

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dimaksudkan untuk memberi landasan teoritis bagi penelitian yang sedang dilakukan serta menguatkan dasar teori yang digunakan sehingga penelitian yang dilakukan dapat akurat dan terpercaya.

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *lean manufacturing* dan *Waste Assessment Model (WAM)* sebagai referensi dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Rawabdeh (2005), dalam penelitian yang berjudul “*A Model for the Assessment of Waste in Job Shop Environments*”. Penelitian ini menggunakan *waste assessment model* yang terbagi menjadi tiga bagian. Penelitian ini dimulai dengan mencari *seven waste relationship*. Kemudian dilakukan perhitungan kekuatan hubungan antar *waste* dengan menggunakan penilaian dari kuesioner. Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan *waste relationship matrix*. Matriks ini mengurutkan hubungan antar *waste* secara kuantitatif dan mengklasifikasikan apakah suatu tipe *waste* mempengaruhi ataupun dipengaruhi oleh tipe *waste* lainnya. Setelah itu dilanjutkan dengan metode *Waste Assessment Questionnaire* yang merupakan suatu metode yang dikembangkan untuk mengidentifikasi dan mengalokasi *waste* yang terjadi pada proses produksi. Kuesioner penilaian ini terdiri dari 68 pertanyaan yang berbeda, yang diperkenalkan dengan tujuan untuk pengalokasian *waste*. Tiap pertanyaan kuesioner merepresentasikan suatu aktivitas, suatu kondisi atau suatu sifat yang mungkin menimbulkan suatu jenis *waste* tertentu. Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan metode *waste assessment model* yang digunakan untuk memudahkan pencarian *waste* dan mengidentifikasi kemungkinan untuk mengeliminasi *waste*.
2. Hartini (2009), dengan penelitian yang berjudul “*Analisis Pemborosan Perusahaan Mebel Dengan Pendekatan Lean Manufacturing (Studi Kasus Pt “X” Indonesia)*”. Penelitian ini menggunakan pendekatan *lean manufacturing*. Penelitian ini dimulai dengan menggambarkan *value stream mapping* untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan kemudian dikelompokkan ke dalam 7 jenis pemborosan. Pemborosan yang termasuk dalam *innappropriate processing*

dianalisa dengan menggunakan *fishbone* diagram. Kemudian dilanjutkan dengan analisis kegagalan dengan *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA). Hasil penelitian ini adalah ditemukannya value-adding activity rata-rata sebesar 50.30%, non value-adding activity sebesar 21.83% dan necessary non value-adding activity sebesar 26.36%. Dari FMEA diketahui nilai RPN terbesar pada aktivitas yang berhubungan dengan jig.

- Sidi (2013), dalam penelitiannya yang berjudul “Aplikasi Metoda Taguchi untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan pada Proses Bubut CNC”. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi. Dari penelitian diketahui bahwa faktor yang paling signifikan untuk nilai kebulatan pada proses membubut St.60 adalah kedalaman pemakanan, dan Kondisi optimum pemesinan untuk mendapatkan nilai kebulatan yang terbaik adalah pada kecepatan potong 60 m/min, gerak pemakanan 0.2 mm/rev, kedalaman pemakanan 0.125 mm.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Ini dan Penelitian Terdahulu

Karakteristik Penelitian	Nama Peneliti			
	Rawabdeh (2005)	Hartini (2009)	Sidi (2013)	Epiphanie (2014)
Judul Penelitian	<i>A model for the assessment of waste in job shop environments</i>	Analisis Pemborosan Perusahaan Mebel Dengan Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i> (Studi Kasus Pt “X” Indonesia)	Aplikasi Metoda Taguchi untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan pada Proses Bubut CNC	Pendekatan <i>Lean Manufacturing</i> untuk Mereduksi <i>Waste</i> pada Proses Produksi di PT. Essentra dengan Metode WAM
Objek Penelitian	<i>Steel Furniture Company</i>	Perusahaan Mebel	Manufaktur Baja	PT. Essentra
Metode/Tools yang Digunakan	<i>Waste Assessment Model, Waste Relationship Matrix, Waste Assessment Questionnaire</i>	VSM, <i>Fishbone diagram</i> , FMEA	Metode Taguchi, ANOVA	<i>Waste Assessment Model</i> , Metode Taguchi, ANOVA
Ruang Lingkup	<i>Lean manufacturing</i>	<i>Lean manufacturing</i>	Desain Eksperimen, Kualitas	<i>Lean manufacturing</i> , Desain Eksperimen

2.2 Konsep Dasar *Lean*

Lean dapat didefinisikan sebagai suatu pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (*waste*), atau aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non-value added activity/ NVAA*) melalui perbaikan terus menerus (*continuous improvement*) dengan mengalirkan produk (*material, work-in-process, output*) dan informasi menggunakan sistem tarik (*pull system*) dari internal dan eksternal untuk mengejar keunggulan dan kesempurnaan (Gaspersz, 2007). *Lean* yang diterapkan pada keseluruhan perusahaan disebut *Lean Enterprise*. *Lean* yang diterapkan pada bidang manufaktur disebut *lean manufacturing*. Menurut Gaspersz (2007) terdapat 5 prinsip dasar *Lean*, yaitu:

1. Mengidentifikasi nilai produk berdasarkan perspektif pelanggan, dimana pelanggan menginginkan produk berkualitas superior, dengan harga yang kompetitif dan penyerahan yang tepat waktu.
2. Mengidentifikasi *value stream mapping* untuk setiap produk.
3. Menghilangkan pemborosan yang tidak bernilai tambah dari semua aktivitas sepanjang *value stream*.
4. Mengorganisasikan agar material, informasi, dan produk mengalir secara lancar dan efisien sepanjang proses *value stream* menggunakan sistem tarik (*pull system*).
5. Terus-menerus mencari teknik dan alat perbaikan (*improvement tools and techniques*) untuk mencapai keunggulan dan peningkatan terus-menerus.

