



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



37511/H/10

RSKe
671.52
Mul
a-1
2009

TUGAS AKHIR - LL1327

ANALISA RESIKO CACAT LAS PADA PENGELASAN TUBULAR JOINT JACKET DENGAN MENGUNAKAN METODE DIAGRAM ISHIKAWA

DWI PETNO MULYANINGSIH

NRP. 4305 100 004

Dosen Pembimbing

Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., MRINA

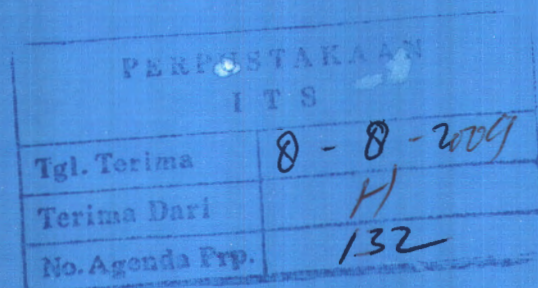
Yeyes Mulyadi, ST., M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2009





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - LL1327

RISK ANALYSIS OF DEFECT ON TUBULAR JOINT WELDING OF JACKET USING ISHIKAWA DIAGRAM METHODS

DWI RETNO MULYANINGSIH

REG. 4305 100 004

Supervisors

Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., MRINA

Yeyes Mulyadi, ST., M.Sc

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2009

**ANALISA RESIKO CACAT LAS PADA PENGELASAN
TUBULAR JOINT JACKET DENGAN MENGGUNAKAN
METODE DIAGRAM ISHIKAWA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DWI RETNO MULYANINGSIH

NRP. 4305 100 004

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA(Pembimbing 1)

2. Yeyes Mulyadi, ST., M.Sc(Pembimbing 2)



SURABAYA, 10 AGUSTUS 2009

ANALISA RESIKO CACAT LAS PADA PENGELASAN TUBULAR JOINT JACKET DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIAGRAM ISHIKAWA

Nama Mahasiswa : Dwi Retno Mulyaningsih
NRP : 4305 100 004
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., MRINA
Yeyes Mulyadi, ST., M.Sc

Abstrak

Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa resiko cacat las yang terjadi pada pengelasan *tubular joint jacket* studi kasus WHP-A Amerada Hess (Indonesia Pangkah) Ltd. Analisa dilakukan dengan menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dimana diagram *Ishikawa* digunakan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya cacat las. Kemungkinan terjadinya *welder error* pada saat bekerja (LWE), untuk *porosity* sebesar 0.1429, *incomplete fusion* sebesar 0.2222, *slag inclusion* sebesar 0.3333, *slag lines* sebesar 0.3333, dan *incomplete penetration* sebesar 0.25. Untuk menentukan peluang kegagalan (OCC) digunakan teknik *fault tree analysis*, dengan hasil sebagai berikut : *porosity* sebesar 0.0089, *incomplete fusion* sebesar 0.0004, *slag inclusion* sebesar 0.0006, *slag lines* sebesar 0.0014 dan *incomplete penetration* sebesar 0.0002. Konsekuensi kegagalan (CCF) didapatkan dengan menghitung biaya perbaikan pada setiap cacat las, antara lain untuk *porosity* sebesar USD 2.464,42, *incomplete fusion* sebesar USD 215,02, *slag inclusion* sebesar USD 105,85, *slag lines* sebesar USD 645,06, dan *incomplete penetration* sebesar USD 92,15. Dari hasil perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) diketahui bahwa *porosity* dan *slag lines* termasuk dalam tingkat resiko yang tinggi, *incomplete fusion* dan *slag inclusion* pada tingkat resiko menengah, dan *incomplete penetration* pada tingkat resiko yang rendah.

kata kunci : Cacat las, resiko, *Failure Mode and Effects Analysis*, diagram *Ishikawa*, *fault tree analysis*, RPN.

RISK ANALYSIS OF DEFECT ON TUBULAR JOINT WELDING OF JACKET USING ISHIKAWA DIAGRAM METHODS

Student Name : Dwi Retno Mulyaningsih
Reg : 4305 100 004
Department : Ocean Engineering, Marine Faculty – ITS
Supervisors : Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., MRINA
Yeyes Mulyadi, ST., M.Sc

Abstract

The project is to analyze welding defect on tubular joint jacket in case study of Amerada Hess (Indonesia Pangkah)Ltd. Analysis conducted by Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) where is Ishikawa diagram as for cause analysis tools. Probability for welder error in welding process during work (LWE) which are : porosity 0.1429, incomplete fusion 0.2222, slag inclusion 0.3333, slag lines 0.3333, and incomplete penetration 0.25. To determine failure probability (OCC) fault tree analysis is applied. The analysis resulting values of failure are : porosity 0.0089, incomplete fusion 0.0004, slag inclusion 0.0006, slag lines 0.0014 and incomplete penetration 0.0002. Failure consequences (CCF) obtained by calculating repair cost for each defects, repair cost for porosity USD 2.464,42., incomplete fusion USD 215,02., slag inclusion USD 105,85., slag lines USD 645,06 and incomplete penetration USD 92,15. From Risk Priority Number (RPN) calculation demonstrate that porosity and slag lines are high risk, incomplete fusion and slag inclusion are medium risk, and incomplete penetration are low risk.

Key words: weld defect, risk, failure mode and effects analysis, Ishikawa diagram, fault tree analysis, RPN.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Resiko Cacat Las pada Pengelasan Tubular Joint Jacket dengan Menggunakan Metode Diagram Ishikawa”**, digunakan untuk menganalisa tingkat resiko yang terjadi terhadap cacat las *tubular joint jacket* milik WHP-A Amerada Hess (Indonesia Pangkah) Ltd.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat diharapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 10 Agustus 2009

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis tidak terlepas akan naungan sang pencipta Allah SWT, Tuhan semesta alam. Terima kasih kepada keluarga penulis khususnya kedua orang tua dan kakak atas segala doa, curahan kasih sayang, perhatian dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada bapak Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., MRINA selaku pembimbing pertama dan bapak Yeyes Mulyadi, ST., M.Sc selaku pembimbing kedua, atas waktu, bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis. Kepada bapak Ir. Murdjito, M.Sc., Eng dan bapak Dr. M. Mustain, M.Sc, selaku ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan, serta kepada semua bapak/ibu dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan atas ilmu dan bimbingannya.

Tidak lupa kepada bapak Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc sebagai dosen wali penulis dan kepala UPTSM LPPM ITS yang telah membimbing penulis. Kepada Dr. Ir. M Zaed Yuliadi, M.Sc selaku kepala DIKLAT PT. PAL Indonesia atas ilmu diagram *Ishikawa* dan pengelasan yang telah diberikan, para *engineer* serta karyawan PT. PAL Indonesia (Persero) Surabaya, terimakasih atas nasehat dan bantuan data yang diberikan guna menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga bimbingan yang bapak dan ibu berikan dicatat sebagai amal ibadah oleh Allah SWT.

Tugas akhir ini tidak akan selesai dengan lancar tanpa adanya dukungan dari keluarga besar *shark army* 2005, staff UPTSM LPPM ITS, yoga dan lucky atas pinjaman printernya, kak Hardi atas dukungan dan bantuannya, serta semua pihak yang terkait membantu penulis. Terima kasih atas doa, bantuan serta dukungannya selama ini, semoga Allah membalas dengan segala kebaikan dunia dan akhirat.

Surabaya, 10 Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Tugas Akhir	4
1.4 Manfaat Tugas Akhir	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Definisi Pengelasan.....	7
2.1.1 Prosedur dan Teknik Pengelasan	7
2.1.2 Variable - Variable Yang Mempengaruhi Mutu Las.	18
2.1.3 Jenis Cacat Las	21

2.2	Jenis Sambungan Tubular	33
2.3	Definisi Analisa Resiko.....	35
2.3.1	Proses Risk Assessment	39
BAB III.....		55
METODOLOGI PENELITIAN.....		55
3.1	Identifikasi Masalah	55
3.2	Studi Literatur dan Pengumpulan Data	55
3.2.1	Pengumpulan Data Struktur dan Lingkungan	55
3.2.2	Data Prosedur Kualifikasi Pengelasan	56
3.3	Pemilihan Variable Cacat Las	60
3.4	Menyusun diagram Ishikawa.	60
3.5	Identifikasi bahaya	60
3.6	Menghitung peluang kegagalan.	61
3.7	Perkiraan konsekuensi.....	61
3.8	Menentukan tingkatan resiko	61
3.9	Kesimpulan	61
BAB IV		63
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN		63
4.1	Menyusun diagram ishikawa.....	63
4.2	Identifikasi bahaya.	66
4.3	Analisa peluang kegagalan.....	68
4.4	Analisa Konsekuensi	70
4.5	Menentukan tingkat resiko	75

BAB V	83
KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	87

LAMPIRAN A

Rekapitulasi Hasil Uji Radiography *Jacket WHP-A*

LAMPIRAN B

Diagram *Ishikawa* Cacat Las Untuk PAL GE-92-PQR

LAMPIRAN C

Diagram *Ishikawa* Cacat Las Untuk PAL GE-93-PQR

LAMPIRAN D

Peluang Kejadian Cacat Las Pada *Tubular Joint Jacket WHP-A*.

LAMPIRAN E

Perhitungan Peluang Kegagalan Dengan Menggunakan *Fault Tree Analysis*.

LAMPIRAN F

Perhitungan Konsekuensi Kegagalan Dengan Menggunakan Analisa Biaya.

LAMPIRAN G

Evaluasi Resiko Dengan Menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis*.

LAMPIRAN H

Biodata Penulis.

LAMPIRAN I

Lembar Asistensi.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengelasan pada <i>tubular joint jacket</i> WHP-A Amerada Hess Indonesia	
Pangkah	2
Gambar 1.2 Struktur WHP-A Amerada Hess Indonesia Pangkah	2
Gambar 2.1 Posisi pengelasan pada pelat	17
Gambar 2.2 Posisi pengelasan pada pipa	17
Gambar 2.3 Posisi pengelasan sambungan sudut pada pelat	18
Gambar 2.4 Posisi pengelasan sambungan sudut pada pipa	18
Gambar 2.5 Keterkaitan tiga variable yang mempengaruhi mutu las	19
Gambar 2.6 Parameter geometri pada sambungan <i>tubular</i>	34
Gambar 2.7 Proses analisa resiko.....	38
Gambar 2.8 Contoh diagram <i>Ishikawa</i>	42
Gambar 2.9 Sistematika analisa resiko dengan menggunakan teknik FTA.....	51
Gambar 3.1 Penomoran <i>joint</i> pengelasan pada <i>jacket elevation</i> row A dan row B	56
Gambar 3.2 Penomoran <i>joint</i> pengelasan pada <i>jacket elevation</i> row 1 dan row 2.....	57
Gambar 3.3 Flowchart pengerjaan tugas akhir	62
Gambar 4.1 Penyusunan diagram <i>ishikawa</i> terhadap cacat <i>porosity</i> yang terjadi pada	
<i>joint</i> 33, 34, 35 dan 36	64
Gambar 4.2 Penyusunan diagram <i>ishikawa</i> terhadap cacat <i>porosity</i> yang terjadi pada	
<i>joint</i> 61, 62, 64, 65, 66, 67 dan 68	65
Gambar 4.3 Perhitungan <i>Fault Tree Analysis</i> pada cacat las <i>porosity</i>	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan setiap grade pipa untuk komposisi metalurgi dan proses manufaktur	8
Tabel 2. 2 Jenis selaput elektroda dan arus pengelasan	10
Tabel 3.1 Kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-92-WPS	58
Tabel 3.2 Kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-93-WPS	59
Tabel 4.1 Frekuensi kejadian cacat las las pada tubular joint jacket WHP-A Berdasarkan uji NDT	66
Tabel 4.2 Peluang kejadian porosity pada tubular joint jacket WHP-A	67
Tabel 4.3 Referensi harga upah, daftar kebutuhan material, dan sewa peralatan.	71
Tabel 4.4 Contoh perhitungan biaya analisa pekerjaan.	72
Tabel 4.5 Rekapitulasi total biaya produksi fabrikasi jacket	73
Tabel 4.6 Total biaya perbaikan cacat las incomplete penetration.	74
Tabel 4.7 Perhitungan consequence caused by failure (CCF)	75
Tabel 4.8 Perhitungan Risk Priority Number (RPN)	76
Tabel 4.9 Sebab akibat cacat las dan rencana mitigasi	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak jaman prasejarah, telah dikenal teknik penyambungan logam seperti pembrasingan logam paduan emas dan tembaga. Bahkan, pemantrian paduan timbal dan timah telah diketahui dan dipraktekkan sejak tahun 4000 sampai dengan 3000 SM. Namun, dari proses penyambungan tersebut masih ditemukan banyak kekurangan, seperti sumber energi panas yang digunakan masih berasal dari pembakaran kayu atau arang yang hanya menghasilkan suhu yang sangat rendah. Pada akhir abad ke 19 teknik penyambungan ini tidak dikembangkan lebih lanjut dan digantikan dengan teknologi pengelasan (Wiryosumarto dan Okumura 2004). Ini dikarenakan teknologi pengelasan dirasa cukup ekonomis dan efisien dalam menyambung logam.

Pada saat ini teknologi pengelasan semakin berkembang, hampir disetiap konstruksi baja selalu menggunakan teknologi pengelasan, salah satunya pada konstruksi anjungan minyak lepas pantai. Pengelasan juga dapat digunakan untuk memberikan lapisan pada material lain, dengan tujuan menahan korosi, keropos, rongga, dan pengikisan. Dalam pengelasan, kekuatan sambungan las harus diperhatikan dan dijamin kekuatannya, sehingga diharapkan kekuatannya sama dengan kekuatan *base metal*. Namun, dalam melakukan setiap aktifitas pekerjaan termasuk salah satunya adalah proses pengelasan, selalu mengalami resiko kegagalan.

Dalam hal ini, resiko kegagalan yang terjadi pada proses pengelasan berupa cacat las. Pada struktur lepas pantai bertipe tetap atau *fixed offshore platform*, tingkat resiko cacat las yang cukup tinggi biasanya terdapat pada bagian *tubular joint*. Ini dikarenakan pada sambungan tersebut mengalami konsentrasi tegangan yang lebih besar jika dibandingkan dengan bagian yang lain pada struktur. Menurut

Prastianto (2003) gaya yang bekerja pada suatu sambungan *tubular* akan menimbulkan tegangan, terutama pada bagian interseksi antara elemen *brace* dan *chord*-nya. Pada titik-titik tertentu sepanjang daerah tersebut akan terjadi suatu tegangan yang beberapa kali lebih besar dari pada tegangan nominal yang terjadi.



Gambar 1.1 Pengelasan pada *tubular joint jacket* WHP-A Amerada Hess
Indonesia Pangkah (PT PAL, 2006)

Gambar 1.1 menunjukkan *tubular joint jacket* Amerada hess (Indonesia–Pangkah) Limited yang rentan akan cacat las. Amerada hess (Indonesia–Pangkah) Limited terletak antara 2 – 10 km dari pantai utara Jawa Timur, atau diperkirakan sekitar 35 km dari sebelah utara kota Gresik. Amerada Hess (Indonesia- Pangkah) Ltd, sebagai operator pengembang cadangan minyak dan gas Ujung Pangkah yang digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah Gresik. PT PAL diberi wewenang sebagai perekayasa, konstruksi, dan instalasi proyek *offshore wellhead platform A* milik Amerada hess (Indonesia–Pangkah) Limited.



Gambar 1.2 Struktur WHP-A Amerada Hess Indonesia Pangkah (PT PAL, 2006).

Pada penelitian ini hanya meninjau beberapa *joint* yang kemungkinan paling rentan terjadinya cacat las, berdasarkan data uji NDT yang dilakukan di beberapa titik *joint*. Pengelasan yang dilakukan pada *joint* tersebut menggunakan mesin SMAW dan elektroda type E 7016. Cacat las yang sering terjadi pada bagian *tubular joint* biasanya berupa cacat internal (di dalam bahan las atau bahan induk), khususnya seperti *undercut*, *porosity*, *incomplete fusion*, *slag inclusion*, *slag lines*, *crack* dan *incomplete penetration*. Dengan penyebab utamanya adalah pemilihan parameter las yang salah, penggunaan elektroda yang tidak tepat, ketidakmampuan bahan las dalam menahan tegangan, faktor lingkungan di sekitar pengelasan, serta tergantung pada *skill* dan mental *welder* itu sendiri. Pada struktur yang telah beroperasi dalam jangka waktu yang lama, cacat yang terjadi pada sambungan las kerap tidak terdeteksi pada awal instalasi. Ini akan berbahaya, karena struktur tersebut berpotensi mengalami kegagalan. Cacat las tersebut akan menimbulkan konsentrasi tegangan, sehingga akan menyebabkan terjadinya keretakan awal pada *tubular joint*.

Keretakan ini akan mengalami perkembangan jika selalu terkena pembebanan secara menerus. Sehingga, apabila mencapai panjang retak kritis, *tubular joint* akan mengalami kegagalan dan tentunya sangat membahayakan struktur WHP-A tersebut. Setelah mengetahui bagian *joint* mana saja yang rentan terjadinya cacat las, tahap selanjutnya adalah menganalisa resiko cacat las yang terjadi pada daerah sambungan lasan tersebut. Langkah awal yang dilakukan adalah mengidentifikasi bahaya dengan menggunakan diagram *Ishikawa*, yang kemudian dilanjutkan dengan memperkirakan kemungkinan terjadinya *welder error* pada saat bekerja (LWE). Setelah itu, menghitung peluang kegagalan (OCC) untuk masing - masing cacat las dengan menggunakan teknik *fault tree analysis*. Langkah selanjutnya adalah menentukan perkiraan konsekuensi (CCF), dengan menghitung biaya tambahan yang diakibatkan oleh cacat las tersebut. Dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), langkah terakhir yang dilakukan adalah menghitung *Risk Priority Number* (RPN) untuk

mendapatkan tingkatan resiko dan merekomendasikan apakah struktur tersebut masih dapat dipergunakan kembali tanpa mengabaikan keselamatan atau tidak.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, pokok permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah

1. Apakah sebab dan akibat terjadinya cacat las pada *tubular joint jacket* WHP-A?
2. Berapa peluang kegagalan dan konsekuensi akibat terjadinya cacat las tersebut?
3. Bagaimana tingkat resiko yang terjadi akibat cacat las pada *tubular joint jacket* WHP-A?
4. Bagaimana menyusun rencana mitigasi yang sesuai dengan cacat las yang terjadi?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat mengetahui sebab dan akibat dari cacat las yang terjadi pada bagian *tubular joint jacket* WHP-A Amerada Hess (Indonesia-Pangkajene) Ltd.
2. Dapat menghitung peluang kegagalan dan konsekuensi akibat terjadinya cacat las tersebut.
3. Dapat mengetahui tingkat resiko yang terjadi akibat cacat las pada *tubular joint jacket* WHP-A.
4. Dapat menyusun rencana mitigasi terhadap cacat las yang terjadi.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Dari analisa resiko cacat las yang akan dilakukan, diharapkan dapat diketahui apakah pada bagian *tubular joint jacket* WHP-A Amerada Hess (Indonesia-Pangkajene) Ltd yang kemungkinan akan terjadi cacat las, dapat direkomendasikan untuk terus beroperasi atau tidak. Maka dari itu, penelitian ini diharapkan memberi manfaat untuk mendapatkan informasi penting yang berguna untuk

meningkatkan produktifitas kerja pada suatu struktur agar dapat beroperasi lebih baik lagi.

