

Lembar Pengesahan

**DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK  
PENINGKATAN MUTU HASIL PENGELASAN PIPA  
STEAM COIL TANGKI TIMBUN CRUDE OIL**



Tesis telah disetujui pada tanggal 23 Desember 2011

Pembimbing I,

**Dr. Ir. Wahyu Supartono**  
NIP 196309191988031003

Pembimbing II,

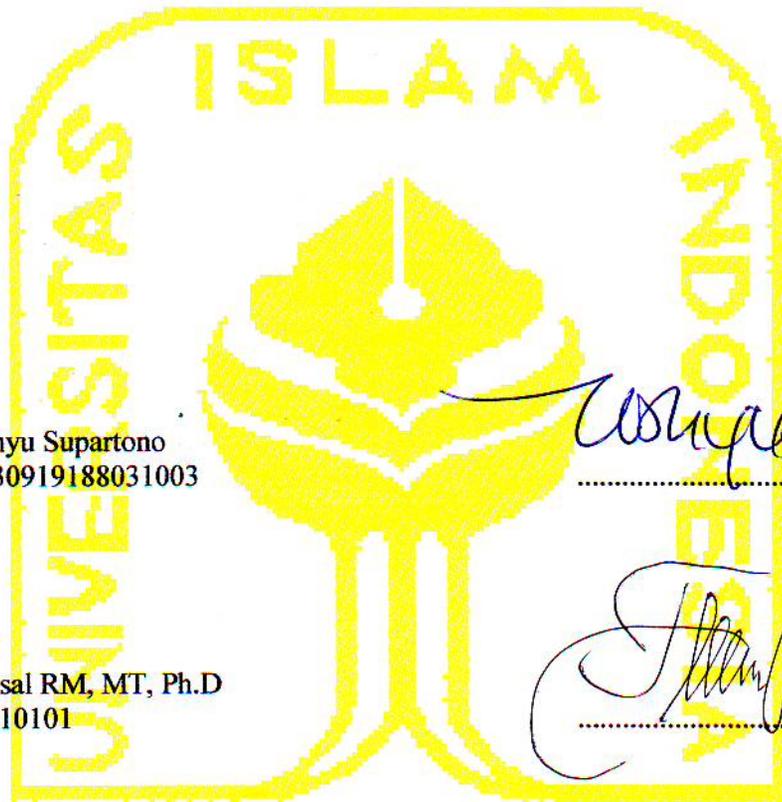
**Ir. Ali Parkhan, MT**  
NIP 905220102

Mengetahui

Direktur Magister Teknik Industri

**Dr. Sri Kusumadewi S.Si, MT**  
NIP 945230102

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji  
Program Magister Teknik Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Pada Tanggal 27 Desember 2011



Ketua  
Penguji I  
Dr.Ir. Wahyu Supartono  
NIP . 19630919188031003

*Wahyu Supartono*

Anggota  
Penguji II  
Drs.Ir. Faisal RM, MT, Ph.D  
NIP. 845210101

*Faisal RM*

Penguji III  
Ir. Elisa Kusriani, MT, CPIM  
NIP. 935220101

*Elisa Kusriani*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum War. Wab.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia Nya, sehingga dapat diselesaikan Tesis dengan judul **Disain Eksperimen Taguchi Untuk Peningkatan Mutu Hasil Pengelasan Pipa Steam Coil Tangki Timbun Crude Oil .**

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik Industri, Jurusan Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. terselesaikannya Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Edy Suandi Hamid, M, Ec , selaku Rektor Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Susanto, MSc, selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
3. Ibu Dr. Sri Kusumadewi S.Si, MT , selaku Direktur Pascasarjana Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
4. Bapak dan Ibu Dosen beserta Staf, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang senantiasa mendidik penulis dalam menyelesaikan perkuliahan
5. Bapak Dr.Ir. Wahyu Supartono , selaku dosen pembimbing satu yang telah berkenan memberikan bimbingan, saran dan waktunya untuk menyelesaikan Tesis ini
6. Bapak Ir. Ali Parkhan MT, selaku dosen pembimbing dua yang telah mensupport dan membantu dalam berbagai hal sehingga Tesis ini dapat diselesaikan.

7. Bapak Ir. Dodi Anggana, serta segenap keluarga besar Bengkel Las PT. Pertamina RU.V Balikpapan, yang telah membatu sarana dan prasarana dalam melakukan penelitian ini
8. Kedua Orang Tua, Anak dan Istri, yang telah memberikan curahan kasih sayang dan do'a kepada penulis
9. Kepada semua pihak yang tidak bias disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Tesis ini .

Sebagai manusia biasa, saya sadar bahwa masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penulisan Tesis ini, untuk itu penulis dengan senang hati menerima segala kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan dari Tesis ini

Wassalamu'alaikum War. Wab

Jogyakarta , 21 Desember 2011

Penulis

## DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK PENINGKATAN MUTU HASIL PENGELASAN PIPA STEAM COIL TANGKI TIMBUN CRUDE OIL

### ABSTRAK

Dalam proses repair tangki timbun tidak terlepas dari proses pengelasan, adapun kendala yang ada, adalah cacat hasil pengelasan, bila ditinjau pada unit steam coil yang digunakan sebagai sistem pemanas pada tangki timbun, sesuai hasil inspeksi dari 68 titik pengelasan terdapat 23 titik yang mengalami kecacatan atau mencapai 33,82 % dari volume yang ada, dengan *repair* akan timbul kerugian baik material, waktu, tenaga kerja dan tentunya biaya yang tidak murah. Untuk mengurangi dampak dari hal ini, sesuai dengan instruksi perusahaan akan sadar mutu maka diupayakan perbaikannya. Dengan dilakukan penelitian ini diharapkan dapat menentukan faktor – faktor yang berpengaruh dan menentukan level faktor yang tepat untuk meningkatkan kekerasan hasil pengelasan.

Penelitian menggunakan metoda Taguchi dengan pemilihan kualitas hasil pengelasan yang baik, dengan nilai semakin tinggi tingkat kekerasan hasil las akan semakin baik ( *Larger the Better* ). Diperoleh respon rata – rata kekerasan hasil pengelasan dalam satuan Pascal adalah C1, E2, D1, G2, B2, F1, A2 dengan komposisi C1 ukuran elektroda 3,2 mm, E2 Kuat arus 180 Ampere, D1 kecepatan pengelasan 65s/Cm, G2 panjang busur api 4,5mm, B2 besar tegangan listrik 45 volt, F1 Temperatur pemanasan awal 37°C, A2 sudut kampuh 65° serta pemilihan nilai SNR didapatkan formulasi variabel respon yaitu : G<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, A<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>, dengan komposisi G<sub>2</sub> panjang busur api 4,5mm, B<sub>2</sub> besar tegangan listrik 45Volt, C<sub>2</sub> ukuran elektroda 4 mm, F<sub>2</sub> Temperatur pemanasan awal 45°C, A<sub>2</sub> Sudut kampuh 65°, D<sub>1</sub> Kecepatan pengelasan 65s/Cm, E<sub>1</sub> kuat arus listrik 105Ampere.

Eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan pada rata – rata dan variabilitasnya, respon kekerasan hasil pengelasan awal sebesar 72,59 Pascal , pada kondisi optimal prediksi sebesar 91,67 Pascal, pada kondisi optimal konfirmasi sebesar 74,93 Pascal sehingga diperoleh improvmen sebesar 2,34 Pascal

Diperoleh setting kombinasi level yang optimum dari rasio S/N dengan kontribusi factor G sebesar 32,614%, faktor B sebesar 28,366% dan factor C sebesar 2,33%, sehingga kondisi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk meningkatkan kekerasan hasil pengelasan.

Kata Kunci : Taguchi, Kekerasan, Kombinasi level, optimal

## TAGUCHI EXPERIMENTS FOR IMPROVED DESIGN OF QUALITY WELDING PIPE STEAM COIL PILET TANK CRUDE OIL

### ABSTRACT

In the process of repair pilet tank can not be separated from the welding process, as for the existing constrains, is the result of welding defects, when viewed on the unit used as a steam coil heating in piled tank system, according to the results of inspection of the welding point 68 there are 23 points that the experience of disability or reached 33.82% of the volume of existing, with a good repair material losses will arise, time, labor, and of course the cost is not cheap. To reduce the impact of this case, in accordance with the instructions of the company will realize the quality improvement effort. With the research done is expected to determine factors - factors that influence and determine the appropriate factor levels to increase the hardness of the welding.

Research using the Taguchi method with the selection of a good quality of welding, with the value the higher the level of violence will get better welds (Larger the Better). Response obtained average - average hardness of welding results in units of Pascal is C1, E2, D1, G2, B2, F1, A2 with composition C1 electrode size 3.2 mm, E2 current 180 Ampere, D1 welding speed 65s/Cm, G2 length arc 4.5mm, B2 voltage 45 volts, F1 preheating temperature of 37 ° C, A2 seam angle 65° and the selection of formulations obtained SNR values the response variable, namely: G2, B2, C2, F2,A2,D1,E1. with the composite of G2 arc length of 4.5 mm, B2 voltage 45Volt, C2 electrode size 4 mm, F2 preheating temperature of 45°C, A2 seam angle 65°, D1 welding speed 65s/Cm, E1 current 105Ampere

Taguchi experiments to experimentally confirm an increase in the average - average and variability, the response force initial welding results for 72.59 Pascal, on prediction of optimal conditions for 91.67 Pascal, the optimal conditions for confirmation 74.93 Pascal in order to obtain improvmen at 2, 34 Pascal

Obtained by setting the optimum level combination of the ratio S / N with the contribution factor G of 32.614%, factor B of 28.366% and factor C of 2.33%, so this condition can be used as a reference to improve the hardness of the welding.

Keyword ; Taguchi, Violence, Combination level, Optimal

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PRASYARAT GELAR.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	iii
HALAMAN PENETAPAN PANITIA PENGUJI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR RUMUS.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I      PENDAHULUAN.....	1
1.1      Latar Belakang Masalah.....	1
1.2      Batasan Masalah.....	4
1.3      Perumusan Masalah.....	4
1.4      Tujuan Penulisan.....	4
1.5      Kegunaan Penulisan.....	5
1.6      Metoda Penulisan .....	5

BAB II	LANDASAN TEORI .....	7
2.1	Pengertian Pengelasan.....	7
2.1.1	Las SMAW ( <i>Shielded Metal Arc Welding</i> ).....	10
2.1.2	Elektroda Terbungkus .....	11
2.1.3	Besar Arus Listrik .....	12
2.2	Kualitas .....	14
2.2.1	Pengendalian Kualitas .....	15
2.2.1.1	Diagram Pareto .....	17
2.2.1.2	Diagram tulang ikan ( <i>Fishbone Diagram</i> ) .....	18
2.2.1.3	Pengendalian Kualitas Pengelasan .....	19
2.2.2	Klasifikasi Karakteristik Kualitas .....	21
2.3	Desain Eksperimen .....	23
2.3.1	Desain Eksperimen Taguchi .....	24
2.3.1.1	Fungsi Kerugian Kualitas ( <i>Quality Loss Function</i> ) .....	27
2.3.1.2	Derajat Bebas ( <i>Degree Of Freedom</i> ) .....	30
2.3.1.3	Orthogonal Arrays dan Matriks Eksperimen .....	30
2.3.1.4	Rasio Signal to Noise (SNR) .....	34
2.4	Uji Normalitas dan Homogenitas .....	35
2.4.1	Uji Normalitas .....	35
2.4.2	Uji Homogenitas Variansi .....	36
2.5	<i>Analysis of Variance</i> ( Anova ) .....	38

2.6	Eksperimen Konfirmasi .....	41
2.7	Uji Beda .....	42
BAB III	METODE PENELITIAN.....	44
3.1	Rancangan Penelitian.....	44
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian .....	47
3.3	Subject Penelitian .....	47
3.4	Penentuan sumber data .....	47
3.5	Variabel Penelitian .....	48
3.6	Bahan Penelitian .....	55
3.7	Instrumen Penelitian .....	55
3.8	Prosedur Penelitian .....	60
3.9	Teknik Analisa Data .....	61
BAB IV	HASIL PENELITIAN .....	65
4.1	Persiapan .....	65
4.2	Pengumpulan Data .....	65
4.2.1	Faktor Kendali dan Noise .....	74
4.2.2	Penentuan Orthogonal Array .....	76
4.2.3	Data Hasil Percobaan .....	77
4.3	Uji Normalitas .....	78
4.4	Uji Homogenitas .....	82
4.5	Analisis Variansi (ANOVA) .....	85

4.6	Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Rata – Rata Kekerasan. Hasil Pengelasan .....	90
4.7	Perhitungan Nilai Signal to Noise Rasio (SNR).....	92
4.7.1	Pengaruh Level dari Faktor terhadap Variansi Kekerasan Hasil Las .....	94
4.7.2	Analisis Varian Rasio S/N .....	97
4.7.3	Prediksi S/N Kekerasan Hasil Pengelasan Yang Optimal .....	101
4.8	Eksperimen Konfirmasi .....	102
4.8.1	Pengolahan Data Konfirmasi .....	102
4.8.2	Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi .....	103
4.9	Uji Beda .....	104
BAB V	PEMBAHASAN .....	107
BAB VI	SIMPULAN DAN SARAN .....	111
6.1	Simpulan .....	111
6.2	Saran .....	112

## DAFTAR TABEL

Tabel		Hal
2.1	Type Electroda dan Besar Kuat Arus .....	13
2.2	Orthogonal Array Untuk Setiap Level .....	33
4.1	Persentase Cacat Hasil Pengelasan .....	66
4.2	Faktor Penyebab Cacat Hasil Pengelasan .....	74
4.3	Pemilihan Faktor Berdasarkan Literatur dan Pengalaman ..	75
4.4	Faktor Kendali .....	75
4.5	Data Nilai Kekerasan Hasil Pengelasan (Pascal) .....	77
4.6	Distribusi Frekuensi .....	79
4.7	Daftar Penolong Uji Normalitas .....	81
4.8	Data Penggabungan Kelas .....	82
4.9	Uji Bartlet Kekerasan Hasil Pengelasan .....	83
4.10	Analisa Varian Nilai Rata – Rata .....	90
4.11	Respon Rata – Rata Kekerasan Hasil Pengelasan .....	91
4.12	Hasil Perhitungan SNR .....	93
4.13	Respon Rasio S/N Kekerasan Hasil Pengelasan .....	95
4.14	Analisa S/N Rasio Kekerasan Hasil Pengelasan .....	99
4.15	Hasil Percobaan Konfirmasi .....	102
4.16	Perbandingan Nilai Kekerasan Hasil Pengelasan .....	105
5.1	Interpretasi Ukuran Kekerasan Hasil Pengelasan .....	109
5.2	Perbandingan Nilai Kekerasan Hasil Pengelasan .....	109

## DAFTAR GAMBAR

Gambar		Hal
3.1	Diagram Alir Rencana Penelitian .....	46
3.2	Tang Ampere .....	56
3.3	AVO Meter .....	57
3.4	Stop Watch .....	57
3.5	Infra Red Temperatur .....	58
3.6	Digital Hardness Tester .....	59
3.7	Electrical Weld Machine .....	60
3.8	Orthogonal Array .....	63
4.1	Diagram Pareto Cacat Hasil Pengelasan .....	67
4.2	Diagram Tulang Ikan .....	68
4.3	Bentuk Cacat Porosity .....	69
4.4	Bentuk Cacat Crack .....	70
4.5	Bentuk Cacat Kurang Fusi .....	71
4.6	Bentuk Cacat Imperfect Shape .....	72
4.7	Bentuk Cacat Inklusi .....	73
4.8	Orthogonal Array .....	76
4.9	Diagram Faktor Kendali SNR .....	96

## DAFTAR RUMUS

Rumus	Hal
1      Nominal The best .....	28
2      Smaller The Better .....	29
3      Larger The Better .....	29
4      Degree Of Freedom Total ( Dft ) .....	30
5      Degree Of Freedom Factor ( DfA ) .....	30
6      Degree Of Freedom Error ( Dfe ) .....	30
7      Memilih Matrik Orthogonal .....	32
8      SNR Smaller The Better .....	34
9      SNR Larger The Better .....	34
10     SNR Nominal The Better .....	34
11     Nilai Standard Deviasi .....	34
12     Persamaan Fungsi Distribusi Normal .....	35
13     Sum Of Square Total ( SST ) .....	38
14     Total Nilai Respon .....	38
15     Sum Of Square due to Mean Factor ( SSA ) .....	39
16     Sum Square interacting Of Factor .....	39
17     Error Sum Of Square .....	39
18     Degree Of Freedom Total ( $V_{ft}$ ) .....	39
19     Degree Of Freedom Factor ( $V_f$ ) .....	39
20     Degree Of Freedom Error ( $V_{fe}$ ) .....	40
21     Sum as Square due to Error ( Se ) .....	40
22     Mean Of Square ( $M_q$ ) .....	40

23	F Ratio .....	40
24	Pure Of Square ( $S^2$ ) .....	40
25	Procent Contributions ( $\rho$ ) .....	40
26	Mean of Square ( $V$ ) .....	40
27	Confidens Internal ( CI ) .....	41
28	Uji Beda Sampel kecil.....	42
29	Uji Beda .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Hal
1	Inspection Report	
2	DYE Penetrant Test	
3	Layout Steam Coil Tangki Timbun	
4	Data Awal Percobaan	
5	Perhitungan SNR	
6	Perhitungan Level Faktor	
7	Penentuan factor dan Level berdasarkan literature	
8	Penentuan Faktor dan Level berdasarkan hasil cacat las	

**TESIS**

**DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK  
PENINGKATAN MUTU HASIL PENGELASAN PIPA  
STEAM COIL TANGKI TIMBUN CRUDE OIL**



**BAMBANG SUGENG  
09916115**

**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2011**

**DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK  
PENINGKATAN MUTU HASIL PENGELASAN PIPA  
STEAM COIL TANGKI TIMBUN CRUDE OIL**

**Tesis untuk memperoleh Gelar Magister pada Program Pascasarjana Magister  
Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**

**BAMBANG SUGENG  
09916115**

**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2011**

Lembar Pengesahan

**DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK  
PENINGKATAN MUTU HASIL PENGELASAN PIPA  
STEAM COIL TANGKI TIMBUN CRUDE OIL**

Tesis telah disetujui pada tanggal 23 Desember 2011

Pembimbing I,

Pembimbing II,

**Dr.Ir. Wahyu Supartono**  
NIP 196309191988031003

**Ir. Ali Parkhan. MT**  
NIP 905220102

Mengetahui  
Direktur Magister Teknik Industri

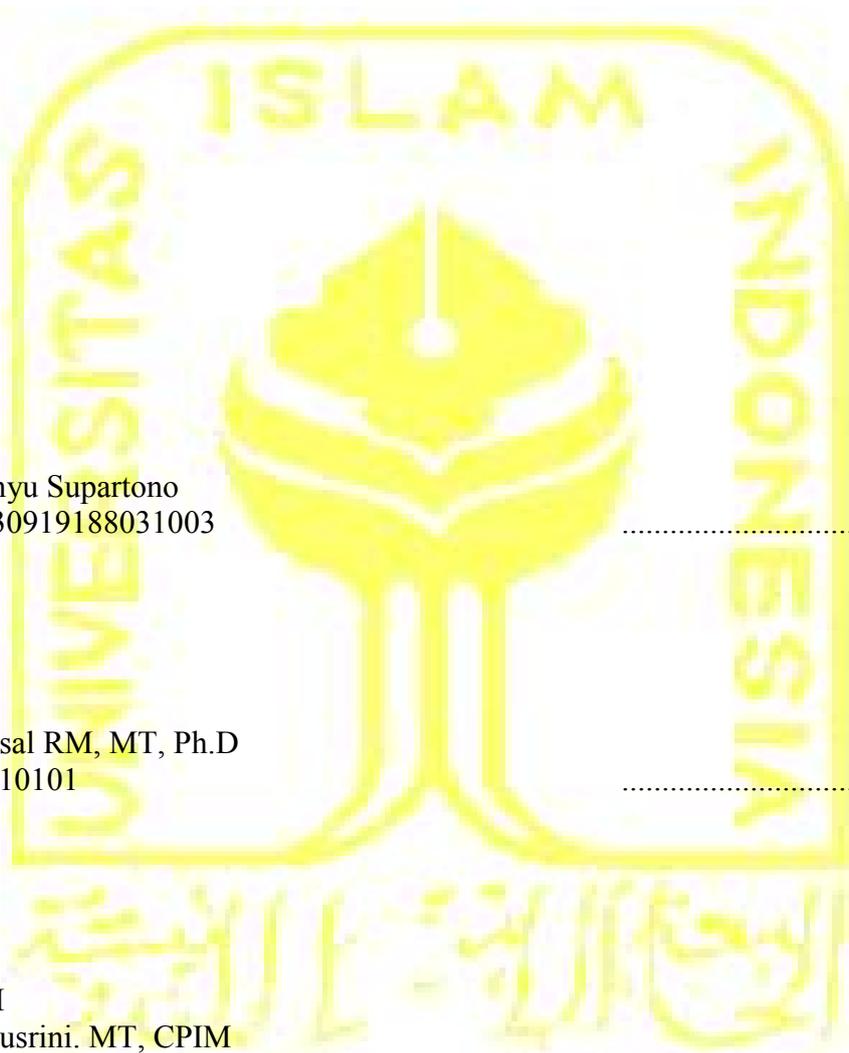
**Dr. Sri Kusumadewi S.Si, MT**  
NIP 945230102

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji  
Program Magister Teknik Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Pada Tanggal 27 Desember 2011

Ketua  
Penguji I  
Dr.Ir. Wahyu Supartono  
NIP . 19630919188031003

Anggota  
Penguji II  
Drs.Ir. Faisal RM, MT, Ph.D  
NIP. 845210101

Penguji III  
Ir. Elisa Kusrini. MT, CPIM  
NIP. 935220101





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kilang Minyak Unit pengolahan V Balikpapan merupakan kegiatan industri perminyakan di Indonesia yang didirikan mulai tanggal 10 Pebruari 1897, diawali dengan penemuan sumur minyak Mathilda dan selanjutnya pembangunan kilang minyak oleh Shell Transport & Trading LTD pada tahun 1899, dan terus berkembang. Pada tahun 1948 dilakukan rehabilitasi kerusakan akibat perang Dunia ke dua dan pada tahun 1950 telah beroperasi kembali.