2.3 Tiga Tipe Aktivitas

Aktivitas dalam proses produksi biasanya diidentifikasi menjadi aktivitas yang memberikan nilai tambah dan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, aktivitas-aktivitas tersebut kemudian dibedakan menjadi:

1. *Value Adding Activity*

Value Adding Activity merupakan semua aktivitas dalam proses produksi yang memberikan nilai tambah pada produk yang sedang diproduksi. Sebagai contoh adalah proses pemotongan kayu pada produksi mebel.

2. *Non-Value Adding activity*

Non-Value Adding Activity merupakan semua aktivitas dalam proses produksi yang tidak memberikan nilai tambah. Aktivitas ini termasuk dalam *Type Two*

Waste, sehingga harus segera diidentifikasi dan dihilangkan dari proses produksi.

3. *Necessary Non-Value Adding Activity*

Necessary Non-Value Adding Activity merupakan segala aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah pada produk yang dihasilkan, tetapi perlu dilakukan. Contoh aktivitas ini adalah transportasi atau perpindahan material dari gudang ke lantai produksi yang tidak memberikan nilai tambah tapi perlu dilakukan agar proses produksi dapat berjalan. Dalam jangka panjang, aktivitas ini harus dihilangkan atau minimal dikurangi.

2.4 Tujuh Pemborosan (*Seven Waste*)

Konsep dasar pendekatan *lean* adalah eliminasi atau pengurangan *waste* (pemborosan). Shigeo Shingo mengidentifikasi keberadaan tujuh *waste* (Hines & Taylor, 2000). Tujuh *waste* yang dimaksud adalah:

1. *Over Production*

Over Production adalah kegiatan produksi yang berlebihan (terlalu banyak) atau terlalu cepat yang berakibat pada terganggunya aliran informasi dan material, juga menyebabkan inventori yang berlebih. *Overproduction* berpotensi menurunkan kualitas dan produktivitas serta menutupi berbagai permasalahan yang ada pada sistem produksi. Hal ini dapat membuat para karyawan sulit untuk mendeteksi produk cacat, penggunaan kapasitas perusahaan menjadi tidak tepat, karena dapat menunda pekerjaan yang seharusnya dapat diselesaikan lebih awal.

2. *Defect (Reject)*

Defect atau kecacatan adalah *waste* yang berupa kesalahan yang terjadi pada proses produksi/pengerjaan produk, kesalahan kualitas produk, atau rendahnya performa dari pengiriman barang atau jasa.

3. *Unnecessary Inventory*

Unnecessary Inventory (persediaan yang tidak perlu) dapat mengakibatkan membengkaknya biaya penyimpanan. Inventori yang berlebihan dapat menyebabkan masalah-masalah seperti kurang handalnya mesin, banyaknya produk cacat, tingkat keterlambatan pengiriman material yang tinggi dari supplier tidak dapat dideteksi dengan baik.

4. *Inappropriate Processing*

Merupakan *waste* yang terjadi pada situasi ketika terdapat ketidaksesuaian proses/metode operasi produksi yang diakibatkan oleh penggunaan *tool* yang tidak sesuai dengan fungsinya, kesalahan prosedur atau sistem operasi.

5. *Excessive Transportation*

Merupakan *waste* yang berhubungan dengan pergerakan pekerja, informasi, atau pun produk yang berlebihan yang mengakibatkan banyak waktu, tenaga, dan biaya yang terbuang percuma.

6. *Waiting/Idle*

Waiting/Idle merupakan *waste* yang paling sering terjadi di kebanyakan perusahaan. Dalam hal ini, *waiting* terbagi menjadi dua, yaitu waktu tunggu ketika komponen produk menunggu proses selanjutnya yang biasanya terjadi karena operator stasiun kerja berikutnya sedang sibuk atau mesin yang rusak dan waktu tunggu ketika operator telah menyelesaikan tugasnya dan harus menunggu komponen produk selesai diproses di stasiun kerja sebelumnya. *Waiting* berdampak pada *lead time* produksi yang panjang.