1.5 Batasan Masalah

Untuk lebih menyederhanakan permasalahan ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Cacat las yang dianalisis hanya cacat las pada studi kasus pengelasan *tubular joint jacket* WHP-A Amerada Hess (Indonesia-Pangkajene) Ltd.
2. *Joint* yang ditinjau pada bagian *tubular* hanya beberapa *joint* yang dilakukan uji NDT.
3. Perhitungan peluang kegagalan hanya menggunakan teknik *fault tree analysis*.
4. Analisa konsekuensi hanya menghitung besarnya biaya tambahan untuk memperbaiki hasil pengelasan akibat cacat las yang terjadi.
5. Analisa resiko berdasarkan pada code API RBI 581 dan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA).
6. Analisa resiko yang dilakukan adalah untuk mendapatkan tingkatan prioritas resiko dan menyusun mitigasi terhadap cacat las yang terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dimulai dengan pendahuluan pada bab satu yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan laporan.

Dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam tugas akhir ini dijelaskan pada bab dua. Secara rinci bab ini berisikan tentang tinjauan pustaka yang menjadi acuan dan referensi dari penelitian tugas akhir, serta mencantumkan dasar teori, rumus dan code yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

Bab tiga pada penulisan laporan tugas akhir ini berisi tentang metodologi yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Meliputi: pengumpulan data-data awal, analisa data, pembahasan dan terakhir adalah mengambil kesimpulan dari hasil pengerjaan Tugas Akhir ini. Selain itu, bab ini juga berisi proses metodologi untuk mendapatkan analisa resiko secara lengkap dengan mengacu pada standar API RBI 581 dan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA).

Seluruh hasil analisa penelitian pada tugas akhir ini akan dibahas dan diterangkan pada bab empat. Bab ini akan membahas hasil dari analisa-analisa yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini hingga menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan dari tugas akhir. Dimana kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir akan diterangkan pada bab lima. Pada bagian daftar pustaka akan menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa busur api listrik yang terjadi antara ujung elektroda dan bahan induk akan menghasilkan panas. Panas inilah yang mencairkan ujung kawat las dan bahan induk setempat. Dua bahan induk yang bersama-sama sedang mencair, ditambah umpan kawat las yang sedang mencair juga, membentuk kawah cair dan setelah kawat ini membeku terjadilah sambungan las (Pusdiklat PT PAL 1990).

2.1.1 Prosedur dan Teknik Pengelasan

Hasil pengelasan suatu konstruksi harus memenuhi suatu persyaratan standar. Untuk mendapatkan suatu hasil pengelasan yang memenuhi standar, pelaksanaan pengelasan harus mengikuti suatu spesifikasi prosedur. Walaupun prosedur ini telah dirancang menurut ketentuan suatu standar, namun hasil pengelasan yang baik harus dibuktikan dengan suatu kualifikasi yang disebut dengan kualifikasi prosedur. Pelaksanaan kualifikasi prosedur ini juga diatur oleh standar, yang hasil pelaksanaannya dicatat dalam suatu catatan kualifikasi prosedur (*Procedure Qualification Record* atau PQR), yang akan mendukung suatu spesifikasi prosedur pengelasan (*Welding Procedure Specification* atau WPS).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyusunan suatu spesifikasi prosedur pengelasan ialah (Pusdiklat PT PAL 1990) :

- a. Bahan induk yang meliputi jenis dan ukurannya.

Pada umumnya baja menggunakan seri API 5LX. "5L" menunjukkan *line pipe* dan "X" menunjukkan *high-test line pipe*. Setiap grade material pipa



yang dikeluarkan oleh pabrik, mempunyai komposisi metalurgi dan proses manufaktur yang berbeda-beda. Hal tersebut akan berpengaruh pada kekuatan pipa terhadap pembebanan. Oleh karena itu dalam melakukan desain pipa, harus dipilih jenis *grade* pipa yang sesuai terhadap kondisi beban desainnya. Perbedaan setiap *grade* pipa untuk komposisi metalurgi dan proses manufaktur diperlihatkan pada Tabel 2.1 berikut:

API Grade	Manufacturing process	Composition, max (%)			
		C	Mn	P	S
X42	<i>nonexpanded</i>	0.28	1.25	0.04	0.05
X46, X52	<i>Nonexpanded</i>	0.30	1.35	0.04	0.05
X42, X46, X52	<i>Cold-expanded</i>	0.28	1.25	0.04	0.05
X 56, X 60	<i>Nonexp or Cold-expanded</i>	0.26	1.35	0.04	0.05
X65	<i>Nonexp or Cold-expanded</i>	0.26	1.40	0.04	0.05

Tabel 2.1. Perbedaan setiap *grade* pipa untuk komposisi metalurgi dan proses manufaktur (Hidayat, 2006).

- b. Desain sambungan las terdiri dari bentuk sambungan (*welding joint*), bentuk dan ukuran alur las (*welding groove*). Dasar-dasar yang digunakan dalam merancang suatu desain sambungan las adalah
- Persyaratan umum atau spesifikasi mutu (kekuatan) yang diinginkan.
 - Bentuk dan ukuran konstruksi las.
 - Tegangan-tegangan yang timbul akibat pengelasan (*residual stresses*) maupun tegangan-tegangan yang diperhitungkan akan timbul akibat pemakaian (pembebanan).
 - Jenis proses las yang boleh dipakai.

Jenis sambungan las dibagi menjadi beberapa kelompok, antara lain

- Sambungan tumpul (*butt joint*).
- Sambungan T (*T-joint*).
- Sambungan tumpang (*lap joint*).
- Sambungan sudut (*fillet joint*).
- Sambungan silang (*cross joint*).
- Sambungan sisi (*edge joint*).
- Sambungan dengan penguat.

c. Bahan las (*welding consumable*) yaitu jenis dan ukuran kawat las.

Elektroda las yang dipergunakan pada proses las busur listrik elektroda terbungkus ini mempunyai komposisi kawat inti maupun selaput yang berbeda-beda. Ukuran diameter elektroda las antara 1,5 mm sampai dengan 8 mm, dengan panjang antara 200 mm sampai dengan 450 mm. Ujung elektroda las tempat pemegang elektroda terbuka dari selaput sepanjang 25-30 mm. Sedangkan, ujung yang lain ada yang terbuka atau dilapisi logam (*metalizing*) untuk memudahkan penyalan busur.

Klasifikasi elektroda mild steel menurut AWS (*American Welding Society*) adalah dengan kode EXXXX. E menyatakan elektroda dan dua angka di belakang XX setelah E menyatakan kuat tarik deposit bahan las dalam ribuan psi. Sedangkan, X yang ketiga dari E menyatakan posisi pengelasan, misalnya angka 1 untuk semua posisi pengelasan (EXX1X) dan angka 2 untuk posisi bawah tangan dan horisontal sudut (EXX2X). Pada angka keempat menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang dipergunakan.

Jenis selaput elektroda las ada 9 macam yang diklasifikasikan dengan angka 0 sampai 8. Macam-macam jenis selaput dapat dijelaskan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2. Jenis selaput elektroda dan arus pengelasan
(Pusdiklat PT PAL, 1990).

Angka keempat	Jenis selaput	Arus pengelasan
0	Natrium selulosa tinggi	DC
	Oksida besi tinggi	AC, DC $\pm$
1	Kalium-selulosa tinggi	AC, DC +
2	Natrium-titania tinggi	AC, DC -
3	Kalium-titania tinggi	AC, DC $\pm$
4	Serbuk besi, titania	AC, DC $\pm$
5	Natrium-hydrogen rendah	DC +
6	Kalium-hydrogen rendah	AC, DC +
7	Serbuk besi, oksida besi	AC, DC $\pm$
8	Serbuk besi, hydrogen rendah	AC, DC +

Elektroda E7016 mempunyai kadar hydrogen yang rendah yaitu kurang dari 0,4 %. Untuk menggunakannya harus terlebih dahulu dipanaskan sampai suhu antara 200°C sampai dengan 260°C, untuk mengurangi kadar air di dalam selaput. Dikarenakan kadar hydrogen yang rendah maka deposit bahan las bebas dari porositas. Type elektroda las hydrogen rendah (*low hydrogen*) harus diusahakan disimpan di tempat yang kering dan bebas dari pengaruh kelembaban atau kebasahan yang tinggi. Bila akan digunakan harus dikeringkan terlebih dahulu sampai kadar kebasahan lebih kecil dari batas yang ditentukan. Untuk elektroda type E7016 ini, kadar air yang diperbolehkan 0,4 % dengan kelembaban relatif maksimal 60%. Sehingga temperature penyimpanan di oven sekitar 54 °C-165 °C dengan temperature pemanasan 120 °C-170 °C sekurangnya selama 8 jam.

Cara pelaksanaan, antara lain :

- Urutan pelaksanaan pengelasan (*sequence of welding*).

Urutan disini dibedakan menjadi urutan pendepositan dan pengelasan. Yang dimaksud dengan urutan pendepositan adalah urutan dalam menempatkan logam cair pada alur las, dan urutan pengelasan ialah urutan penyambungan komponen-komponen las. Dalam melaksanakan pengelasan, kedua urutan tersebut harus diperhatikan dan diperhitungkan agar dapat mengurangi perubahan bentuk, tegangan sisa dan retak-retak las.

Dalam pengelasan lapis banyak urutan pendepositan yang penting adalah urutan pengisian, yaitu :

1. Urutan pengisian arah horizontal, yang dibagi menjadi berikut :

- a. Urutan pengisian seluruh panjang.

Urutan ini sebenarnya adalah urutan pendepositan lurus yang diulang-ulang pada sisi sampingnya.

- b. Urutan pengisian berpetak.

Pada urutan ini dilaksanakan suatu satuan panjang las tertentu yang diulang pada sisi sampingnya sampai secukupnya, kemudian diteruskan ke depan.

- c. Urutan pengisian kaskode.

Pada urutan ini arah pendepositan berlawanan dengan arah pengelasan, hanya disini setelah pendepositan berikutnya sampai pada ujung deposit sebelumnya diteruskan ke samping deposit sebelumnya tadi.

2. Urutan pengisian arah vertikal.

Urutan pengisian ini dilakukan untuk mengisi suatu alur las. Bahaya yang sering terjadi adalah retakan pada lapis pertama, terutama bila jumlah lapisan terlalu banyak.

Seperti halnya pada urutan pendepositan, urutan pengelasan ini ditujukan untuk mengurangi terjadinya deformasi dan tegangan sisa. Dasar-dasar yang digunakan dalam menyusun urutan pengelasan adalah :

1. Bila pada suatu bidang terdapat banyak sambungan, harus diusahakan agar penyusutan pada bidang tersebut tidak terhalang.
2. Pengelasan hendaknya dilaksanakan pada sambungan-sambungan yang lebih besar dahulu, baru kemudian sambungan-sambungan yang kecil.
3. Pengelasan hendaknya dilaksanakan sedemikian rupa hingga urutannya simetri terhadap sumbu netral dari konstruksi agar gaya-gaya konstruksi dalam keadaan berimbang.

- Perlakuan panas.

Pemanasan dan pendinginan yang terjadi akibat pengelasan dapat menyebabkan perubahan sifat bahan yang terkena pengaruh panas. Maka, pada pengelasan dikenal adanya daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone* atau HAZ) yang perlu mendapat perhatian. Selain perubahan struktur mikro, yang mungkin terjadi akibat pemanasan ini ialah adanya sisa tegangan dan distorsi. Untuk memperkecil terjadinya perubahan-perubahan tersebut diatas, sangatlah penting diketahui tentang perlakuan panas pada setiap pengelasan.

- a. Pemanasan awal (*preheating*).

Dilakukan dengan tujuan agar pada waktu proses pemanasan pada pengelasan sedang berlangsung tidak terjadi suatu perbedaan suhu yang sangat besar antara logam dasar dan daerah las. Dengan pemanasan awal juga laju pendinginan dapat ditahan (tidak terlalu cepat), karena pendinginan yang terlalu cepat memungkinkan terbentuknya struktur martensit lebih banyak. Dengan pemanasan awal ini juga tegangan sisa dan distorsi akan berkurang.

Pengelasan yang dilakukan pada suhu yang rendah (dibawah suhu kamar) akan terjadi retak dan untuk menghindarnya dilakukan pemanasan awal. Perbandingan deposit las dengan tebal logam induk adalah suatu pertimbangan dalam menentukan pemanasan awal. Masukan panas (*heat input*) yang kecil dari deposit yang kecil pada logam induk yang tebal akan memerlukan tambahan panas, maka perlu adanya pemanasan awal.

b. Suhu antar lapis (*interpass temperature*).

Untuk pengelasan lapisan-lapisan berikutnya, bila panas dari pengelasan lapisan sebelumnya masih memungkinkan, tidak perlu dilakukan pemanasan awal lagi. Tetapi bila suhu logam telah turun sampai dibawah suhu pemanasan awal yang ditentukan, maka perlu diadakan pemanasan awal lagi. Perlu diperhatikan waktu antara pengelasan suatu lapisan dan lapisan berikutnya yang sangat sempit, akan menyebabkan suhu pada proses pengelasan lebih tinggi, yang berarti daerah terpengaruh panas (HAZ) akan menjadi lebih lebar.

c. Perlakuan panas pasca las (*post weld heat treatment*).

Setelah selesai pengelasan, benda uji kerja masih harus mendapat perlakuan panas yang baik juga. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa setelah selesai pengelasan laju pendinginan harus tetap dijaga. Perlakuan panas pasca las ini sering dilakukan sebagai usaha untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu pada pengelasan pelat-pelat tebal. Pemanasan ini dilakukan mendekati suhu rekristalisasi, namun ada dampak lain yaitu dapat menurunkan ketangguhan sambungan dan peristiwa ini disebut sebagai penggetasan bebas tegang

- Pemilihan parameter pengelasan.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2004) terdapat parameter-parameter yang mempengaruhi hasil pengelasan, antara lain:

1. Tegangan busur las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dan jenis dari elektroda yang digunakan. Pada dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak dikehendaki, karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil pengelasannya tidak rata. Disamping itu, tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan, sehingga tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang energi saja. Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan diameter elektroda yang dipakai. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas dengan elektroda berdiameter 3 mm sampai dengan 6 mm, tegangannya berkisar antara 20 volt sampai 30 volt untuk posisi datar. Sedangkan, untuk posisi tegak atau diatas kepala, biasanya dikurangi lagi antara 2 volt sampai 5 volt. Kestabilan tegangan ini sangat menentukan mutu pengelasan dan kestabilan ini juga dapat didengar dari suara selama pengelasan. Menjaga kestabilan panjang busur inilah yang menjadi salah satu kesulitan yang dialami oleh *welder* dalam melaksanakan pengelasan dengan proses las busur listrik manual.

2. Besar arus las.

Besar arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda dan diameter inti elektroda. Untuk pengelasan suatu daeah las yang mempunyai daya serap panas kapasitas tinggi diperlukan arus listrik las yang besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan baja paduan yang daerah HAZ-nya dapat mengeras dengan mudah akibat pendinginan yang

terlalu cepat, maka untuk menahan pendinginan ini diberikan masukan panas yang tinggi, yaitu dengan arus listrik pengelasan yang besar. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya dipergunakan arus las yang sekecil mungkin.

3. Kecepatan pengelasan.

Kecepatan pengelasan tergantung pada bahan induk, jenis elektroda, diameter inti elektroda, geometri sambungan, ketelitian sambungan dan lain sebagainya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dan arus las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan arus las. Karena itu, pengelasan yang cepat memerlukan arus las yang tinggi. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas persatuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat yang mungkin dapat mempersempit daerah HAZ.

4. Polaritas listrik.

Tenaga listrik diperoleh dari pesawat las, yang menurut jenis arus yang dikeluarkannya ada dua jenis pesawat las, yaitu jenis arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Pemilihan polaritas ini tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi termal dari bahan induk, kapasitas panas dari sambungan dan lain sebagainya. Bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas searah dimana elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif. Sebaliknya, bila kapasitas panasnya kecil seperti pada pelat tipis maka dianjurkan untuk menggunakan polaritas searah dimana elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif. Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dari pada arus bolak-balik terutama pada pengelasan dengan arus yang rendah. Tetapi untuk pengelasan

sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak-balik karena pada arus searah sering terjadi ledakan busur pada akhir pengelasan.

5. Besarnya penembusan atau penetrasi.

Untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang tinggi diperlukan penembusan atau penetrasi yang cukup. Sedangkan, besarnya penembusan tergantung kepada sifat-sifat fluks, polaritas, besarnya arus, kecepatan las dari tegangan yang digunakan. Pada dasarnya makin besar arus las makin besar pula daya tembusnya. Sedangkan tegangan memberikan pengaruh yang sebaliknya yaitu makin besar tegangan makin panjang busur yang terjadi dan makin tidak terpusat, sehingga panasnya melebar dan menghasilkan penetrasi yang lebar dan dangkal.

6. Beberapa kondisi standar dalam pengelasan.

Beberapa kondisi standar dalam pengelasan harus memenuhi syarat-syarat tertentu seperti tebal pelat, bentuk sambungan, jenis elektroda, diameter inti elektroda dan lain sebagainya.

e. Pelaksanaan pengelasan.