Sejak tahun 1966 semua aset Shell dipindahkan ke Indonesia dan berganti nama PN PERMINA yang kemudian dirubah menjadi PERTAMINA, tahun 1980 Kilang Balikpapan II dibangun dan beroperasi pada tahun 1984 dengan kapasitas 200.000 barrel per hari, dan pada tahun 1995 dilakukan *upgrade* kilang Balikpapan I dan beroperasi tahun 1997 dengan kapasitas 60.000 barrel per hari , sehingga total produksi saat ini adalah 260.000 barrel per hari (Pertamina, 2005)

Guna menampung bahan baku minyak mentah ( crude oil ) dan hasil produk berupa minyak jadi maka diperlukan adanya tangki timbun bahan bakar minyak yang memenuhi standard internasional, untuk mencapai hal tersebut maka sejak tahun 2002 Direksi Pertamina menetapkan sebagai tahun sadar mutu. Seluruh jajaran Pertamina harus menjadikan mutu sebagai sistem manajemen dan budaya kerja disetiap kegiatan untuk mewujudkan Pertamina yang unggul, maju dan terpandang (Baihaki Hakim, 2002). Untuk memenuhi kebutuhan operasional tersebut PT Pertamina Unit Pengolahan V Balikpapan memerlukan unit tangki timbun dengan

berbagai ukuran, guna menjamin keamanan operasional tangki timbun, maka perlu adanya sistem pengaman yang handal serta pelaksanaan pemeliharaan dan recalibrasi yang terjadwal dari unit tangki timbun tersebut. Oleh karena ada standard yang harus dipenuhi yaitu setiap tangki timbun bahan bakar minyak harus dilakukan inspeksi eksternal secara visual oleh inspector yang berwenang setidaknya setiap 5 (lima) tahun (API 650, pasal 6.3.2.1) dan dalam masa fungsinya sebagai alat tampung bahan bakar minyak, baik sebagai fungsi transit, fungsi penyimpan ataupun sebagai fungsi distribusi. Adapun instansi yang melakukan inspeksi dan kalibrasi untuk di Indonesia saat ini adalah Dinas Metrologi Migas.

PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan memiliki 120 unit tangki timbun yang terdiri atas berbagai ukuran dan kapasitas tangki, baik sebagai penampung bahan baku (*crude oil*) ataupun produk jadi dari proses kilang. Dalam pelaksanaan proses pemeliharaan dan kalibrasi tangki dalam satu tahun harus dapat diselesaikan minimal 4 (empat) unit tangki timbun untuk memenuhi standard yang telah ditentukan. Pada proses *overhaul* atau repair dari tangki timbun tidak terlepas dari pada proses repair atau penggantian komponen dari unit tangki timbun tersebut seperti: *piping system* baik sebagai saluran *transfer*, *steam coil*, peralatan *safety* serta penggantian *plate*, baik *plate* tersebut sebagai dinding, atap ataupun sebagai bottom dari tangki, dengan menggunakan berbagai ukuran tebal *plate* yang tidak seragam sehingga memerlukan adanya pengawasan yang ketat dalam proses reparasinya. Dalam proses reparasi tersebut tidak terlepas dari penggunaan mesin las, baik yang digunakan untuk memotong ataupun digunakan untuk penyambungan.

Seiring dengan perkembangan teknologi dibidang konstruksi, pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan

industri, karena mempunyai peranan yang sangat penting dalam rekayasa dan reparasi produksi logam, hampir pada setiap pembangunan suatu konstruksi dengan logam melibatkan pekerjaan pengelasan.

Dalam proses *repair* yang dilakukan sudah ditentukan jadwal pelaksanaannya mulai dari pengosongan isi tangki, pembersihan dan pelaksanaan perbaikan dan kalibrasi diberikan waktu sekitar 6 (enam) bulan, dengan ketatnya jadwal ini maka proses perbaikan harus mendapatkan proses pengawasan yang cukup, namun demikian pada proses pelaksanaannya banyak terjadi kendala sehingga tidak sesuai jadwal yang telah ditetapkan. Adapun kendala yang ada, salah satunya adalah cacat hasil pengelasan, cacat pengelasan hanya ditinjau pada unit steam coil yang digunakan sebagai sistem pemanas pada tangki timbun, bila ditinjau dari pemeriksaan hasil pengelasan dari 68 titik pengelasan terdapat 23 titik yang mengalami kecacatan atau mencapai 33,82 % dari volume yang ada. Dengan adanya cacat ini maka akan ada pekerjaan perbaikan atau *repair*, dengan *repair* akan timbul kerugian baik material, waktu, tenaga kerja dan tentunya biaya yang tidak murah. Untuk mengurangi dampak dari hal ini, sesuai dengan instruksi perusahaan akan sadar mutu maka diupayakan perbaikannya.

Upaya mengatasi permasalahan tersebut, perlu diadakan suatu penelitian untuk mengidentifikasi faktor - faktor kontrol yang berpengaruh kuat terhadap mutu hasil pengelasan, sehingga dapat meminimalkan terjadinya kecacatan hasil dan terjadinya kerja berulang. Untuk mendapatkan setting terbaik dalam menghasilkan produk yang diharapkan yaitu dengan melakukan disain eksperimen Taguchi.

Dengan melakukan disain eksperimen Taguchi ini, diharapkan dapat mengetahui faktor – faktor yang berpengaruh terhadap mutu hasil pengelasan dan

menghasilkan kombinasi level faktor yang tepat, yang memberikan peningkatan kualitas terhadap produk dan pada akhirnya dapat meningkatkan keuntungan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a) Faktor apa saja yang berpengaruh terhadap nilai kekerasan hasil pengelasan
- b) Bagaimana kombinasi level faktor yang tepat untuk meningkatkan kekerasan pada hasil pengelasan.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari permasalahan yang semakin melebar dan agar tujuan lebih terarah, mengingat dalam proses *repair* tangki timbun tersebut proses pekerjaan sangatlah banyak sehingga dalam proses penelitian diambil batasan sebagai berikut :

- a) Penelitian dilakukan pada proses pengelasan *steamcoil* pada tangki timbun T903 yang digunakan sebagai penampung *crude oil*, dengan bahan carbon steel, 2 inchi schedule 80, A106 / API 5L.
- b) Karakteristik hasil pengelasan selalu dilakukan dengan pengujian seperti Uji tarik, Uji lengkung (*bending*) uji patah (*nickbreak test*), uji kekerasan *Vickers* dan uji lain yang berhubungan dengan test kualifikasi prosedur las WPQ(*welding Procedure Qualification*). Oleh karena proses uji yang bisa langsung dilakukan dilapangan adalah uji

*vickers* maka kekerasan hasil pengelasan ini dapat dianggap mewakili mutu hasil pengelasan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a) Menentukan faktor – faktor yang berpengaruh terhadap kekerasan hasil pengelasan steam coil tangki timbun.
- b) Menentukan kombinasi level faktor yang tepat untuk meningkatkan kekerasan hasil pengelasan

#### **1.5 Kegunaan Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- a) Meningkatkan mutu hasil pengelasan sehingga mengurangi terjadinya *repair* pada pekerjaan pengelasan
- b) Meningkatkan daya guna dari tangki timbun sehingga dapat menurunkan biaya.

#### **1.6 Sistematika Penulisan.**

Penulisan hasil penelitian ini disusun secara sistematis kedalam beberapa bab, dan masing – masing bab akan diuraikan sebagai berikut :

##### **BAB I            PENDAHULUAN**

Dalam bab ini memberikan penjelasan tentang latar belakang masalah, Perumusan masalah, batasan masalah, Tujuan penelitian, Kegunaan penelitian dan sistematika penulisan.

##### **BAB II           LANDASAN TEORI**

Dalam bab ini memberikan penjelasan terperinci mengenai teori – teori yang digunakan sebagai dasar untuk pemecahan masalah. Teori yang digunakan adalah teori mengenai kualitas, pengendalian kualitas, desain eksperimen Taguchi, dan metode – metode yang akan digunakan dalam pengolahan data. Disamping itu juga dimuat uraian tentang hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

### BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang : Rencana penelitian, Lokasi dan waktu penelitian, Ruang lingkup penelitian yang dilakukan, penentuan sumber data, Variabel penelitian, bahan – bahan dan instrument penelitian yang digunakan, prosedur pelaksanaan penelitian dan cara – cara pengolahan serta analisis data.

### BAB IV HASIL PENELITIAN

Dalam bab ini memuat tentang persiapan penelitian, cara pengumpulan data baik dalam bentuk tabel maupun photo, pengumpulan data hasil eksperimen dan pengolahan data hasil eksperimen

### BAB V PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang analisa dan implementasi terhadap pengolahan data , dengan memadukan antara konsep teori dan hasil penelitian.

### BAB VI SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir yang memuat tentang kesimpulan yang diperoleh dari analisa pemecahan masalah maupun hasil pengumpulan data, serta saran untuk perusahaan.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pengertian Pengelasan

Definisi pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Menurut DIN (*Deutsche Industrie Norm*), las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya (Alip, 1989), sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat sambungan las yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain : prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis sudut kampuh yang digunakan.

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan yang paling banyak digunakan pada saat ini. Teknik penyambungan logam sebenarnya terbagi dalam dua kelompok besar yaitu : 1. Penyambungan sementara (*temporary joint*), yaitu teknik penyambungan logam yang dapat dilepas kembali, termasuk dalam kelompok ini adalah : penyambungan paku keling (*rivet*), penyambungan klem (*clamp*) dan penyambungan mur baut. 2. penyambungan tetap (*permanent joint*) yaitu teknik penyambungan logam dengan cara mengubah struktur logam yang akan disambung dengan penambahan logam pengisi. Termasuk dalam kelompok ini adalah solder, brazing dan pengelasan (*welding*) didalam proses pengelasan banyak hal yang mempengaruhi hasil dari pengelasan tersebut. Penyambungan dengan pengelasan dipilih karena memiliki banyak keuntungan antara lain : Praktis, hasilnya dapat diandalkan, efisien dan ekonomis. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las elektroda terbungkus merupakan proses pengelasan yang paling banyak digunakan (Wiryosumarto dan Okamura, 2004). Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengelasan adalah tegangan sisa, karena pada pengelasan terjadi tegangan thermal akibat perbedaan suhu antara logam induk dan daerah las. Tegangan sisa pada hasil pengelasan terjadi karena selama siklus thermal las berlangsung disekitar sambungan las dengan logam induk yang suhunya relatif berubah sehingga distribusi suhu tidak merata.

Penelitian dengan menggunakan metode Taguchi untuk analisa cacat hasil pengelasan pada bahan paduan Aluminium (AA 6351) dengan menggunakan Tungsten *Gas Metal Arc Welding* (TIG) distribusi kurangnya penetrasi (LOP) dan kurangnya fusi (LOF) memiliki varian 48% dan 85% saat dilakukan dengan arus

rendah dan kontribusi tebal plate memiliki signifikan pengaruh cacat las seperti LOP dan LOF (Kishore, 2010), pada penelitian ini hanya difokuskan pada nilai penetrasi dan fusi pada pengelasan bahan alluminium dengan menggunakan las GTAW.

Penentuan setting level pengelasan optimal untuk mengurangi distorsi pada penyambungan logam tidak sejenis dengan metode Eksperimen taguchi, eksperimen dengan menggunakan bahan baja karbon rendah SUS 400 dan baja tahan karat SPHC 304 , dengan menggunakan mesin las GMAW semi otomatis dengan gas pelindung argon dan alur ( *groove* ) las berbentuk V yang dilaksanakan di PT INKA Madiun, fokus pada sambungan bahan baja / logam yang tidak sejenis (Susilo, 2010). Pengaruh masukan panas sambungan las *ERW* (*Electric Resistance Welding*) terhadap kekerasan material pipa baja API 5L – GR.B diameter 10 inchi, tebal 9,30 mm , dalam banyak kasus sambungan las pada logam baja, sering dijumpai gejala retak, retak dalam pengelasan terjadi karena siklus thermal, salah dalam pemilihan parameter las atau salah disain, fenomena ini akan berpengaruh terhadap ukuran butir, struktur mikro dan tegangan sisa yang akhirnya mempengaruhi terhadap sifat mekanis sambungan las. Penelitian difokuskan pada tegangan sisa pada sambungan las yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan (Sardjono KP, 2010),.

Anggono & Allmin, (1999), menyatakan bahwa pengaruh panas pengelasan SMAW terhadap distorsi angular sambungan T baja lunak SS 400, selain berpengaruh pada kualitas hasil juga pada ketelitian ukuran dan dimensi serta fokus penelitian hanya pada hasil pengelasan sambungan baja stainless steel 400 pada bentuk sambungan T dengan mesin las SMAW

Sedangkan yang sedang kami teliti saat ini adalah menentukan level optimum pada kekerasan hasil pengelasan pada pipa carbon steel dengan diameter 2 inchi

untuk mengurangi cacat hasil pengelasan, dengan menggunakan desain eksperimen Taguchi.

Kualitas hasil pengelasan untuk steamcoil dari tangki timbun ditentukan dengan melakukan uji NDT ( *Non Destructive Test* ) yaitu pengujian hasil las dengan menggunakan cairan yang berwarna putih dan merah disemprotkan ke daerah hasil las dan akan menunjukkan hasil nyata dari kondisi hasil las tersebut, Uji kekerasan (*Vickers*) untuk mengukur nilai kekerasan dari hasil las hal ini yang akan digunakan sebagai data untuk analisa dalam menentukan pengurangan kecacatan dengan menggunakan metode Taguchi, Radiografi Test, yaitu pengetesan dengan cara memfilmkan hasil lasan sehingga secara langsung dapat diketahui hasil pengelasan secara detail dan Hydro Test, hydro test dilakukan untuk memberikan tekanan kepada unit tangki timbun sampai beban 1,5 beban maksimum dan untuk mengetahui apakah dari sambungan tersebut masih ada cacat yang tidak dapat ditangkap oleh alat ukur lainnya berupa rembesan. Metode Taguchi diaplikasikan oleh perusahaan – perusahaan *manufacture* di Jepang dalam rangka memperbaiki kualitas produk dan proses dengan memakai alat statistik (Soerjanto, 2000).

### **2.1.1 Las SMAW ( *Shielded Metal Arc Welding* )**

Logam induk dalam pengelasan mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara dua ujung elektroda dan permukaan benda kerja . Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat terbungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi

bagian kumpuh las. Proses pemindahan logam elektroda terjadi saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir – butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.

### **2.1.2 Elektroda Terbungkus**

Pengelasan dengan menggunakan busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang diberi lapisan dari campuran bahan kimia, fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las, fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E7018 adalah bentuk serbuk besi dan hidrogen rendah, jenis ini kadang – kadang disebut jenis kapur. Jenis ini

menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhan sangat memuaskan.

Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain, dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka bisa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi. Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas, elektroda E7018 adalah jenis elektroda yang mempunyai spesifikasi tertentu, adapun cara membaca dari E7018 ini adalah sebagai berikut :

- E : Elektroda las listrik ( E7018 diameter 3,2 )
- 70 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (70.000 Psi) atau sama dengan 492 Mpa.
- 1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipaki dalam semua posisi pengelasan).
- 8 : Menunjuk jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.

### **2.1.3 Besar Arus Listrik**

Besar arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda, posisi pengelasan. Daerah pengelasan mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi, arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan

pencairan logam induk, makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya, besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las, bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi – rigi las yang kecil dan tidak rata, serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matriks las tinggi. Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti tabel 2.1

Tabel 2.1 Type elektroda dan besar kuat arus

Diameter		Type elektroda dan ampere yang digunakan					
mm	Inch	E6010	E6014	E7018	E7024	E7027	E7028
2,5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

Sumber ; Welding Consumable Reference , Cigweld Australia

## 2.2 Kualitas

Berikut adalah definisi kualitas yang dikemukakan oleh para ahli (Suardi, 2003, pp.2-3) adalah :

- a) Philip B. Crosby

Crosby berpendapat bahwa mutu / kualitas berarti kesesuaian terhadap persyaratan , Crosby juga mengemukakan pentingnya melibatkan setiap orang pada proses dalam organisasi. Pendekatan Crosby merupakan proses *top down*

b) W.Edward Deming

Deming berpendapat bahwa kualitas berarti pemecahan masalah untuk mencapai penyempurnaan terus menerus, seperti penerapan kaizen di Toyota dan gugus kendali mutu, pendekatan Deming merupakan *bottom Up*

c) Joseph M. Juran

Juran berpendapat bahwa kualitas berarti kesesuaian dengan penggunaan, pendekatan Juran merupakan orientasi pada upaya pemenuhan harapan pelanggan.

d) K. Ishikawa

Ishikawa berpendapat bahwa kualitas berarti kepuasan pelanggan, dengan demikian , setiap bagian proses dalam organisasi memiliki pelanggan. Kepuasan pelanggan internal akan menyebabkan kepuasan pelanggan organisasi.

e) ISO

Kualitas menurut ISO 9000 didefinisikan sebagai derajat atau tingkat karakteristik yang melekat pada produk yang mencukupi persyaratan atau keinginan. Arti derajat / tingkat menggambarkan bahwa selalu terdapat peningkatan disetiap saat.

### 2.2.1 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Kerangka dasar dari pengendalian kualitas merupakan suatu hubungan antara dua disiplin ilmu yaitu teknik perancangan dan manufaktur, dimana mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses, perencanaan produksi, dan kepuasan konsumen. Target dari pengendalian kualitas adalah untuk mencapai seluruh target dari perbaikan terus menerus, penemuan yang dipercepat, penyelesaian masalah dengan cepat, dan efektivitas biaya dalam meningkatkan kualitas produk. Pengendalian kualitas dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu pengendalian kualitas secara *off-line* dan pengendalian kualitas secara *on-line* (Soejanto, 2009).

#### a). Pengendalian Kualitas Secara *Off-Line*

Dalam pengendalian kualitas secara *off-line*, disain eksperimen merupakan peralatan yang sangat penting, dimana dengan mendisain suatu eksperimen kita lebih bisa mengidentifikasi sumber dari variasi, menentukan perancangan dan proses yang optimal. Pengendalian kualitas secara *off-line* dibagi menjadi 3 tahap (Belavendram, 1995), yaitu:

##### a Perancangan Sistem (*Primary design*)

Perancangan sistem adalah tahap perancangan fungsional yang berfokus pada teknologi yang bersangkutan. Perancangan sistem membutuhkan pengetahuan teknis dan pengalaman yang luas untuk dapat merancang atau menentukan proses atau produk. Tahap perancangan sistem berfungsi untuk dapat meyakinkan konsumen akan kualitas produk dan mendapatkan suara

konsumen. Dengan kemampuan daya cipta dan kemampuan teknis untuk merancang konsep proses awal atau produk yang berkualitas sesuai dengan keinginan konsumen, Tahap ini merupakan tahap pemunculan ide dalam kegiatan.

b                    Perancangan Parameter (*Secondary Design*)

Tahap perancangan parameter berfungsi untuk mengurangi biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk, mengoptimisasi level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor *noise* sehingga produk yang dihasilkan dapat kokoh/tangguh. Oleh sebab itu perancangan parameter dapat juga disebut sebagai perancangan kokoh.

c                    Perancangan Toleransi (*Tertiary Design*)

Perancangan toleransi ini dilakukan dengan menggunakan *matriks orthogonal*, fungsi kerugian, dan analisis varians untuk menyeimbangkan biaya dan kualitas dari suatu produk.

b). Pengendalian Kualitas Secara *On-Line*

Pengendalian kualitas secara *on-line* merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dalam menjaga agar biaya produksi menjadi rendah dan secara langsung pula dapat meningkatkan kualitas produk. Pengendalian kualitas secara *on-line* ini juga dapat mengontrol mesin-mesin produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pada mesin-mesin tersebut.

### 2.2.1.1 Diagram Pareto

Diagram Pareto diambil dari nama seorang ahli ekonomi berkebangsaan Italia Vilfredo Pareto, diagram Pareto didasarkan pada fakta sebagian besar dari masalah yang timbul berakar pada sebagian kecil masalah utama. Diagram ini pada awalnya menampilkan distribusi frekuensi tentang kesejahteraan beberapa negara, yang kemudian ternyata sesuai untuk diterapkan pada manajemen mutu.

Diagram Pareto mempunyai ciri khas yaitu sumbu Y merupakan persen terhadap *total reject* dan penyajian data dalam grafik atau diagram sekaligus menampilkan baik grafik batang dari nilai presentase masing – masing *reject* terhadap *total reject*, maupun grafik garis mengenai persen kumulatifnya. Oleh karena itu diagram pareto digunakan untuk menunjukkan prioritas pada suatu masalah yang paling dominan. Sehingga pengertian dari diagram pareto adalah distribusi frekuensi mengenai jumlah persen kejadian yang disajikan, bersama – sama dengan persen kumulatifnya. Tujuan penggunaan diagram pareto adalah untuk menunjukkan prioritas dari sejumlah problem atau masalah yang biasanya terkonsentrasi pada satu atau dua jenis masalah utama saja, dari berbagai jenis masalah yang timbul selama melakukan pengamatan.

Untuk melihat faktor utama yang mengakibatkan terjadinya masalah dapat diselesaikan dengan menggunakan diagram Pareto.

### 2.2.1.2 Diagram tulang ikan (*fishbone diagram*)

Diagram tulang ikan (*fishbone diagram*) dikembangkan oleh Dr.Kaoru Ishikawa pada tahun 1943, sehingga sering disebut dengan diagram Ishikawa. Diagram tulang ikan menggambarkan garis dan simbol – simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab suatu masalah. Diagram ini digunakan untuk mengetahui akibat dari suatu masalah untuk selanjutnya diambil tindakan untuk melakukan perbaikan.

Penyebab masalah ini bisa berasal dari sumber utama yaitu ; metode kerja, alat dan bahan, tenaga kerja, lingkungan dan sebagainya, selanjutnya dari sumber utama diturunkan menjadi beberapa sumber lebih kecil dan mendetail. Untuk mencari penyebab masalah dapat dilakukan teknik *brainstorming* dari seluruh elemen yang terlibat dalam proses dan selanjutnya dikelompokkan sesuai dengan tema penyebab utama. Ada beberapa manfaat dari *fishbond* diagram ini :

- a) Menggunakan kondisi yang sesungguhnya untuk tujuan perbaikan produk dan jasa, lebih efisien dalam penggunaan sumber daya dan dapat mengurangi biaya
- b) Mengurangi dan menghilangkan kondisi yang menyebabkan ketidaksesuaian produk dan jasa dengan permintaan pelanggan.
- c) Membuat standardisasi operasi yang ada maupun yang direncanakan.
- d) Memberikan pendidikan dan pelatihan bagi karyawan dalam kegiatan pembuatan keputusan dan melakukan tindakan perbaikan.

Penerapan diagram sebab akibat ini misalnya untuk menghitung banyaknya penyebab kesalahan, yang menyebabkan terjadinya suatu masalah, menganalisis penyebaran pada masing – masing penyebab masalah dan menganalisis proses. Untuk menghitung penyebab kesalahan dilakukan dengan mencari penyebab terbesar dari suatu masalah, kemudian dijabarkan kedalam beberapa penyebab utama.

### **2.2.1.3 Pengendalian Kualitas Pengelasan**

Difinisi konvensional dari kualitas biasanya menggambarkan karakteristik langsung dari suatu produk seperti performansi (*performance*) keandalan (*reliability*), mudah dalam penggunaan (*easy to use*), estetika (*esthetics*) dan sebagainya, sedangkan definisi strategic dari kualitas adalah segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan pelanggan.