7. *Unnecessary Motion*

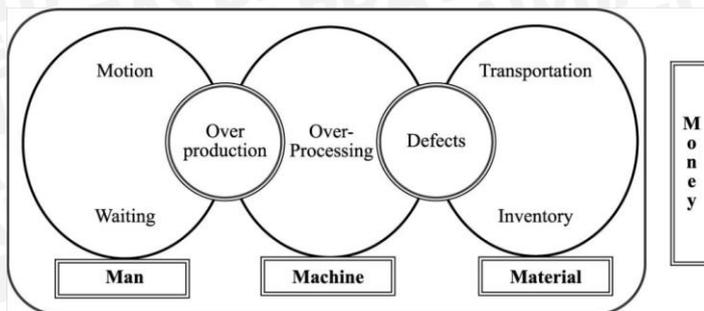
Tata letak atau perancangan tempat kerja yang tidak ergonomis dapat mengakibatkan operator melakukan gerakan-gerakan yang sebenarnya tidak perlu dilakukan.

2.5 Konsep Waste Assessment Model (WAM)

Waste Assessment Model merupakan suatu model yang dikembangkan untuk mengidentifikasi setiap jenis dari *seven wastes* (tujuh pemborosan) dan keterkaitan antar *waste* tersebut (Rawabdeh, 2005). Model ini dibuat untuk mengukur kekuatan hubungan antar *seven waste*.

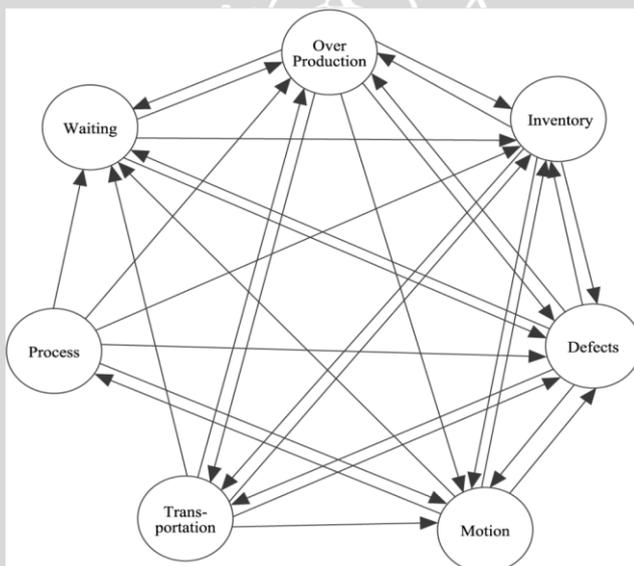
2.5.1 Seven Waste Relationship

Tujuh *waste* dapat dikelompokkan dalam 3 kategori utama yang berkaitan dengan *man*, *machine*, dan *material*. Kategori *man* meliputi konsep *motion*, *waiting*, dan *overproduction*. Kategori *machine* meliputi *overproduction*, *overprocessing*, dan *defect*. Kategori *material* meliputi *defect*, *transportation*, dan *inventory*. Untuk lebih jelasnya tiga kategori *waste* dan pengaruhnya terhadap uang dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Tiga kategori waste dan pengaruhnya terhadap uang
 Sumber : Rawabdeh (2005)

Semua jenis waste bersifat *inter-dependent*, dan saling berpengaruh terhadap waste yang lain. Setiap jenis waste disingkat dengan menggunakan huruf awal (O: *overproduction*, P: *processing*, I: *Inventory*, T: *Transportation*, D: *Defect*, W: *waiting*, dan M: *Motion*), dan setiap hubungan disimbolkan dengan “_”. Misalnya, O_I menunjukkan hubungan dari *overproduction* dengan *Inventory* (Rawabdeh, 2005). Gambar 2.2 menunjukkan hubungan antar waste.



Gambar 2.2 Hubungan antar waste
 Sumber : Rawabdeh (2005)

Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.2, hubungan antara jenis waste terdiri dari jenis waste O, D dan T berpengaruh terhadap semua waste lain kecuali P; sedangkan jenis waste P berpengaruh terhadap semua waste lain kecuali T; dan seterusnya sampai jenis waste W yang hanya berpengaruh terhadap O, I dan D. Untuk menghitung kekuatan dari *waste relationship* dikembangkan suatu pengukuran dengan kuesioner yang memiliki 31 hubungan jenis waste *i* mempengaruhi jenis waste *j* (i_j). Penjelasan keterkaitan antar waste dapat dilihat pada Lampiran 1. Untuk masing-masing hubungan, kemudian ditanyakan enam pertanyaan dengan panduan skoring yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Daftar Pertanyaan untuk Analisa WAM

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

Sumber: Rawabdeh (2005)

Tabel 2.3 Rentang Konversi Skor Keterkaitan antar *Waste*

Range	Type of Relationship	Symbol
17 – 20	Absolutely Necessary	A
13 – 16	Especially Important	E
9 – 12	Important	I
5 – 8	Ordinary Closeness	O
1 – 4	Unimportant	U
0	No relation	X

Sumber: Rawabdeh (2005)

Pertanyaan pada Tabel 2.2 kemudian diajukan untuk masing-masing hubungan antar *waste*, hingga diperoleh skor dari masing-masing hubungan antar *waste*, yang kemudian ditotal untuk mencari nilai total tiap hubungan. Nilai total tersebut kemudian dikonversi menjadi simbol (A, I, U, E, O, dan X) yang disesuaikan dengan aturan konversi pada Tabel 2.3. Hasil konversi ini akan digunakan lagi untuk menghitung tingkat pengaruh antar *waste*, yang akan berguna dalam pembuatan *Waste Relationship Matrix*.