Dalam pelaksanaan pengelasan ini akan dibahas tentang penyalaan, pergerakan elektroda dan posisi pengelasan.

1. Penyalaan dan pemadaman busur listrik.

Penyalaan busur listrik pada pengelasan dapat dilakukan dengan menghubungkan singkat ujung elektroda dengan logam induk, kemudian memisahkannya lagi sampai jarak tertentu sebagai panjang busur. Sedangkan untuk pemadaman busur listrik dilakukan dengan menjauhkan elektroda dari bahan induk.

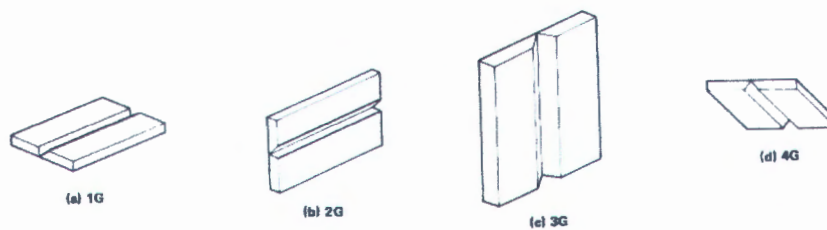
2. Pergerakan elektroda las.

Ada beberapa cara menggerakkan (mengayunkan) elektroda las, tetapi semua itu adalah satu tujuan yaitu untuk mendapatkan deposit logam las

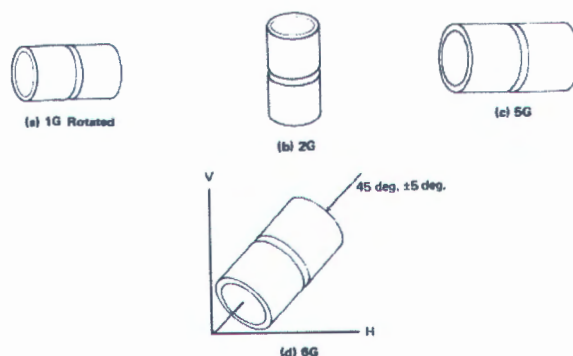
dengan permukaan yang rata, mulus dan terhindar dari terjadinya takik dan terbentuknya terak. Yang terpenting dalam gerakan elektroda ini adalah ketepatan sudut dan kestabilan kecepatan (tidak berubah-ubah). Ayunan elektroda las ini dimaksudkan agar terjadi semacam anyaman atau lipatan manik las. Dalam ayunan ini, lebar las dibatasi sampai 3 (tiga) kali besarnya diameter elektroda.

3. Posisi pengelasan.

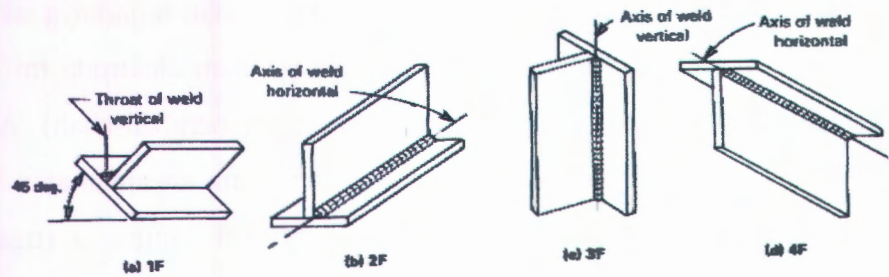
Posisi pengelasan sangat banyak variasinya, selain posisi menurut sudut kemiringan bahan induk dan menurut sudut putaran sumbu las kearah mana permukaan las menghadap. Posisi pengelasan juga dibedakan menurut jenis sambungannya, yaitu :



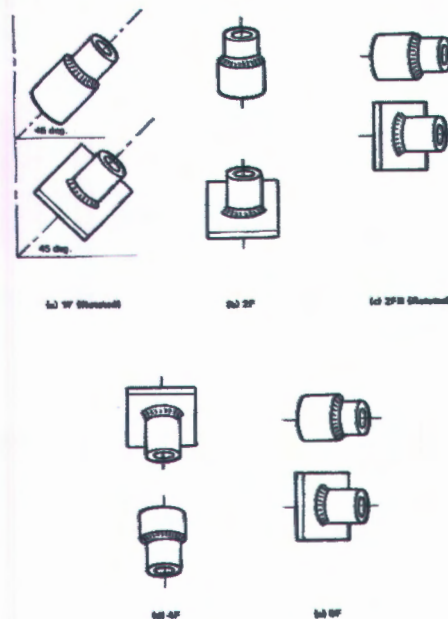
Gambar 2.1 Posisi pengelasan pada pelat (ASME section IX, 2001).



Gambar 2.2 Posisi pengelasan pada pipa (ASME section IX, 2001).



Gambar 2.3 Posisi pengelasan sambungan sudut pada pelat (ASME section IX, 2001).



Gambar 2.4 Posisi pengelasan sambungan sudut pada pipa (ASME section IX, 2001).

2.1.2 Variable - Variable Yang Mempengaruhi Mutu Las.

Pemilihan material las, proses las, dan kondisi operasi pengelasan yang sesuai adalah penting sekali untuk menjamin keutuhan dari sambungan las. Secara garis besar, resiko dikelompokkan menjadi 3 kelompok (Tambunan 2008). Antara lain :

➤ Bahaya/resiko lingkungan.

Termasuk di dalamnya adalah bahaya biologi, kimia, ruang kerja, suhu, kualitas udara, kebisingan, panas, cahaya dan lain sebagainya.

➤ Bahaya/resiko pekerjaan.

Misalnya pekerjaan yang dilakukan secara manual, peralatan dan perlengkapan dalam pekerjaan, getaran, bahan atau material kerja.

➤ Bahaya/resiko manusia.

Kejahatan di tempat kerja, termasuk kekerasan, sifat pekerjaan itu sendiri yang berbahaya, umur pekerja, *personal protective equipment*, kelelahan dan stress dalam pekerjaan.

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa dalam proses pengelasan diperlukan kesesuaian antara manusia, peralatan, dan lingkungan kerja, agar produktifitas dapat meningkat. Maka, dapat disimpulkan bahwa ketiga variable tersebut merupakan faktor terpenting yang dapat mempengaruhi mutu dari hasil pengelasan. Jika terjadi kesalahan pada salah satu variable tersebut, maka akan mempengaruhi laju produktifitas dari keseluruhan proses pengelasan. Untuk itu, diperlukan analisa lebih mendalam untuk mencegah terjadinya kesalahan pada ketiga variable tersebut.



Gambar 2.5 Keterkaitan tiga variable yang mempengaruhi mutu las
(Tambunan, 2008).

Pada peralatan ada banyak permasalahan yang mungkin muncul, antara lain jika *welder* tidak memastikan terlebih dahulu bahwa semua peralatan las yang akan dipakai telah terpasang dengan benar dan dalam kondisi yang bagus, sehingga dapat menyebabkan cacat las pada saat pengerjaan. Penggunaan kabel yang lapisan isolasinya telah rusak akibat rapuh, retak atau meleleh juga hendaknya dihindari. Jarak elektroda dengan material harus tepat, jangan terlalu jauh maupun terlalu dekat, karena ini juga dapat mempengaruhi hasil las-lasan. Jika pistol tidak tegak lurus dengan bidang kerja, batang akan terlas pada sudut yang tidak tegak lurus juga. Permasalahan lain bisa terjadi jika terdapat banyak kotoran, cat, atau material asing pada bidang kerja, serta kawat yang lebih panjang dari yang direkomendasikan (Sonawan dan Suratman 2004).

Selain faktor peralatan seperti yang telah dijelaskan diatas, faktor manusia juga sangat mempengaruhi mutu dari proses pengelasan. Maka dari itu, sudah semestinya seorang *engineer* baik di tingkat pemula maupun tingkat profesional harus mengetahui teknik pengelasan dengan baik, serta mematuhi peraturan keselamatan dan kesehatan kerja. Adapun permasalahan lain yang dihadapi oleh *welder* adalah dengan desain tempat kerja yang tidak memadai, sehingga muncul keluhan dari *welder* tentang buruknya hasil kualitas pengelasan dikarenakan meja kerja yang terlalu rendah. *Welder* juga sering mengalami nyeri pada bagian tubuh tertentu yang beresiko pada kelelahan. Selain itu, tidak tersedianya tempat peletakan busur las, juga menjadi salah satu faktor penyebab kelelahan dan menurunnya tingkat konsentrasi seorang *welder*. Sedangkan, semua pegawai yang bekerja pada bagian produksi dan konstruksi dituntut untuk meningkatkan mutu las serta memperbaiki produktifitas dalam bekerja.

Agar diperoleh hasil las yang optimal, maka seorang *welder* juga harus menjaga keselamatan pada tempat kerja. Hal utama yang perlu diperhatikan adalah dengan membuat ventilasi jika proses pengelasan dilakukan di dalam ruangan, ini dimaksudkan agar debu dan gas dalam asap las dapat terbuang sehingga udara di dalam tempat kerja selalu bersih. Hal ini dikarenakan pada proses pengelasan

dengan gas dapat menimbulkan beberapa gas yang berbahaya, antara lain gas CO, CO₂, ozon (O₃), NO dan NO₂. Di samping itu, akibat penguraian bahan-bahan pembersih dan pelindung terhadap karat, memungkinkan terbentuk gas-gas beracun lainnya. Mesin las harus ditempatkan pada tempat yang cukup ventilasinya dan saluran ventilasi pada mesin las tidak boleh terhalang sesuatu. Dimana ventilasi untuk pengelasan dapat dilakukan dengan cara ventilasi alami, ventilasi mekanis seluruh ruang, dan ventilasi lokal. Selain itu, di tempat kerja juga harus dilengkapi dengan peralatan-peralatan keselamatan yang memadai, seperti tabung pemadam kebakaran, kotak P3K, dan lain sebagainya (Juniani, Handoko, dan Firmansyah 2008).

2.1.3 Jenis Cacat Las

Dikarenakan pengelasan yang dilakukan tidak sempurna, maka terjadi cacat las pada hasil pengelasan. Menurut Suryono (1995) definisi cacat las itu sendiri dapat diartikan sebagai suatu cacat pada pengelasan akibat ketidaksambungan (*discontinuity*) pada sambungan las tersebut. Ketidaksambungan pada sambungan las tersebut dapat disebabkan karena adanya suatu rintangan dari proses pengelasan seperti kurang homogenya di dalam sifat-sifat mekanis, metalurgi dan fisik dari material.

Cacat las dapat dibagi menjadi tiga jenis (Wiryosumarto dan Okumura 2004) yaitu

- a. Kesalahan yang *supervisial* (dapat dilihat dengan mata).

Jenis-jenis kesalahan ini adalah

➤ *Undercutting*.

Sisi-sisi las mencair dan masuk ke dalam alur las, sehingga terjadi parit di kanan kiri alur las yang mengurangi ketebalan bahan. Hal ini disebabkan oleh terlalu tingginya temperatur sewaktu mengelas yang diakibatkan karena pemakaian arus yang terlalu besar dan ayunan elektroda yang terlalu pendek.

➤ *Weaving fault.*

Bentuk alur bergelombang sehingga ketebalannya tidak merata. Hal ini disebabkan karena cara pengelasan terlalu digoyang (gerakan elektroda terlalu besar).

➤ *Surface porosity.*

Berupa lubang-lubang gas pada permukaan lasan yang biasanya disebabkan oleh:

- 1) Elektroda basah.
- 2) Kampuh kotor.
- 3) Udara sewaktu mengelas terlalu basah.
- 4) Gas yang berasal dari galvanisasi.

➤ *Fault of electrode change* (kesalahan penggantian elektroda).

Bentuk alur las menebal pada jarak tertentu yang diakibatkan oleh pergantian elektroda. Tukang las yang belum ahli pada permulaan pengelasan, umumnya pada setiap mulai mengelas, gerakan elektroda terlalu pelan.

➤ *Weld spatter* (percikan-percikan las).

Alur las kasar dan penuh dengan percikan-percikan *slag*. Hal ini disebabkan oleh :

- 1) Arus terlalu besar.
- 2) Salah polarisasi.

➤ Alur las terlalu tinggi.

Biasanya bentuknya sempit dan menonjol ke atas. Hal ini disebabkan oleh :

- 1) Arus terlalu rendah
- 2) Elektroda terlalu dekat dengan bahan.

➤ Alur las terlalu lebar.

Jika dibandingkan dengan tebal pelat, alur las terlalu lebar. Hal ini disebabkan oleh kecepatan mengelasnya terlalu lamban.

➤ Alur las tidak beraturan.

Disebabkan oleh orang yang mencoba mengelas tanpa dasar ketrampilan dan pengetahuan tentang las, sehingga letak elektroda kadang-kadang terlalu tinggi, kadang-kadang terlalu menempel bahan.

➤ Alur las terlalu tipis (cekung)

Akibat kecepatan mengelas terlalu tinggi.

➤ Retak longitudinal permukaan

Keretakan biasanya terletak di sumbu las atau pada *base metal* di tepi sumbu las dan memanjang sumbu. Cacat ini sering terdapat pada pengelasan untuk material yang keras. Keretakan ini disebabkan oleh :

- 1) Perbedaan material yang menyebabkan pertumbuhan kristal dalam bahan las atau karena terjadinya *air hardening* sewaktu las mendingin (kerapuhan).
- 2) Disebabkan oleh besarnya tegangan di dalam bahan akibat jenis bahan atau sisa tegangan sebelum pengelasan, serta tegangan akibat pengkerutan.
- 3) Penggunaan *filler metal* yang salah, ketidaksempurnaan perencanaan sambungan, persiapan sisi yang kurang baik.

➤ Retak *transversal* (melintang sumbu)

Disebabkan oleh hal serupa pada retak *longitudinal* permukaan, hanya arah tegangan yang berbeda, juga karena *stress corrosion* (korosi tegangan).

b. Kesalahan yang *nonvisual* (yang tidak dapat dilihat dengan mata).

Dapat dilihat dengan menggunakan alat bantu seperti introscope ataupun alat-alat *non destructive test*. Jenis-jenis kesalahan ini meliputi:

- Dasar *concave* (cekung).

Pada pengelasan pertama terjadi pencekungan. Hal ini disebabkan karena arus terlalu besar, sehingga sebagian bahan jatuh ke bawah, atau juga karena kecepatan las terlalu tinggi pada pengelasan pertama.

- Dasar berlubang-lubang.

Pada pengelasan pertama. Hal ini disebabkan karena posisi elektroda terlalu dalam sewaktu mengelas pertama dan arus terlalu besar.

- Dasar berjanggut.

Pada dasar las tampak bahan las berlebihan sehingga menyerupai janggut, juga pada alas *overhead* dapat terjadi hal yang sama. Untuk hal yang terdahulu disebabkan oleh letak elektroda yang terlalu dalam pada pengelasan pertama sementara *weld travel* terlalu lamban. Untuk hal yang kedua disebabkan karena pergerakan elektroda yang salah dan *travel* lamban.

- *Incomplete penetration*.

Adalah pengelasan pertama yang tidak tembus ke bawah. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu :

- 1) Letak elektroda sewaktu pengelasan pertama terlalu tinggi.
- 2) Sewaktu pengelasan pertama, arus yang dipakai terlalu lemah.
- 3) Jarak sisi-sisi kampuh terlalu rapat.

- *High low* (tinggi rendah).

Berupa pengelasan yang sisi-sisi kampuh tidak dalam satu bidang datar. Hal ini disebabkan karena dua hal yakni:

- 1) Letak bahan yang tidak sama rata.
- 2) Tebal atau ukuran bahan yang berbeda.

- Retak kaki burung (*bird claw crack*)

Berupa keretakan yang menyerupai bentuk jari-jari pada kaki burung. Hal ini bisa terjadi pada pengelasan pelat tipis, disini akhir elektroda (sewaktu pengelasan dihentikan) tidak dipertebal lagi/ditambahkan bahan. Akibatnya, sewaktu mendingin terjadi pengerutan yang mengakibatkan bentuk retak tersebut.

- c. Cacat *internal* (di dalam bahan las atau bahan induk).

Merupakan jenis kesalahan pengelasan yang tidak dapat dilihat dengan mata, hanya dapat dideteksi dengan menggunakan radiography dan ultrasonik. Adapun jenis kesalahan tersebut adalah sebagai berikut :

- *Undercut*.

Merupakan salah satu contoh cacat pada permukaan las dan sering terjadi pada daerah *girth weld*. Cacat ini terjadi apabila ada alur (*groove*) yang mencair kedalam logam induk yang berdekatan dengan kaki logam lasan, atau dapat juga terjadi karena hilangnya dinding samping dari ujung alur las suatu lapisan atau manik-manik (*bead*). Hilangnya *groove* ini akan membentuk suatu lekukan yang tajam pada dinding samping dimana lapisan atau *bead* berikutnya meleleh. *Undercut* dapat membahayakan daerah lasan, karena mengurangi luasan penampang lasan dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada sambungan (Rosdiansyah 2008).

Cacat *undercut* disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Terlalu tingginya arus pada lajur las terakhir sehingga melebihi jumlah maksimum yang diizinkan.
2. Suhu metal sudah terlalu tinggi sebelum pengelasan lajur akhir dimulai, serta kecepatan pengelasan yang salah.
3. Pemakaian elektroda yang tidak sesuai (terlalu besar).
4. Ayunan elektroda yang tidak penuh.
5. Jalannya elektroda terlalu cepat.
6. Penyetelan yang tinggi rendah sehingga menyulitkan pengisian kampuh.
7. Pengendalian busur dan *filler metal* yang kurang baik.
8. Teknik pengelasan yang salah.
9. Sudut elektroda yang tidak tepat.

➤ *Underfill.*

Keadaan dimana *weld face* atau *root face* kurang terisi logam las, sehingga permukaannya lebih rendah dari permukaan *base metal*. Disebabkan oleh *skill welder* serta lingkungan pengelasan yang kurang bersih.

➤ *Slag lines (wagon track).*

Disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Arus pengelasan pertama yang terlalu rendah sehingga bentuk alur las pertama cembung.
2. Pembersihan terak yang kurang sempurna karena bentuk jalur yang cembung.
3. Arus pengelasan lintas panas atau pengelasan kedua terlalu rendah.