Kualitas hasil pengelasan biasanya ditentukan dengan melakukan beberapa pengujian tergantung dari media yang dilas, adapun jenis pengujian yang dilakukan adalah

- a) Uji NDT (*Non Destructive Test*), yaitu pengujian hasil pengelasan dengan menggunakan cairan penetran berwarna putih dan merah yang disemprotkan ke daerah hasil pengelasan dan akan ditunjukkan hasilnya secara visual dari pengelasan tersebut.
- b) Uji Kekerasan (*Vickers*) , yaitu suatu pengujian untuk mengetahui kekerasan dari hasil pengelasan, dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Harga kekerasan dari bahan tersebut dapat dianalisa dari besarnya pembebanan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan.

Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada 3 macam yaitu : goresan, penekanan dan dinamik, untuk memperoleh nilai yang cepat dan mudah adalah dengan cara ; *Brinell*, *Vickers* dan *Rockwell* dan pada penelitian ini yang digunakan adalah dengan menggunakan *micro Vickers* dengan menggunakan penekan berbentuk piramida intan.

c) Radiografi Test, yaitu pengujian dengan cara merekam dengan sinar X dan hasilnya difilmkan sehingga hasil secara keseluruhan dapat dilihat dari film negatif yang dihasilkan.

d) Uji Tarik

Proses uji tarik dilakukan pada daerah sambungan las bertujuan untuk, mengetahui kekuatan tarik dari hasil pengelasan apakah mempunyai nilai kekuatan yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kemampuan metal dasar yang disambung. Disamping itu untuk mengetahui seberapa besar nilai putus dari sambungan las tersebut.

e) Uji Tekan, yaitu jenis pengujian hasil pengelasan umumnya pada bidang datar (*plate*), untuk tangki timbun maka uji tekan dilakukan dengan cara *Hydro test*, yaitu suatu bentuk pengujian dengan cara memberikan tekanan pada unit tangki timbun tersebut sampai beban 1,5 beban maksimum. Untuk mengetahui adanya kecacatan biasanya dilihat secara visual dengan memeriksa dari setiap sambungan apakah terjadi adanya kebocoran atau rembesan dari hasil pengelasan tersebut.

Untuk menjaga kondisi produksi agar tetap dapat memenuhi kepuasan pelanggan perlu beberapa analisa yang digunakan untuk melakukan perbaikan bila terjadi penurunan mutu produk.

### 2.2.2 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Klasifikasi kualitas adalah object yang penting dan harus diperhatikan dari sebuah produk atau proses, disebut juga karakteristik fungsional. secara umum, setiap karakteristik kualitas pasti mempunyai target dan ada tiga type target yaitu :

a) Nominal-the-best

Adalah karakteristik kualitas yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditentukan secara spesifik, Contohnya adalah tegangan input untuk produk televisi ditetapkan target nilai nominal ( minimum tegangan 150Volt sampai dengan tegangan maksimum 240 Volt )

b) Smaller-the-better

Adalah karakteristik kualitas yang nilainya semakin kecil akan semakin baik dengan target mendekati nol ( 0 ), contohnya keausan ban semakin kecil akan semakin baik

c) Larger-the-better

Adalah karakteristik kualitas yang nilainya semakin besar akan semakin baik dengan target adalah tidak terbatas (*infinity*), contohnya adalah efisiensi bahan bakar, semakin besar kilometer per liter yang dapat ditempuh, maka akan semakin baik efisiensi bahan bakar tersebut.

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

a) Faktor Gangguan

Adalah parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari target disebut faktor gangguan, yang dapat mempunyai sifat tak terkendali dan tak terprediksi berpengaruh pada karakteristik kualitas.

b) Faktor kontrol

Adalah parameter yang nilainya dapat dikendalikan oleh *engineer desain*. Faktor kontrol dapat mengambil satu atau atau lebih nilai yang disebut level faktor. Faktor akhir eksperimen, level faktor kontrol yang sesuai akan dipilih. Salah satu aspek *robust design* adalah mencari seting level optimal dari faktor – faktor kontrol agar karakteristik kualitas tidak terpengaruh oleh *noise*

c) Faktor *signal*

Adalah faktor – faktor yang dapat mengubah nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Nilai faktor signal dapat konstan yang disebut karakteristik statis ataupun memiliki beberapa nilai yang disebut karakteristik dinamis.

d) Faktor *scaling*

Adalah faktor yang digunakan untuk menggeser level rata – rata karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional antara faktor signal dan karakteristik kualitas. sering disebut sebagai faktor pengaturan.

Faktor kendali adalah faktor yang ditetapkan (atau dapat dikendalikan) oleh produsen selama tahap perencanaan produk, sedangkan faktor noise adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen, pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen. semakin banyak levelnya yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena

data yang diperoleh lebih banyak, tetapi banyaknya level juga meningkatkan biaya eksperimen

### **2.3 Desain Eksperimen**

Disain eksperimen adalah suatu perencanaan percobaan secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) untuk mempengaruhi rata – rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Tujuan dari eksperimen adalah memahami bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi suatu produk atau proses dan selanjutnya harus diambil keputusan berkaitan dengan parameter yang mempengaruhi performansi suatu produk atau proses. Dikenal dua macam disain eksperimen yaitu disain eksperimen konvensional dan disain eksperimen Taguchi

#### **2.3.1 Desain Eksperimen Taguchi**

Metoda Taguchi merupakan suatu metodologi bidang teknik yang diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Genichi Taguchi dan bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Dalam metoda Taguchi digunakan matrik yang disebut *Orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat member informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter.

Bagian terpenting dari *Orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel – variabel input untuk masing – masing eksperimen.

Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep yaitu :

- a. Kualitas harus didesain kedalam produk dan bukan sekedar memeriksanya, Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target
- b. Produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- c. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standard tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Tujuan dari pengembangan proses atau produk adalah untuk meningkatkan kemampuan karakteristik produk dalam memenuhi harapan konsumen, sehingga dapat dipahami bahwa tujuan dilakukan eksperimen adalah untuk mengetahui bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi produk dalam suatu proses produksi, dengan mengatur rata – rata dan mengurangi variasi maka kerugian akibat produk atau proses dapat diminimalkan (Ross, 1996).

Disain eksperimen merupakan evaluasi serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) berkaitan dengan kemampuannya dalam mempengaruhi rata – rata atau variabilitas karakteristik produk atau proses. Dalam proses *manufacture*, tujuan dilakukan desain eksperimen adalah untuk mencari cara meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dari target. Yaitu dengan cara mengidentifikasi faktor – faktor yang berpengaruh, selanjutnya mengubah level faktor tersebut sehingga didapat kombinasi yang memberikan hasil optimal. Dengan kata lain, dari sudut pandang kualitas, eksperimen dilakukan untuk mencari kombinasi material,

tekanan, temperatur, waktu siklus dan sebagainya yang akan bekerja pada proses untuk menghasilkan karakteristik kualitas yang diinginkan.

Dalam mendisain suatu eksperimen, Taguchi menggunakan pendekatan *Robust Design* yaitu suatu metode untuk meningkatkan produktifitas selama riset dan pengembangan sehingga produk berkualitas tinggi dapat diproduksi secara cepat dengan biaya yang rendah. Contoh aplikasi metode ini dibidang elektronik, otomotif, fotografi dan produk – produk Jepang lainnya telah terbukti menjadi faktor penting sehingga mereka dapat berkembang dengan pesat dan mendominasi pasar internasional. *Robust Design* memusatkan perhatiannya pada masalah desain proses suatu produk (Belavendram, 1995) :

- a) Bagaimana mengurangi variasi fungsi produk pada lingkungan konsumen secara ekonomis
- b) Bagaimana memastikan keputusan pada saat eksperimen akan terbukti juga pada proses manufaktur dan lingkungan konsumen

Menurut Taguchi, adanya variabilitas pada fungsi produk disebabkan oleh suatu faktor yang disebut dengan faktor *noise*, ada tiga faktor dari *noise*, diantaranya:

- a) *External Noise*

Adalah faktor – faktor pada lingkungan atau kondisi penggunaan yang mempengaruhi kualitas produk seperti : suhu, kelembapan, debu, getaran, dan *human error* dalam proses produksi

- b) *Internal Noise*

Adalah faktor – faktor yang menyebabkan produk memburuk selama penyimpanan atau sudah aus karena penggunaan yang sudah lama sehingga

sudah tidak mampu lagi mencapai fungsi target. Contohnya pemakaian komponen mesin dan keausan komponen mesin karena usia

c) *Unit to Unit Noise*

Adalah faktor – faktor yang menyebabkan perbedaan antara masing – masing produk yang telah diproduksi pada spesifikasi yang sama. Perbedaan ini tak terhindarkan dalam proses manufaktur dan mengarah ke variasi parameter dari unit ke unit yang lain.

Produk yang membuat karakteristik kualitas lebih kokoh (*robust*) terhadap noise (Belavendram, 1995), untuk mengetahui cara mengurangi efek dari *noise*, ada tiga tahapan penting dalam *robust design* yaitu :

a) Disain sistem

Desain sistem adalah tahap yang fokus pada masalah teknologi, konsep, ide, maupun metode baru dikembangkan untuk menghasilkan produk baru atau produk yang lebih baik lagi bagi konsumen. Ini adalah tahap penting bagi perusahaan untuk tetap kompetitif dalam ekonomi global dan menjadi pemimpin pasar.

b) Disain Parameter

Disain parameter penting untuk meningkatkan keseragaman produk tanpa menghabiskan biaya. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk. Menggunakan suatu metode desain eksperimen untuk menentukan kombinasi level parameter yang dapat mengurangi efek *noise*. Inilah tahap utama dalam *robust design*.

c) Disain toleransi

Disain toleransi bertujuan untuk meningkatkan kualitas dengan menyempitkan toleransi pada proses atau parameter produk untuk mengurangi variasi. Pada tahap ini berusaha mengontrol faktor – faktor noise yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen yang lebih tinggi tingkatnya yang berakibat meningkatnya biaya, hal ini dilakukan apabila tahap disain parameter tidak memberikan hasil yang memuaskan.

### 2.3.1.1 Fungsi Kerugian Kualitas ( *Quality Loss Function* )

Kunci keberhasilan suatu perusahaan di era globalisasi saat ini terletak pada perusahaan itu sendiri didalam memenuhi kepuasan pelanggannya atau konsumen (*Quality*), biaya (*Cost*) dan waktu penyerahan. Penolakan produk oleh pelanggan akibat ketidaksesuaian spesifikasi produk yang ditawarkan dapat merugikan perusahaan. Fungsi kerugian mutu bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghitung kerugian mutu yang terjadi, yang meliputi kerugian biaya kehilangan peluang (*opportunity cost*), biaya garansi (*warranty Cost*), biaya pelayanan (*service cost*), biaya inspeksi kedalam (*inspection cost*), biaya pengerjaan ulang atau perbaikan (*rework cost*), biaya sisa produksi (*scrap cost*) maupun biaya komplain. Untuk mengetahui besarnya kerugian akibat dari produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan salah satu cara adalah dengan melakukan pengukuran fungsi rugi kualitas (QLF). Fungsi kerugian mutu dapat ditunjukkan dalam rumus kuadrat sederhana yaitu :

$$L_{(Y)} = k \cdot D$$

$$L_{(Y)} = \text{Kerugian}$$

$$k = \text{Konstanta}$$

D = Deviasi kuadrat dari nilai target

Bila mutu suatu produk semakin dekat dengan nilai target, maka mutu yang dihasilkan semakin baik dan kerugian yang dirasakan semakin kecil, semakin jauh dari nilai target maka kerugian akan semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan dengan kuadrat loss function yang dipelopori oleh Taguchi. Taguchi menggolongkan fungsi kerugian kuadrat menjadi tiga jenis yaitu:

A. Menghitung quality loss ( $L_{ij}$ ) untuk tiap percobaan, untuk karakteristik kualitas

**a) Nominal The Best**

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol dan kerugian mutunya simetrik pada kedua sisi target. Persamaan fungsi kerugian mutu kuadrat jenis ini dirumuskan sebagai berikut :

$$L_{ij} = k \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n_i} (Y_{ijk} - m)^2 \dots \dots \dots 1$$

Dimana :

y = nilai respon dari karakteristik mutu

m = nilai target dari karakteristik mutu

k = koefisien biaya

**b) Smaller The Better**

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol, dan dirumuskan sebagai berikut :

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} Y_{ijk}^2 \dots\dots\dots 2$$

### c) Larger The Better

Fungsi ini digunakan bilamana karakteristik mutunya yang dituju semakin besar nilai semakin (misalnya keandalan, kekuatan) dan dirumuskan sebagai berikut :

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} \frac{1}{Y_{ijk}^2} \dots\dots\dots 3$$

Fungsi kerugian mutu ini dapat ditransformasikan menjadi nilai *signal – to – noise ratio* (SNR) mutu produk atau proses akan semakin baik jika nilai SNR semakin tinggi. Taguchi menggunakan SNR ini sebagai alat utama untuk menentukan rancangan parameter yang optimal.

#### 2.3.1.2 Derajat bebas ( *Degrees of Freedom* )

Derajat bebas adalah jumlah perbandingan yang meungkin (*fair comparison*) dilakukan pada suatu set data . Nilai derajat bebas dari suatu faktor ( $V_{fl}$ ) adalah sama dengan jumlah level faktor dikurangi dengan satu ( $V_{fl} = \text{jumlah level} - 1$ ). sedangkan dalam suatu eksperimen yang dibuat berdasarkan *Orthogonal Array* memiliki nilai

derajat bebas sama dengan jumlah eksperimen dikurangi satu ( $V_{OA} = \text{jumlah eksperimen} - 1$ ) (Belavendram, 1995)

- a) Penentuan derajat bebas berdasarkan pada :
  - a. Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi yang diambil
  - b. Jumlah level dari faktor yang diamati
  - c. Resolusi percobaan yang diinginkan.
  
- b) menghitung degree of freedom (df) dengan cara :
  - a. *Degree of freedom total* ( $df_T$ )
 
$$df_T = N - 1 \dots\dots\dots 4$$
  - b. *Degree of freedom* satu faktor ( $df_A$ )
 
$$df_A = kA - 1 \dots\dots\dots 5$$
  - c. *Degree of freedom error* ( $df_e$ )
 
$$df_e = df_T - df \text{ faktor} \dots\dots\dots 6$$

### 2.3.1.3 *Orthogonal Arrays* dan Matriks Eksperimen

Matriks adalah susunan angka – angka yang mempunyai arti khusus, matriks eksperimen terdiri atas beberapa eksperimen, dimana faktor dan levelnya berubah sesuai dengan matriks. Faktor dan level faktor menunjukkan setting dari berbagai parameter proses atau produk yang akan dipelajari. Robust design menggunakan matriks khusus yang disebut *Orthogonal Array* dimana efek dari beberapa parameter dapat ditentukan secara efisien (Belavendram, 1995).

*Orthogonal Array* adalah sebuah matriks dari angka yang disusun kedalam baris dan kolom. Tiap kolom mewakili faktor didalam suatu eksperimen dan tiap

baris menunjukkan keadaan suatu faktor pada suatu eksperimen. Susunan matriks ini dikatakan orthogonal karena level – level dari berbagai faktor berada dalam keadaan seimbang, dan tiap faktor dapat dievaluasi secara terpisah (independen) dari faktor lainnya. Sehingga orthogonal Array adalah suatu matriks seimbang dari faktor dan level faktor, dimana efek suatu faktor tidak mengganggu efek dari faktor lainnya.

Informasi tentang orthogonal Array dapat diketahui dari namanya. Sebuah orthogonal Array dilambangkan dengan huruf L besar yang memiliki informasi sebagai berikut :

a) Notasi L

Notasi L menunjukkan bahwa informasi didasarkan pada aturan latin Square, yaitu matriks bujur sangkar dari faktor dengan efek tiap faktor yang dapat dipisahkan.

b) Nomor baris

Nomor baris menunjuk jumlah eksperimen dibutuhkan saat menggunakan *Orthogonal Arrays*.

c) Nomor Kolom

Nomor kolom menunjukkan jumlah faktor yang dipelajari

d) Nomor Level

Nomor level menunjukkan jumlah dari level tiap faktor

Agar dapat menentukan matriks ortogonal yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan prosedur sebagai berikut :

a) Definisikan jumlah faktor dan levelnya

Tahap pendefinisian jumlah faktor dan levelnya dilakukan, dengan melakukan pengamatan terhadap, parameter – parameter yang terdapat pada suatu proses produksi atau suatu mesin proses produksi. Dari parameter – parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan untuk tiap faktor yang ada, sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan.

b) Tentukan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banya informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Bentuk persamaan umum dari derajat kebebasan matriks ortogonal (*Orthogonal Array*),

Dalam menentukan jumlah eksperimen yang akan diamati adalah sebagai berikut :  $V_{OA} =$  banyaknya eksperimen – 1 .

Derajat kebebasan faktor – faktor dan level  $V_{fl} =$  banyaknya level – 1

Derajat kebebasan total = Total  $V_{fl} =$  (banyaknya faktor) ( $V_{fl}$ )

c) Memilih matriks ortogonal

Dalam memilih matriks ortogonal yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks ortogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang dilakukan. Bentuk umum dari model matriks ortogonal adalah :

$$\mathbf{L} \mathbf{a} (\mathbf{b}^c) \dots\dots\dots 7$$

Dimana :

L = Rancangan bujur sangkar latin

- a = Banyaknya baris / eksperimen
- b = Banyaknya level
- c = Banyaknya kolom / factor

Untuk dua level, tabel OA terdiri dari  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{16}$ , dan  $L_{32}$ , sedangkan untuk tiga level tabel OA terdiri dari  $L_9$ ,  $L_{18}$ , dan  $L_{27}$ . Pemilihan jenis tabel *orthogonal array* yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total.

Jumlah masing-masing percobaan yang dapat dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi adalah sebagai berikut:

Table 2.2 . Tabel *orthogonal array* untuk setiap level yang ada

2 level	3 level	4 level	5 level	Mixed Levels
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{36}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 x 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1 x 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^4)$	-	-	$L_{36}(2^{11} x 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3 x 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1 x 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$	-	-	-	$L_{50}(2^1 x 5^{11})$

Sumber : Belavendram,1995

### 2.3.1.4 Rasio Signal to Noise ( SNR )

SNR (*Ratio Signal to Noise*) adalah Logaritma dari fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk, ada berapa jenis SNR yaitu :

a. *Smaller-the-Better* (STB)

$$SNR_{STB} = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] \dots \dots \dots 8$$

b. *Large-the-Better* (LTB)

$$SNR_{LTB} = -\text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \dots \dots \dots 9$$

c. *Nominal-the-Better* (NTB)

$$SNR_{NTB} = 10 \text{Log} \left[ \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots \dots \dots 10$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \dots \dots \dots 11$$

dengan :

n = Jumlah tes didalam percobaan (trial).

Y<sub>i</sub> = nilai respon dari tiap replikasi

## 2.4 Uji Normalitas dan Homogenitas

Uji Normalitas adalah suatu bentuk pengujian tentang kenormalan distribusi data, sedangkan uji homogenitas adalah suatu bentuk pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah sampel data berasal dari varians yang homogen.

#### 2.4.1 Uji Normalitas

Distribusi normal merupakan distribusi teoritis dari variabel random yang kontinyu. Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss (*Gaussian Distribution*) sesuai dengan nama yang menemukannya yaitu Carl Gauss yang telah banyak menyelidiki hal ini pada akhir abad ke 18 disamping penyelidik pertama Pierre Laplace dan Abraham de Moivre (Sudjana, 1997). Biasanya suatu proses dengan sendirinya menghasilkan perkiraan distribusi normal selain itu dapat juga diperoleh dengan melakukan transformasi matematis pada data atau dengan menggunakan rata-rata.

Banyak gejala yang muncul dalam dunia industri dan penelitian dapat digambarkan dengan baik menggunakan distribusi normal. Selain itu, distribusi normal sangat baik untuk menghampiri distribusi-distribusi lainnya.

Persamaan fungsi untuk Distribusi normal (Sudjana, 1997), yaitu:

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} \dots\dots\dots 12$$

dimana:

$\pi$  = nilai konstan yang besarnya tertulis hingga 4 desimal = 3,1416

e = tetapan, bilangan pokok logaritma asli (logaritma Napier) yang besarnya hingga 4 desimal = 2,7183

- $\mu$  = parameter, yang sama dengan harga rata-rata distribusi ini.
- $\sigma$  = parameter, yang sama dengan simpangan baku untuk distribusi ini
- $X$  = variable acak kontinu yang harganya :  $-\infty < X < +\infty$

Didalam melakukan uji normalitas data langkah – langkah yang dilakukan adalah :

a. Menentukan Hipotesis

Ho : data berdistribusi normal / diterima (  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel}$  )

Hi : data tidak berdistribusi normal / ditolak (  $X^2_{hitung} \geq X^2_{tabel}$  )

b. Membuat daftar distribusi frekuensi

a) Menentukan rentang ( R )

$R = \text{data tertinggi} - \text{data terendah}$

b) Menentukan jumlah kelas interval dengan aturan Sturges

$k = 1 + 3,32 \text{ Log } n$

c) Menentukan panjang kelas interval p

$p = R / k$

d) Menyusun tabel distribusi frekuensi

### 2.4.2 Uji Homogenitas Variansi

Salah satu cara untuk menguji Homogenitas k buah ( $k \geq 2$ ) variansi populasi yang berdistribusi normal adalah uji Bartlett meliputi :

a. Menentukan Hipotesis

Ho : Data Homogen / diterima jika  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel}$

Hi : Data tidak homogen / ditolak jika  $X^2_{hitung} \geq X^2_{tabel}$

- b. Membuat tabel penolong uji Bartlett

$S_i^2$  = nilai ragam perlakuan ke - i

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^t Y_1^2 - \left( \sum_{i=1}^t \frac{(Y_1)^2}{n} \right) \right]$$

- c. Menghitung variansi gabungan dari semua sample ( $s^2$ )

$$s^2 = \frac{\sum(n_1 - 1)S_i^2}{\sum(n_1 - 1)}$$

$S^2$  = Varian gabungan dari semua sample dengan taraf nyata  $\alpha$ , hipotesis ditolak jika  $X^2_{hitung} \geq X^2_{(1-\alpha)}$  (dk), dimana  $X^2_{(1-\alpha)}$  (dk) didapat dari tabel distribusi Chi-kuadrat dengan tingkat kepercayaan  $(1-\alpha)$  dan  $(dk) = k - 1$ .