2.5.2 Waste Relationship Matrix (WRM)

Waste Relationship Matrix (WRM) menjelaskan hubungan antar *waste*. Matriks ini penting, karena matriks ini mengurutkan hubungan antar *waste* secara kuantitatif dan mengklasifikasikan apakah suatu tipe *waste* mempengaruhi ataupun dipengaruhi oleh tipe *waste* lainnya (Rawabdeh, 2005). *Waste relationship matrix* digunakan untuk menganalisa kriteria pengukuran. Baris pada matriks menunjukkan efek satu jenis *waste* tertentu terhadap enam *waste* lainnya, sebaliknya kolom pada matriks menunjukkan *waste* yang dipengaruhi oleh *waste* lainnya. Nilai *relationship* tertinggi terdapat pada bagian diagonal matriks, karena secara *default*, tiap jenis *waste* akan memiliki hubungan pokok dengan *waste* itu sendiri, misalnya *waste overproduction*, pasti akan memiliki hubungan pokok atau yang paling besar dengan *waste overproduction* itu sendiri.

Tabel 2.4 *Waste Relationship Matrix*

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

Sumber: Rawabdeh (2005)

Tabel 2.5 *Waste Matrix Value*

F/T	O	I	D	M	T	P	W	Score	%
O	10	10	4	4	6	0	8	42	16,8
I	6	10	6	6	6	0	0	34	13,6
D	6	6	10	6	8	0	6	42	16,8
M	0	4	8	10	0	6	10	38	15,2
T	2	4	6	2	10	0	6	30	12
P	6	2	6	6	0	10	6	36	14,4
W	4	10	4	0	0	0	10	28	11,2
Score	34	46	44	34	30	16	46	250	100
%	13,6	18,4	17,6	13,6	12	6,4	18,4	100	

Based on A:10, E:8, I:6, O:4, U:2, and X:0

Sumber: Rawabdeh (2005)

Pembobotan tiap baris dan kolom *Waste relationship matrix* dijumlahkan untuk melihat skor yang menggambarkan efek atau pengaruh dari satu *waste* terhadap *waste* yang lainnya. Skor ini kemudian dikonversi ke dalam bentuk presentase agar matriks menjadi lebih sederhana. Sebagaimana digambarkan pada Tabel 2.5.

2.5.3 Waste Assessment Questionnaire (WAQ)

Waste Assessment Questionnaire merupakan suatu metode yang dikembangkan untuk mengidentifikasi dan mengalokasi *waste* yang terjadi pada proses produksi. Kuesioner penilaian ini terdiri dari 68 pertanyaan yang berbeda, yang diperkenalkan dengan tujuan untuk pengalokasian *waste*. Tiap pertanyaan kuesioner merepresentasikan suatu aktivitas, suatu kondisi atau suatu sifat yang mungkin menimbulkan suatu jenis *waste* tertentu.

Beberapa pertanyaan ditandai dengan kata “*From*”, yang artinya pertanyaan tersebut menjelaskan jenis *waste* yang ada saat ini yang dapat memicu munculnya jenis *waste* lainnya berdasarkan WRM. Pernyataan lainnya ditandai dengan kata “*To*”, yang artinya pernyataan tersebut menjelaskan tiap jenis *waste* yang ada saat ini bisa terjadi karena dipengaruhi oleh jenis *waste* lainnya. Tiap pertanyaan memiliki tiga pilihan jawaban dan masing-masing jawaban diberi bobot 1, 0.5, atau 0. Pertanyaan-pertanyaan kuesioner dikategorikan ke dalam empat kelompok, yaitu *man*, *machine*, dan *method*, dimana setiap pertanyaan berhubungan antar satu kategori dengan kategori yang lain. Ada 3 jenis pilihan jawaban untuk tiap pertanyaan kuesioner, yaitu “Ya”, “Sedang”, dan “Tidak”. Sedangkan skor untuk ketiga jenis pilihan jawaban kuesioner dibagi menjadi 2 kategori, yaitu:

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

Ranking akhir *waste* tergantung pada kombinasi jawaban, karena dari hasil kuesioner nanti akan diproses dengan suatu algoritma yang terdiri dari beberapa langkah yang telah dikembangkan untuk menilai dan meranking *waste* yang ada. Ada 8 tahapan perhitungan skor *waste* untuk mencapai hasil akhir berupa ranking dari *waste*.