➤ *Slag inclusion.*

Merupakan bentuk cacat las dalam yang disebabkan karena adanya partikel padat non logam yang terjebak di dalam logam

las, diantara logam las, atau logam induk pada waktu proses pembekuan. *Slag inclusion* merupakan gumpalan yang berukuran beberapa mikron, terbentuk dari persenyawaan kimia yang tidak larut dalam cairan logam. *Slag* menjadi terperangkap di dalam logam las jika pengelasan berikutnya tidak disertai dengan *overlap* yang baik, sehingga terbentuk ruang kosong yang akan diisi oleh *slag*. Apabila dilakukan pengelasan layer berikutnya, *slag* yang terperangkap tidak ikut mencair. Pada sambungan, *slag inclusion* menyebabkan titik lelehnya menurun dan mudah terjadinya retak. *Slag inclusion* biasanya tampak dari hasil radiography dengan bentuk garis memanjang yang menerus atau terputus. *Slag inclusion* disebabkan oleh (Suryono 1995) :

1. Kotoran yang menghalangi peleburan secara sempurna, akibat kurang bersih sewaktu membersihkan terak sehingga tertimbun pada lapisan berikutnya.
2. Sudut electrode tidak tepat sehingga panas terlalu rendah.
3. Terak las mendahului busur listrik sehingga dapat tertimbun, hal ini terutama terjadi pada kampuh dalam.
4. Menggunakan diameter elektroda yang terlalu besar.
5. Ayunan elektroda terlalu lebar sehingga terak las sempat membeku pada saat ayunan elektroda kembali.
6. Kecepatan pengelasan tidak *continue*.

➤ *Internal longitudinal crack.*

Retak ini bisa terjadi pada permukaan logam las atau di dalam logam las. Retak dipermukaan akan menjalar kearah memanjang dan yang terdapat pada akar las, selain menjalar ke logam las juga akan menjalar ke logam induk.



Terjadinya retak disebabkan oleh hal-hal berikut ini (Suryono 1995) :

1. Ketidak mampuan bahan las atau bahan dasar menahan tegangan dalam bahan dan gaya yang bekerja terhadap sambungan las.
2. Penyetelan yang kurang baik atau kaku.
3. Kecilnya perbandingan antara logam las dan logam induk.

➤ *Internal transverse crack.*

Disebabkan oleh tegangan sangat besar yang bekerja pada sambungan las yang tidak tertahankan oleh sambungan las tersebut.

➤ *Crater crack.*

Yaitu retak yang terletak dalam kawah las di akhir pengelasan, jenis cacat ini bisa ditemui pada permukaan atau di dalam daerah las. Meskipun biasanya relatif kecil, cacat ini dapat berakibat fatal karena dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada daerah lasan. Penyebab dari *crater crack* yaitu pengendalian busur las dan *filler metal* yang kurang baik, serta penggunaan *filler metal* yang salah (Rosdiansyah 2008).

➤ *Weld metal crack.*

Retak yang terjadi pada daerah lasan sebagai penyebab dari diameter elektroda yang terlalu kecil, adanya penahanan yang terlalu dipaksakan, urutan pengelasan yang salah dan adanya tegangan sisa, pendinginan yang terlalu cepat, persiapan sambungan yang kurang baik, adanya gas-gas hydrogen dan oksigen (elektroda lembab), serta ada bagian kawah yang kurang terisi (Rosdiansyah 2008).

➤ *Base metal dan HAZ crack.*

Retak yang terjadi pada daerah logam induk dan daerah *heat affected zone*. Penyebabnya adalah kekerasan *base metal*

tinggi, kadar C, Mn dan Cr base *metal* terlalu tinggi, *hydrogen embrittlement* (Rosdiansyah 2008).

➤ *Underbread crack.*

Semacam retak memanjang dimana pembentukannya pada daerah pengaruh panas HAZ karena kekerasan yang tinggi, penahanan yang berlebihan dan adanya hidrogen.

➤ *Incomplete penetration.*

Pada pengelasan satu sisi, cacat ini terjadi jika pengelasan tidak menembus *base metal* dengan sempurna. Sedangkan, pada pengelasan dua sisi dikatakan *incomplete penetration* jika las dari kedua sisi tidak saling menembus. Cacat ini merupakan jenis cacat yang tergolong berbahaya karena berakibat adanya konsentrasi tegangan pada lasan dan menjadi penyebab kerusakan yang lebih parah. Pada *butt weld*, cacat ini biasanya disebabkan oleh (Rosdiansyah 2008):

1. Kesalahan disain celah (*groove*).
2. Kesalahan teknik pengelasan.
3. Arus listrik kurang besar.
4. Jarak *root face* yang berlebihan.
5. Adanya kotoran-kotoran pada *root face* sehingga dapat menghalangi pencairan pada daerah *root*.
6. Terlalu tingginya posisi elektroda.
7. Persiapan sisi yang kurang baik.
8. Ketidak lurusan layer permukaan dan layer balik.
9. Kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi terlalu kecil *root gap*.
10. Terlalu rendah *heat input*.
11. Terlalu kecil sudut *bevel*.
12. Terlalu besar diameter elektroda las untuk SMAW.

➤ *Incomplete fusion.*

Terjadi jika peleburan antara *filler metal* dengan *base metal* tidak sempurna atau penggabungan yang kurang sempurna antar *base metal* dan *weld metal* pada *fusion line* atau antara lapisan demi lapisan pada pengelasan *multi pass*. Cacat ini biasanya disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Kampuh kotor oleh minyak, cat dan bahan-bahan lain yang mementahkan fusi.
2. Ukuran elektroda terlalu besar.
3. Ayunan elektroda sewaktu pengelasan terlalu pendek.
4. Penyimpang posisi elektroda terhadap sumbu pengelasan.
5. *Travel speed* berlebihan.
6. Arus salah satu pass terlalu rendah sehingga tidak cukup untuk mencairkan dinding kampuh dengan sempurna.
7. Suhu bahan dasar terlalu dingin sehingga suhu pengelasan terserap habis dan tidak mampu mencairkan dinding kampuh.
8. Perencanaan sambungan yang salah.
9. Persiapan sisi yang tidak sempurna atau penggunaan teknik pengelasan yang salah.
10. Perbandingan sudut bevel dan tebal material terlalu sempit

➤ *Internal porosity.*

Disebabkan oleh kelembaban yang terjadi sewaktu pengelasan, yang berasal dari kampuh yang basah/lembab. Menurut Suryono (1995) cacat ini sebagai bentuk ketidak sambungan yang dibentuk oleh gas yang terperangkap selama proses pembekuan logam las yaitu gas H_2 , N_2 , CO_2 , CO . Ukuran dari porositas adalah kurang dari 1,6 mm dan mempunyai ujung bulat. Porositas tersebar di dalam logam las

atau mengumpul di akar dan ujung kaki dari logam las. Biasanya porositas disebabkan oleh (Rosdiansyah 2008) :

1. Pendinginan logam cair terlalu cepat sebelum gas-gas keluar dari cairan las.
2. Kawat las belum dipanasi.
3. Panjang busur atau besar arus yang tidak tepat.
4. Adanya benda asing (uap air, minyak, udara) yang terjebak dalam kawah las. Benda asing tersebut kemudian menguap karena panas saat proses pengelasan terjadi. Selanjutnya, uap akan menjadi gelembung gas pada kawah las. Benda asing atau kotoran seperti karat, minyak, cat, uap air sering berasal dari *filler metal* atau elektroda yang kotor. Kotoran juga dapat muncul dari *surface preparation* atau pembersihan permukaan yang kurang bersih.
5. Masuknya gas-gas dari atmosfer maupun dari fluks pada saat proses pengelasan.
6. Ketidak murnian logam seperti adanya fosfor dan sulfur.
7. Selaput elektroda las terlalu lembab.
8. Kecepatan las terlalu tinggi sehingga gas pelindung kurang berfungsi.

➤ *Blow hole.*

Disebabkan oleh menetesnya bahan las melewati akar kampuh pada suatu saat tertentu akibat terlalu dalamnya letak ujung elektroda selama sesaat saja.

➤ *Root concaving.*

Disebabkan oleh terlalu tingginya arus pengelasan akar las atau terlalu panasnya suhu bahan dasar atau terlalu lambatnya kecepatan pengelasan akar.

➤ *Surface concaving.*

Disebabkan karena kurangnya pengisian pada jalur las terakhir sehingga permukaan jalur tampak cekung.

➤ *Overlap.*

Terjadi bila terdapat bagian *weld metal* yang melimpah dan menutupi logam induk tetapi tidak terjadi fusi, umumnya hal ini terdapat pada kaki *weld metal*. *Overlap* disebabkan oleh :

1. Arus las terlalu besar.
2. *Travel speed* yang terlalu tinggi.
3. Sudut kemiringan elektroda kurang tepat.
4. Sudut kerja yang berlebihan pada proses pengelasan yang sulit.
5. Peleburan *filler metal* sebelum logam induk mencair.

➤ *Fault of junction.*

Disebabkan oleh pencairan elektroda yang tidak tetap sewaktu pengelasan pertama yang mungkin disebabkan oleh tidak lancarnya aliran listrik pengelasan.

➤ *Root high low.*

Disebabkan oleh cara penyetelan yang tidak tepat (*misalign/offset*).

➤ *Aligned porosity.*

Disebabkan oleh keadaan basah/lembab sewaktu pengelasan pertama.

➤ *Excessive penetration.*

Disebabkan oleh berlebihan bahan las yang diisikan ke dalam akar kampuh sewaktu pengelasan pertama.

➤ *Interpass cold lap.*

Disebabkan oleh pembersihan terak yang kurang sempurna dan arus pengelasan yang terlalu rendah.

➤ *Heavy metal inclusion.*

Disebabkan karena masuknya logam-logam berat ke dalam bahan las.

2.2 Jenis Sambungan Tubular

Pada struktur bangunan lepas pantai perlu dilakukan suatu analisa resiko, ini dikarenakan untuk mengetahui apakah pada struktur tersebut masih layak dan aman dalam melakukan proses produksi, serta untuk mendapatkan kapasitas maksimal struktur dalam menerima beban. Salah satu diantara hal yang sangat penting dalam analisa adalah kemampuan suatu struktur untuk memenuhi target desain yang telah ditetapkan, termasuk disini adalah struktur tidak akan mengalami kegagalan dalam berbagai kondisi kerja (Yudhistira, Rosyid, dan Murdjito 2007). Namun, pada kenyataannya setiap struktur pasti memiliki batas *life time* operasi. Maka dari itu, terdapat kemungkinan suatu struktur mengalami kegagalan pada saat melakukan proses produksi. Langkah selanjutnya adalah mengulas lebih mendalam dengan mencari faktor-faktor penyebab kegagalan, terutama yang terjadi pada daerah sambungan *tubular*nya. Pada struktur lepas pantai seperti *jacket platform*, elemen utama strukturnya banyak berupa sambungan-sambungan *tubular*, yaitu sambungan pipa yang terdiri dari bagian utama yang mempunyai diameter yang lebih besar disebut *chord* dan pipa yang mempunyai diameter lebih kecil yang dilas pada *chord* disebut *brace*.

Tipe-tipe perancangan tubular digolongkan sebagai berikut (Uneputty 1998) :

- a) Sambungan tubular sederhana
Sambungan yang dibentuk dengan pengelasan dua atau lebih bagian elemen tubularnya tanpa ada bagian yang *overlapping* dan tanpa penguat.

dan *braceny* dibentuk menjadi fillet (*fillet transition*), sebagai akibatnya nilai SCFnya dapat diperkecil.

Gaya yang bekerja pada suatu sambungan *tubular* akan menimbulkan tegangan, terutama pada bagian sambungan antara *brace* dan *chordnya*. Pada titik-titik tertentu sepanjang daerah tersebut akan terjadi suatu tegangan yang beberapa kali lebih besar dari pada tegangan nominal yang terjadi. Lokasi atau titik dimana terjadi tegangan terbesar disebut *hot spots*, dan tegangan yang terjadi di tempat itu sering disebut sebagai tegangan hot spot (*hot spot stress*). Akan tetapi, tidak hanya dapat dilihat dari faktor tegangan terbesar saja yang dapat mempengaruhi kekuatan lelahnya. Faktor pengelasan pada sambunganpun sangat berpengaruh terhadap kekuatan lelah, sehingga perlu dilakukan analisa resiko pada proses pengelasan di daerah sambungan agar kegagalan pada struktur dapat dihindari.

2.3 Definisi Analisa Resiko

Penelitian tentang analisa cacat las pada pipa bawah laut yang dilakukan oleh Hidayat (2006) menjelaskan bahwa pada setiap penyambungan material yang melibatkan pengelasan, kemungkinan akan terdapat cacat las. Pada sebuah pipa, cacat las yang mungkin terjadi adalah pada daerah sambungan las (*girth weld*) pipa bawah laut. Jenis cacat yang sering terjadi pada daerah *girth weld* pada umumnya adalah cacat permukaan las yang berbentuk cacat *undercut* atau *high-low*. Pada penelitian ini masih terdapat kekurangan, karena setelah mengetahui jenis cacat las yang terjadi pada struktur yang akan dianalisa, peneliti tidak melakukan analisa resiko lebih lanjut untuk mengetahui apakah struktur tersebut masih layak untuk digunakan atau tidak. Penelitian ini akan membahas lebih mendalam tentang cacat las yang terjadi beserta analisa resikonya, untuk mengetahui apakah resiko tersebut dapat diterima atau tidak.

Resiko adalah ketidak pastian yang dapat menyebabkan kerugian, resiko ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Ega 2009) :

a) Resiko spekulatif (*Speculative risks*).

Adalah resiko yang memberikan kemungkinan untung atau rugi, atau tidak untung dan tidak rugi. Resiko spekulatif disebut juga resiko dinamis.

b) Resiko murni (*Pure risks*).

Resiko yang hanya mempunyai satu akibat yaitu kerugian, sehingga tidak ada orang yang akan menarik keuntungan dari resiko ini.

Analisa resiko merupakan suatu perencanaan yang digunakan dalam proses pengambilan resiko. Dimana resiko itu sendiri adalah sebuah parameter yang digunakan untuk menilai suatu proses pengambilan resiko yang berhubungan dengan keselamatan, resiko yang mungkin ditimbulkan, dan penyederhanaan kesimpulan (Kristiansen 2004). Analisa resiko juga dapat diartikan sebagai proses pemahaman sesuatu yang tidak diinginkan dapat terjadi, bagaimana kemungkinannya untuk terjadi, dan separah apa akibatnya apabila terjadi. *Risk assessment* adalah aplikasi khusus, sama dengan bantuan untuk proses membuat keputusan. Analisa yang sesuai untuk resiko ini akan memberikan informasi berupa kritik yang baik untuk membuat keputusan dan akan mengklarifikasi keputusan tersebut (Jadmiko dan Artana 2007).

Analisa resiko yang sering digunakan adalah *Risk Based Inspection* (RBI), yang merupakan sebuah pendekatan sistematis tentang metode pengelolaan inspeksi atas peralatan atau unit kerja pada sebuah pabrik yang didasarkan pada tingkat resiko yang dimiliki oleh peralatan atau unit kerja tersebut. Oleh karena itu, secara umum metode RBI dapat diaplikasikan ke semua jenis industri dan sangat bergantung pada kondisi aktual dari peralatan industri yang dianalisis. RBI menampilkan generasi inspeksi terbaru, penentuan interval, mengenali bahwa tujuan akhir inspeksi adalah keselamatan dan keandalan operasi dari fasilitas yang

ada (Azhar 2007). RBI diterima dengan baik sebagai praktek rancang-bangun yang baik untuk implentasi pemeriksaan dan program pemeliharaan.

Menurut Rosyid (2007) adanya ketidakpastian menimbulkan persoalan keandalan, atau ketidakandalan. Karena terjadinya kegagalan mengakibatkan berbagai konsekuensi teknis dan ekonomis, maka ketidakandalan selanjutnya menimbulkan risiko (*risk*). Hubungan antara keandalan (K), ketidakandalan (Pg), risiko (R) dan konsekuensi kegagalan (C), dapat dinyatakan sebagai berikut :

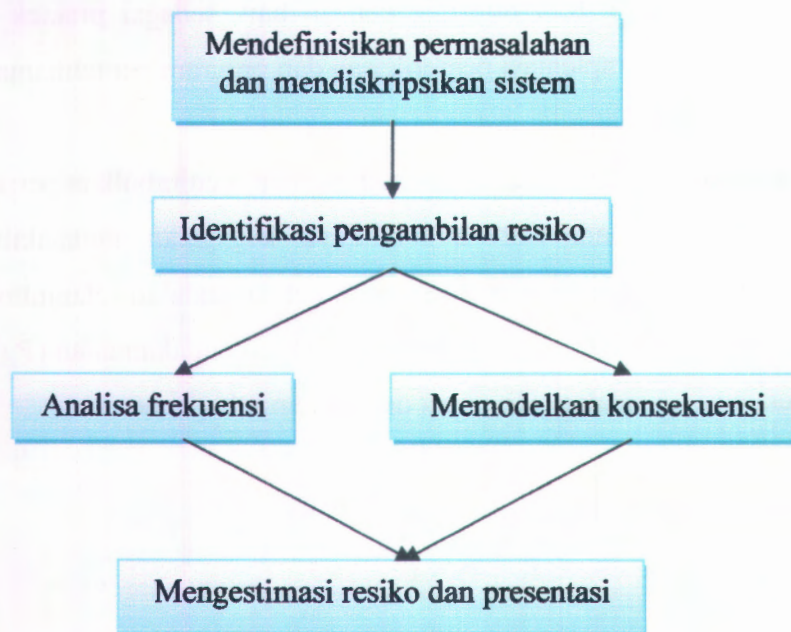
$$K = 1 - P_g \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$R = P_g \times C \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Peluang kegagalan (Pg) sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dengan sampel, yaitu :

$$P_g = n/N \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan jumlah sampel adalah N dan kejadian terjadi sejumlah n kali.



Gambar 2.7 Proses analisa resiko. (Kristiansen, 2004).

Menurut Ega (2009) kategori resiko dapat dibedakan menjadi tiga hal, yaitu

a. Resiko proyek.

Adalah resiko yang dapat mengancam rencana proyek, bila resiko proyek menjadi kenyataan maka ada kemungkinan jadwal proyek akan berubah dan biaya menjadi bertambah. Resiko proyek mengidenifikasi biaya, sumber daya, dan jadwal.

b. Resiko teknis.