- d. Menghitung harga satuan B

$$B = (\text{Log } s^2) \sum (n_1 - 1)$$

- e. Menghitung  $X^2$  hitung

$$X^2_{hitung} = (\ln 10) \left\{ B - \sum (n_1 - 1) \log s_i^2 \right\}$$

- f. Menetapkan taraf signifikansi,  $\alpha = 5\%$  atau 0,05

- g. Menetapkan kriteria pengujian :

$H_0$  diterima jika  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel}$

$H_1$  ditolak jika  $X^2_{hitung} \geq X^2_{tabel}$

## 2.5 Analysis of Variance ( ANOVA )

*Analysis of Variance* (Anova) adalah sebuah metode matematika yang membagi – bagi variabilitas kedalam sumber variansi dan derajat bebas yang bersesuaian dari suatu eksperimen. Anova diperlukan untuk menginterpretasikan data – data hasil eksperimen yang digunakan untuk menghitung signifikansi suatu faktor didalam suatu eksperimen. Anova berperan untuk menganalisis atau menguraikan seluruh (total) variasi atas bagian – bagian yang mempunyai makna (Belavendram, 1995).

a) *Sum of Squares*

*Sum of Squares* atau jumlah kuadrat digunakan untuk mencari nilai variansi dari suatu set data. Sedangkan sum of squares terdiri atas :

- a. *Total sum squares* atau total variansi dari jumlah set data, didefinisikan sebagai total jumlah kuadrat yang dihitung dengan rumus :

$$SST = \left[ \sum_{i=1}^N Y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots 13$$

dengan

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i^2 \dots\dots\dots 14$$

Dimana :

$Y_i$  = Nilai respon ( data pengamatan ) ke – i

T = Total nilai respon

N = Jumlah pengamatan

- b. *Sum of squares due to mean* atau variasi dari rata – rata jumlah kuadrat dari rata – rata

$$SSA = \left[ \sum_{i=1}^{kA} \left( \frac{A^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots 15$$

c. *Sum square interacting of factor*

Menghitung jumlah kuadrat interaksi antar faktor AxB sebagai berikut

$$: S_{AxB} = \frac{[Total\ Ax\ B1]^2}{n_1} + \frac{[Total\ Ax\ B2]^2}{n_2} - \frac{[Total\ Ax\ B]^2}{n_1 + n_2} \dots\dots\dots 16$$

d. *Error sum of squares* atau variasi dari tiap titik data individu terhadap rata – rata atau yang disebut *Variation due to error* dirumuskan sebagai jumlah kuadrat dari deviasi Y terhadap rata – rata  $\bar{T}$  =

$$SSE = SST - SS_{faktor} \dots\dots\dots 17$$

b) *Degree of Freedom (V<sub>f</sub>)*

Menghitung derajat bebas, derajat kebebasan yaitu banyaknya pengukuran bebas yang dapat dilakukan untuk menaksir sumber informasi. Angka derajat kebebasan menunjukkan banyaknya perbandingan bebas yang dapat dilakukan pada sekelompok data.

a. *Degree of freedom total (V<sub>fT</sub>)*

$$V_{fT} = N - 1 \dots\dots\dots 18$$

b. *Degree of freedom factor (V<sub>fA</sub>)*

$$V_{fA} = kA - 1 \dots\dots\dots 19$$

c. *Degree of freedom error (V<sub>fe</sub>)*

$$V_{fe} = V_{fT} - V_{fA} \dots\dots\dots 20$$

c) *The sum as squares due to error*

$$Se = ST - Sm - SA - SB - SC - SD - SE - SF - SG \dots\dots\dots 21$$

d) *Mean of Square (Mq)*

$$M_{qA} = \frac{S_A}{V_{fA}} \dots\dots\dots 22$$

e) *F Ratio*

$$F_{Ratio} = \frac{M_q}{M_{qe}} \dots\dots\dots 23$$

f) *Pure of square (S')*

$$S' = S - (V_{fA} \times M_{qe}) \dots\dots\dots 24$$

g) *Procent Contribution (ρ)*

$$\rho = (S' / ST) \times 100 \% \dots\dots\dots 25$$

h) *Mean of Squares*

*Mean of squares* atau rata-rata kuadrat merupakan hasil bagi nilai *sum of squares* (SS) dengan derajat bebasnya (V) atau sama dengan nilai variansinya (V), rumus untuk menghitung nilai *mean of squares* (V) adalah (Roos, 1996)

$$V = \frac{SS}{V} \dots\dots\dots 26$$

Selanjutnya nilai mean of squares (V) ini dapat digunakan untuk membandingkan antara variansi sumber dengan variansi error (Ve) yang disebut dengan F-ratio, dimana semakin besar nilai F-ratio berarti semakin signifikan suatu sumber tersebut mempengaruhi respon.

## 2.6 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk mengevaluasi apakah rancangan usulan yang didapat mampu untuk memperbaiki kualitas untuk mengurangi cacat hasil dari pengelasan, jika hasil rancangan usulan berhasil untuk meningkatkan hasil pengelasan maka usulan tersebut dapat digunakan.

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan SNR pada kondisi optimum untuk mendapatkan  $\mu$  prediksi. Kemudian hasil prediksi tersebut dibandingkan dengan eksperimen konfirmasi. Adapun langkah – langkah  $\mu$  prediksi sebagai berikut:

- a)  $\mu$  prediksi = estimasi nilai SNR yang optimum
- b) Menghitung selang kepercayaan ( confidence interval ) Confidence Interval

$$( CI ) = \mu \text{ prediksi} \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot V_e \cdot \left( \frac{1}{n_{eff}} \right)} \dots \dots \dots 27$$

- c) Menghitung SNR data hasil eksperimen prediksi  $SNR = -10 \text{ Log}_{10} \left( \frac{1}{n} Y_1^2 \right)$
- d) Membuat suatu kesimpulan

Jika SNR data hasil eksperimen prediksi masih berada dalam batas confidence interval (CI) maka dapat disimpulkan bahwa SNR hasil eksperimen usulan sesuai dengan eksperimen prediksi dan begitupula sebaliknya.

## 2.7 Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan apakah data hasil eksperimen konfirmasi berbeda dengan hasil prediksi. Perumusan hipotesanya adalah sebagai berikut (Sudjana, 1997):

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ (tidak ada perbedaan)}$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 > 0 \text{ (ada perbedaan, } \mu_1 > \mu_2 \text{)}$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 < 0 \text{ (ada perbedaan, } \mu_1 < \mu_2 \text{)}$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \text{ (} \mu_1 \text{ berbeda dengan } \mu_2 \text{)}$$

a)  $N > 30$  (sampel besar)

$$Z_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}, \quad \sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Dimana apabila  $\sigma_1^2$  dan  $\sigma_2^2$  tidak diketahui maka dapat diestimasi dengan:

$$\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} :$$

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum x_{i1}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum x_{i2}$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum (x_{i1} - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum (x_{i2} - \bar{x}_2)^2$$

b)  $N < 30$  (sampel kecil)

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \dots \dots \dots 28$$

$t_0$  mempunyai distribusi t dengan derajat kebebasan sebesar  $n_1 + n_2 = 2$

$$t_{hitung} = \frac{(\bar{X} - \mu)}{(\sigma / \sqrt{n})} \dots \dots \dots 29$$

Ketentuan pengujian  $t_{hitung}$ ,

$H_0$  diterima apabila  $-t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$

$H_0$  ditolak apabila  $-t_{tabel} \geq t_{hitung} \geq t_{tabel}$

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang dibuat adalah merupakan suatu bentuk langkah – langkah pekerjaan penelitian yang akan dilakukan berupa tahapan – tahapan, dan dari masing – masing tahap akan memberikan hubungan dengan tahap berikutnya seperti terlihat pada kerangka pemecahan masalah yang digambarkan dalam bentuk *flowchart*, dibawah ini

##### A. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan dengan cara survey ke perusahaan, dimana objek yang akan diteliti berada, dengan seijin dari pejabat perusahaan yang akan dilakukan penelitian dan untuk mengetahui situasi perusahaan apakah mungkin untuk dilakukan penelitian sekaligus untuk mendapatkan gambaran mengenai bidang atau hal yang akan ditulis.

##### B. Perumusan Masalah

Tahap perumusan ini merupakan suatu tahapan identifikasi terhadap masalah – masalah yang timbul didalam mewujudkan suatu permasalahan.

##### C. Penetapan Tujuan Penelitian

Penetapan tujuan penelitian dimaksudkan untuk memudahkan peneliti didalam melaksanakan penelitian dimaksud sesuai dengan yang diharapkan, terarah dan sesuai dengan target yang telah ditetapkan.

##### D. Penentuan Manfaat penelitian

Pada tahapan ini akan diketahui manfaat dari penelitian ini, baik untuk perusahaan, Pendidikan, dan Peneliti sendiri.

E. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan cara mempelajari buku – buku referensi yang berkaitan dengan pokok masalah yang akan dibahas, dengan harapan untuk mendapatkan landasan teori yang kuat yang akan digunakan dalam melakukan analisis kasus yang terjadi, sehingga penelitian yang dilakukan tidak keluar dari kaidah – kaidah yang telah ditetapkan dan dalam proses pelaksanaan penelitian dapat terarah sesuai degangan yang diharapkan.

F. Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data, data diambil dari proses pelaksanaan *project repair* ( *Overhaul* ) yang dilaksanakan sebagai penunjang proses pengolahan data yang akan dilaksanakan, adapun data yang dibutuhkan adalah :

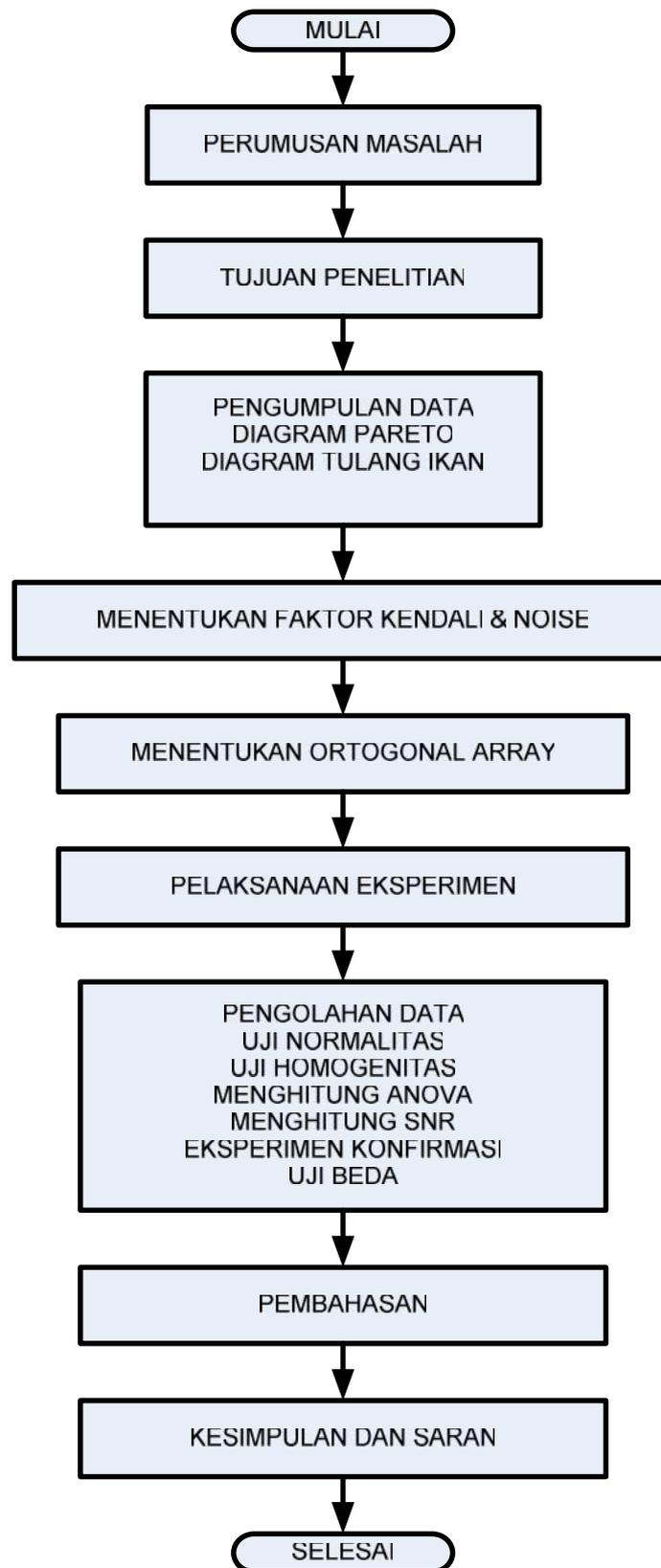
- a. Data umum dari perusahaan
- b. Data jumlah produk cacat dari proses repair

G. Pengolahan Data

Proses analisa data akan dilakukan berdasarkan metoda yang digunakan dalam acuan penelitian

H. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dan saran didasarkan pada hasil analisi yang telah dilakukan.



Gambar : 3. 1 Diagram alir rencana penelitian

### **3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini direncanakan di PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan, yang berlokasi di JL. Yos Sudarso no 1 Balikpapan, dan dilaksanakan pada tanggal 31 Januari 2011 sampai dengan 28 Pebruari 2011

### **3.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian dilakukan pada proyek atau proses perbaikan tangki timbun yang sedang berjalan dengan melakukan inspeksi kelapangan, khususnya pada pekerjaan pengelasan logam. Oleh karena keterbatasan waktu untuk melakukan penelitian dan aneka ragam struktur yang dilakukan pengelasan, maka penelitian hanya dibatasi pada proses pengelasan pada pipa steam coil yang digunakan pada tangki timbun T 903 di PT. Pertamina RU.V Balikpapan.

### **3.4 Penentuan Sumber Data**

Data awal sebagai bahan penelitian adalah hasil inspeksi yang telah dilakukan oleh Welding Inspektor dan diketahui oleh Inspector Supervisor, untuk mendapatkan informasi sebagai dasar penyusunan tesis ini, maka dari perusahaan kami ambil berupa data :

a) Data primer

Data primer yaitu data yang diperoleh secara langsung dari objek yang diteliti, data ini diperoleh dengan cara melakukan wawancara langsung

dengan *Supervisor Stationery Equipment*, *Supervisor Welding* dan mengadakan pengamatan langsung ke objek penelitian guna memperoleh dan mengetahui kejadian yang sesungguhnya di lapangan.

b) Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang digunakan dan diperoleh secara tidak langsung dari sumbernya, data ini dapat diambil dari literatur – literature, Majalah, Catalog, publikasi serta sumber – sumber lain yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang dibahas.

### 3.5 Variabel Penelitian

Menurut Taguchi, adanya *variabilitas* pada fungsi produk disebabkan oleh adanya suatu faktor *noise*, ada tiga faktor dari *noise*, diantaranya :

a) *External Noise*

Faktor pada lingkungan atau kondisi yang memungkinkan akan mempengaruhi mutu produk seperti : Suhu, Kelembaban, kotoran (debu) , getaran dan human error dalam proses produksi

b) *Internal Noise*

Faktor yang menyebabkan produk menurun kualitasnya selama dalam penyimpanan atau rusak karena penggunaan yang sudah lama sehingga sudah tidak mampu lagi mencapai fungsi target.

c) *Unit to Unit noise*

Faktor yang menyebabkan perbedaan antara masing – masing produk yang telah diproduksi pada spesifikasi yang sama. Perbedaan ini tak terhindarkan dalam proses manufacture dan mengarah ke variasi parameter dari unit ke unit yang lain.

Sehingga dalam eksperimen yang akan dilakukan perlu menentukan adanya faktor noise dan level faktor, sedangkan desain toleransi bertujuan untuk meningkatkan kualitas dengan menyempitkan toleransi pada proses atau parameter produk untuk mengurangi variasi. Sehingga dapat ditentukan :

a) Pemilihan kualitas hasil pengelasan yang baik

Hasil pengelasan yang baik adalah suatu bentuk hasil sambungan dua logam yang sama dengan cara dicairkan oleh panas, dan diantara benda padat yang disambung tersebut memiliki kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan atau menggagalkan sambungan tersebut (Sri Widharto, 2008), sehingga dapat dinilai bahwa semakin tinggi tingkat kekerasan hasil las , akan semakin baik (*Larger the Better*)

b) Identifikasi dan pemilihan faktor – faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas hasil pengelasan.

a. Kuat arus Listrik ( Ampere )

Kuat arus adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penghantar dalam waktu satu detik , dengan satuan Ampere ( Suratman, 2001) .

Besar kecilnya kuat arus pada saat melakukan pengelasan akan dapat berakibat pada kecacatan pada hasil pengelasan, bila arus terlalu besar maka akan mengakibatkan terjadinya paritan dikiri kanan alur las dan dapat mengurangi ketebalan hasil pengelasan, Alur las yang kasar dan penuh dengan percikan – percikan las, dan dapat terjadi pencekungan. Sedangkan bila kuat arus yang digunakan terlalu rendah maka hasilnya akan terjadi : bentuknya sempit dan menonjol keatas, kurang tekanan yang dapat mengakibatkan cacat dalam bentuk garis lurus kadang – kadang sempit dan kadang – kadang lebar.

b. Tegangan Listrik ( Volt )

Tegangan listrik adalah muatan listrik ( $1eV = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ CV}$ ) yang terkandung pada zat atau suatu benda dapat digerakkan dan akhirnya menghasilkan arus listrik dan ada gaya yang menggerakkannya. Gaya listrik itulah yang dinamakan tegangan listrik dan istilah lain adalah gaya elektro motor (GEM) . Besarnya tegangan diukur dengan menggunakan satuan Volt (Suratman, 2001).

Dua metal yang konduktif bila dialiri arus yang tinggi, dengan tegangan yang relatif rendah akan menghasilkan loncatan elektron yang menimbulkan panas yang amat tinggi, sehingga dapat dengan mudah mencairkan kedua metal tersebut dan bila tegangan yang digunakan terlalu tinggi maka kepadatan/ kuat arus akan turun yang berakibat akan memperlambat pencairan kedua metal tersebut dan bila terjadipun pencairannya berbentuk butiran – butiran kasar. Untuk menjaga

keselamatan dari pekerja las maka tegangan yang digunakan adalah antara 17 Volt hingga 45 Volt

c. Sudut Kampuh

Sudut kampuh adalah suatu bentuk profil sudut yang diterapkan pada suatu benda yang akan dilakukan penyambungan dengan menggunakan metode las, jika sudut kampuh terlalu sempit akan mengakibatkan terjadinya kurang fusi, terjadi porosity bila terjadi kotoran, dan terjadi pembengkokan oleh karena posisi sudut kampuh yang tidak merata, dan jika sudut kampuh terlalu lebar akan banyak menghabiskan elektroda, hasil bagian bawah akan terlihat berlebihan dan juga akan mengakibatkan terjadinya pembengkokan.

d. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan sangat berpengaruh terhadap pengisian pada sudut kampuh, dan akan sangat menentukan hasil pengelasan, bila terlalu cepat akan menghasilkan bentuk alur bergelombang, sehingga ketebalan tidak merata, sedangkan bila terlalu lambat akan mengakibatkan terjadinya paritan disamping kiri dan kanan alur pengelasan.

e. Ukuran Elektroda

Penentuan ukuran elektroda adalah sangat penting sebab bila ukuran terlalu kecil dapat mengakibatkan retak dan proses pekerjaannya lama,

sedangkan bila ukuran elektroda terlalu besar dapat mengakibatkan porosity karena tidak semua sudut terisi oleh cairan elektroda dan tentunya memerlukan arus yang besar sehingga bisa juga akan merusak kondisi dari metal dasar yang akan disambung. Ukuran elektroda yang digunakan adalah 3,2 s/d 4mm.

f. Temperatur pemanasan awal

Temperatur pemanasan awal sangat penting pada proses pengelasan untuk struktur atau bangunan yang nantinya akan dioperasikan dengan temperatur tinggi, oleh karena itu bila temperatur pemanasan awal terlalu rendah akan mengakibatkan cacat pada hasil pengelasan berupa porosity dan retak, sedangkan bila temperatur awal terlalu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk pada hasil pengelasan.

g. Panjang busur api

Panjang dan pendeknya busur api sangat menentukan hasil lasan, bila busur api terlalu pendek maka akan menghasilkan secara estetika buruk, tidak ekonomis, dan dapat mengakibatkan *incomplete fusion*, sedangkan bila busur api terlalu panjang akan mengakibatkan melemahnya sambungan, dapat menimbulkan karat dipermukaan dan akan menghasilkan cacat porosity.

h. Kelembaban udara

Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi hasil pengelasan hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh kelembaban udara disekitar kita melakukan proses pengelasan, bila kondisi kelembaban tinggi atau hampir basah maka akan mengakibatkan hasil sambungan pengelasan melemah, dapat menimbulkan karat dipermukaan dan akan menghasilkan cacat porosity. Jika udara kelembabannya kurang (kering) baik untuk proses pengelasan tetapi kemampuan atau kinerja operator akan menurun

i. Keterampilan tenaga kerja

Tenaga kerja yang digunakan, bila tidak memiliki keterampilan yang memadai tentunya tidak dapat melaksanakan pekerjaan tersebut dengan baik, dan bila menggunakan tenaga yang sangat ahli tentunya akan mengeluarkan biaya yang cukup tinggi. Sehingga dalam penentuan kualifikasi tenaga kerja pada umumnya dengan memiliki bukti ketrampilan untuk melakukan pekerjaan pengelasan sesuai dengan spesifikasi pada sertifikat yang dimiliki dengan lama pengalaman kerja antara 5 tahun sampai dengan 7 tahun,

Pada proses *overhaul* atau *repair* tangki timbun terdapat beberapa kendala yang dialami sehingga membuat pelaksanaan *project* tidak sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan diantaranya : ( 1 ) Keterlambatan datangnya material dasar yaitu *plate*, ( 2 ) Waktu penyerahan tangki ke maintenance untuk dilakukan repair, oleh karena kondisi operasional, ( 3 ) dalam pelaksanaan terdapat beberapa faktor

cacat produk yang mengakibatkan terjadinya *rework* dalam proses *project* sehingga tidak dapat disesuaikan dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Cacat produk yang dihasilkan dalam proses perbaikan tangki timbun, merupakan kendala yang besar disamping terdapat pemborosan biaya juga terjadi penambahan waktu untuk melaksanakan kerja ulang, pada proses pekerjaan overhaul atau repair tangki ini adalah suatu bentuk upaya membuat desai dengan pola penyambungan antara plate dengan plate sehingga menjadi suatu bentuk bangunan dengan cara pengelasan. Dalam proses pengelasan ini banyak mengalami cacat produk diantaranya : ( 1 ) Retak (*Crack*) adalah bentuk cacat yang diakibatkan oleh adanya pengaruh panas pada daerah logam dasar yang telah dilakukan pengelasan, sedangkan kategori retak ini terdapat dua macam retak yaitu retak panas dan retak dingin. ( 2 ) Lubang halus (*Voids*) aatau paling sering dikatakan sebagai cacat porosity adalah bentuk cacat lubang – lubang halus dari hasil pengelasan, ( 3 ) Inklusi adalah cacat yang disebabkan adanya faktor pengotor pada bidang kerja, ( 4 ) Kurang Fusi adalah bentuk cacat produk akibat tidak menyatunya material dalam proses penyambungan, ( 5 ) Cacat bentuk (*Imperfect Shape*) adalah cacat bentuk dari hasil pengelasan seperti (*Overlap, Undercut, Underfill*).

Hasil pengelasan yang baik adalah suatu bentuk hasil sambungan dua logam yang sama dengan cara dicairkan oleh panas, dan diantara benda padat yang disambung tersebut memiliki kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan atau menggagalkan sambungan tersebut (Sri Widharto, 2008), sehingga dapat dinilai bahwa semakin tinggi tingkat kekerasan hasil las akan semakin baik (*Larger the Better*)

### 3.6 Bahan Penelitian

Penelitian dilakukan pada proses pengelasan *steam coil pipe* (pipa aliran uap panas) yang digunakan sebagai pemanas minyak mentah (*Crude Oil Heater*) yang disimpan didalam tangki timbun. *Steam coil* merupakan satu kesatuan dari aparat unit tangki timbun. Adapun bahan – bahan yang digunakan adalah : *pipe line*, Electrode las.