1. Menghitung jumlah pertanyaan “*From*” dan “*To*” dari tipe *waste* yang sama.
2. Memasukkan bobot dari tiap pertanyaan berdasarkan *waste relationship matrix*.
3. Membagi tiap bobot dalam satu baris dengan jumlah pertanyaan yang dikelompokkan (Ni).
4. Menghitung jumlah skor tiap kolom jenis *waste*, dan frekuensi (Fj) dari munculnya nilai pada tiap kolom *waste* dengan mengabaikan nilai 0 (nol).

$$s_j = \sum_{K=1}^K \frac{W_{j,k}}{N_i}; \text{ untuk tiap tipe jenis waste } j \quad (2-1)$$

Sumber: Rawabdeh (2005)

5. Memasukkan nilai dari hasil kuesioner (1, 0.5, atau 0) ke dalam setiap bobot nilai di tabel dengan cara mengalikannya.
6. Menghitung total skor untuk tiap nilai bobot pada kolom *waste* dan frekuensi (f_j) untuk nilai bobot pada kolom *waste* dengan mengabaikan nilai 0.

$$s_j = \sum_{K=1}^K X_K \frac{W_{j,k}}{N_i}; \text{ untuk tiap jenis waste } j \quad (2-2)$$

Sumber: Rawabdeh (2005)

Dimana s_j adalah total untuk nilai bobot *waste*, dan X_k adalah nilai dari jawaban tiap pertanyaan kuesioner (1, 0.5, atau 0).

7. Menghitung indikator awal untuk tiap *waste* (Y_j). Indikator ini hanya berupa angka yang masih belum merepresentasikan bahwa tiap jenis *waste* dipengaruhi jenis *waste* lainnya.

$$Y_j = \frac{s_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j}; \text{ untuk tiap jenis waste } j \quad (2-3)$$

Sumber: Rawabdeh (2005)

8. Menghitung nilai *final waste factor* ($Y_{j\text{final}}$) dengan memasukkan faktor probabilitas pengaruh antar jenis *waste* (P_j) berdasarkan total “from” dan “To” pada WRM. Kemudian mempresentasikan bentuk *final waste factor* yang diperoleh sehingga bisa diketahui peringkat *level* dari masing-masing *waste*.

$$Y_{j\text{final}} = Y_j \times P_j = \frac{s_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j} \times P_j; \text{ untuk tiap jenis waste } j \quad (2-4)$$

Sumber: Rawabdeh (2005)

2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapat tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Dr. Genichi Taguchi memiliki latar belakang *engineering*, juga mendalami statistika dan matematika tingkat lanjut, sehingga ia dapat menggabungkan antara teknik statistik dan pengetahuan *engineering*. Ia mengembangkan metode Taguchi untuk melakukan perbaikan kualitas dengan metode percobaan “baru”, artinya melakukan pendekatan lain yang memberikan tingkat kepercayaan yang sama dengan SPC (*Statistical Process Control*).

Taguchi memiliki pandangan yang berbeda mengenai kualitas, ia tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses pembuatan produk tersebut, akan tetapi juga dihubungkan pada konsumen dan masyarakat. “Kualitas

adalah kerugian setelah produk digunakan oleh masyarakat di samping kerugian yang disebabkan oleh mutu produk itu sendiri”.

Taguchi menghasilkan disiplin dan struktur dari disain eksperimen. Hasilnya adalah standarisasi metodologi disain yang mudah diterapkan oleh investigator. Adapun konsep Taguchi adalah :

1. Kualitas seharusnya didisain ke dalam suatu produk dan bukan diinspeksi ke dalamnya.
2. Kualitas dapat diraih dengan baik dengan cara meminimasi deviasi target. Produk tersebut harus dirancang sedemikian rupa hingga dapat mengantisipasi faktor lingkungan yang tak terkontrol.
3. Biaya dari kualitas seharusnya diperhitungkan sebagai fungsi deviasi dari standar yang ada dan kerugiannya harus diperhitungkan juga kedalam sistem.

Taguchi memperkenalkan sebuah metode perancangan terintegrasi yang dikenal sebagai tiga tahapan metode Taguchi sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem (*System Design*)

Tahapan ini bergantung pada fase produk selama siklus hidupnya. Sebagai contoh, selama fase penelitian, dan pengembangan, perancangan sistem meliputi pengembangan suatu prototipe dan penentuan material, *part*, komponen, dan sistem perakitan. Di dalam fase rekayasa produksi, tercakup penentuan proses produksi.

2. Perancangan Parameter (*Parameter Design*)

Pada tahapan ini, akan dipilih tingkatan level (atau nilai) dari faktor-faktor yang dapat meminimumkan efek dari faktor-faktor gangguan terhadap karakteristik fungsional produk.

3. Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*)

Tahapan ini dilaksanakan jika reduksi variasi dari karakteristik fungsional yang dicapai dengan dilaksanakannya perancangan parameter tidak mencukupi. Sehingga harus ditetapkan toleransi yang sempit untuk deviasi parameter rancangan yang berkaitan dengan tingkatan (level) yang telah ditentukan pada tahapan perancangan parameter.

Eksperimen menggunakan metode Taguchi, harus memperhatikan beberapa langkah yang merupakan kunci pokok keberhasilan eksperimen. Langkah-langkah desain eksperimen Taguchi sebagai berikut:

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Mendefinisikan dengan jelas permasalahan yang akan diteliti untuk kemudian

dilakukan suatu upaya perbaikan/peningkatan kualitas.

2. Penentuan tujuan penelitian

Dalam penentuan tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi karakteristik kualitas dan tingkat performansi dari eksperimen.

3. Menentukan metode pengukuran

Menentukan bagaimanakah parameter-parameter yang diamati akan diukur dan bagaimana cara pengukurannya, serta peralatan yang dibutuhkan.

4. Identifikasi faktor

Dilakukan dengan melakukan pendekatan yang sistematis guna menentukan penyebab terjadinya permasalahan.

