$$\text{Biaya perawatan} = \frac{\text{Rp.}72.000,-}{2} \times 48 = \text{Rp.} 1.728.000,-/\text{tahun}$$

$$\text{Biaya peralatan} = \frac{\text{Rp.}300.000 + \text{Rp.}1.728.000}{288} = \text{Rp.} 7041,67/\text{hari}$$

Jumlah gerinda yang dibutuhkan = 2 mesin

Total = Rp. 7041,67 × 2 = Rp 14.083,33/hari

2) Alat Kikir Besi

Harga mesin = Rp. 80.000,-

Umur mesin = 6 bulan

Biaya perawatan :

Pengasahan = – (tidak membutuhkan biaya tambahan)

$$\text{Biaya depersiasi} = \frac{\text{Rp.}80.000,-}{6} = \text{Rp.} 13.333,33/\text{bulan}$$

$$\text{Biaya peralatan} = \frac{\text{Rp.}13.333,33}{24} = \text{Rp.} 555,56/\text{hari}$$

Jumlah kikir yang dibutuhkan = 2 alat

Total = Rp. 555,56 × 2 = Rp 1111,11/hari

Total biaya peralatan = Rp. 7041,67 + Rp 1111,11 = Rp. 15.194,44

Penambahan listrik = Rp. 300.000,-/bulan = Rp. 12.500,00

Total = Rp. 15.194,44 + Rp. 12.500,00 = Rp. 27694,44

Perhitungan Biaya Penggajian

Berdasarkan Simulasi	Kondisi Awal	Respon Wajan Optimal	Respon Ketel Optimal	MRSN Optimal
Cetak Wajan	Rp 2.052.836,57	Rp 2.046.217,78	Rp 2.042.610,43	Rp 2.046.089,47
Kenek	Rp 752.769,83	Rp 750.340,60	Rp 749.014,17	Rp 750.296,08
Cetak Ketel	Rp 327.236,25	Rp 422.565,00	Rp 631.702,50	Rp 633.558,75
Pengecekan	Rp 56.846,81	Rp 58.251,72	Rp 61.528,98	Rp 61.603,46
Gerinda Kasar	Rp 386.097,92	Rp 438.257,90	Rp 466.841,42	Rp 466.616,87
Gerinda Halus	Rp 390.802,35	Rp 431.689,45	Rp 390.003,11	Rp 433.598,83
Kikir	Rp 362.638,49	Rp 436.216,18	Rp 363.824,36	Rp 436.047,03
Total	Rp 4.329.228,22	Rp 4.583.538,62	Rp 4.705.524,96	Rp 4.827.810,50

1) Biaya yang diperlukan di kondisi awal :

Biaya penggajian perusahaan = Rp 4.329.228,22

Biaya penambahan peralatan = (tidak ada)

Biaya produksi = Rp 4.329.228,22

2) Biaya yang diperlukan pada kondisi respon wajan optimal:

Biaya penggajian perusahaan = Rp 4.583.538,62

Biaya penambahan peralatan = Rp. 27694,44

Biaya produksi = Rp 4.583.538,62 + Rp. 27694,44 = Rp 4.611.233,07

Biaya peningkatan = Rp 4.611.233,07 – Rp 4,329,228.22 = Rp 282.004,85

3) Biaya yang diperlukan pada kondisi respon ketel optimal:

Biaya penggajian perusahaan = Rp 4.705.524,96

Biaya penambahan peralatan = (tidak ada)

Biaya produksi = Rp 4.705.524,96

Biaya peningkatan = Rp 4.705.524,96 – Rp 4,329,228.22 = Rp 376.296,74

4) Biaya yang diperlukan pada kondisi optimal berdasarkan nilai MRSN:

Biaya penggajian perusahaan = Rp 4.827.810,50

Biaya penambahan peralatan = Rp. 27694,44

Biaya produksi = Rp 4.827.810,50 + Rp. 27694,44 = Rp 4.855.504,94

Biaya peningkatan = 4.855.504,94 – Rp 4,329,228.22 = Rp 526.276,72