*spesifikasi data dari steam coil pipe ; material : carbon steel, Specification : API5L or ANSI B 36.10, Grade : GR.B, Structure : Seamless, Size : 2 inchi, Rating : schedule 80, end finished : Bevelled.*

Spesifikasi elektrode yang digunakan ada dua macam yaitu E6010, DIA 3,2mm, AWS A5 1 E 6010, *For Mild , Medium Strength Steels*; E7018, Size 2,6 mm, ISO 2560 : E515B12029H, BS 639: E5155B12029H, DIN A5.1 : E7018, *Electrode for welding mild steel and medium Tensile steel, Size 4 mm, ISO 2560 : E515B12029H, BS 639: E5155B12029H, DIN A5.1 : E7018, Electrode for welding mild steel and medium Tensile steel.*

### 3.7 Instrumen Penelitian

Dalam proses pengumpulan data tentunya kami menggunakan alat – alat bantu untuk menginput data sebagai dasar untuk melakukan analisa adapun instrumen yang digunakan sebagai berikut :

- a) Tang Ampere

Tang Ampere meter (*AC Clam On Ampere Meter*) adalah alat ukur arus listrik yang digunakan untuk mengukur besarnya arus listrik yang digunakan pada proses pengelasan, spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut : Type *KW06 – 287* , Range Ampere *0 – 400, 600 Ampere*, VDC *400mV – 600Volt*, ACV *4 – 600 Volt*, Resistance *400 Ohm – 40 Mega Ohm*, Temperatur – *20°C – 1000°C*, Capacitance *40nF - 100μF* dan Frequency *9,999 Hz – 9999 Auto power off*, Produk *Krisbow*



Gambar 3.2 Tang Ampere meter

b) AVO Meter

Avo meter atau alat ukur yang biasa disebut dengan multi meter adalah alat ukur yang mampu untuk mengukur kuat arus dalam ampere, besar tegangan atau beda potensial listrik dalam besaran volt, dan bisa juga digunakan untuk mengukur besarnya nilai tahanan listrik dengan satuan Ohm, spesifikasi data dari AVO meter: *Analog Volt meter Type Sanwa 516 CX*, DCV *0,1 – 1000*

*Volt, AC Volt 10V – 1000 Volt, DC Current 50 $\mu$ A – 0,25Ampere, Resistance 2 Kohm – 20 Mohm, Fuse and dioda protection.*



Gambar 3.3 AVO meter

c) Stop Watch

Stop watch adalah alat untuk mengukur waktu, yang sering memiliki ketelitian antara 0,1 *second* sampai dengan 0,2 *second*. Data stop watch yang digunakan adalah : *Type Gym Ball, Model KK 1052, Brand Kenko, Place of origin china (mainland)*



Gambar 3.4 Stop Watch

d) *Infra Red Thermometer*

Alat ukur yang menggunakan sensor *infra red* dapat diaplikasikan untuk berbagai macam keperluan, namun yang digunakan disini adalah untuk mengukur temperatur tanpa menyentuh *objek*, memiliki kecepatan dan ketepatan serta memiliki ketelitian yang tinggi dan mudah dalam penggunaannya, tampilan hasil dalam bentuk digital dengan spesifikasi : *Type ST 60 pro Plus, Temperatur Range – 32°C – 600°C, ambien temperatur Range 0°C to 50°C, Optical resolution 30 : 1 distance to spot size, Repeatability ± 5% , Responce time 500 mS, Power 9Volt Alkaline or NiCd Battery.*



Gambar 3.5    Infra Red Temperature

e) *Busur Derajat*

Alat penguur sudut dalam hal ini kami menggunakan busur derajat mika yang memiliki range sudut  $0^{\circ} - 180^{\circ}$  digunakan untuk mengukur sudut kampuh dan

dilakukan secara manual, namun yang lebih tepat seharusnya menggunakan Bevel Protektor yaitu alat yang digunakan untuk memeriksa sudut hasil permesinan, membuat garis gambar pada bidang kerja yang akan dibentuk dengan sudut – sudut tertentu, atau dapat juga digunakan untuk memeriksa kerataan dari dua permukaan yang mempunyai sudut tertentu. Alat ini memiliki busur derajat, rangka, mistar, baut penyetel dan block ukur.

f) Digital Hardness Tester

Alat yang digunakan untuk mengukur kekerasan hasil pengelasan, dengan cara menekan pada bidang yang rata pada hasil pengelasan dan harus bersih untuk mendapatkan hasil yang optimal, spesifikasi alat ini adalah *Hardness Tester, Type Starret, Serial Number 2Tf 6657213, Ambient operating temperatur 0 – 50°C, Repeatability  $\pm 2\%$ , Response Time 500 mS, Standard impact device D inegrated, Hardness Scale HLD, HB, HRC, HRB, HV, HS, accuracy  $\pm 6\text{HLD}$  ( $760 \pm 30\text{HLD}$ ), Max Workpiece Hardness 900 HLD, max radius of workpiece  $R_{min} = 50\text{ mm}$ .*



Gambar 3.6 Digital Hardness Tester

g) Mesin Las

Dalam proses pengelasan mesin yang digunakan adalah mesin Las Listrik (*Electrical Arc Welding*) dengan spesifikasi, *Tegangan input 380Volt, Arus 152 Ampere, 100 KVA, 3 Phasa, frequency 50Hz, Tegangan Output 50 Volt, Arus 20 - 400 Ampere, full load efficiency 90%, Power factor 0,85, Electroda 2 – 6 mm, Welding machine multi operator 400A, 8 block, produk miller.*



Gambar 3.7 Electric Weld Machine

### 3.8 Prosedur Penelitian

a) Penentuan data awal

Data awal diperoleh dari laporan hasil inspeksi pengelasan *steam coil* yang dilakukan penggantian pada tangki timbun T 903, dimana dari 64 titik pengelasan yang mengalami kecacatan dan harus dilakukan kerja ulang mencapai 24 titik seperti tercantum pada lampiran .

b) Teknik pengumpulan data

Data diambil berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan dan dalam proses pengambilan data dilakukan sendiri dan dibantu oleh beberapa tenaga operator welder dan operator alat – alat ukur lainnya seperti

(hardness tester, Ampere meter, Volt meter, infrared thermo meter, sudut kampuh) data dicatat sesuai dengan urutan yang dilakukan sesuai dengan proses percobaan. Percobaan yang dilakukan adalah dengan melakukan eksperimen taguchi dengan menggunakan *Ortogonal Array*  $L_8(2^7)$ .

Pada hari pertama dilakukan pembentukan sudut kampuh dan pengikatan pertama ( *weldteck* ) pada tiap sambungan yang direpair sesuai dengan ukuran rencana eksperimen, hari kedua dilakukan pengelasan semua yang telah dilakukan pengikatan pertama dan pada hari ketiga mengambil data nilai kekerasan hasil pengelasan dengan menggunakan Digital Hardness Tester. Hasil pengamatan inilah yang kami gunakan untuk dasar analisa perbaikan kualitas dengan menggunakan metode eksperimen Taguchi.

### 3.9 Teknik Analisa Data

Urutan dari analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- A. Tahap identifikasi penyebab cacat produk pada proses pengelasan dalam rangka repair tangki timbun dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :
  - a) Diagram Tulang Ikan  
Diagram tulang ikan (*fishbone diagram*) . Yaitu diagram sebab akibat yang akan di gunakan untuk mengetahui terjadinya penyebab dominan .
  - b) Diagram Pareto

Diagram pareto adalah suatu bentuk diagram yang digunakan untuk mengetahui nilai atau bobot dari masing – masing bentuk variabel .

B. Tahapan menentukan faktor kendali dan faktor noise

- a) Faktor kendali adalah suatu faktor yang dapat diatur yang akan digunakan untuk memperbaiki hasil suatu produk yang telah diproduksi pada spesifikasi yang sama. Dengan mengambil nilai atau besaran dari faktor tersebut dengan menggunakan nilai batas minimum dan maksimum.
- b) Faktor Noise adalah faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan dari hasil produksi yang tidak dapat dikendalikan, walaupun dapat dikendalikan dengan menggunakan biaya yang mahal.

C. Menentukan *Ortogonal Array*

*Ortogonal Array* adalah suatu matriks dari susunan angka – angka yang mempunyai arti khusus. Dalam memilih matriks ortogonal yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks ortogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang dilakukan. Bentuk umum dari model matriks ortogonal adalah :

$$L_a (b^c)$$

Dimana :

- L = Rancangan bujur sangkar latin
- a = Banyaknya baris / eksperimen
- b = Banyaknya level
- c = Banyaknya kolom / faktor

							L4 OA ( OUTER ARRAY )				RATA - RATA	VARI- ANSI	SNR			
							H	1	1	2				2		
							L8 IA ( INNER ARRAY )									
							DATA PERCOBAAN									
							A	B	C	D	E	F	G			
							Coulumn Number				Y1	Y2	Y3	Y4		
Exp	1	2	3	4	5	6	7									
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									

Gambar : 3.8 Ortogonal array

#### D. Pelaksanaan Eksperimen

Melakukan suatu percobaan sesuai dengan sistem atau posisi yang telah ditetapkan pada orthogonal array

#### E. Pengolahan data

##### a) Uji Normalitas

Uji Normalitas adalah uji kebaikan yang sesuai antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan.

##### b) Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah suatu cara untuk menguji homogenitas dari beberapa variansi populasi yang memiliki distribusi normal.

##### c) ANOVA

*Analysis of Variance* (Anova) adalah suatu metoda matematika yang membagi – bagi variabilitas kedalam sumber variansi dan derajat bebas yang besesuaian dari suatu eksperimen

d) Menghitung SNR (*Signal to Noise Ratio*)

Berdasarkan target mutu dari hasil pengelasan yang ingin dicapai yaitu semakin kuat akan semakin baik mutunya.

e) Melaksanakan Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk mengevaluasi apakah rancangan usulan yang didapat mampu untuk memperbaiki kualitas hasil las yang dilaksanakan.

f) Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan apakah data hasil eksperimen konfirmasi sama atau berbeda dengan hasil prediksi.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Persiapan Penelitian

Dalam proses pelaksanaan penelitian ada beberapa tahapan yang dilakukan diantaranya :

- a) Mengumpulkan alat dan bahan penelitian
- b) Menyiapkan ijin kerja dan pelaksanaan gas test, karena pekerjaan dilaksanakan didaerah berpotensi bahaya.
- c) Membuat model penyambungan seperti pada rencana penelitian
- d) Melakukan setting awal penyambungan (*pipefitter*) sesuai dengan program pada masing – masing sambungan pipa steam coil
- e) Melakukan pengelasan dengan besar arus sesuai dengan data penelitian
- f) Melakukan pemeriksaan hasil pengelasan, dengan penetran dan uji vickers untuk mengetahui tingkat kekerasan hasil pengelasan
- g) Mencatat hasil pengukuran sebagai data yang akan digunakan sebagai dasar analisa

#### 4.2 Pengumpulan Data

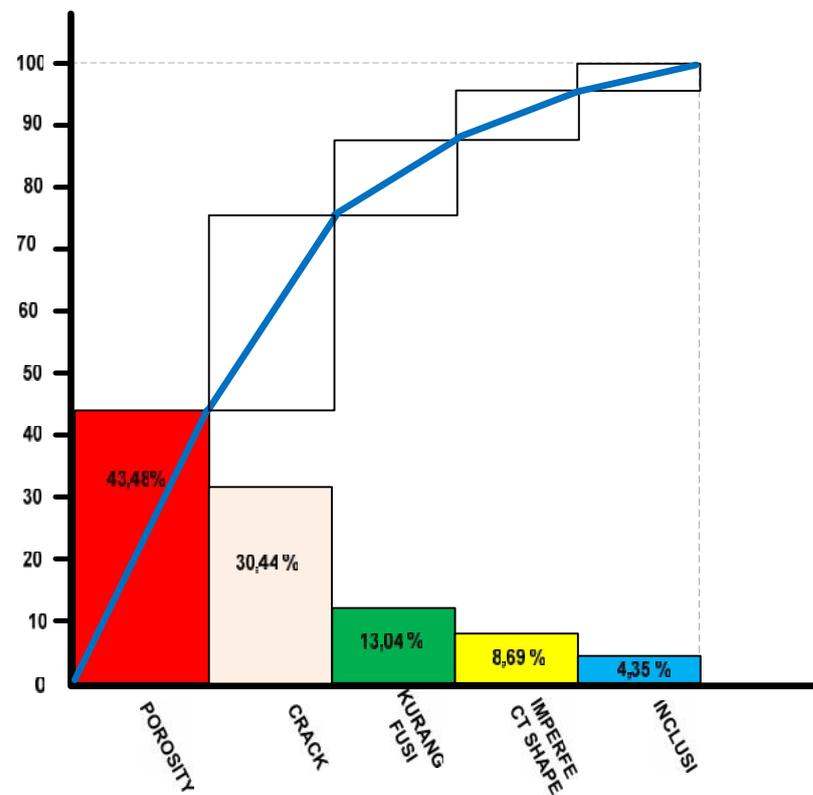
Data awal yang dikumpulkan adalah data inspection report dari *stationery engineering* seperti terlihat pada lampiran 1, Dari data yang diperoleh tersebut selanjutnya dilakukan pemetaan dari macam – macam kecacatan.

Dari hasil inspeksi pada pekerjaan pengelasan steam coil dalam tangki, sesuai dengan lampiran 1 terlihat banyaknya cacat hasil pengelasan setelah dilakukan uji NDT (*Non Distruktive Test*) berdasarkan prosedur dari ASME. SEV.V, Remover SKC-S, Penetran SKL – LO, Developer SKD – NF, Specification API – 653, penetrating time 5 menit, Developing time 10 menit. Dari 68 titik pengelasan terdapat 23 titik hasil pengelasan yang mengalami repair sehingga dapat diasumsikan besar cacat dari jumlah titik pengelasan yang ada adalah sebesar 33,82%. Dari jumlah cacat tersebut setelah dilakukan pengamatan secara detail dan dilakukan pengamatan secara saksama dilapangan maka produk cacat tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut: cacat dalam bentuk retak (*crack*) sebanyak 7 titik, lubang – lubang (*porosity / voids*) sebanyak 10 titik, Imperfect shape 2 titik, inklusi 1 titik dan cacat kurang fusi sebanyak 3 titik. Untuk menentukan besarnya prosentase cacat pada produk ini dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4.1 Prosentase cacat hasil pengelasan

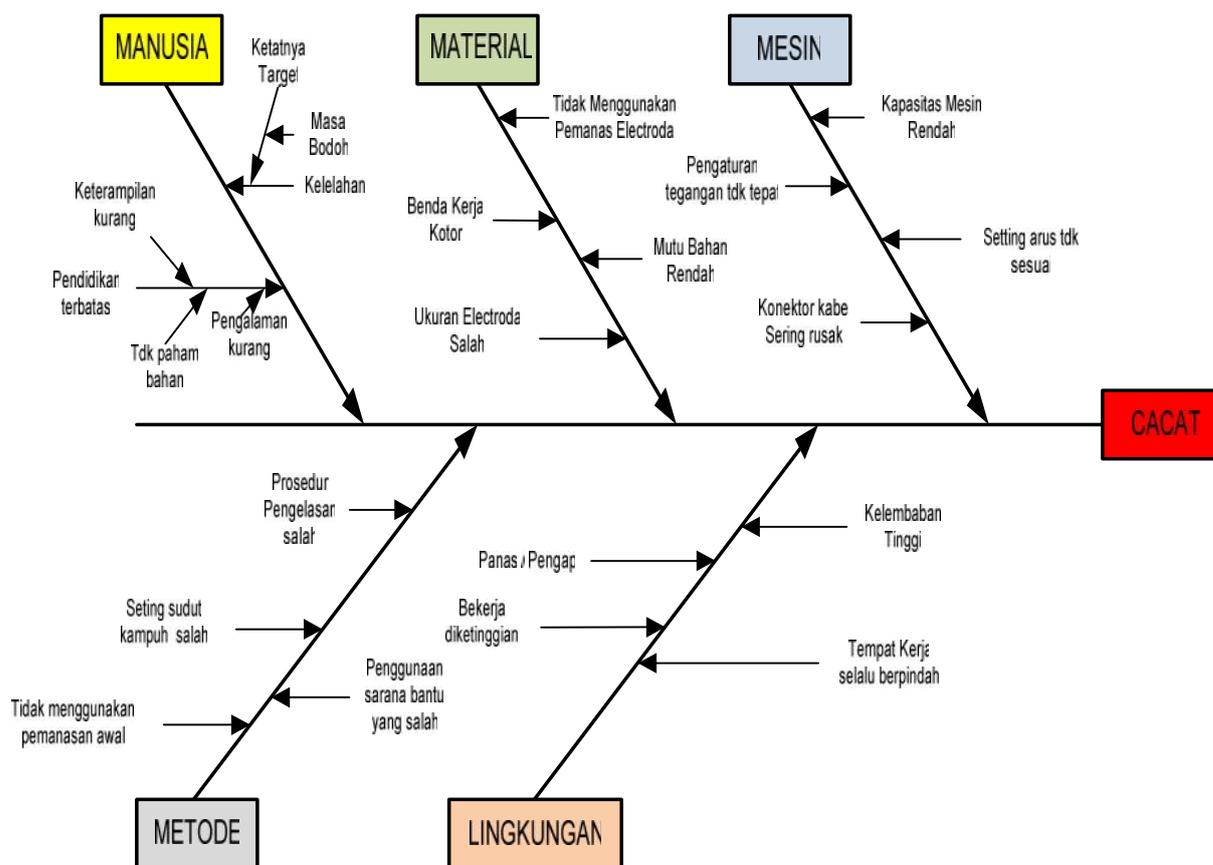
No	Jumlah Cacat	Bentuk Cacat	Prosentase Cacat ( % )
1	10	Porosity	40,38
2	7	Crack	30,44
3	3	Kurang fusi	13,04
4	2	Imperfect Shape	8,69
5	1	Inklusi	4,53

Berdasarkan hasil pemeriksaan cacat ini yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan penelitian, prosentase cacat dapat dilihat dalam bentuk diagram Pareto seperti dibawah ini :



Gambar 4.1 Diagram Pareto hasil Pengelasan

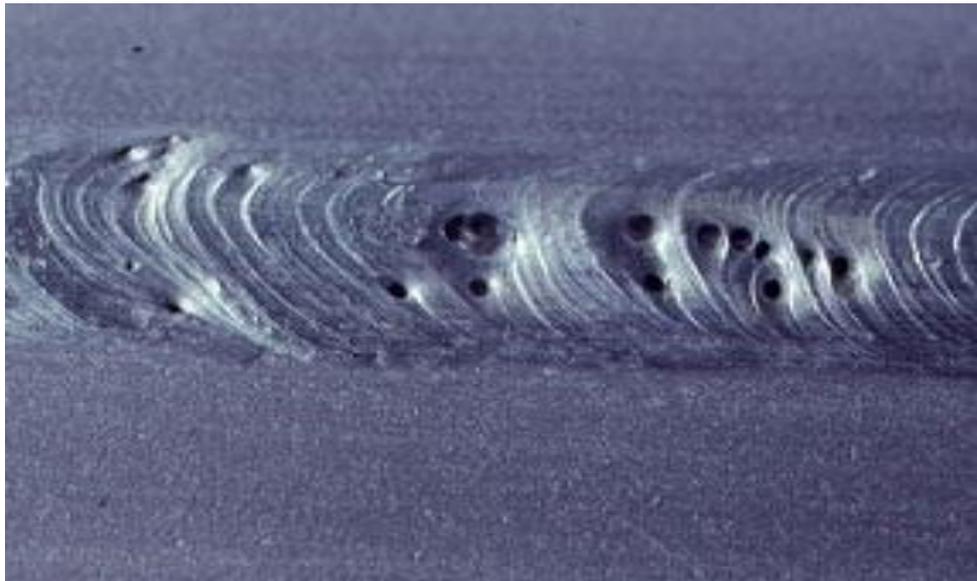
Untuk menentukan penyebab masalah yang dominan adalah dengan menggunakan sebab akibat (*fishbone diagram*) seperti terlihat dibawah ini.



Gambar 4.2 Diagram Tulang Ikan

### a) Porosity

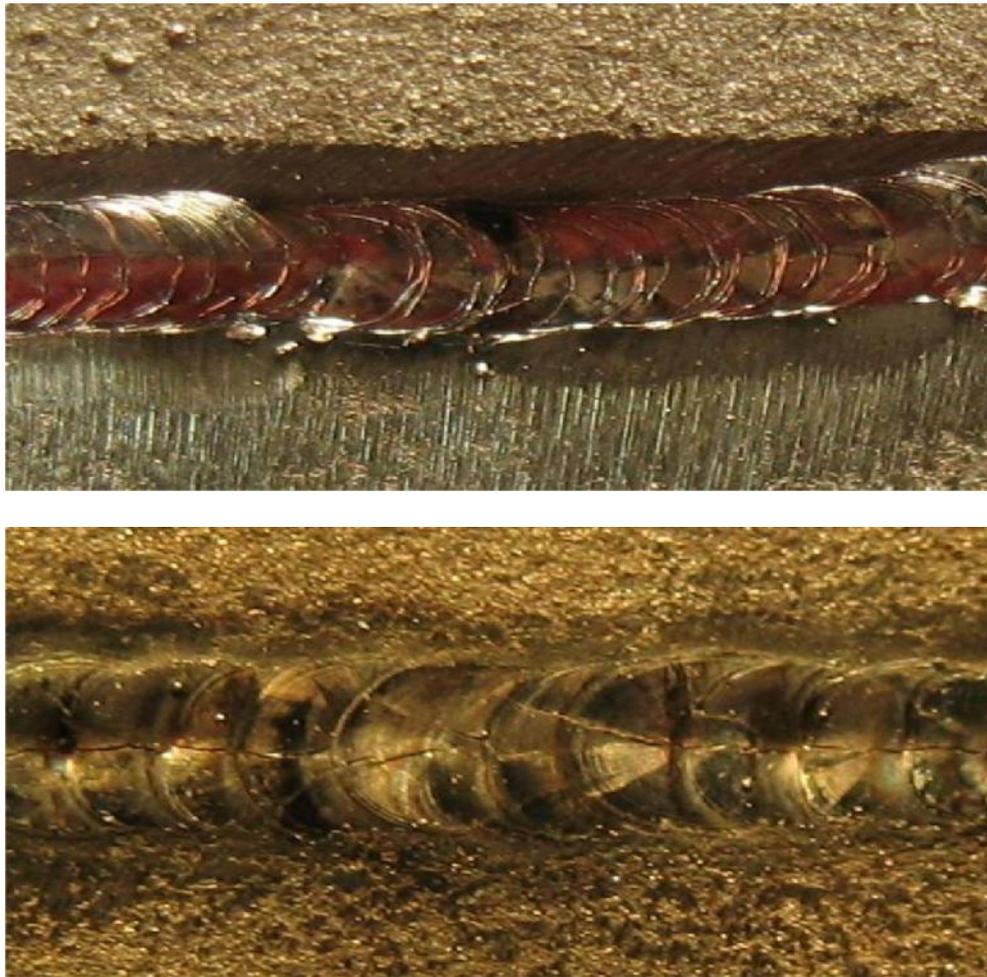
Keropos (*Porosity*) adalah cacat las yang berupa butir – butir berwarna gelap dengan bentuk bundar atau lubang – lubang halus yang terdapat disepanjang jalur las, kondisinya dapat berbentuk kelompok atau terpisah. Hal ini disebabkan oleh terperangkapnya gelembung – gelembung gas sewaktu cairan las membeku, gelembung gas berasal dari bintik – bintik air / embun yang terurai karena suhu las yang sangat tinggi menjadikan gas  $H_2$  dan  $O_2$  terurai akibatnya sambungan las menjadi keropos dan kekuatannya menjadi lemah. bentuk porosity dari cacat las dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Bentuk Cacat Porosity ukuran gambar diperbesar 100 x

#### b) Crack

Retak (*crack*) adalah bentuk cacat las yang tampak sebagai garis memanjang pada jalur las yang tidak lurus, kadang – kadang berbentuk samar – samar atau kurang jelas . Cacat ini disebabkan oleh adanya ketidak mampuan bahan las atau bahan dasar untuk menahan tegangan yang ada pada bahan tersebut dan gaya yang bekerja pada sambungan las, adapun bentuk cacat retak ini ada dua macam yaitu cacat retak akar memanjang (Longitudinal Root Crack) dan retak melintang kedalam (internal transverse crack) seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.4 a. Longitudinal Root Crack b. Internal Transverse Crack  
ukuran gambar diperbesar 100 kali

Cacat retak akar memanjang (Longitudinal Root Crack) adalah cacat berupa garis hitam samar – samar dan tidak lurus yang terletak didalam daerah jalur las akar, cacat jenis ini sangat berbahaya karena apabila dibiarkan maka kecacatannya terus berkembang.