5. Memisahkan faktor kontrol dan faktor *noise*

Hal-hal yang harus diketahui untuk memulai langkah dalam desain parameter Taguchi adalah jenis-jenis faktor yang mempengaruhi karakteristik proses atau produk. Taguchi membedakan faktor ke dalam dua golongan, yaitu: faktor kontrol dan faktor *noise*.

6. Menentukan level dari faktor dan nilai faktor

Penentuan level ini digunakan untuk menentukan jumlah derajat kebebasan yang akan digunakan dalam pemilihan *Orthogonal Array*.

7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi

Suatu interaksi terjadi apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari level faktor lain. Dengan kata lain interaksi terjadi apabila kumpulan pengaruh dari dua atau lebih faktor berbeda dari jumlah masing-masing faktor secara individu. Adanya interaksi ini juga turut mempengaruhi jumlah derajat bebas.

8. Memilih *Orthogonal Array*

Pemilihan *Orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan jenis *Orthogonal Array* yang dipilih.

9. Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom

10. Melakukan eksperimen

Dalam melakukan eksperimen, sejumlah percobaan disusun untuk meminimasi kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun level yang tepat untuk percobaan.

11. Analisa hasil eksperimen

Dalam menganalisa hasil eksperimen Taguchi, digunakan metode Anova, yaitu perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat terhadap rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat *error*. Beberapa hal yang dilakukan dalam analisa eksperimen, yaitu:

a. Persen Kontribusi

Bagian dari total variasi yang menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi yang signifikan untuk mengurangi variasi pada metode Taguchi dinyatakan dalam persen kontribusi.

b. Rasio Signal terhadap *Noise* (SNR *ratio*) atau *Signal to noise ratio*

Signal to noise ratio menggabungkan beberapa pengulangan pada satu poin data yang mencerminkan jumlah variasi yang ada.

12. Interpretasi hasil eksperimen

Yaitu mengevaluasi faktor mana yang berpengaruh dan tidak berpengaruh terhadap karakteristik kualitas yang dikehendaki.

13. Pemilihan level faktor untuk kondisi proses optimal

Apabila percobaan terdiri dari banyak faktor dan tiap-tiap faktor terdiri dari beberapa level, maka untuk menentukan kombinasi level yang optimal adalah dengan membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level-level yang ada. Faktor dengan perbedaan rata-rata percobaan dan level-levelnya besar, maka faktor tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan.

14. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal

Setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *Orthogonal Array*, kita dapat memperkirakan rata-rata proses pada kondisi yang optimal. Hal ini diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh dari *ranking* faktor yang lebih tinggi.

15. Menjalankan eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa faktor dan level pada kondisi optimal memberikan hasil seperti yang diharapkan.

2.6.1 Orthogonal Array

Orthogonal Array (OA) adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat di ubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Jadi *orthogonal array* adalah matriks seimbang dari faktor dan level

sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*confounded*) dengan pengaruh faktor dan level lain.

Dalam melaksanakan metode Taguchi dalam penelitian, penentuan *orthogonal array* sangatlah penting dan merupakan hal yang tidak dapat diabaikan. Karena *orthogonal array* merupakan suatu matriks pemetaan dari level-level masing-masing faktor untuk mempermudah dalam melakukan pengamatan. Agar dapat menentukan *orthogonal array* yang sesuai dengan penelitian, maka perlu dilakukan prosedur sebagai berikut:

1. Definisikan jumlah faktor dan level-nya

Pengamatan secara langsung terhadap parameter-parameter yang terdapat dalam suatu proses produksi atau suatu mesin produksi perlu dilakukan. Selain pengamatan secara langsung, wawancara kepada pihak-pihak yang ahli dalam bidang tersebut diperlukan untuk menguatkan hasil pengamatan yang dilakukan. Dari parameter-parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan untuk tiap faktor yang ada, sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan.

2. Tentukan derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Menurut Bagchi (1993) perhitungan dengan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Jika n_a dan n_b adalah jumlah perlakuan untuk faktor A dan B, maka:

$$\begin{aligned} \text{Dof untuk faktor A} &= n_a - 1 \\ \text{Dof untuk faktor B} &= n_b - 1 \\ \text{Dof untuk interaksi faktor A dan B} &= (n_a - 1)(n_b - 1) \\ \text{Jumlah total dof} &= (n_a - 1) + (n_b - 1) + (n_a - 1)(n_b - 1) \\ \text{Dof error} &= v_T - v_A - v_B - v_{A \times B} \end{aligned} \quad (2-5)$$

3. Memilih *Orthogonal Array*

Dalam memilih *orthogonal array* yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari *orthogonal array* tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model *orthogonal array* adalah sebagai berikut:

$$L_a(b^c) \quad (2-6)$$

(Soejanto, 2008)

Dimana,

a = banyak eksperimen

b = banyak level

c = banyak faktor/kolom

Dengan *othogonal array* akan dapat dikurangi perlakuan yang dilakukan sehingga akan mengurangi waktu dan biaya. *Othogonal array* telah menyediakan berbagai matriks untuk pengujian faktor-faktor dengan dua taraf dan tiga taraf dengan kemungkinan pengembangan untuk pengujian lebih dari tiga taraf. Tabel 2.6 berikut ini adalah contoh matriks *othogonal array* $L_8(2^7)$.