Adalah resiko yang dapat mengancam kualitas dan ketepatan waktu yg akan dihasilkan. Bila resiko teknis menjadi kenyataan maka implementasinya menjadi sangat sulit atau tidak mungkin. Resiko teknis mengidentifikasi : desain potensial, spesifikasi, dan ketidakpastian teknik.

c. Resiko bisnis.

Adalah resiko yang dapat membahayakan proyek atau produk.

2.3.1 Proses *Risk Assessment*

Proses Risk Assessment terdiri dari beberapa langkah dasar, antara lain :

a) *Hazard identification.*

Hazard adalah suatu keadaan yang bersifat kualitatif yang mempunyai pengaruh terhadap frekuensi kemungkinan terjadinya kerugian. Identifikasi resiko ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa teknik sebagai berikut (Irwpmmi 2007) :

1. *Pareto Chart.*

Pada tahun 1897 diagram Pareto dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi dari Italia yang bernama Vilfredo Pareto, setelah itu digunakan oleh Dr. M. Juran dalam bidang pengendalian mutu. Alat ini digunakan untuk membandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya, serta untuk menentukan prioritas kategori penyebab kejadian yang akan dianalisis sehingga dapat memusatkan perhatian pada penyebab yang mempunyai dampak terbesar terhadap kejadian tersebut. Pada suatu diagram Pareto akan diketahui suatu faktor yang merupakan faktor paling prioritas dibandingkan faktor-faktor (minimal 4 faktor) lainnya, karena faktor tersebut berada pada urutan terdepan, terbanyak atau pun tertinggi pada deretan sejumlah faktor yang dianalisa. Melalui dua diagram Pareto yang dibandingkan, akan dapat dilihat perubahan seluruh/sebagian faktor-faktor yang sedang diteliti pada kondisi yang berbeda.

- Tipe diagram Pareto

- Diagram Pareto berdasarkan gejala.

Berhubungan dengan hasil yang tidak diinginkan dalam proses dan digunakan untuk menemukan masalah utama dalam timbulnya permasalahan. Antara lain :

- a. Mutu (rusak, salah, gagal, keluhan, item yang kembali dan perbaikan).

- b. Biaya (jumlah kerugian dan pengeluaran).
- c. Pengiriman (kekurangan persediaan dan kesalahan pembayaran).
- d. Keselamatan (kecelakaan, kesalahan dan hancur).

- Diagram Pareto berdasarkan penyebab.

Berhubungan dengan sebab dalam proses dan digunakan untuk mencari sebab utama timbulnya permasalahan. Antara lain meliputi :

- a. Operator : Shift, grup, umur, pengalaman, keahlian dan individu.
- b. Mesin : Peralatan, organisasi, model dan alat ukur.
- c. Bahan baku : Pembuat, pabrik, lot dan macam.
- d. Metode operasi : Perintah dan pengaturan.

• Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam membuat diagram Pareto :

1. Teliti macam-macam klasifikasi dan buat bermacam-macam diagram Pareto.
2. Tidak diinginkan bahwa judul "lain-lain" menyatakan prosentase yang tinggi.
3. Bila biaya dimasukkan ke dalam data, akan sangat baik dalam menggambar diagram Pareto dengan sumbu vertikal menunjukkan pemakaian biaya.

2. *Flow Chart.*

Diagram alir merupakan teknik penampilan grafis, untuk menggambarkan langkah utama dalam proses. Masing-masing langkah dihubungkan satu dengan yang lain sesuai alur prosesnya. *Flow chart* dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber dari kesalahan, sehingga dengan mudah dan cepat kita dapat memperbaiki kesalahan proses yang sering terjadi. Diagram alir

digambarkan dengan simbol-simbol dan setiap orang yang bertanggung jawab untuk memperbaiki suatu proses harus mengetahui seluruh langkah dalam proses tersebut.

3. Diagram *Ishikawa*.

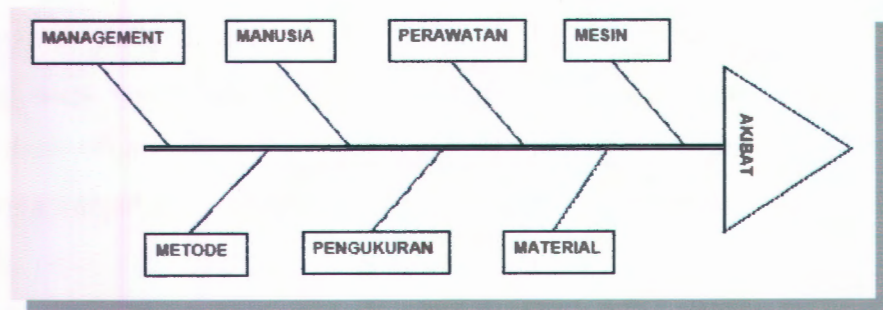
Digunakan untuk menganalisa suatu proses dan menemukan kemungkinan penyebab suatu masalah yang sedang terjadi. Proses identifikasi perlu dilakukan secara akurat untuk menemukan penyebab permasalahan yang ada. Diagram tulang ikan dapat dipergunakan untuk menyimpulkan sebab-sebab variasi dalam proses, mengidentifikasi kategori dan subkategori penyebab yang mempengaruhi suatu karakteristik kualitas tertentu, serta untuk memberikan petunjuk mengenai macam-macam data yang perlu dikumpulkan. Manfaat optimum dari diagram *Ishikawa* adalah mampu menampilkan akar-akar penyebab yang sesungguhnya dari suatu penyimpangan (ketidak bermutuan). Rangka analisis diagram *Ishikawa* berbentuk seperti ikan, dimana ada bagian kepala sebagai *effect* dan bagian tubuh ikan berupa rangka serta duri-durinya digambarkan sebagai penyebab (*cause*) suatu permasalahan yang timbul.

- Kegunaan dari diagram *Ishikawa* adalah
 - Menganalisis sebab dan akibat suatu masalah.
 - Menentukan penyebab permasalahan.
 - Menyediakan tampilan yang jelas untuk mengetahui sumber-sumber variasi.
- Dalam diagram *Ishikawa* terdapat 7 faktor pokok yang tidak saling berkaitan (Hadi 2008) yaitu :
 1. *Material* (bahan mentah atau komponen).
 2. *Manpower* (faktor manusia).
 3. *Method* (desain dan proses prosedur operasi).

4. *Machines* (mesin dan perlengkapan dalam proses).
5. *Measurement* (peralatan dan teknik yang dipakai untuk mengambil data).
6. *Maintenance* (sistem penyediaan perawatan).
7. *Management* (kebijakan, aturan kerja, dan lingkungan kerja).

• Proses penyusunannya adalah

1. Pilih masalah terpenting.
2. Tarik garis ke kiri berbentuk panah.
3. Tetapkan sebab-sebab utama (orang, alat, metoda, bahan).
4. Jabarkan cabang dari setiap sebab serinci mungkin.
5. Bila mungkin, juga untuk ranting sebab.



Gambar 2.8 Contoh diagram *Ishikawa* (Hadi, 2008).

4. Histogram.

Merupakan diagram batang yang dapat digunakan untuk menyampaikan informasi mengenai variasi dalam suatu proses, dan membantu pengambilan keputusan dengan memusatkan perhatian pada upaya perbaikan. Histogram juga dikenal sebagai grafik distribusi frekuensi, salah satu jenis grafik batang yang digunakan untuk menganalisa mutu dari sekelompok data (hasil produksi) dengan menampilkan nilai tengah sebagai standar mutu produk, serta distribusi atau penyebaran datanya. Agar histogram memberikan gambaran yang akurat tentang kondisi hasil produksi, perlu

dilakukan pengolahan data yang akurat terlebih dulu, dimulai dari pengumpulan data, tidak kurang dari 50 sampel, yaitu jumlah yang dianggap dapat memenuhi populasi yang akan diamati. Melalui gambar histogram, dapat diprediksi hal-hal sebagai berikut :

- a. Bila bentuk histogram pada sisi kiri dan kanan dari kelas yang tertinggi berbentuk simetri, maka dapat diprediksi bahwa proses berjalan konsisten. Artinya seluruh faktor dalam proses memenuhi syarat yang ditentukan.
- b. Bila histogram berbentuk sisir, kemungkinan yang terjadi adalah ketidaktepatan dalam pengukuran atau pembulatan nilai data, sehingga berpengaruh pada penetapan batas-batas kelas.
- c. Bila sebaran data melampaui batas-batas spesifikasi, maka dapat dikatakan bahwa ada bagian dari hasil produk yang tidak memenuhi spesifikasi mutu, begitu pula sebaliknya.

5. *Scatter Chart.*

Merupakan cara sederhana untuk menentukan apakah suatu sebab akibat terjadi diantara dua variable. *Scatter chart* juga membantu dalam memeriksa korelasi dari penyebab yang kontinu terhadap suatu karakteristik mutu. Cara ini membutuhkan data berpasangan sebagai bahan baku analisisnya, yaitu sekumpulan nilai x sebagai faktor yang independen, berpasangan dengan sekumpulan nilai y sebagai faktor dependen. Artinya, bahwa setiap nilai x yang didapatkan memberi dampak pada nilai y. Melalui penggambaran data tersebut, akan dapat dilakukan analisa lebih lanjut tentang korelasi antara faktor x dan y yang direpresentasikan sebagai nilai r (rho), yaitu nilai yang menunjukkan tingkat keeratan hubungan antar faktor tersebut. Dikatakan kedua faktor itu berhubungan sangat erat bila nilai rho mendekati angka + 1.

6. *Control Chart.*

Alat bantu ini pertama kali diperkenalkan oleh W.A. Shewhart di laboratorium Bell Telephone. Karakteristik pokok pada alat bantu ini adalah dengan membuat sepasang batas kendali (*Upper* dan *Lower Limit*), sehingga dari data yang dikumpulkan akan dapat terdeteksi kecenderungan kondisi proses yang sesungguhnya. Pada dasarnya alat bantu ini berupa rekaman data suatu proses yang sudah berjalan. Bila data yang terkumpul sebagian besar berada dalam batas pengendalian, maka dapat disimpulkan bahwa proses berjalan dalam kondisi stabil. Tetapi sebaliknya, bila sebagian besar data menunjukkan deviasi di luar batas kendali, maka bisa dikatakan proses berjalan tidak normal. *Control Chart* sangat bermanfaat untuk memonitor proses operasional atau produksi agar bila terjadi suatu penyimpangan dapat segera ditindak lanjuti. *Control Chart* digunakan untuk menganalisis suatu proses dengan tujuan melakukan perbaikan secara terus menerus terhadap mutu.

7. *Wawancara.*

Merupakan suatu cara untuk memacu pemikiran kreatif guna mengumpulkan ide-ide dari suatu kelompok dalam waktu yang relatif singkat. Wawancara dapat digunakan berkaitan dengan hal-hal menentukan penyebab yang mungkin dari masalah dalam proses atau solusi terhadap permasalahan tersebut, memutuskan masalah apa yang perlu diselesaikan dan menginginkan untuk menjaring sejumlah besar persepsi alternatif.

8. *Check Sheet.*

Alat bantu ini sangat tepat digunakan sebagai alat pengumpul data, tetapi tidak cukup memenuhi syarat bila digunakan untuk menganalisa data, karena semua data yang dikumpulkan adalah data fenomena/fakta yang sedang terjadi. Itu sebabnya dikatakan bahwa

check sheet adalah alat bantu yang digunakan pada saat suatu proses sedang berlangsung, serta dapat dengan mudah memperlihatkan pola yang meliputi jumlah kejadian, yang biasanya hasil ini dituangkan pada tabel pareto. Bentuk *check sheet* yang paling populer adalah bentuk tally. Mengingat bahwa *check sheet* digunakan pada saat proses berlangsung, maka hal terpenting yang harus diperhatikan adalah bagan (kerangka) formulir untuk pengisian data. Hendaknya bagan disiapkan sedemikian rupa, agar pengisian data dapat dilakukan dengan mudah dan cepat, tetapi juga mampu memuat seluruh data yang diperlukan. Proses penyusunannya adalah dengan merancang pemilahan data, mencatat data yang sesuai, menghitung tally, menjumlah dan menabulasikan.

9. *Graphs (Block diagram, pie chart dan sun chart)*

Grafik biasa digunakan sebagai alat bantu untuk menerangkan suatu kondisi dengan menggambarkan trend dan memprediksi situasi secara lebih jelas, melalui sejumlah data yang digambarkan baik dalam bentuk balok (*block*), lingkaran (*pie chart*), garis (*line chart*) dan lain sebagainya. Penggambaran grafik yang tepat akan memberikan kemudahan dalam membaca data yang ditampilkan, sehingga memungkinkan untuk penelitian atau analisa lebih lanjut.

10. Diagram IPO (Input – Proses –Output).

Merupakan diagram sederhana untuk melihat faktor apa saja yang mempengaruhi proses dan output yang kita inginkan dari proses tersebut. Diagram IPO mempunyai input standar yang disebut 6M (*Manpower*-manusia, *Method*-metode, *Material*-material, *Measurement*-pengukuran, *Machin* –peralatan dan *Mother nature*—lingkungan). Sedangkan, output standar biasanya dalam segi biaya (lebih murah), waktu (lebih cepat), dan kualitas (lebih baik).

11. *Standard Operating Procedure (SOP).*

Merupakan prosedur kerja yang tertulis secara detail dan lengkap dengan spesifikasi pada setiap aktivitas, serta menyertakan gambar atau foto pada setiap penulisan prosedurnya.

12. *Box Plot.*

Box Plot atau lebih lengkapnya *Box-and-Whisker Plot*, merupakan gambaran secara grafis dari 5 gambaran statistik, yaitu : nilai terkecil, kuartile pertama (Q1), median, kuartel ketiga (Q3), dan nilai terbesar. Sehingga, grafik *box plot* bisa menggambarkan hampir menyeluruh dari satu set data. Dikarenakan informasi yang terkandung dalam gambarnya cukup lengkap, *box plot* banyak digunakan untuk membandingkan dua data set atau lebih.

13. *Run Chart.*

Merupakan suatu grafik antara nilai tertentu terhadap waktu. Contohnya adalah grafik nilai rupiah per dolar atau harga saham suatu perusahaan dalam satu periode tertentu.

14. *Stratifikasi*

Merupakan suatu rancangan untuk pemilahan data. Proses penyusunannya adalah menetapkan tujuan analisis, jenis data yang dibutuhkan, klasifikasi data, menyusun tabel rancangan dan pengumpulan data, serta isi hasil rancangan ditulis dengan menggunakan *check sheet*.

15. *Peta Kendali.*

Peta kendali adalah peta yang menunjukkan batasan suatu proses dengan tingkat kepercayaan tertentu, yang digunakan untuk penelusuran sifat penyimpangan masalah.

16. Diagram Data Matrix.

Merupakan hubungan logis antar variabel dengan tujuan menetapkan sebab potensial dari suatu masalah mutu. Sedangkan, analisisnya bertujuan untuk meringkas variabel menjadi variabel yang dapat mewakili keseluruhan, agar analisis lebih mudah dilakukan (beberapa variabel yang mempunyai korelasi tinggi digabungkan).

17. Penggunaan Metoda KJ.

Metoda KJ (*Kawakita Jiro*) digunakan untuk persoalan yang tidak mengandung kepastian, baik dalam rumusan masalahnya maupun dalam pemecahannya. Dengan ciri di atas, metoda KJ digunakan untuk mempelajari dan merumuskan masalah, memperkirakan masalah yang mungkin terjadi pada masa yang akan datang, serta merumuskan tindakan perbaikan.

• Metoda KJ digunakan dengan dasar pemikiran sebagai berikut :

1. Menggunakan perasaan yang dimiliki oleh orang yang mempunyai banyak pengalaman.
2. Karena persoalan yang dihadapi tidak jelas atau pemecahannya tidak terprogram, maka diperlukan pikiran banyak orang. Untuk masalah yang tidak terlalu sukar (atau tidak terlalu mudah), pemecahan masalah dengan banyak orang lebih efektif bila dibandingkan dengan satu orang. Metoda KJ memanfaatkan kelebihan dari pemecahan masalah kelompok (*group decision making*) tersebut.

18. Diagram Pohon.

Merupakan bentuk model yang pada awalnya dikembangkan untuk menggambarkan struktur keputusan dalam analisa pengambilan keputusan. Serta, merupakan suatu metoda untuk menelusuri langkah-langkah dan rencana yang paling cocok untuk mencapai tujuan tersebut. Langkah pembuatannya adalah dengan merumuskan

tujuan, langkah untuk mencapainya serta kaitan antara cara dengan tujuan berikutnya.

• Metoda diagram pohon digunakan untuk :

1. Menggambarkan mutu desain produk kerja
2. Mengaitkan tujuan dengan langkah-langkah untuk mencapainya.
3. Pembagian fungsi organisasi secara jelas.
4. Pengembangan tugas.
5. Sesuai diagram sebab akibat.

19. Diagram Panah

Bertujuan untuk mengurutkan kegiatan dalam susunan yang logis, sehingga langkah yang diambil dapat terencana dari awal hingga akhir pengerjaan. Prosedur pengerjaannya adalah dengan menetapkan jenis kegiatan, menentukan hubungan logis antar kegiatan, menyusun kegiatan awal yang tidak didahului oleh kegiatan lain, melanjutkan dengan kegiatan berikutnya sampai dengan kegiatan akhir dan menyempurnakan gambar dengan seefisien mungkin.

20. Program *Decision Process Chart*

Bertujuan untuk memberikan gambaran tentang proses penyempurnaan rencana dengan memperhitungkan segala kemungkinan yang akan terjadi, sehingga dapat dipersiapkan langkah-langkah penanggulangan sebelumnya.

21. Curah Pendapat (*Brainstorming*).

Merupakan teknik untuk mengembangkan ide dalam waktu yang singkat. Alat ini digunakan untuk mengenali adanya masalah, baik yang telah terjadi maupun yang potensial terjadi, menyusun daftar masalah, menyusun alternatif pemecahan masalah, menetapkan kriteria untuk monitoring, mengembangkan kreativitas, dan menggambarkan aspek-aspek yang perlu dianalisis dari suatu pokok

bahasan. Dalam memilih solusi yang paling tepat digunakan beberapa teknik sebagai berikut, yaitu

- Teknik skoring,

yaitu memberikan nilai (skor) terhadap beberapa alternatif solusi tersebut dengan menggunakan ukuran (parameter). Parameter skoring antara lain harus realistis, dapat dikelola (*manageable*), terdapat teknologi yang tersedia dalam melaksanakan solusi (*technical feasibility*) dan sumber daya yang tersedia dapat digunakan untuk melaksanakan solusi (*resources availability*). Skoring dilakukan dengan memberikan nilai pada masing-masing ukuran berdasarkan pendapat kita, bila alternatif solusi tersebut realistis diberi nilai 5 (paling tinggi) dan bila sangat kecil diberi nilai 1. Kemudian nilai-nilai tersebut dijumlahkan, alternatif solusi yang memperoleh nilai tertinggi (terbesar) adalah yang diprioritaskan, masalah yang memperoleh nilai terbesar kedua memperoleh prioritas kedua dan selanjutnya.