Retak melintang (Internal Transverse Crack) adalah cacat berupa garis yang tidak lurus atau tampak seperti akar – akar rambut yang melintang pada jalur las, cacat jenis ini mutlak ditolak karena retak ini menunjukkan adanya

tegangan yang sangat besar bekerja pada sambungan las, atau disain sambungan salah atau telah terjadi proses pelemahan struktural didalam bahan las.

**c) Kurang Fusi**

Kurang fusi atau fusi tidak baik (Lack of side wall fusion / incomplete fusion) adalah cacat dalam bentuk lipatan yang terjadi pada antar lintas las, yaitu berupa salah satu atau dua deret bintik – bintik warna gelap yang terletak pada garis yang relatif lurus. Cacat ini akan tampak lebih jelas bila dilakukan dengan pengujian radio grafi sehingga terlihat dalam photo X – ray bentuk cacat pada lipatan – lipatan tersebut.



Gambar 4.5 Kurang Fusi ukuran gambar diperbesar 100 kali

**d) Imperfect Shape**

Adalah suatu bentuk cacat dari hasil las yang bentuk beraneka ragam seperti bentuk dasar hasil las cekung, dasar lubang – lubang dan pada dasar las terlihat bahan yang berlebihan dan kurang isi. Bila terjadi hal seperti ini maka

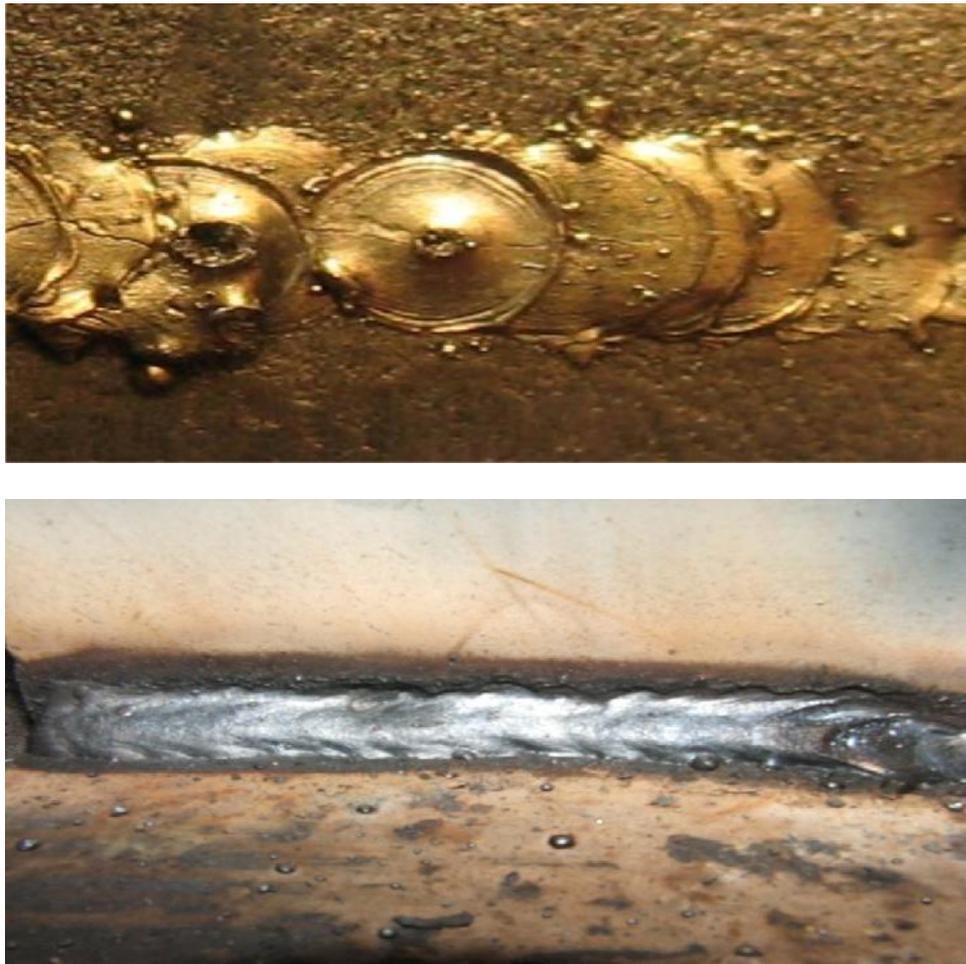
mutlak harus direvisi sepanjang cacat itu terjadi, oleh karena cacat tipe ini akan memperlemah kondisi dari sambungan las.



Gambar 4.6 Imperfect Shape ukuran gambar diperbesar 100 kali

**e) Inklusi**

Inklusi adalah jenis cacat yang bisa terlihat dengan menggunakan radio grafi test, dan akan direkam dalam film X – ray . terlihat sebagai bintik – bintik putih yang sangat jelas batas – batasnya dibandingkan dengan warna image jalur itu sendiri, cacat ini disebabkan oleh adanya logam berat yang masuk kedalam bahan las (proses pembuatan elektroda), biasanya berasal dari elektroda untuk pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas Welding). Cacat ini secara keseluruhan tidak berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las, kecuali jika jumlahnya terlalu berlebihan.



Gambar 4.7 Cacat Inklusi ukuran gambar diperbesar 100 kali

Dari beberapa pengamatan tentang bentuk cacat pada hasil pengelasan dapat ditentukan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari hasil pengelasan dapat digunakan sebagai dasar pengelasan pelaksanaan eksperimen, dan tahap – tahap yang dilakukan dalam eksperimen adalah :

Penentuan karakteristik yang diukur sebagai fungsi objektif yang akan dioptimalkan, pada tahapan ini ditentukan karakteristik yang akan diukur sebagai variabel terikat dari eksperimen, dan bila hasil pengelasan mengalami kecacatan, salah satunya diukur berdasarkan nilai kekerasan semakin besar nilai yang diperoleh maka akan semakin baik *Larger The Better* ( LTB ).

Penentuan faktor kendali dan faktor noise serta penentuan level faktor . Penentuan faktor – faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas produk berdasarkan identifikasi yang telah dilakukan, adalah dengan menentukan faktor kendali dan faktor noise.

#### 4.2.1 Faktor Kendali dan Noise

Faktor kendali adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, sedangkan faktor noise adalah faktor yang nilainya sulit untuk diatur seandainya bisa diatur memerlukan biaya yang mahal, pemilihan faktor untuk eksperimen berdasarkan data pada tabel 4.2 dan 4.3

Tabel 4.2 Faktor penyebab cacat hasil pengelasan

Faktor Penyebab	Cacat				
	Undercut	Crack	Porosity	Inclusi	Imperfect shape
Kuat arus listrik rendah		X	X	X	X
Kuat arus listrik Tinggi	X			X	X
Kecepatan Rendah		X	X	X	X
Kecepatan tinggi	X	X	X		
Busur Api terlalu panjang	X			X	
Busur Api terlalu pendek		X	X		X
Ukuran elektroda salah	X	X	X	X	X
Ayunan tidak teratur	X				
Posisi salah	X				
Tegangan Listrik terlalu rendah	X	X		X	X
Tegangan Listrik terlalu Tinggi		X	X		X
Sudut Kampuh tidak tepat	X	X	X	X	X
Benda kerja Kotor		X			
Preheat rendah	X	X	X		
Preheat tinggi				X	X
Kurang waktu pengisian				X	X
Pemasangan Clam salah				X	X
Benda kerja Carbon Tinggi		X			
Pendinginan terlalu cepat		X			

Tabel 4.3 Pemilihan factor berdasarkan pengalaman dan Literatur

	Range					
	WPS	AWSD1.1	SNI	Pengalaman	Dharminder	Kishore
Process	X					
Electroda Spesification	X					
Electroda Clasification	X					
Electroda Diameter	X	3.2 - 4 mm	3.2 - 4 mm	3.2 - 4 mm	3.2 - 3.9mm	3.2 - 3.9mm
Metal Base	X					
Minimum Preheat	X	> 15%	30 - 40°	37 - 45°		> 15%
Temperatur	X					
Welding Current	X	102 - 225A	75 - 350A	105 - 180A	100 - 160A	128 - 169A
Arc Voltage	X	21 - 34V	17 - 50V	17 - 45V	16 - 22 V	22 - 40V
Travel Speed	X	60 - 75 dt/cm		67 - 87dt/cm	42 - 82.3 dt/cm	As Required
Weld Position	X					
Post weld heat treatment	X					
Flow rate	X					
Joint design	X					
Arc Welding	X	3 - 5mm	3 - 5mm	3 - 4.5 mm	3 - 4 mm	3 - 4 mm
Groove Type	X	V	V	V	V	V
Groove Angle ( $\alpha$ )	X	42 - 60°		45 - 65°	40 - 65°	40 - 70°
Diameter pipe	X	2 inchi	2 inchi	2 inchi	2 inchi	2 inchi

Tabel 4.4 Faktor Kendali

	Faktor Kendali	Level 1	Level 2
A	Sudut Kampuh	45°	65°
B	Tegangan Listrik	17 Volt	45 Volt
C	Electroda	3,2mm	4 mm
D	Kecepatan pengelasan	65 detik / Cm	87 detik / Cm
E	Kuat Arus	105 Ampere	180 Ampere
F	Temperatur Pemanasan Awal	37°C	45°C
G	Panjang busur api	3 mm	4.5 mm

Faktor tak terkendali Faktor Noise yang dilibatkan dalam eksperimen adalah :

Tenaga Kerja.

Tenaga kerja yang digunakan pada umumnya memiliki bukti ketrampilan untuk melakukan pekerjaan pengelasan sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki seperti terlihat pada Lampiran Daftar Tenaga kerja yang digunakan, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya perubahan keterampilan seseorang seperti kelelahan, jenuh, panas, bekerja diruang terbatas, bekerja diketinggian dan lain-lain, namun bila kita menggunakan tenaga spesialis pengelasan harganya cukup mahal.

#### 4.2.2 Penentuan Orthogonal Array

Matriks ortogonal sangat efisien dalam memperoleh jumlah data yang relatif kecil dan mampu menterjemahkan kekesimpulan yang berarti dan jelas. Cara pemilihan matriks ortogonal adalah dengan menentukan jumlah faktor atau derajat bebas (db) dan level minimum yang diperlukan oleh inner array . Dalam perhitungan derajat kebebasan faktor dan level diperoleh :

$$(\text{Banyaknya faktor}) \times (\text{banyaknya level} - 1) = 7 \times (2 - 1) = 7.$$

Maka memilih matrik orthogonal yang sesuai dengan eksperimen adalah derajat kebebasan pada matriks orthogonal standard harus lebih besar atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan pada eksperimen, maka menggunakan  $L_8(2^7)$ , dimana L akan menyatakan rancangan bujur sangkar latin, 8 menyatakan banyaknya baris atau eksperimen, 2 menyatakan banyaknya level dan 7 menyatakan banyaknya kolom atau faktor, dan dalam penelitian ini terdapat 7 faktor dan 2 level

Faktor A, B, C, D, E, F, G masing – masing 2 level

Maka orthogonal array yang dipilih seperti pada gambar dibawah ini :

							L4 OA ( OUTER ARRAY )				RATA - RATA	VARI- ANSI	SNR		
							H	1	1	2				2	
L8 IA ( INNER ARRAY )							DATA PERCOBAAN								
A	B	C	D	E	F	G									
Coulumn Number							Y1	Y2	Y3	Y4					
Exp	1	2	3	4	5	6	7								
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								

Gambar 4.8 Ortogonal array L8

### 4.2.3 Data Hasil Percobaan

Data hasil eksperimen yang telah dilakukan, berdasarkan matriks yang tertera dengan cara melakukan uji Vickers pada daerah yang dilakukan proses pengelasan, setiap titik pengelasan diambil data dari empat sisi yaitu posisi atas, bawah, samping kiri dan kanan. Nilai rata – rata dari hasil tersebut yang dimasukkan dalam kolom hasil percobaan, seperti tertera dibawah ini :

Tabel 4.5 Data nilai kekerasan hasil pengelasan ( Pascal )

							L4 OA ( OUTER ARRAY )				Total	Rata- rata					
							H	1	1	2			2				
L8 ( INNER ARRAY )							DATA PERCOBAAN										
A	B	C	D	E	F	G											
							Y1	Y2	Y3	Y4							
EXP	1	2	3	4	5	6	7										
1	1	1	1	1	1	1	1	69.4	62.7	74.4	87.4	57.8	61.2	68.3	78.9	560.1	70.01
2	1	1	1	2	2	2	2	78.9	63.1	82.4	63.1	83.2	67.2	66.8	77.2	581.9	72.74
3	1	2	2	1	1	2	2	79.4	75.2	70.2	76.7	70.9	78.4	81.9	63.8	596.5	74.56
4	1	2	2	2	2	1	1	65.3	70.2	64.6	66.8	87.2	73.4	72.7	71.3	571.5	71.44
5	2	1	2	1	2	1	2	77.7	66.0	75.7	64.2	78.9	66.8	82.4	63.4	575.1	71.89
6	2	1	2	2	1	2	1	78.4	73.9	66.0	61.6	86.4	57.8	78.9	87.4	590.4	73.80
7	2	2	1	1	2	2	1	75.2	60.4	80.7	78.9	77.7	63.1	76.2	67.2	579.4	72.43
8	2	2	1	2	1	1	2	65.3	70.2	75.7	80.7	75.7	74.4	78.7	70.2	590.9	73.86

### 4.3 Uji Normalitas

Tujuan dari dilakukan uji normalitas data adalah untuk mengetahui, apakah data tersebut bervariasi normal atau tidak normal, Normal disini memiliki arti bahwa data mempunyai distribusi yang normal. Jadi uji normalitas pada dasarnya melakukan perbandingan antara data yang dimiliki dengan data yang memiliki mean dan standard deviasi yang sama dengan data kita. Langkah – langkah Uji Normalitas Data sebagai berikut :

a. Menentukan Hipotesis

Ho : data distribusi normal ( $\chi^2_{hit} \leq \chi^2_{tabel}$ )

Hi : data tidak berdistribusi normal ( $\chi^2_{hit} \geq \chi^2_{tabel}$ )

b. Membuat daftar distribusi frekuensi

Dalam membuat daftar distribusi frekuensi dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

a) Menentukan rentang ( R ), dengan rumus :

Rentang untuk kekerasan hasil pengelasan dengan menggunakan  $R =$   
data tertinggi – data terendah

$$R = 87,40 - 57,80 = 29,60$$

b) Menentukan jumlah kelas interval dengan aturan sturges, yaitu :

$$k = 1 + 3.32 \text{ Log } n$$

$$k = 1 + 3.32 \text{ Log } ( 64 )$$

$$k = 6,996517514 \approx 7$$

c) Menentukan panjang kelas interval p, dengan rumus

$$p = R / k$$

$$p = 29,60 / 7 = 4,2286$$

d) Menyusun tabel distribusi frekuensi

Tabel 4.6 Distribusi frekuensi

No Kelas	Interval		Frequency Observasi ( $O_i$ )	Titik Tengah ( $X_i$ )	$X_i^2$	$O_i \cdot X_i$	$O_i \cdot X_i^2$
	Class Limit	Class Boudaries					
1	57,8000 - 62,0286	57,7500 - 62,0786	5	59,9143	3589,723344	299,5715	17948,61672
2	62,0287 - 66,2572	61,9787 - 66,3072	12	64,1429	4114,31162	769,7148	49371,73944
3	66,2573 - 70,4858	66,2073 - 70,5358	11	68,3715	4674,662012	752,0865	51421,28213
4	70,4859 - 74,7144	70,4359 - 74,7644	7	72,6001	5270,77452	508,2007	36895,42164
5	74,7145 - 78,9430	74,6643 - 78,9930	18	76,8287	5902,649144	1382,9166	106247,6846
6	78,9431 - 83,1716	78,8931 - 83,2216	7	81,0573	6570,285883	567,4011	45992,00118
7	83,1717 - 87,4002	83,1217 - 87,4502	4	85,2859	7273,684739	341,1436	29094,73896
			64	508,2007	37396,09126	32524,8448	336971,4847

c. Perhitungan nilai rata – rata ( mean =  $\bar{X}$  ) dan simpangan baku (  $s$  ) :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{69,40 + 62,70 + 74,40 + 87,40 + \dots + 70,20}{64} =$$

$$\bar{X} = \frac{4645,80}{64} = 72,5906$$

$$s = \sqrt{\frac{64(336971,4847) - (32524,8448)^2}{64(64 - 1)}} = 7,2548$$

d. Membuat tabel penolong Uji normalitas

a) Penentuan nilai Z

penentuan nilai Z untuk kelas ke dua dengan batas bawah  $X_{\text{bawah}}$  sama

dengan didapat nilai Z

$$Z_{\text{bawah}} = \frac{\text{Batas kelas bawah} - \bar{X}}{s} =$$

$$Z_{\text{bawah}} = \frac{61,9786 - 72,5906}{7,2548} = -1,4627$$

penentuan nilai Z untuk kelas ke dua dengan batas atas  $X_{\text{atas}}$  sama dengan didapat nilai Z

$$Z_{\text{atas}} = \frac{\text{Batas kelas atas} - \bar{X}}{s} =$$

$$Z_{\text{atas}} = \frac{66,3072 - 72,5906}{7,2548} = -0,8661$$

b) Penghitungan nilai peluang

Perhitungan nilai peluang didasarkan pada tabel peluang distribusi normal standard  $P(Z)$ , penentuan nilai peluang Z pada kelas kedua adalah :

$$P(Z \text{ bawah} = -1,4627) = 0,0722$$

$$P(Z \text{ atas} = -0,8661) = 0,1922$$

c) Perhitungan luas kelas interval

$$\begin{aligned} \text{Luas kelas interval } P(Z \text{ atas} = 0,1922) - P(Z \text{ bawah} = 0,0722) \\ = 0,1200 \end{aligned}$$

d) Perhitungan frekuensi harapan ( $E_i$ )

$$\begin{aligned} E_i &= \text{Luas kelas interval} \times \text{Jumlah data} \\ &= 0,1200 \times 64 = 7,68 \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Daftar penolong uji normalitas

Batas Kelas		Z bawah (Zb)	Z atas (Za)	P(Z<Zb)	P(Z<Za)	Luas Tiap Interval kelas	Frekuensi Harapan	Frekuensi Observasi
57,7500	62,0786		-1,4628	0	0,0722	0,0722	4,6208	5
61,9786	66,3572	-14.629	-0,8592	0,0723	0,1949	0,1227	7,8528	12
66,2720	70,5858	-0,8593	-0,2763	0,1950	0,3897	0,1948	12,4672	11
70,4358	74,8144	-0,2764	0,3065	0,3898	0,6217	0,2320	14,8480	7
74,6644	79,0430	0,3066	0,8894	0,6218	0,8133	0,1916	12,2624	18
78,8930	83,2716	0,8895	1,4723	0,8134	0,9292	0,1159	7,4176	7
83,1216	87,5002	1,4724	2,0551	0,9293	1	0,0708	4,5312	4
						Total	64	64

bila dilihat pada tabel penolong uji normalitas terdapat frekuensi observasi yang bernilai satu ( 1 ) dan nol ( 0 ), sehingga perlu adanya penggabungan kelas dengan frekuensi di atas atau di bawahnya. Setelah melakukan penggabungan maka ada beberapa hal yang perlu untuk ditentukan, diantaranya

- a) Melakukan perhitungan Chi Kuadrat dengan rumus :

$$X^2_{Hitung} = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$X^2_{Hitung} = \frac{(17 - 12,4736)^2}{12,4736} + \frac{(18 - 27,3152)^2}{27,3152} + \frac{(18 - 12,2624)^2}{12,2624} + \frac{(11 - 11,9497)^2}{11,9497} = 7,5794$$

- b) Menentukan tingkat signifikansi,  $\alpha$  yang dipilih 5% atau 0,05  
c) Menentukan kriteria pengujian  $X^2_{hitung}$  yaitu :

$$H_0 \text{ diterima jika } X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel}$$

Ho ditolak jika  $X^2_{hitung} \geq X^2_{tabel}$

d) Membandingkan nilai  $X^2_{hitung}$  dan  $X^2_{tabel}$  dengan  $\alpha = 5\%$  dan derajat bebas

$$(db) = n - k - 1 = 7 - 1 = 6$$

$$X^2(0,05)(2) = 12,592$$

e) Kesimpulan

Respon pengurangan kecacatan berdasarkan nilai kekerasan hasil pengelasan terlihat dari hasil perhitungan uji normalitas ( $X^2_{hitung} = 7,5794$ ) < ( $X^2_{tabel} = 12,592$ ) maka Ho diterima. Berarti data hasil eksperimen pengurangan kecacatan hasil pengelasan berdistribusi normal.