Tabel 2.6 Contoh Matriks *Othogonal Array* $L_8(2^7)$

Eksperimen	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber: Belavendram (1995)

2.6.2 Klasifikasi Faktor

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (variabel respon) dari suatu produk dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Faktor *Noise*

Faktor *Noise* adalah suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Faktor *noise* dapat menyebabkan pengaruh pada karakteristik secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Faktor *noise* biasanya sulit, mahal, dan tidak menjadi sasaran pengendalian, tetapi untuk tujuan eksperimen, mereka perlu dikendalikan dalam skala kecil.

2. Faktor Kontrol

Faktor kontrol adalah parameter-parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut *level*. Pada akhir eksperimen, level yang sesuai dalam faktor terkendali akan dipilih. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor terkendali sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.

3. Faktor *Signal*

Faktor *signal* adalah faktor-faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor *signal* mempunyai nilai konstan (dalam hal ini tidak dimasukkan sebagai faktor) disebut karakteristik statis. Jika faktor *signal* dapat mengambil banyak *signal*, maka karakteristik mempunyai sifat dinamik. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan hasil yang diinginkan.

4. Faktor *Scaling*

Faktor *Scaling* atau faktor skala adalah faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Faktor *scaling* disebut juga faktor penyesuaian.

Dalam menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dalam eksperimen beserta *setting level* ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Faktor *levels*, merupakan jumlah level atau atribut yang diberikan oleh faktor-faktor yang berpengaruh dalam eksperimen, baik faktor terkendali, faktor *noise*, faktor *signal*, atau faktor skala.
2. *Number of factor levels*, jumlah level dan *setting level* yang dipilih tergantung pada sejauh mana kita mengetahui proses atau produk yang akan diteliti.
3. *Range of factor levels*, semakin luas jarak yang digunakan dalam eksperimen, maka kemungkinan ditemukannya efek dari faktor yang ada dalam penentuan karakteristik kualitas akan semakin baik.
4. *Feasibility of factor levels*, dalam pemilihan level untuk tiap faktornya perlu mempertimbangkan apakah level yang dipilih memungkinkan atau dapat dijalankan dalam membuat kombinasi eksperimen.

2.6.3 *Signal to Noise Ratio*

Signal to noise ratio (SNR) adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik. Dalam hal ini SNR bertindak sebagai indikator mutu selama perancangan untuk mengevaluasi akibat perubahan suatu perancangan parameter tertentu terhadap unjuk kerja produk. Maksimasi ukuran performansi ditunjukkan dengan tingginya nilai *signal* dan rendahnya *noise*, karena itu karakteristik kualitas perlu dikelompokkan terlebih

dahulu agar diperoleh konsistensi dalam mengambil keputusan terhadap hasil eksperimen.

Signal to Noise Ratio (SNR) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon. Taguchi menciptakan transformasi dari pengulangan data ke nilai lain yang merupakan ukuran dari variansi yang ada. Transformasinya adalah *signal to noise ratio* atau SNR. Perhitungan SNR yang dilakukan tergantung dari karakteristik mutu yang dituju. Karakteristik kualitas adalah hasil dari proses yang berkaitan dengan kualitas. Taguchi membagi karakteristik kualitas menjadi 3 kategori, yaitu:

a. *Nominal is the Best*

Merupakan karakteristik kualitas terukur dengan nilai target yang secara spesifik telah ditentukan sebelumnya, nilainya dapat positif maupun negatif.

Nilai untuk *nominal is the best* adalah:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

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

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (2-7)$$

Dengan,

μ = nilai rata-rata

y_i = nilai sampel ke- i

n = jumlah sampel

σ^2 = deviasi dari tiap *run*

b. *Larger the Better*

Merupakan karakteristik kualitas terukur dengan nilai non-negatif yang mempunyai kondisi ideal dan nilai targetnya adalah nilai yang sebesar-besarnya (tak terbatas). Nilai SNR untuk karakteristik kualitas *larger the better* adalah:

$$SNR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2-8)$$

c. *Smaller the Better*

Merupakan karakteristik kualitas terukur dengan nilai non-negatif dan tergetnya adalah nilai yang sekecil-kecilnya (nol). Nilai SNR untuk karakteristik kualitas *smaller the better* adalah:

$$SNR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2-9)$$

2.6.4 Analysis of Variance (ANOVA)

Analisis variansi atau *analysis of variance* diperkenalkan pertama kali oleh Sir Ronald Fisher, ahli statistik dari Inggris. Analisis variansi adalah suatu metode yang membagi variansi menjadi sumber variansi yang dapat diidentifikasi dan merupakan pengumpulan derajat kebebasan dalam eksperimen. Analisis yang dilakukan memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon.