- Teknik non skoring,

yaitu dengan menggunakan alternatif solusi yang dinilai melalui diskusi kelompok. Teknik ini meliputi :

- *Delphi Technique.*

Yaitu alternatif solusi didiskusikan oleh sekelompok orang yang mempunyai keahlian yang sama. Melalui diskusi tersebut akan menghasilkan solusi paling mungkin bagi pemecahan masalah yang disepakati bersama.

- *Delbec Technique.*

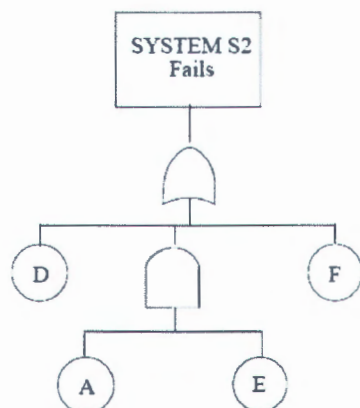
Menetapkan solusi paling mungkin melalui diskusi kelompok, namun peserta diskusi terdiri dari para peserta yang tidak sama keahliannya. Maka sebelumnya dijelaskan dulu sehingga mereka mempunyai persepsi yang sama terhadap alternatif solusi terhadap masalah yang akan

dibahas. Hasil diskusi ini adalah solusi paling mungkin bagi pemecahan masalah yang disepakati bersama.

b) *Frequency Methods.*

Peluang kegagalan yang akan ditinjau adalah pada *joint-joint* kaki *jacket* yang rentan terjadinya cacat las. Apabila ada salah satu atau lebih *joint* gagal pada lokasi tertentu, maka akan mempengaruhi fungsi dari struktur *jacket* itu sendiri. Kegagalan *joint* yang dimaksud adalah dimana *joint* tersebut mengalami beberapa cacat las yang tidak dapat diterima berdasarkan hasil uji NDT. Peluang kegagalan dapat dihitung dengan menggunakan teknik *Fault Tree Analysis* (FTA). Teknik analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah sebuah metoda untuk mengidentifikasi "semua sebab" yang mungkin (kegagalan komponen atau kejadian kegagalan lainnya, yang terjadi sendirian atau bersama-sama) menyebabkan kegagalan sistem, dan memberi pijakan perhitungan peluang kejadian kegagalan tersebut.

FTA dapat dipakai untuk kasus dengan kombinasi kegagalan komponen, sehingga FTA cocok dipakai untuk sistem dengan redundansi tertentu. Sebuah *Fault Tree* memperlihatkan, dalam bentuk grafis, hubungan logis antara sebuah mode kegagalan sistem (dinamakan *TOP event*) dan sebab-sebab kegagalan dasar (dinamakan *PRIME event*), dengan menggunakan simbol-simbol *AND* atau *OR*. Sebuah gerbang *AND* berarti bahwa semua kejadian di bawah gerbang harus terjadi agar kejadian diatas gerbang tersebut terjadi. Sebuah gerbang *OR* berarti bahwa salah satu saja kejadian di bawah gerbang harus terjadi agar kejadian diatas gerbang tersebut terjadi (Rosyid 2007).



Gambar 2.9 Sistematika analisa resiko dengan menggunakan teknik *Fault Tree Analysis* (Andrews dan Dunnett, 2009)

Untuk menghitung peluang kejadian pada sebuah gerbang AND, peluang kejadian tiap-tiap kejadian dibawah gerbang tersebut langsung dikalikan begitu saja. Untuk kejadian diatas sebuah gerbang OR, yang dikalikan adalah peluang ketidakjadian ($1 - \text{peluang kejadian}$) masing-masing kejadian di bawah gerbang OR tersebut. Sumber mode kegagalan umum lainnya adalah *human error* dalam kegiatan pemeliharaan atau operasi, yaitu kesalahan manusia yang dilakukan pada satu unit akan diulang/disebarkan ke unit yang lainnya, kalau kegiatan tersebut dilakukan oleh orang yang sama.

c) *Consequence Methods.*

Analisis konsekuensi sebenarnya merupakan langkah kedua dari analisis penentuan resiko menggunakan pendekatan *Risk Based Inspection*. Analisis konsekuensi pada program RBI dipakai untuk membantu memperingkatkan peralatan yang dianalisis berdasarkan tingkat resikonya. Konsekuensi yang dimaksud pada bagian ini adalah suatu metode sederhana yang dipakai untuk menentukan prioritas tindak lanjut terhadap peralatan berdasarkan hasil inspeksi.

Pada penelitian tugas akhir ini, perhitungan konsekuensi dilihat berdasarkan resiko financial, antara lain :

1. Biaya perbaikan dan penggantian peralatan.
2. *Downtime* akibat perbaikan dan penggantian peralatan.
3. Biaya kerugian akibat kegagalan kerja.
4. Biaya pembersihan lingkungan.

d) *Evaluate risk.*

Salah satu peralatan *risk based* yang cukup populer lainnya adalah dengan menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Penggunaan FMEA pada awalnya adalah dalam *industrial safety* ataupun *reliability maintenance*, namun belakangan banyak dipakai dalam berbagai proses. Dari hasil FMEA, prioritas perbaikan akan diberikan pada komponen yang memiliki tingkat prioritas (RPN) paling tinggi. Analisa ini mengasumsikan mode kegagalan yang terjadi pada suatu sistem ataupun komponen dengan beberapa mekanisme kegagalan. FMEA terdiri dari beberapa bagian berikut, yaitu :

- *Failure modes.*

Merupakan mode kegagalan yang sering terjadi dan menunjukkan secara spesifik kegagalan produk atau proses yang terjadi.

- *Failure effects.*

Merupakan akibat yang ditimbulkan jika komponen tersebut gagal seperti disebutkan dalam failure mode.

- *Severity ratings.*

Merupakan kuantifikasi seberapa serius kondisi yang diakibatkan jika terjadi kegagalan yang akibatnya disebutkan dalam *failure effect*. Ini terkait dengan keselamatan dan resiko lainnya jika terjadi kegagalan. Dengan kata lain adalah konsekuensi yang ditimbulkan akibat terjadinya kegagalan pada suatu sistem. *Severity* ini dibuat dalam 5 level (1,2,3,4,5) yang menunjukkan akibat yang tidak terlalu serius (1) sampai sangat serius (5).

- *Failure causes.*

Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu komponen. Sehingga, jika kita dapat mengetahui penyebab apa yang paling potensial, diharapkan kegagalan yang terjadi dapat diperbaiki atau dikontrol. Penyebab yang paling potensial hendaknya diidentifikasi sampai ke akar permasalahan, terutama untuk mode kegagalan yang memiliki *severity ratings* terbesar.

- *Occurrence rating.*

Merupakan tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan. Ditunjukkan dalam 5 level (1,2,3,4,5) dari yang paling mungkin terjadi (5) sampai yang sangat jarang terjadi (1).

- *Definition of controls.*

Merupakan langkah penanggulangan atau bisa disebut dengan mitigasi untuk kegagalan yang terjadi. Dengan kata lain adalah metode apa yang sudah kita terapkan/pasang untuk mengantisipasi kegagalan tersebut. Rencana penanggulangan bisa berupa inspeksi atau pengujian kegagalan yang terdeteksi.

- *Detection ratings.*

Merupakan bentuk kegagalan sistem yang dapat terdeteksi kejadiannya, serta menunjukkan tingkat kemungkinan lolosnya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah kita pasang. Levelnya juga dari 1-5, dimana angka 1 menunjukkan kemungkinan untuk lewat dari kontrol sangat kecil, dan 5 menunjukkan kemungkinan untuk lolos dari kontrol kita adalah sangat besar.

- *Risk Priority Number (RPN).*

Merupakan nomor yang digunakan sebagai penunjuk besarnya resiko yang terjadi. Sehingga, semakin besar ranking sistem tersebut maka akan semakin kritis atau sistem tersebut dalam keadaan yang membahayakan.

Dimana persamaan RPN dapat dilihat sebagai berikut :

$$\text{RPN} = (\text{Occurrence rating})(\text{Severity rating})(\text{Detection ratings})\dots\dots\dots(2.4)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini akan dijelaskan lebih mendalam tentang langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini dengan merujuk ke gambar 3.3, antara lain :

3.1 Identifikasi Masalah

Tahap ini merupakan tahap awal dari pengerjaan tugas akhir yaitu dengan menetapkan tujuan dan manfaat penelitian, serta perumusan masalah dari apa yang akan dikerjakan.

3.2 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Melakukan studi literatur sebagai bahan acuan dan sumber teori yang berkaitan dengan spesifikasi pengelasan dan cacat las yang mungkin terjadi. Serta analisa resiko yang akan digunakan untuk menganalisa cacat las tersebut. Kemudian melakukan pengumpulan data tentang desain *tubular joint jacket* studi kasus WHP-A Amerada Hess (Indonesia Pangkah) Ltd, beserta *procedure qualification record* pengelasannya.

3.2.1 Pengumpulan Data Struktur dan Lingkungan

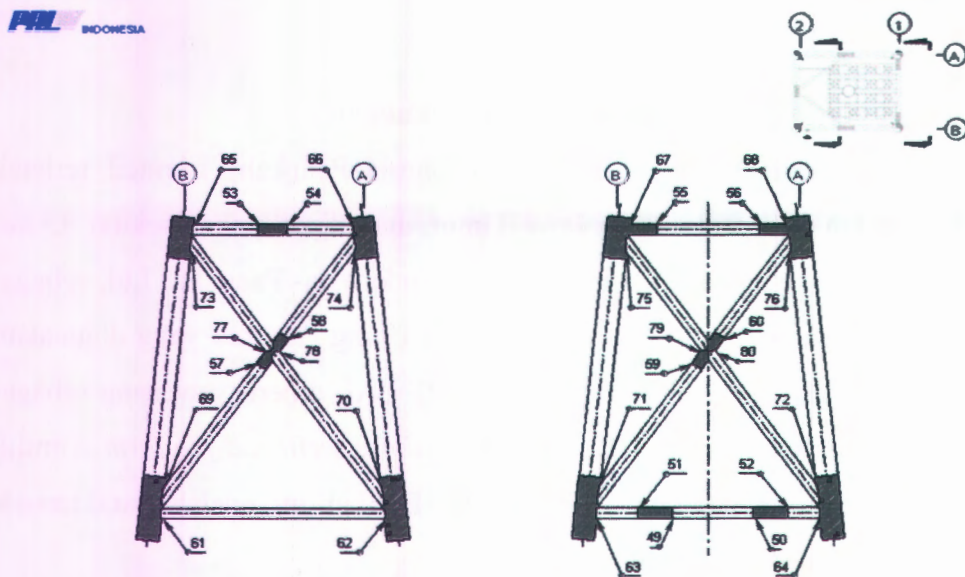
Struktur *jacket* WHP-A Amerada hess (Indonesia-Pangkah) Limited terletak antara 2 – 10 km dari pantai utara Jawa Timur, atau diperkirakan sekitar 35 km dari sebelah utara kota Gresik. Amerada Hess (Indonesia- Pangkah) Ltd, sebagai operator pengembang cadangan minyak dan gas Ujung Pangkah yang digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah Gresik. PT PAL diberi wewenang sebagai perekrayasa, konstruksi, dan instalasi proyek *offshore wellhead platform A* milik Amerada hess (Indonesia-Pangkah) Limited. Berikut ini adalah karakteristik utama dari platform WHP-A, antara lain :

1. Platform menghadap ke arah 67,5° barat laut.
2. Kedalamanya adalah 12,4 m dari garis datum.

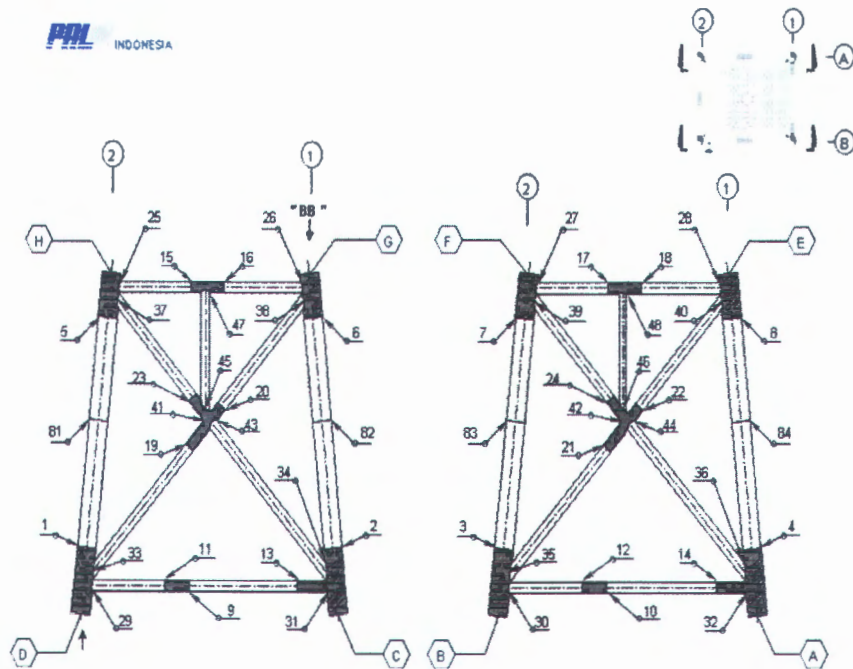
3. *Jacket* terdiri dari 4 kaki, maksimal kemiringannya 1 : 10
4. Ketinggian 2 *frame* horisontal, dengan ketinggian *frame conductor guide* pada elevasi (-) 12,192 dan elevasi (+) 4,267.
5. *Guide pile* dipasang pada kedalaman 1,219 mm dengan diameter 48" dan ketinggian *guide framing* pada elevasi (+) 4,267.
6. Struktur pelengkap adalah *boatlanding*.
7. Tinggi *cellar deck* minimum pada elevasi (+)11,40 dibawah kedalaman air.
8. *Air gap* minimum pada 5 ft, berdasarkan pertimbangan API RP2A.
9. Ketebalan minimum member tubular utama adalah 9,5 mm.
10. Ketebalan minimum *beam flanges* pada *superstructure* dan *stiffeners* adalah 6 mm.
11. Ketebalan minimum pelat pada *deck* adalah 8 mm.

3.2.2 Data Prosedur Kualifikasi Pengelasan

Pada penelitian ini hanya meninjau beberapa *joint* yang pada test NDT didapatkan beberapa cacat las, antara lain *joint* 33, 34, 35, 36, 61, 62, 64, 65, 66, 67 dan 68. Untuk lebih jelasnya, dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 3.1 Penomoran *joint* pengelasan pada *jacket elevation* row A dan row B (PT PAL, 2005).



Gambar 3.2 Penomoran *joint* pengelasan pada *jacket elevation* row 1 dan row 2 (PT PAL, 2005).

Setelah mengetahui *joint* mana saja yang akan ditinjau, langkah selanjutnya adalah mendata semua kualifikasi prosedur yang digunakan pada pengelasan WHP-A Amerada hess (Indonesia–Pangkajene) Limited, antara lain :

- Untuk *joint* 33, 34, 35, 36 menggunakan kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-93-WPS.
- Untuk *joint* 61, 62, 64, 65, 66, 67 dan 68 menggunakan kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-92-WPS.

Tabel 3.1 Kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-92-WPS (PT PAL, 2005).

No	Parameter	Keterangan
1	Proses pengelasan	Mesin SMAW
	Type mesin	Manual
2	Material chord	API grade X52
	Komposisi kimia	Kandungan C 0.31 % Kandungan Mn 1.35 % Kandungan S 0.05 % Kandungan P 0.04 %
	Komposisi mekanik	Thickness 1 inches Diameter 24 inches Tensile strength 455 N/mm ² Yield strength 358 N/mm ²
3	Material brace	API 5L grade B
	Komposisi kimia	Kandungan C 0.27 % Kandungan Mn 1.15 % Kandungan S 0.05 % Kandungan P 0.04 %
	Komposisi mekanik	Thickness 0.5 inches Diameter 24 inches Tensile strength 413 N/mm ² Yield strength 241 N/mm ²
4	Jenis sambungan	V Butt single
5	Root opening	3-4 mm
6	Dimensi root face	1-2 mm
7	Sudut groove	60°
8	Type elektroda	E 7016 dan E7016-1
9	Diameter elektroda	2.6 - 3.2 mm
	Temperatur perlakuan panas	30°C
10	Temperatur antar lapis	max 250°C
11	Metode control	infrared digital temperature
12	Tegangan busur las	20-28 volt
13	Besar arus las	60-130 Ampere
14	Kecepatan pengelasan	30-60 mm/min
15	Polaritas listrik	AC/DCEP
16	Heat input	2.4-3.6 Kj/mm
17	Posisi pengelasan.	6G vertikal up
18	Teknik	multipass layer
19		Chipping, brushing dan grinding
20	Pembersihan cleaning	

Tabel 3.2 Kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-93-WPS (PT PAL, 2005).