Tabel 4.8 Data Penggabungan Kelas

No	Batas Kelas		Frekuensi Observasi ( $O_i$ )	Frekuensi Harapan ( $e_i$ )	Chi Hitung
1	57,7500	66,3572	17	12,4736	1,6425
2	66,2720	74,8144	18	27,3152	3,1767
3	74,6644	79,0430	18	12,2624	2,6846
4	78,8930	87,5002	11	11,9497	0,0755
			64	64	7,5794

#### 4.4 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dimaksudkan untuk memperlihatkan bahwa dua atau lebih kelompok data yang berasal dari populasi yang memiliki variansi yang sama, interpretasi dilakukan dengan memilih salah satu statistik, yaitu statistik yang didasarkan pada rata – rata (*based on mean*). Dengan demikian kehomogenan dapat dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi ( $\alpha$ ) tertentu. dan sebaliknya jika hasil uji signifikan maka kenormalan tidak dipenuhi.

#### Variabel Respon Kekerasan hasil pengelasan yang Homogen

a) Menentukan hipotesis

Ho : Data respon kekerasan hasil pengelasan yang homogen

Hi : Data respon kekerasan hasil pengelasan yang tidak homogen

Daerah penerimaan :

Ho diterima jika  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel}$

Hi ditolak jika  $X^2_{hitung} \geq X^2_{tabel}$

b) Membuat tabel penolong uji Bartlett

Tabel 4.9 Uji Bartlett Kekerasan Hasil Pengelasan

Replikasi	N-1	1 / N-1	Si <sup>2</sup>	Log Si <sup>2</sup>	(N-1)Log Si <sup>2</sup>
1	31	0,032258	660,37	2,819787	87,413407
2	31	0,032258	646,25	2,810400	87,122417
Jumlah	62	0,064516	1306,62	5,630187	174,535824

$S_i^2$  : nilai ragam perlakuan ke- i

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} = \left[ \sum_{i=1}^t Y_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^t Y_i \right)^2}{n} \right]$$

$$S_1^2 = \frac{1}{32-1} \left[ 151607,53 - \frac{(2048,50)^2}{32} \right] =$$

$$S_1^2 = \frac{1}{31} (151607,53 - 131136,008) = 660,37$$

$$S_2^2 = \frac{1}{32-1} \left[ 148127,58 - \frac{(2024,60)^2}{32} \right] =$$

$$S_2^2 = \frac{1}{31} (148127,58 - 128093,9113) = 646,25$$

- c) Menghitung variansi gabungan dari semua sampel ( $S^2$ )

$$S^2 = \frac{\sum(n_i - 1) S_i^2}{\sum(n_i - 1)}$$

$$S^2 = \frac{[(31 \times 660,37) + (31 \times 646,25)]}{62} =$$

$$S^2 = \frac{20471,47 + 20033,75}{62} = \frac{40505,22}{62} = 653,31$$

- d) Menghitung harga satuan B

$$B = (\text{Log } S^2) \sum (n_i - 1)$$

$$B = \text{Log } (653,31) \times 62 = 174,537397$$

- e) Menghitung  $X^2$  hitung

$$X_{\text{Hitung}}^2 = (\text{Ln } 10) \left\{ B - \sum (n_i - 1) \text{Log } S^2 \right\}$$

$$X_{\text{Hitung}}^2 = (\text{Ln } 10) \{ (174,537397) - (174,535824) \} =$$

$$X_{\text{Hitung}}^2 = (\text{Ln } 10)(0,001573) = 0,003622$$

- f) Menetapkan taraf signifikansi,  $\alpha = 5\%$  atau 0,05  
g) Menetapkan kriteria pengujian

Ho diterima apabila  $X^2_{\text{hitung}} \leq X^2_{\text{tabel}}$

Ho ditolak apabila  $X^2_{\text{hitung}} \geq X^2_{\text{tabel}}$

$X^2_{\text{tabel}}$  diperoleh dari tabel distribusi Chi-kuadrat dengan peluang  $\alpha = 0,05$  dan derajat bebas (db)  $k-1 = 2-1 = 1$  adalah sebesar 3,8415, sedangkan nilai  $X^2_{\text{hitung}}$  adalah 0,003622.

Kesimpulan

Karena  $X^2$  hitung  $< X^2$  tabel maka  $H_0$  diterima , yaitu data hasil eksperimen kekerasan hasil pengelasan adalah homogen

#### 4.5 Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis Variansi (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui apakah pengaruh dari ke tujuh faktor yang telah diidentifikasi itu memiliki respon terhadap timbulnya kekerasan hasil pengelasan, adapun langkah perhitungan menggunakan analisis variansi adalah sebagai berikut :

##### A. Menyatakan Hipotesis

Hipotesis awal ( $H_0$  dan  $H_1$ )

Berdasarkan tujuan dari penelitian ingin mengetahui pengaruh dari faktor kendali terhadap rata – rata hasil eksperimen untuk mengurangi tingkat kecacatan dengan meningkatkan kekerasan hasil pengelasan, dan didapatkan persamaan :

$$Y \text{ target} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + E_m + F_n + G_o + e$$

Y target = Pengurangan kekerasan hasil pengelasan

Faktor A = Sudut kampuh

Faktor B = Tegangan listrik

Faktor C = Ukuran elektroda

Faktor D = Kecepatan pengelasan

Faktor E = Kuat arus listrik

Faktor F = Temperatur pemanasan awal

Faktor G = Panjang busur api

a) Faktor A

Ho : Tidak ada pengaruh besar kecilnya sudut kampuh terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh besar kecilnya sudut kampuh terhadap kekerasan hasil pengelasan

b) Faktor B

Ho : Tidak ada pengaruh besar kecilnya tegangan listrik terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh besar kecilnya tegangan listrik terhadap kekerasan hasil pengelasan

c) Faktor C

Ho : Tidak ada pengaruh besar kecilnya ukuran elektroda terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh kecilnya ukuran elektroda terhadap kekerasan hasil pengelasan

d) Faktor D

Ho : Tidak ada pengaruh kecepatan pengelasan terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh kecepatan pengelasan terhadap kekerasan hasil pengelasan

e) Faktor E

Ho : Tidak ada pengaruh kuat arus listrik terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh kuat arus listrik terhadap kekerasan hasil pengelasan

f) Faktor F

Ho : Tidak ada pengaruh temperature pemanasan awal terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh temperatur pemanasan awal terhadap kekerasan hasil pengelasan

g) Faktor G

Ho : Tidak ada pengaruh panjang busur api terhadap kekerasan hasil pengelasan

H1 : Ada pengaruh Panjang busur api terhadap kekerasan hasil pengelasan

B. Menghitung *sum of square* terdiri atas beberapa perhitungan diantaranya :

a) *Total sum of square* ( SST ) atau jumlah kuadrat Total

$$SST = \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right]$$

$$SS_T = ( 69,40^2 + 62,70^2 + 74,40^2 + 87,40^2 + 57,80^2 + 61,20^2 + 68,30^2 + 78,90^2 \dots\dots\dots + 70,20^2 ) = 341021,22$$

b) *The sum of square due to the mean* atau jumlah kuadrat rata – rata

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{Y} = 1/64 ( 69,40 + 62,70 + 74,40 + 87,40 + 57,80 + 61,20 + 68,30 + 78,90 + \dots\dots\dots + 70,20 ) = 72,59$$

c) *Sum of square due to the mean* atau jumlah kuadrat rata – rata

$$S_m = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 64 \times (72,5968)^2 = 337298,9037$$

Menghitung sum square faktor

$$SSA = \frac{A_1^2}{N_{A1}} + \frac{A_2^2}{N_{A2}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SSA = \frac{(293)^2}{4} + \frac{(296,60)^2}{4} - \frac{(589,60)^2}{8} =$$

$$SSA = 21462,25 + 21992,89 - 43453,52 = 1,62$$

dengan cara yang sama maka nilai tiap faktor dapat dihitung dan nilainya seperti dalam tabel.

$$SS_{\text{faktor}} = SSA + SSB + SSC + SSD + SSE + SSF + SSG$$

$$= 1,62 + 13,26 + 133,66 + 153,12 + 81,28 + 10,81 + 23,46 = 534,44$$

d) Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a. Derajat kebebasan total (*Degree of freedom total / dft*)

$$df_T = N - 1$$

$$df_T = 64 - 1 = 63$$

b. Derajat kebebasan faktor (*Degree of freedom factor / df*), dimulai dari faktor A

$$df_A = k_A - 1 = 2 - 1 = 1$$

c. Derajat kebebasan penyimpangan (*degree of freedom error / dfe*)

$$dfe = df_T - df_{\text{faktor}}$$

$$dfe = 63 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 = 56$$

e) *The sum of square due to error*

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}}$$

$$SS_e = 341021,22 - 337298,9037 - 534,44 = 3187,8763$$

- f) Menghitung *mean of square* (Ms) suatu faktor, dimulai faktor A

$$M_{SA} = \frac{SS_A}{df_A} = \frac{1,62}{1} = 1,62$$

- g) Menghitung F ratio suatu faktor, dimulai dari faktor A

$$F_{Ratio A} = \frac{M_{SA}}{M_{Se}}$$

$$M_{Se} = \frac{SS_e}{df_e} = \frac{3187,8763}{56} = 56,926$$

- h) Menghitung *pure of square* (SS'), dimulai dari faktor A

$$SS' = SSA - (dfA \times Mse)$$

$$SS' = 1.62 - (1 \times 56,926) = -55,3063$$

- i) Menghitung persen kontribusi (P)

$$PA = \frac{SSA}{SST} \times 100\%$$

$$PA = \frac{1.62}{341021,22} \times 100\% = 0.000475\%$$

- j) Menghitung tingkat signifikansi  $\alpha$ ,  $\alpha = 5\%$

- k) Menentukan kriteria pengujian

Ho diterima jika F hitung  $\leq$  F tabel

Ho ditolak jika F hitung  $\geq$  F tabel

- l) Mencari F tabel

Untuk ketujuh faktor kendali A, B, C, D, E, F, G dengan taraf signifikansi 5%

dfA( v1 pembilang ), dfB( v1 pembilang ), dfC( v1 pembilang ), dfD( v1

pembilang ), dfE( v1 pembilang ), dfF( v1 pembilang ), dfG( v1 pembilang ),

dan dfe ( v2 penyebut ) = 56 diperoleh F tabel untuk masing – masing faktor

tersebut sebesar :

Tabel 4.10 Analisa Varian nilai rata - rata

Faktor	SS	df	Mse	F hitung	P value (%)	SS'	Keputusan P value < $\alpha$
A	1.62	1	1.62	0.0278	0.0005	-56.56	Ho ditolak
B	13.26	1	13.26	0.2279	0.0039	-44.92	Ho ditolak
C	168.36	1	168.36	2.8939	0.0494	110.18	Ho ditolak
D	153.12	1	153.12	2.6320	0.0449	94.95	Ho ditolak
E	163.81	1	163.81	2.8156	0.0480	105.63	Ho ditolak
F	10.81	1	10.81	0.1858	0.0032	-47.37	Ho ditolak
G	23.46	1	23.46	0.4033	0.0069	-34.72	Ho ditolak
error	534.44	56	9,543				
ST	341091.3	63					
Mean	337298.904						

#### m) Kesimpulan

Karena dari ketujuh faktor tersebut terlihat bahwa faktor A, B, C, D, E, F, G memiliki nilai P-value <  $\alpha \rightarrow 0.0005$  s/d  $0.0494 < 5\%$ , maka Ho ditolak, berarti faktor tersebut berpengaruh terhadap kekerasan hasil las.

#### 4.6 Pengaruh Level dari Faktor terhadap Rata – Rata Kekerasan Hasil Pengelasan

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata – rata kekerasan hasil pengelasan, dilakukan pengolahan data respon kekerasan hasil

pengelasan yang diperoleh langsung dari hasil pengukuran dilapangan. Perhitungan nilai rata – rata kekerasan hasil pengelasan melalui kombinasi level dari masing – masing faktor seperti terlihat dibawah :

$$A1 = \frac{1}{4} ( 69,40 + 78,90 + 79,40 + 65,30 ) = 73,25$$

$$A2 = \frac{1}{4} ( 77,70 + 78,40 + 75,20 + 65,30 ) = 74,15$$

Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan pada masing – masing faktor

Tabel 4.11 Respon rata – rata kekerasan hasil pengelasan

	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	73.25	66.43	78.30	76.80	72.70	68.95	74.03
Level 2	74.15	69.00	69.13	68.05	81.75	66.63	77.45
Selisih	0.900	2.575	9.175	8.750	9.050	2.325	3.425
Rangking	7	5	1	3	2	6	4

Dari perhitungan diperoleh hasil akhir dari respon rata – rata kekerasan hasil pengelasan dalam satuan Pascal adalah C1, E2, D1,G2, B2, F1, A2. Untuk mencapai nilai target lebih besar lebih baik (*Larger the better*) maka penentuan level factor yang optimum adalah yang mendapatkan hasil pengujian memiliki nilai paling besar yaitu :

C1 = Electroda las ukuran 3,2 mm

E2 = Kuat arus listrik 180Ampere

D1 = kecepatan pengelasan 65 detik / Cm

Matriks orthogonal L8 ( $2^7$ ) mempunyai 7 derajat kebebasan, maka diambil setengah derajat kebebasan sebagai pengaruh penting.

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing – masing faktor terlebih dahulu dihitung SS'

$$\begin{aligned}
 SS'A &= SS'A - Mse &= 1,62 - 9,543 &= - 7,923 \\
 SS'B &= SS'B - Mse &= 13,26 - 9,543 &= 3,83 \\
 SS'C &= SS'C - Mse &= 168,36 - 9,543 &= 158,817 \\
 SS'D &= SS'D - Mse &= 153,12 - 9,543 &= 143,577 \\
 SS'E &= SS'E - Mse &= 163,81 - 9,543 &= 154,267 \\
 SS'F &= SS'F - Mse &= 10,81 - 9,543 &= 1,267 \\
 SS'G &= SS'G - Mse &= 23,46 - 9,543 &= 13,917
 \end{aligned}$$

Sedangkan persen kontribusi masing – masing faktor dapat dihitung dengan rumus :

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_{Total}} \times 100\%$$

$$\rho A = \frac{- 7,923}{543,983} \times 100 = - 1,456 \%$$

$$\rho B = \frac{3,83}{543,983} \times 100 = 0,704 \%$$

$$\rho C = \frac{158,817}{543,983} \times 100 = 29,195 \%$$

$$\rho D = \frac{143,577}{543,983} \times 100 = 26,394 \%$$

$$\rho E = \frac{154,267}{543,983} \times 100 = 28,358 \%$$

$$\rho F = \frac{1,267}{543,983} \times 100 = 0,233 \%$$

$$\rho G = \frac{13,917}{543,983} \times 100 = 2,558 \%$$

### 4.7 Perhitungan Nilai Signal to Noise Ratio (SNR)

Berdasarkan target mutu yang ingin dicapai yaitu menuju suatu nilai yang maksimal maka untuk perhitungan SNR digunakan rumus sebagai berikut :

$$S/N_{LTB} = -\text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right]$$

Data hasil eksperimen ditransformasikan kedalam bentuk rasio S/N (Signal to Noise) untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variansi karakteristik kualitas, Berdasarkan rumus diatas, perhitungan untuk SNR percobaan I dari kombinasi A, B, C, D, E, F dan G untuk mengurangi kecacatan hasil pengelasan dengan menambah kekerasan hasil pengelasan adalah sebagai berikut :

$$SNR = -10 \text{ Log} \left[ \frac{1}{8} \left( \frac{1}{Y_{11}^2} + \frac{1}{Y_{12}^2} + \frac{1}{Y_{21}^2} + \frac{1}{Y_{22}^2} + \frac{1}{Y_{31}^2} + \frac{1}{Y_{32}^2} + \frac{1}{Y_{41}^2} + \frac{1}{Y_{42}^2} \right) \right]$$

$$SNR = -10 \text{ Log} \left[ \frac{1}{8} \left( \frac{1}{69.4^2} + \frac{1}{62.7^2} + \frac{1}{74.4^2} + \frac{1}{87.4^2} + \frac{1}{57.8^2} + \frac{1}{61.2^2} + \frac{1}{68.3^2} + \frac{1}{78.9^2} \right) \right] = 37,122$$

Hasil selengkapnya dari perhitungan SNR tercantum dalam tabel 4.12 dibawah ini :

Tabel 4.12 Hasil perhitungan SNR

								L4 OA ( OUTER ARRAY )				Σ1/y <sup>2</sup>	(Σ1/y <sup>2</sup> )/8	SNR
							H	1	1	2	2			
L8 ( INNER ARRAY )							DATA PERCOBAAN							
A	B	C	D	E	F	G	Y1	Y2	Y3	Y4				
EXP	1	2	3	4	5	6	7							

1	1	1	1	1	1	1	1	69.4	62.7	74.4	87.4	57.8	61.2	68.3	78.9	0.001554	0.000194	37.122
2	1	1	1	2	2	2	2	78.9	63.1	82.4	63.1	83.2	67.2	66.8	77.2	0.001400	0.000175	37.570
3	1	2	2	1	1	2	2	79.4	75.2	70.2	76.7	70.9	78.4	81.9	63.8	0.001219	0.000152	38.182
4	1	2	2	2	2	1	1	65.3	70.2	64.6	66.8	87.2	73.4	72.7	71.3	0.001407	0.000176	37.545
5	2	1	2	1	2	1	2	77.7	66.0	75.7	64.2	78.9	66.8	82.4	63.4	0.001344	0.000168	37.747
6	2	1	2	2	1	2	1	78.4	73.9	66.0	61.6	86.4	57.8	78.9	87.4	0.001433	0.000179	37.471
7	2	2	1	1	2	2	1	75.2	60.4	80.7	78.9	77.7	63.1	76.2	67.2	0.001354	0.000169	37.721
8	2	2	1	2	1	1	2	65.3	70.2	75.7	80.7	75.7	74.4	78.7	70.2	0.001282	0.000160	37.959

#### 4.7.1 Pengaruh level dari faktor terhadap variansi kekerasan hasil las

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata – rata hasil kekerasan hasil pengelasan yang digunakan sebagai dasar analogi dari penentuan kecacatan hasil pengelasan, dilakukan pengolahan data yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung dari eksperimen, dan dimulai dari perhitungan nilai rata – rata nilai hardness dari hasil pengelasan melalui kombinasi level dari masing – masing faktor.

Sebagai aturan empiris hanya tiga faktor yang dipilih karena dalam matriks ortogonal  $L_8 (2^7)$  hanya mengambil kira – kira setengah derajat kebebasan sebagai faktor terpenting (Soejanto, 2009) seperti dibawah ini :

a) Pengaruh Faktor A

$$A_1 = \frac{(37.122) + (37.570) + (38.182) + (37.545)}{4} = \frac{150.418}{4} = 37,605$$

$$A_2 = \frac{(37.747) + (37.471) + (37.721) + (37.959)}{4} = \frac{150.898}{4} = 37,725$$

b) Pengaruh Faktor B

$$B_1 = \frac{(37.122) + (37.570) + (37.747) + (37.471)}{4} = \frac{149.910}{4} = 37,477$$

$$B_2 = \frac{(38,182) + (37,545) + (37,721) + (37,959)}{4} = \frac{151,406}{4} = 37,852$$

c) Pengaruh Faktor C

$$C_1 = \frac{(37,122) + (37,570) + (37,721) + (37,959)}{4} = \frac{150,372}{4} = 37,593$$

$$C_2 = \frac{(38,182) + (37,545) + (37,747) + (37,741)}{4} = \frac{150,945}{4} = 37,736$$

d) Pengaruh Faktor D

$$D_1 = \frac{(37,122) + (38,182) + (37,747) + (37,721)}{4} = \frac{150,772}{4} = 37,693$$

$$D_2 = \frac{(37,570) + (37,545) + (37,471) + (37,959)}{4} = \frac{150,545}{4} = 37,636$$

e) Pengaruh Faktor E

$$E_1 = \frac{(37,122) + (38,182) + (37,471) + (37,959)}{4} = \frac{150,734}{4} = 37,683$$

$$E_2 = \frac{(37,570) + (37,545) + (37,747) + (37,721)}{4} = \frac{150,583}{4} = 37,646$$

f) Pengaruh Faktor F

$$F_1 = \frac{(37,122) + (37,545) + (37,747) + (37,959)}{4} = \frac{150,373}{4} = 37,593$$

$$F_2 = \frac{(37,570) + (38,182) + (37,471) + (37,721)}{4} = \frac{150,944}{4} = 37,736$$

g) Pengaruh Faktor G

$$G_1 = \frac{(37,122) + (37,545) + (37,471) + (37,721)}{4} = \frac{149,859}{4} = 37,465$$

$$G_2 = \frac{(37,570) + (37,182) + (37,747) + (37,959)}{4} = \frac{151,457}{4} = 37,864$$

Tabel 4.13 Respon Rasio S/N Kekerasan hasil Pengelasan

	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	37.605	37.477	37.593	37.693	37.683	37.593	37.465
Level 2	37.725	37.852	37.736	37.636	37.646	37.736	37.864
Selisih	0.1201	0.3741	0.1433	0.0567	0.0378	0.1428	0.3994
Rangking	5	2	3	6	7	4	1

Kesimpulan :

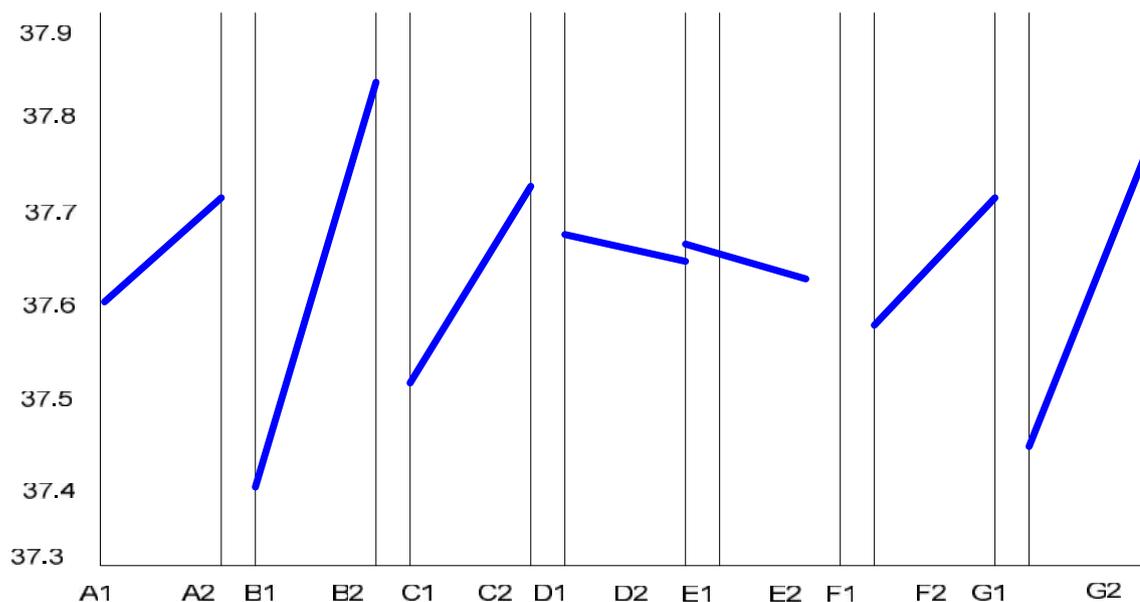
Formulasi terbaik didapat dari pemilihan nilai SNR dengan level faktor yang paling besar ( Belavendram, 1995 ). Sehingga didapatkan formulasi masing – masing variabel respon yaitu :  $G_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$ ,  $F_2$ ,  $A_2$ ,  $D_1$ ,  $E_1$ .