Dalam perhitungan analisis variansi metode Taguchi langkah-langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut (Belavendram, 1995):

1. Menghitung rata-rata respon setiap eksperimen dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{y} = \frac{\sum x}{n} \quad (2-10)$$

2. Menghitung rata-rata total seluruh eksperimen dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n} \quad (2-11)$$

3. Membuat tabel respon, perbedaan dapat diketahui dengan cara melakukan pengurangan nilai tertinggi dengan nilai terendah dari tiap-tiap level, kemudian diranking dari nilai tertinggi sampai terendah, kemudian dimasukkan dalam tabel respon seperti contoh pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.7 Contoh Tabel Respon

	A	B	C	D	E	F	G
Level 1							
Level 2							
Difference							
Rank							

Sumber: Belavendram (1995)

4. Menghitung *the total sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2 \quad (2-12)$$

5. Menghitung *the sum of squares due to the mean* dengan rumus sebagai berikut:

$$Sm = n\bar{y}^2 \quad (2-13)$$

6. Menghitung *the sum of squares due to the factors* dengan rumus sebagai berikut:

$$SS_i = (n_{i1} \times \bar{i}1^2 + n_{i2} \times \bar{i}2^2 + \dots + n_{ij} \times \bar{i}j^2) - Sm \quad (2-14)$$

7. Menghitung *the sum of squares due to the error* dengan rumus sebagai berikut:

$$Se = ST - Sm - (SS_A + SS_B + \dots + SS_i) \quad (2-15)$$

8. Menghitung *the mean sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$M_i = \frac{SS_i}{DF_i} \quad (2-16)$$

9. Menghitung *F-ratio* dengan rumus sebagai berikut:

$$F_i = \frac{M_i}{M_e} \quad (2-17)$$

10. Menghitung *pure sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$SS'_i = SS_i - (DF_A \times M_e) \quad (2-18)$$

11. Menghitung *percent contribution* dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho_i = \frac{SS'_i}{SS_t} \times 100\% \quad (2-19)$$

12. Membuat tabel analisis variansi hasil perhitungan

2.6.5 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan atau selang kepercayaan adalah interval antara dua nilai statistik dengan tingkat probabilitas tertentu dimana nilai yang sebenarnya dari parameter berada di dalamnya. Dalam perncangan kualitas suatu produk interval kepercayaan dibagi menjadi tiga macam ketentuan, yaitu:

1. Interval kepercayaan untuk level faktor

Untuk menghitung interval kepercayaan dari masing-masing faktor level digunakan rumus:

$$CI_{mean} = \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot MSe \cdot \left[\frac{1}{n} \right]} \quad (2-20)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Sehingga interval kepercayaan untuk masing-masing level faktor dapat dihitung dengan rumus:

$$\bar{XY} - CI \leq \mu \bar{XY} \leq \bar{XY} + CI \quad (2-21)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Dengan,

X = faktor ke-x

Y = level ke-y

2. Interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata (prediksi)

Perhitungan ini digunakan untuk menghitung interval kepercayaan untuk prediksi.

Sebagai contoh, apabila dalam suatu eksperimen terdapat tujuh fator (A, B, C, D, E, F, G) dan faktor B, D, F merupakan faktor yang penting, pada saat kita ingin

meminimasi variansi. Faktor level D_1 , B_1 , dan F_2 digunakan untuk menghitung *the predicted process mean*, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (\overline{D1} - \bar{y}) + (\overline{B1} - \bar{y}) + (\overline{F2} - \bar{y}) \quad (2-22)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Menghitung interval kepercayaan perkiraan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot MSe \cdot \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]} \quad (2-23)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Dengan,

$F_{\alpha, v1, v2}$ = tabel F rasio

α = tingkat kepercayaan (taraf nyata)

$v1$ = derajat bebas untuk rata-rata dan nilainya selalu 1 untuk interval kepercayaan

$v2$ = derajat bebas untuk *pooled error variance*

MSe = variansi kesalahan gabungan (*pooled error variance*)

n = jumlah pengamatan

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experiments}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}} \quad (2-24)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Sehingga interval kepercayaan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{predicted} - CI \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI \quad (2-25)$$

Sumber: Belavendram, 1995

3. Interval kepercayaan untuk percobaan konfirmasi

Interval kepercayaan untuk percobaan konfirmasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times MSe \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (2-26)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Sehingga interval kepercayaan dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{predicted} - CI \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI \quad (2-27)$$

Sumber: Belavendram, 1995

2.6.6 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk membuktikan performansi yang diramalkan, yaitu kondisi optimal untuk level faktor dalam eksperimen. Jika hasil eksperimen konfirmasi membuktikan performansi yang diramalkan, maka kondisi

optimal dapat diterapkan pada proses. Jika sebaliknya, maka desain eksperimen tambahan perlu dilakukan. Jumlah sampel atau replikasi dalam eksperimen konfirmasi minimal (r) diambil sejumlah 10 sampel. Keputusan kondisi optimal dapat diterima atau ditolak didapatkan dari hasil membandingkan rata-rata nilai estimasi dan rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan masing-masing level kepercayaan. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Perbandingan Interval Kepercayaan Eksperimen Taguchi

Kondisi	Perbandingan	Keterangan	Keputusan
A		Optimal	Diterima
		Konfirmasi	
B		Optimal	Diterima
		Konfirmasi	
C		Optimal	Ditolak
		Konfirmasi	

Sumber: Belavendram (1995)