No	Parameter	Keterangan
1	Proses pengelasan	Mesin SMAW
	Type mesin	Manual
2	Material chord	API grade X52
	Komposisi kimia	Kandungan C 0.31 % Kandungan Mn 1.35 % Kandungan S 0.05 % Kandungan P 0.04 %
	Komposisi mekanik	Thickness 1 inches Diameter 46 inches Tensile strength 455 N/mm ² Yield strength 358 N/mm ²
3	Material brace	API 5L grade B
	Komposisi kimia	Kandungan C 0.27 % Kandungan Mn 1.15 % Kandungan S 0.05 % Kandungan P 0.04 %
	Komposisi mekanik	Thickness 0.5 inches Diameter 24 inches Tensile strength 413 N/mm ² Yield strength 241 N/mm ²
4	Jenis sambungan	Butt single
5	Root opening	3-4 mm
6	Dimensi root face	1-2 mm
7	Sudut groove	37.5°
8	Type elektroda	E 7016 dan E7016-1
9	Diameter elektroda	2.6 - 3.2 mm
10	Temperatur perlakuan panas	30°C
11	Temperatur antar lapis	max 250°C
12	Metode control	infrared digital temperature
13	Tegangan busur las	20-29 volt
14	Besar arus las	60-130 Ampere
15	Kecepatan pengelasan	25-50 mm/min
16	Polaritas listrik	AC/DCEP
17	Heat input	2.6-4.5 Kj/mm
18	Posisi pengelasan.	6GR vertikal up
19	Teknik	multipass layer Chipping, brushing dan grinding
20	Pembersihan cleaning	

3.3 Pemilihan Variable Cacat Las

Dari semua jenis cacat las yang mungkin terjadi baik berupa cacat yang supervisial, nonvisual, dan internal, hanya dipilih cacat las yang sering terjadi pada proses pengelasan SMAW. Menurut data kualifikasi prosedur pengelasan diatas, pengelasan pada *tubular joint jacket* WHP-A Amerada hess (Indonesia-Pangkajene) Limited dilakukan dengan menggunakan mesin SMAW. Maka dari itu dipilih cacat *undercut*, *porosity*, *incomplete fusion*, *slag inclusion*, *slag lines*, *crack* dan *incomplete penetration*.

3.4 Menyusun diagram Ishikawa.

Setelah mengetahui cacat las apa saja yang mungkin terjadi, langkah selanjutnya adalah dengan menyusun diagram Ishikawa pada setiap cacat. Dari data PQR pada *joint-joint* yang akan diteliti, diketahui spesifikasi pengelasan yang dilakukan pada *tubular joint jacket* studi kasus WHP-A Amerada Hess (Indonesia Pangkajene) Ltd. Kemudian setiap penyebab cacat las tersebut dimasukkan ke masing-masing spesifikasi yang terkait, sehingga menjadi satu kesatuan sebab akibat yang saling terkait. Dimana diagram ini terdiri dari sebuah panah horizontal yang panjang sebagai deskripsi masalah, kepala ikan sebagai akibat *effect* dan satu panah tebal diagram menuju *effect*. Penyebab-penyebab masalah digambarkan dengan garis panah yang menunjukkan masalah.

3.5 Identifikasi bahaya

Dari analisa cacat las yang telah dilakukan dengan menggunakan diagram *Ishikawa* diatas, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pengategorian semua penyebab pada masing-masing cacat las yang telah ditentukan. Kemudian melakukan perhitungan *likelihood welder error* pada saat melakukan proses pengelasan. Setelah mengetahui frekuensi kejadian dari hasil NDT uji radiography, langkah selanjutnya adalah menghitung peluang kejadian dari data frekuensi yang telah didapat dengan *utilitas*/tahun dan jumlah *welder* yang digunakan. Ini bertujuan untuk mempermudah perhitungan peluang kegagalan setiap cacat las yang akan dilakukan kemudian.

3.6 Menghitung peluang kegagalan.

Dari pengategorian identifikasi bahaya diatas, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan peluang kegagalan dengan menggunakan metode *fault tree analysis*, dengan bantuan peluang kejadian yang telah dihitung sebelumnya.

3.7 Perkiraan konsekuensi.

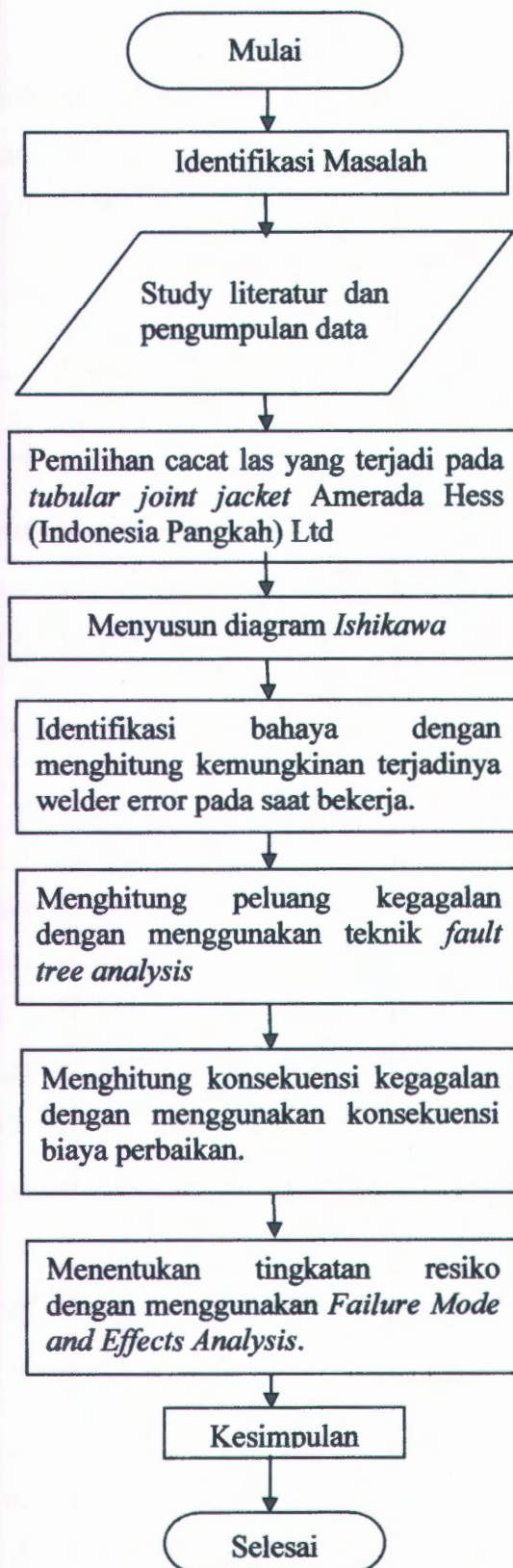
Apabila peluang kegagalan dari masing-masing cacat las telah ditentukan, tahapan berikutnya adalah menentukan kriteria konsekuensi. Konsekuensi kegagalan merupakan besaran yang diterima oleh *tubular joint jacket* akibat adanya kemungkinan cacat las yang mungkin terjadi. Dengan bentuk konsekuensi kegagalan berupa analisa biaya perbaikan pada bagian *joint* yang terkena cacat dan harus di *repair* terus menerus sampai tidak terdapat cacat lagi pada bagian tersebut.

3.8 Menentukan tingkatan resiko

Setelah mengetahui besarnya nilai *likelihood welder error*, peluang kegagalan dan konsekuensi yang diakibatkan karena cacat las, langkah selanjutnya untuk perhitungan analisa resiko dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) adalah menghitung *Risk Priority Number* (RPN). Ini dimaksud untuk mengetahui model kegagalannya, dampak yang ditimbulkan akibat kegagalan, penyebab serta langkah mitigasi yang dilakukan pada masing-masing cacat las. Setelah dilakukan perhitungan RPN maka dapat diketahui tingkatan resiko pada setiap cacat las yang terjadi.

3.9 Kesimpulan.

Langkah terakhir adalah menarik kesimpulan dari hasil analisa resiko terhadap cacat las yang mungkin terjadi pada *tubular joint jacket* studi kasus WHP-A Amerada Hess (Indonesia Pangkah) Ltd. Analisa resiko ini diharapkan dapat dijadikan pertimbangan, apakah struktur ini masih layak untuk digunakan atau tidak. Jika tidak maka harus ditunjukkan langkah-langkah rekomendasi untuk mengatasi permasalahan ini.



Gambar 3.3 Flowchart pengerjaan tugas akhir.

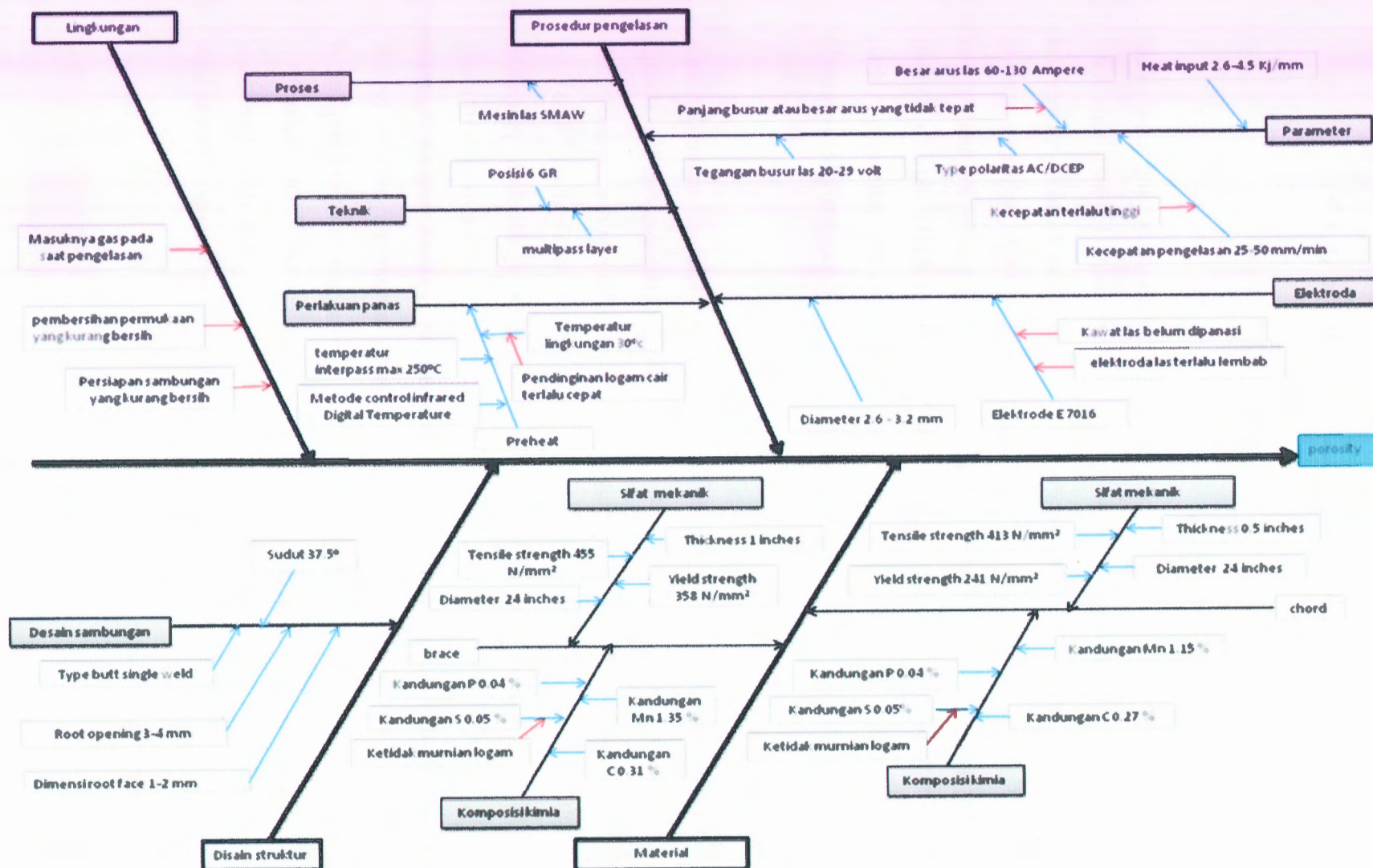
BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

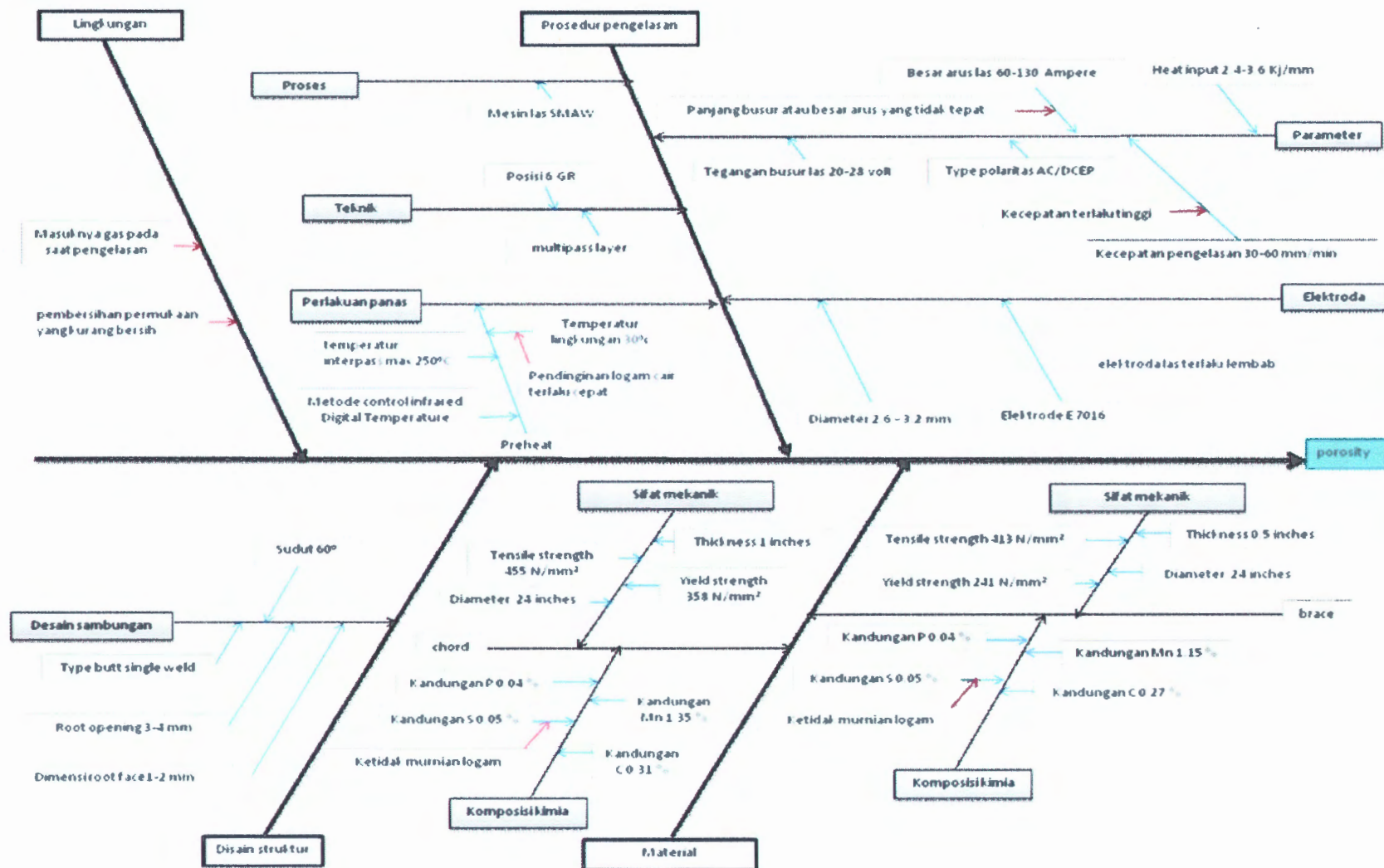
4.1 Menyusun diagram ishikawa.

Seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya bahwa cacat las yang terjadi akan menimbulkan konsentrasi tegangan, sehingga akan menyebabkan terjadinya keretakan awal pada bagian *tubular joint jacket*. Keretakan ini akan mengalami perkembangan jika selalu terkena pembebanan secara menerus, sehingga apabila mencapai panjang retak kritis *tubular joint* akan mengalami kegagalan dan tentunya sangat membahayakan struktur WHP-A tersebut. Maka dari itu, setelah mengetahui cacat las apa saja yang akan dianalisa beserta semua penyebab terjadinya, langkah selanjutnya adalah dengan menyusun diagram Ishikawa pada setiap cacat.

Spesifikasi pengelasan pada *joint-joint* yang akan diteliti telah diketahui dari data PQR, yang kemudian setiap penyebab cacat las tersebut dimasukkan ke masing-masing spesifikasi yang terkait. Sehingga dapat digambarkan bahwa sebuah panah horizontal yang panjang dengan satu panah tebal merupakan deskripsi permasalahan, dimana kepala ikan sebagai akibat *effect*. Sedangkan, penyebab cacat las digambarkan dengan garis panah yang menuju ke masing-masing spesifikasi pengelasan tersebut. Berikut ini akan ditunjukkan konsep diagram Ishikawa yang menganalisa salah satu cacat las yang mungkin terjadi pada proses pengelasan mesin SMAW. Gambar 4.1 menjelaskan pengelasan yang dilakukan pada *joint* 33, 34, 35 dan 36 menggunakan kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-93-PQR. Sedangkan, gambar 4.2 adalah pengelasan yang dilakukan pada *joint* 61, 62, 64, 65, 66, 67 dan 68 menggunakan kualifikasi prosedur pengelasan PAL GE-92-PQR.



Gambar 4.1 Penyusunan diagram *ishikawa* terhadap cacat *porosity* yang terjadi pada joint 33, 34, 35 dan 36.

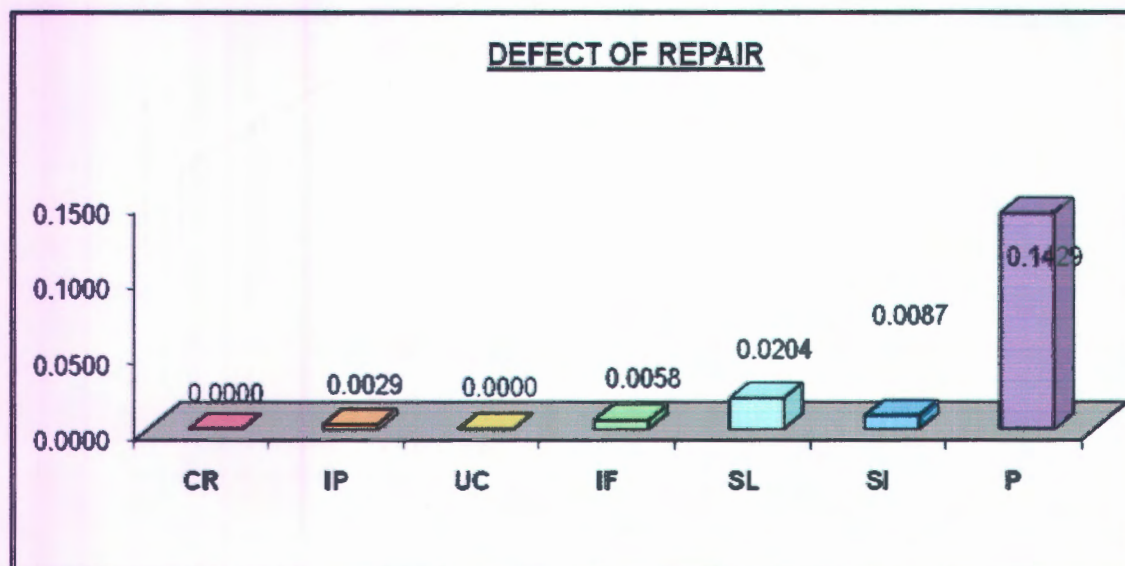


Gambar 4.2 Penyusunan diagram *ishikawa* terhadap cacat *porosity* yang terjadi pada *joint* 61, 62, 64, 65, 66, 67 dan 68.