Walaupun karakteristik kualitas adalah semakin kecil, semakin baik tetapi rasio S/N didefinisikan sedemikian, sehingga selalu dapat ditransformasikan karakteristik kualitas menjadi karakteristik semakin besar semakin baik, ( Irwan Soerjanto, 2009 ), maka proses optimal terjadi pada  $G_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$

$G_2$  = Panjang busur api pada setting 4,5 mm

$B_2$  = Tegangan Listrik 45 Volt DC

$C_2$  = Ukuran elektroda 4 mm



Gambar : 4.9 Diagram factor kendali SNR

#### 4.7.2 Analisis Varians Rasio S/N

Sebagaimana factor yang berpengaruh terhadap nilai rata – rata kekerasan hasil pengelasan, maka untuk mengetahui factor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai rasio S/N sebagai berikut :

- a) *Total sum of square* (SST) atau jumlah kuadrat Total

$$SST = \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right]$$

$$SS_T = \{ (37,122)^2 + (37,570)^2 + (38,182)^2 + (37,545)^2 + (37,747)^2 + (37,471)^2 + (37,721)^2 + (37,959)^2 \} = 11349,6617$$

- b) *The sum of square due to the mean* atau jumlah kuadrat rata – rata

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{Y} = 1/8 \{ (37,122) + (37,570) + (38,182) + (37,545) + (37,747) + (37,471) + (37,721) + (37,959) \} = 37,66$$

- c) *Sum of square due to the mean* atau jumlah kuadrat rata – rata

$$S_m = n \cdot \bar{Y}^2$$

$$= 8 \times (37,66)^2 = 11346,2048$$

Menghitung sum square faktor

$$SSA = \frac{A_1^2}{N_{A1}} + \frac{A_2^2}{N_{A2}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SSA = \frac{(150,418)^2}{4} + \frac{(150,898)^2}{4} - \frac{(301,316)^2}{8} =$$

$$SSA = 5656,397 + 5692,575 - 11348,916 = 0,029$$

dengan cara yang sama maka nilai tiap faktor dapat dihitung dan nilainya seperti dalam tabel.

$$SS_{\text{faktor}} = SSA + SSB + SSC + SSD + SSE + SSF + SSG$$

$$= 0,055 + 0,306 + 0,067 + 0,033 + 0,029 + 0,0067 + 0,345 = 0,903$$

d) Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

d. Derajat kebebasan total (*Degree of freedom total* / dft)

$$df_T = N - 1$$

$$df_T = 64 - 1 = 63$$

e. Derajat kebebasan faktor (*Degree of freedom factor* / df), dimulai dari

faktor A

$$df_A = k_A - 1 = 2 - 1 = 1$$

f. Derajat kebebasan penyimpangan (*degree of freedom error* / dfe)

$$dfe = df_T - df_{\text{faktor}}$$

$$dfe = 63 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 = 56$$

e) *The sum of square due to error*

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}}$$

$$SS_e = 11349,6617 - 11346,2048 - 0,903 = 2,5539$$

- f) Menghitung *mean of square* (Ms) suatu faktor, dimulai faktor A

$$M_{SA} = \frac{SS_A}{df_A} = \frac{0,055}{1} = 0,055$$

- g) Menghitung F ratio suatu faktor, dimulai dari faktor A

$$F_{Ratio A} = \frac{M_{SA}}{M_{Se}}$$

$$M_{Se} = \frac{SS_e}{d_{fe}} = \frac{2,5539}{56} = 0,0456$$

- h) Menghitung *pure of square* (SS'), dimulai dari faktor A

$$SS' = SSA - (df_A \times M_{Se})$$

$$SS' = 0,055 - (1 \times 0,0489) = 0,0061$$

- i) Menghitung persen kontribusi (P)

$$PA = \frac{SSA}{SST} \times 100\%$$

$$PA = \frac{0,055}{11349,6617} \times 100\% = 0,000485\%$$

Seterusnya P value untuk seluruh faktor dan hasilnya seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.14 Analisa S/N Rasio dari Kekerasan Hasil Las

Faktor	SS	V	Mse	F Hitung	SS'	P Value (%)	Keputusan (P value < $\alpha$ )
A	0.055	1	0.055	1.206	0.0094	0.000485	Ho ditolak
B	0.306	1	0.306	6.711	0.2604	0.002696	Ho ditolak
C	0.067	1	0.067	1.469	0.0214	0.000590	Ho ditolak
D	0.033	1	0.033	0.724	0.0126	0.000291	Ho ditolak
E	0.029	1	0.029	0.636	0.0166	0.000256	Ho ditolak
F	0.067	1	0.067	1.469	0.0214	0.000590	Ho ditolak

G	0.345	1	0.345	7.566	0.2994	0.003040	Ho ditolak
error	0.903	56	0.016				
ST	11349.6617	63					
Mean	11346.2050						

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing – masing factor S/N rasio terlebih dahulu dihitung SS'

$$SS'A = SS'A - Mse = 0,055 - 0,0456 = 0,0094$$

$$SS'B = SS'B - Mse = 0,306 - 0,0456 = 0,2604$$

$$SS'C = SS'C - Mse = 0,067 - 0,0456 = 0,0214$$

$$SS'D = SS'D - Mse = 0,033 - 0,0456 = - 0,0126$$

$$SS'E = SS'E - Mse = 0,029 - 0,0456 = - 0,0166$$

$$SS'F = SS'F - Mse = 0,067 - 0,0456 = 0,0214$$

$$SS'G = SS'G - Mse = 0,345 - 0,0456 = 0,2994$$

Persen kontribusi berdasarkan S/N Rasio dapat dihitung dengan rumus :

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_{Total}} \times 100\%$$

$$\rho A = \frac{0,0094}{0,918} \times 100 = 1,024 \%$$

$$\rho B = \frac{0,2604}{0,918} \times 100 = 28,366 \%$$

$$\rho C = \frac{0,0214}{0,918} \times 100 = 2,331 \%$$

$$\rho D = \frac{-0,0126}{0,918} \times 100 = -1,373 \%$$

$$\rho E = \frac{-0,0166}{0,918} \times 100 = -1,808 \%$$

$$\rho F = \frac{0,0214}{0,918} \times 100 = 2,331 \%$$

$$\rho G = \frac{0,2994}{0,918} \times 100 = 32,614 \%$$

Dari hasil perhitungan kontribusi S/N Rasio faktor diatas yang paling dominan terhadap kekerasan hasil pengelasan adalah faktor G (panjang busur api) memiliki kontribusi sebesar 32,614 %

#### 4.7.3 Prediksi S/N Kekerasan Hasil Pengelasan yang optimal

Telah diketahui factor – factor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rasio S/N kuat kekerasan hasil pengelasan yang optimum adalah : G2,B2,F2

G2 = Panjang busur api pada setting 4,5 mm

B2 = Tegangan Listrik 45 Volt DC

C2 = Ukuran elektroda 4mm

Sehingga model persamaan S/N Rasio kekerasan hasil pengelasan adalah :

$$\begin{aligned} \mu_{Prediksi} &= \bar{Y} + (\bar{G2} - \bar{Y}) + (\bar{B2} - \bar{Y}) + (\bar{C2} - \bar{Y}) \\ &= 37,660 + (37,864 - 37,660) + (37,852 - 37,660) + (37,736 - 37,660) \\ &= 37,660 + 0,204 + 0,192 + 0,076 = 38,132 \text{ Pascal} \end{aligned}$$

Sedangkan interval kepercayaan rata – rata kekerasan hasil pengelasan pada tingkat kepercayaan 95% adalah :  $F_{(0,05; 1;6)} = 5,99$  dan  $Mse = 0.0161$

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan}}$$

$$n_{eff} = \frac{8 \times 8}{1 + (1 + 1 + 1)} = \frac{64}{4} = 16$$

$$CI = \pm \sqrt{F_{tabel} \times MS_e \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$CI = \pm \sqrt{5,59 \times 0,0161 \times \frac{1}{16}} = \pm 0,075$$

Jadi persamaan uji prediksi untuk respon SNR kekerasan hasil pengelasan adalah :

$$38,132 - 0,075 \leq 38,132 \leq 38,132 + 0,075$$

$$38,057 \leq 38,132 \leq 38,207$$

#### 4.8. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya, dan bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, ditetapkan pada kondisi optimal yaitu : G2, B2, C2, F2, A2, D1, E1

Tabel, 4.15 Hasil percobaan Konfirmasi

Hasil Eksperimen Konfirmasi
-----------------------------

Eksperimen	Hasil Eksperimen	Eksperimen	Hasil Eksperimen
1	78.70	5	86.40
2	70.20	6	57.80
3	69.40	7	78.90
4	62.70	8	87.40

#### 4.8.1 Pengolahan data Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi akan dianalisa untuk mencari interval kepercayaan rata – rata, untuk eksperimen konfirmasi sebagai berikut :

$$CI = \pm \sqrt{F_{(0,05;1,6)} \times MS_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Dari tabel 4.9 diketahui  $F_{(0,05;1,6)} = 5,99$  dan  $Mse = 9,543$

$$CI = \pm \sqrt{5,99 \times 9,543 \times \left[ \frac{1}{16} + \frac{1}{8} \right]} = 3,2738$$

Interval kepercayaan untuk rata – rata adalah  $\pm 3,2738$

$$73,94 - 3,2738 \leq 73,94 \leq 73,94 + 3,2738$$

$$70,6662 \leq 73,94 \leq 77,2138$$

Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen konfirmasi adalah :

$$CI = \sqrt{F_{0,05;1,6} \times MS_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Dari tabel 4.13 diketahui  $F_{(0,05;1,6)} = 5,99$  dan  $Mse = 0,0161$

$$CI = \sqrt{5,99 \times 0,00161 \times \left[ \frac{1}{16} + \frac{1}{8} \right]} = 0,135 \text{ Pascal}$$

Interval kepercayaan untuk variabilitas adalah

$$37,122 - 0,135 \leq 37,122 \leq 37,122 + 0,135$$

$$36,987 \leq 37,122 \leq 37,527$$

#### 4.8.2 Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi

Perhitungan data hasil eksperimen konfirmasi dihitung rata – ratanya dan kemudian ditransformasikan dalam bentuk rasio S/N

$$\text{Nilai Rata - Rata} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\text{Mean} = \frac{(78,70) + (70,20) + (69,40) + (62,70) + \dots + (87,40)}{8} = 73,94$$

$$\text{Rasio S/N} = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{n} \left( \frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \frac{1}{Y_3^2} + \frac{1}{Y_4^2} + \dots + \frac{1}{Y_8^2} \right) \right]$$

$$\text{Rasio} \frac{S}{N} = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{8} \left( \frac{1}{78,70^2} + \frac{1}{70,20^2} + \frac{1}{69,40^2} + \frac{1}{62,70^2} + \dots + \frac{1}{87,40^2} \right) \right] = 37,122$$

#### 4.9 Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan hasil konfirmasi dengan hasil prediksi, dengan menggunakan persamaan maka dapat dihitung perbedaan untuk tiap respon

Ho : Tidak ada perbedaan kualitas secara signifikan antara kondisi usulan dibandingkan dengan kondisi awal

Hi : Ada peningkatan kualitas yang signifikan antara hasil kondisi usulan dibanding kondisi awal

Ho : diterima jika  $t_{hitung} \leq t_{\alpha}$

Ho : ditolak jika  $t_{hitung} > t_{\alpha}$

#### 4.16 Perbandingan Nilai Kekerasan Hasil Pengelasan

Kondisi awal	Usulan
A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1	A2, B2, C2, D1, E1, F2, G2
69.40	78.70
62.70	70.20
74.40	69.40
87.40	62.70
57.80	86.40
61.20	57.80
68.30	78.90
78.90	87.40

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^t Y_1^2 - \left( \sum_{i=1}^t \frac{(Y_1)^2}{n} \right) \right]$$

$$S_1^2 = \frac{1}{8-1} \left[ 39898,15 - \frac{313712,01}{8} \right] = 97,736$$

$$S_2^2 = \frac{1}{8-1} \left[ 44539,15 - \frac{349872,25}{8} \right] = 115,017$$

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t_0 = \frac{70,0 - 73,94}{\sqrt{(8-1)97,736 + (8-1)115,017}} \sqrt{\frac{8 \times 8 (8 + 8 - 2)}{8 + 8}}$$

$$t_0 = \frac{-3,94}{\sqrt{684,152 + 805,119}} \sqrt{\frac{896}{16}} = 2,681$$

$$t_{tabel} = t_{(0,05;7)} = 1,895$$

Kesimpulan :

karena hasil  $t_{hitung} = 2,681 >$  nilai  $t_{(0,05;7)} = 1,895$  maka dapat disimpulkan bahwa ada peningkatan kualitas yang signifikan antara usulan dibanding dengan kondisi awal

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

Pembahasan hasil penelitian yang didasarkan atas hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat sambungan las yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan dan kekerasan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain.

Faktor A adalah besarnya sudut kampuh dari penyambungan logam, faktor B adalah besarnya tegangan listrik , factor C adalah ukuran elektroda yang digunakan , factor D adalah kecepatan pengelasan, factor E adalah kuat arus yang digunakan untuk mengelas, factor F adalah temperature pemanasan awal yang dilakukan sebelum pelaksanaan penyambungan, factor G adalah panjang busur api pengelasan.

Notasi yang diberikan diatas adalah suatu bentuk identifikasi faktor yang dibuat dalam proses melakukan peneltian yang berdasarkan pada metoda disain eksperimen Taguchi, dalam pengujian dengan metoda Taguchi, dapat dijelaskan bahwa faktor – faktor yang berpengaruh terhadap kekerasan hasil pengelasan sesuai

dengan notasi yang ditulis, berdasarkan respon S/N Rasio kekerasan hasil pengelasan adalah faktor G yaitu panjang busur api dengan seting 4,5mm, faktor B adalah besar seting tegangan listrik 45 Volt, faktor C yaitu ukuran elektroda yang digunakan adalah 4 mm, diantara peneliti terdahulu yang digunakan sebagai acuan adalah : penelitian dengan menggunakan metode Taguchi untuk analisa cacat hasil pengelasan pada bahan paduan Aluminium ( AA 6351 ) dengan menggunakan Tungsten *Gas Metal Arc Welding* ( TIG ), penyambungan logam tidak sejenis dengan metode Eksperimen taguchi, eksperimen dengan menggunakan bahan baja karbon rendah SUS 400 dan baja tahan karat SPHC 304 , dengan menggunakan mesin las GMAW semi otomatis dengan gas pelindung argon dan alur ( *groove* ) las berbentuk V, dan pengaruh masukan panas sambungan las *ERW* ( *Electric Resistance Welding* ) terhadap kekerasan material pipa baja API 5L – GR.B diameter 10 inchi, tebal 9,30 mm. didalam melakukan penelitian

Didalam melakukan penelitian ini bahan yang digunakan adalah *material : carbon steel, Specification : API5L or ANSI B 36.10, Grade : GR.B, Structute : Seamless, Size : 2 inchi, Rating : schedule 80, end finished : Bevelled.*

Dari hasil perhitungan interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 95% untuk eksperimen Taguchi kemudian dibandingkan dengan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi didapat bahwa rata – rata eksperimen konfirmasi berada pada interval kepercayaan eksperimen Taguchi seperti tertulis dalam tabel 5.1 dibawah ini .

Tabel 5.1 Interpretasi ukuran kekerasan hasil pengelasan

Respon ( kekerasan hasil pengelasan )		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata - rata ( $\mu$ )	91.670	$90.27 \leq \mu \bar{X} \leq 93.07$
	Variabilitas ( S/N )	38.132	$38.057 \leq \mu SNR \leq 38.207$
Eksperimen Konfirmasi	Rata - rata ( $\mu$ )	73.94	$70,6662 \leq 73,94 \leq 77,2138$
	Variabilitas ( S/N )	37.122	$36.987 \leq 37,122 \leq 37,527$

Berdasarkan interpretasi hasil perhitungan kekerasan hasil pengelasan yang tertera pada tabel 5.1 yaitu eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan pada rata – rata dan variabilitasnya. Dengan demikian kombinasi optimal faktor – faktor tersebut diatas terbukti dapat meningkatkan kekerasan hasil pengelasan pada pipa 2 inchi yang digunakan sebagai steam coil pada tangki timbun bahan bakar minyak, dengan komposisi G2,B2,C2,F2,A2,D1,E1.

G2 adalah panjang busur api dengan ukuran 4,5mm, B2 adalah besar tegangan listrik yang digunakan 45 Volt, C2 ukuran elektroda 4mm, F2 adalah Temperatur pemanasan awal 45°C, A2 besar sudut kampuh 65°, D1 kecepatan pengelasan 65 detik/ Cm, dan E1 kuat arus pada seting 105 Ampere.

Perbandingan kekerasan hasil pengelasan berdasarkan analisa dapat dilihat pada tabel 5.2 dibawah ini .

Tabel 5.2 Perbandingan nilai kekerasan hasil pengelasan

Respon	Kondisi Awal	Kondisi Optimal Prediksi	Kondisi Optimal Konfirmasi	Improvement
Kekerasan hasil pengelasan	72.59	91.67	74.93	-2.34

Dari data diatas terlihat bahwa ada peningkatan, yang dimulai dari kondisi awal sampai dengan kondisi optimal pada kondisi konfirmasi terjadi adanya improvement sebesar 2,34 Pascal.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Pada akhir dari pembahasan ini, peneliti akan memberikan kesimpulan yang merupakan jawaban atas rumusan masalah yang telah dibuat pada bab sebelumnya.

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik suatu kesimpulan :

Faktor – faktor dominan yang berpengaruh terhadap kekerasan hasil pengelasan pipa steam coil berdasarkan nilai rata – rata kekerasan adalah : ukuran elektroda las (C) , Kuat arus Listrik (E) dan kecepatan pengelasan operator, dengan kombinasi level dari factor yang menghasilkan nilai rata – rata dan variansi kekerasan hasil pengelasan diperoleh setting ukuran elektroda (C) pada level 1 yaitu 3,2 mm, kuat arus listrik (E) pada level 2 sebesar 180 Ampere, sedangkan kecepatan pengelasan (D) diperoleh pada level 1 yaitu sebesar 67 detik per Cm. Sedangkan bila ditinjau dari rasio S/N faktor – faktor yang berpengaruh adalah : panjang busur api (G), besar tegangan listrik (B) dan Temperatur pemanasan awal (F) .

Diperoleh setting kombinasi level yang optimum dari rasio S/N adalah panjang busur api (G) pada level 2 sebesar 4,5 mm, dengan kontribusi sebesar 32,614% , besar tegangan listrik (B) yang digunakan pada level 2 , sebesar 45 Volt, memiliki kontribusi sebesar 28,366% , dan Temperatur pemanasan awal (F) pada level 2 yaitu 45°C, memiliki kontribusi sebesar 2,33%

## 6.2 Saran

Pada pelaksanaan penelitian ini dilakukan eksperimen dan eksperimen konfirmasi untuk memvalidasi hasil prediksi, dihasilkan kondisi optimum untuk peningkatan kekerasan hasil pengelasan pada faktor berdasarkan kesimpulan diatas maka peneliti dapat menyarankan kepada perusahaan agar menggunakan kombinasi faktor kendali optimum untuk mencapai hasil yang diinginkan, yaitu karena dengan kombinasi ini dapat memberikan peningkatan kekerasan hasil pengelasan.

Untuk peneliti selanjutnya dapat melakukan eksperimen dengan menggunakan 3 level dengan multi repon serta interaksi antar factor, oleh karena keterbatasan peneliti sehingga masalah tersebut tidak dibahas.

Untuk operator agar dapat menggunakan waktu istirahat dengan baik, sebab faktor kelelahan sangat berpengaruh terhadap mutu hasil pengelasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.G.Takhur, T.E.Rao, M.S.Mukhedkar, V.M. Nandedkar, 2010, *Application of Taguchi Method for Resistance Spot Welding of Galvanized Steel*, Department of Mechanical Engineering, SRES College of Engineering, Kopargaon, India ( ARPN Journal of Engineering Applied Science, Vol 5, No. 11, November 2010.
- Alip, M 1989, *Teori dan Praktek Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta – Indonesia
- Anonim, 2004, *Structural Welding Code – Steel, AWS. D1.1/ D1.1M American Welding Society ( American National Standard )*, USA
- Anonim, 2003, *Safety and Helt for Welding*, Fact sheet no2, American Welding Society, New York, Amerika ( Journal International )
- Anonim, 2004, *Welding Consumables Reference*, second edition, Cigweld, Gower Street Victoria, Australia
- A.Vairis and M. Petousis, 2009, *Design Experiments to Study Welding Processes : Using the Taguchi Method*, Mechanical Engineering Dept. TEI of Crete, PO Box 1939, Heraklion 71004, Greece ( Journal of Engineering Science and Technology Review )
- Dhaminder at all, 2010, Parametric Optimatation of gas metal, Arc WeldingProcess by Using Factorial Design Approach, Volume 9, No.4, pp 353 – 363, Depatment of Mechanical Engg, R.I.E.I.T, Railmajra, 144533, India ( Journal International )
- Dhash JER & Kumanan S, 2010, *Weld Quality Prediction of Submerged Arc Welding Process Using Function Replacing Hybrid System*, Volume 5, APEM Journal, Negeroil 629161, India
- H.H.Na, I.S. Kim, B.Y. Kang, J.Y. Shim, 2011, *A Experiment Study for Welding Optimization of Fillet Welded Structure*, Department of Mechanical Engineering, Mokpo National University, 534-729, South Korea. ( Journal of Acheivement in Material and Manufacturing Engineering / AMME , Volume 45, Issue 2, April 2011 )
- Irwan Soejanto, 2009, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Edisi pertama, Graha Ilmu, Jogyakarta – Indonesia

- K. Kishore et al., 2010, *Analysis of Defects in Gas Shielded Arc Welding of AA 6351 Using Taguchi Methods*. Volume 5, Number 3, Research India Publication, Hyderabad, India ( Journal International )
- Philips, J.R 1996, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill, New York, Amerika
- Shinroku Saito, Tata Surdia, 2005, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan ke 6, Pradnya Paramitha, Jakarta – Indonesia
- Sri Widharto, 2008, *Petunjuk Kerja Las*, Cetakan ke 7, Pradnya Paramitha, Jakarta – Indonesia
- Z, Shayfull, N.A. Shuaib, M.F.Ghazali, S.M.Nasir, Z.Nooraizedfiza, 2011, *Optimization Length of Weld Line Formation in Thin Plate by Taguchi Method and Analysis of Variance ( ANOVA )*, School of Manufacturing Engineering, University Malaysia Perlis, Malaysia. ( International journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol. 11, No.1 Pebruari 2011 )