4.2 Identifikasi bahaya.

Dimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa bahaya (*hazard*) merupakan suatu keadaan yang bersifat kualitatif yang mempunyai pengaruh terhadap frekuensi kemungkinan terjadinya kerugian, ataupun besarnya jumlah dari kerugian yang mungkin terjadi. Pada tugas akhir ini bahaya yang akan ditinjau yaitu kombinasi dari beberapa penyebab cacat las yang mungkin terjadi pada pengelasan di *tubular joint jacket* WHP-A. Bahaya ini dapat mengakibatkan dampak yang buruk terhadap struktur, selain struktur tersebut berpotensi mengalami kegagalan, faktor ekonomi karena mengalami kerugian, juga dapat mengancam keselamatan jiwa. Identifikasi bahaya dilakukan dengan mengategorikan semua penyebab pada masing-masing cacat las yang telah ditentukan, kemudian melakukan perhitungan *likelihood welder error in action* (LWE) pada saat melakukan proses pengelasan. Setelah mengetahui frekuensi kejadian dari hasil NDT uji radiography, langkah selanjutnya adalah menghitung peluang kejadian dari data frekuensi yang telah didapat dengan *utilitas*/tahun dan jumlah *welder* yang digunakan. Ini bertujuan untuk mempermudah perhitungan peluang kegagalan setiap cacat las yang akan dilakukan selanjutnya. Tabel dibawah ini akan menjelaskan pengurutan identifikasi bahaya pada setiap cacat las yang terjadi.

Tabel 4. 1 Frekuensi kejadian cacat las las pada *tubular joint jacket* WHP-A berdasarkan uji NDT (PT PAL, 2005).



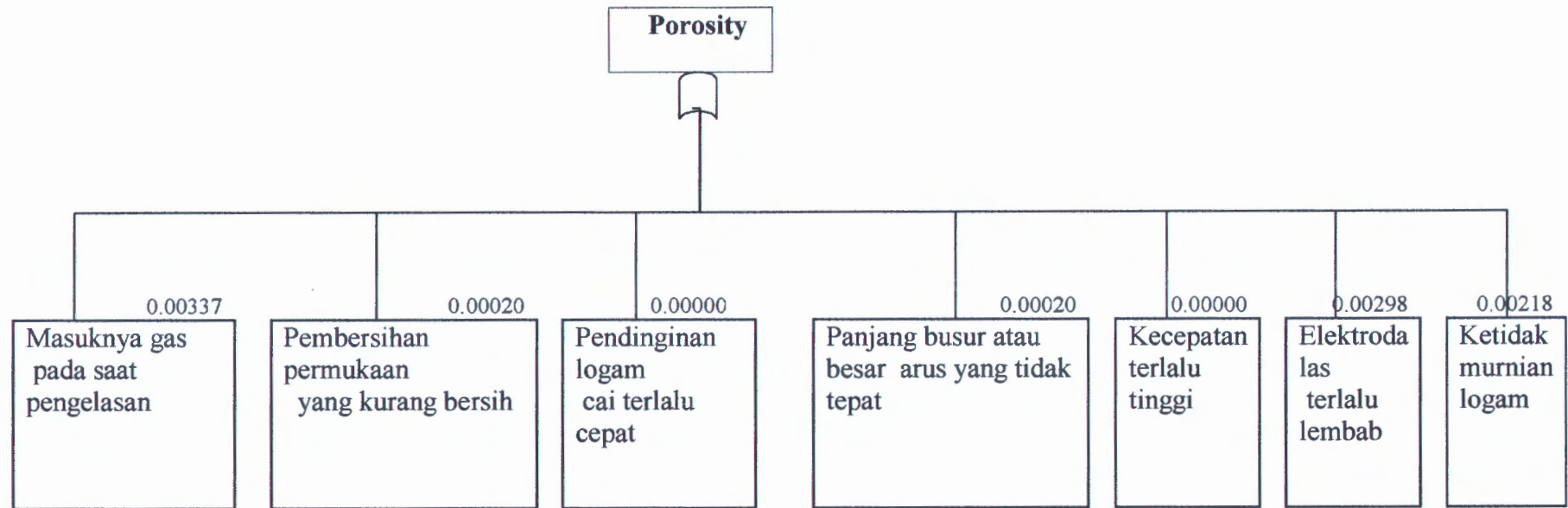
Tabel 4. 2 Peluang kejadian *porosity* pada *tubular joint jacket* WHP-A (PT PAL, 2005).

Jenis cacat las	Asumsi	Identifikasi bahaya	Frekuensi kejadian/ th	Utilitas/tahun	Jumlah welder	Peluang kejadian	<i>Likelihood welder error</i>
Porosity	1	Masuknya gas pada saat pengelasan	17	1680	3	0.00337	Persiapan
	2	Pembersihan permukaan yang kurang bersih	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	3	Pendinginan logam cair terlalu cepat	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	4	Panjang busur atau besar arus yang tidak tepat	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	5	Kecepatan terlalu tinggi	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	6	Elektroda las terlalu lembab	15	1680	3	0.00298	Persiapan
	7	Ketidak murnian logam seperti adanya phospor dan sulfur.	11	1680	3	0.00218	Persiapan
Total			45			LWE	0.1429

4.3 Analisa peluang kegagalan

Penyebab cacat las yang terjadi pada *tubular joint* dapat dihitung dengan mengetahui berapa kali penyebab tersebut terjadi dalam kisaran waktu 1 tahun. Data untuk menghitung peluang kejadian didapatkan berdasarkan observasi lapangan langsung dengan teknik wawancara ke beberapa *welder* yang melakukan pengelasan pada struktur *jacket* tersebut. Sehingga, setelah mengetahui masing-masing nilai peluang kejadian terhadap penyebab cacat las, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan peluang kegagalan dengan menggunakan teknik *fault tree analysis*. Pada kasus cacat las ini, hubungan *PRIME event* adalah *OR*, yang berarti bahwa salah satu saja penyebab harus terjadi agar cacat las tersebut dapat terjadi. Sehingga, yang dikalikan adalah peluang ketidakjadian (1-peluang kejadian) masing-masing kejadian di bawah gerbang *OR* tersebut. Hasil dari peluang kegagalan setiap cacat las disebut dengan *probability of failure occurring* (OCC). Gambar 4.3 merupakan contoh perhitungan peluang kegagalan terhadap cacat las *porosity* dengan menggunakan teknik FTA. Sedangkan untuk menghitung *probability of failure occurring* (OCC) untuk cacat las *porosity*, adalah

$$\begin{aligned} \text{OCC} &= 1 - [(1-0.00337)(1-0.00020)(1-0)(1-0.00020)(1-0)(1-0.00298)(1-0.00218)] \\ \text{OCC} &= 0.0089 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Perhitungan *Fault Tree Analysis* pada cacat las porosity.

4.4 Analisa Konsekuensi

Dalam penelitian ini analisis konsekuensi yang ditinjau hanya dari segi *financial*, sehingga langkah awal yang harus dikerjakan adalah mencari referensi harga seberapa besar rencana anggaran yang digunakan dalam pembiayaan perbaikan maupun penggantian bagian dari struktur yang mengalami cacat las. Dalam hal ini, analisis biaya yang dilakukan adalah menghitung konsekuensi pada saat proses perbaikan. Karena setelah proses fabrikasi *jacket* selesai, pada *joint-joint* yang dilas akan dilakukan uji NDT dengan menggunakan teknik radiography. Dari hasil test tersebut dapat diketahui apakah hasil pengelasan dapat disetujui (*acc*) atau perlu dilakukan perbaikan (*repair*) agar stuktur dapat beroperasi dengan baik. *Repair* dilakukan jika pada hasil uji NDT yang pertama ditemukan beberapa cacat las, seperti *porosity*, *slag inclusion*, *incomplete penetration* dan lain sebagainya. Sehingga, perlu dilakukan pengelasan ulang untuk memperbaiki bagian las yang mengalami cacat tersebut. Setelah itu dilakukan test NDT yang kedua dan masih terjadi cacat las, maka bagian tersebut harus *direpair* ulang sampai cacat las dapat dihilangkan. Maka dari itu, perlu adanya rencana tambahan biaya untuk perbaikan bagian las yang mengalami cacat. Untuk menghitung *consequency caused by failure* (CCF) maka biaya reparasi per cacat las dibagi dengan total biaya produksi pada saat fabrikasi *jacket*. Tabel 4.3 menunjukkan referensi harga yang diperlukan dalam proses perbaikan cacat las, yaitu :

Tabel 4.3 Referensi harga upah, daftar kebutuhan material, dan sewa peralatan (LPPM ITS, 2009).

No	Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Referensi atau Vendor
A	Perbaikan las			
	Mandor	Man Days	75,000.00	Tarif dari PT Ben Santosa
	Tukang Las bersertifikat (5G/6G)	Man Days	120,000.00	Tarif dari PT Ben Santosa
	Pembantu Tukang las	Man Days	45,000.00	Tarif dari PT Ben Santosa
	Pengatur Mekanik	Man Days	75,000.00	Tarif dari PT Ben Santosa
	Pekerja Mekanik	Man Days	60,000.00	Tarif dari PT Ben Santosa
	Kawat Las	Kg	22,500.00	UD. Norton Jl Dukuh Kupang XX22/16 Surabaya
	Batu Gerinda	Buah	15,000.00	UD. Norton Jl Dukuh Kupang XX22/16 Surabaya
	Sewa Mesin Las	Days	350,000.00	Tarif umum galangan kapal di Surabaya
	Sewa Mesin Gerinda	Days	75,000.00	Tarif umum galangan kapal di Surabaya
B	Radiography			
	Radiographer	Man Days	850,000.00	Tarif dari PT SUCOFINDO
	Operator	Man Days	600,000.00	Tarif dari PT SUCOFINDO
	Pemb. Operator	Man Days	150,000.00	Tarif dari PT SUCOFINDO
	Film	Pcs	35,000.00	UD. Norton Jl Dukuh Kupang XX22/16 Surabaya
	Kamera	Days	150,000.00	Tarif dari PT SUCOFINDO
	Dark Room & Proses	Days	2,000,000.00	Tarif dari PT SUCOFINDO

Tabel 4.4 Contoh perhitungan biaya analisa pekerjaan (LPPM ITS, 2009).

No	Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Upah	Material	Sewa Alat
1	Mengelas Pipa dia 1"						
	Mandor	0.010	Man Days	75,000.00	750.00		
	Pengatur I Mekanik	0.010	Man Days	75,000.00	750.00		
	Welder II	0.030	Man Days	120,000.00	3,600.00		
	Pembantu Tukang las	0.030	Man Days	45,000.00			
	Pekerja Mekanik	0.020	Man Days	60,000.00	1,200.00		
	Elektroda	0.100	Kg	22,500.00		2,250.00	
	Batu Gerinda	0.015	Pcs	15,000.00		225.00	
	Sewa Mesin Las	0.020	Days	350,000.00			7,000.00
	Sewa Mesin Gerinda	0.020	Days	75,000.00			1,500.00
	Banyak Pipa 1"	48			302,400.00	118,800.00	408,000.00
2	Radiography Pipa dia. 6"						
	Radiographer	0.067	Man Days	850,000.00	56,950.00		
	Operator	0.067	Man Days	600,000.00	40,200.00		
	Pemb. Operator	0.133	Man Days	150,000.00	19,950.00		
	Film	3.667	Pcs	35,000.00		128,345.00	
	Kamera	0.067	Days	150,000.00			10,050.00
	Dark Room & Proses	0.067	Days	2,000,000.00			134,000.00
	Banyak pipa 6"	48			5,620,800.00	6,160,560.00	6,914,400.00

Tabel 4.5 Rekapitulasi total biaya produksi fabrikasi jacket (PT PAL, 2005).

NO.	BUDGET PRODUKSI	Satuan	Nilai
1	Project Management Include : Rep. Office, Office Supply, Sewa Mobil, Adm Bank, Jaldis, Peralatan Kantor, Jaringan Internet, Telpon, Document Custom Clearence, Fabrication Insurance		
	Sub total	USD	70,000.00
2	Engineering		
	Engineering Service (Sub Contractor) Engineering Detail	USD	165,000.00
	- JO	USD	20,000.00
	- Drawing	USD	3,000.00
	- Jaldis ke JKT	USD	6,250.00
	Sub total	USD	194,250.00
3	WPS with PQR & Welding Per Certification	USD	4,000.00
4	Painting Mat	USD	64,000.00
5	Fitting	USD	8,000.00
6	Tubular Ø 24"	USD	161,471.43
7	Tubular Ø 46"	USD	161,957.14
8	Aluminium Anode	USD	12,000.00
9	Safety net	USD	995.00
10	Rubber Fender	USD	1,124.14
11	Electrode E7016-1 Lincoln Ø4=1000kg, Ø2.4=500kg	USD	2,580.65
12	Anti Seize for PWHT	USD	219.94
13	Batu Gerinda 4 X 3	USD	308.90
Total Biaya		USD	680,907.20

Tabel 4.6 Total biaya perbaikan cacat las *incomplete penetration*.

No	Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Upah	Material	Sewa Alat
A	Perbaikan las joint no 4503 J-64						
	Mandor	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.113	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.113	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.075	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.376147	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.056422	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.075	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.075	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	3			86,325.79	27,928.93	95,917.55
B	Radiography las joint no 4503 J-64						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4503 J-64	3			220,234.21	241,383.09	270,920.06
	Total Biaya				306,560.01	269,312.03	366,837.60
						Rp.	942,709.64
						USD	92.15

Tabel 4.7 Perhitungan *consequency caused by failure* (CCF)

No	Uraian Pekerjaan	Biaya	Konsekuensi
		USD	
A	Perbaiki las terhadap cacat porosity	2,464.42	0.00362
B	Perbaiki las terhadap cacat Incomplete fusion	215.02	0.00032
C	Perbaiki las terhadap cacat Slag inclusion	105.85	0.00016
D	Perbaiki las terhadap cacat Incomplete penetration	92.15	0.00014
E	Perbaiki las terhadap cacat Slag Lines	645.06	0.00095
Total Biaya		3,522.50	

4.5 Menentukan tingkat resiko

Setelah mengetahui besarnya nilai *likelihood welder error*, peluang kegagalan dan konsekuensi yang diakibatkan karena cacat las, langkah selanjutnya untuk perhitungan analisa resiko dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) adalah menghitung *Risk Priority Number* (RPN). Ini dimaksud untuk mengetahui model kegagalannya, dampak yang ditimbulkan akibat kegagalan, penyebab serta langkah mitigasi yang dilakukan pada masing-masing cacat las. Setelah dilakukan perhitungan RPN maka dapat diketahui tingkatan resiko pada setiap cacat las yang terjadi.

Tabel 4.8 Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN)

No.	Proses	Model kegagalan	Dampak kegagalan	Penyebab	Mitigasi	CCF	OCC	LWE	RPN	Rangking
1	Porosity	Aliran listrik mati, sehingga dari 3 aliran hanya 2 aliran yang digunakan.	Ketidak sinambungan akibat gas yang terperangkap selama proses pembekuan logam las.	Masuknya gas pada saat pengelasan	Menggunakan elektroda hidrogen rendah yang sebelum digunakan harus dikeringkan terlebih dahulu.	0.00362	0.0089	0.1429	4.6E-06	5
		Logam induk dan logam las mengandung kotoran. Serta, batu gerinda tidak diganti setiap panjang pengelasan 75cm dan ketebalan 30 mm.	Terjadi lubang halus pada <i>base metal</i> akibat terdapat kotoran pada permukaan pada saat proses pengelasan.	Pembersihan permukaan kurang bersih.	Membersihkan terak dari lapisan sebelumnya dan daerah di sekitar pengelasan. Serta disiplin dalam penggantian batu gerinda.					
		Kawah las cepat membeku sebelum gas-gas keluar dari cairan las.	Gas yang terperangkap di dalam kawah las dapat menyebabkan lubang halus.	Pendinginan logam cair terlalu cepat.	<i>Heat input per area</i> harus seimbang karena mempengaruhi kecepatan pembekuan terak las.					
		Nyala busur lebih dari 3 mm, elektroda pembungkus ikut melebur.	Bila jarak terlalu jauh pengaruh gas pelindung hilang dan akan terjadi rongga halus.	Panjang busur atau besar arus yang tidak tepat.	Panjang busur harus sama dengan diameter kawat. Sehingga, harus memilih elektroda yang tepat.					

		Manik menyempit	Oksigen atau hidrogen ikut masuk pada saat peleburan terak.	Kecepatan terlalu tinggi	Kurangi kecepatan pengelasan sehingga gas pelindung dapat berfungsi dengan baik.					
		Terdapat uap air dalam elektroda.	Elektroda type E7016 lebih banyak menyerap kotoran dibandingkan dengan type elektroda yang lain.	Elektroda las terlalu lembab.	Sebelum dipakai dipanaskan dahulu dengan suhu antara 200°C s/d 260°C, serta disimpan pada temperatur 54°C s/d 165°C sekurangnya selama 8 jam.					
		Logam induk mengandung terlalu banyak belerang.	Elemen kimia yang terkandung dapat menyebabkan hot crack	Ketidak murnian logam.	Menggunakan elektroda hidrogen rendah.					

Berikut ini adalah tabel sebab dan akibat yang terjadi akibat cacat las, beserta rencana mitigasi yang dilakukan terhadap cacat tersebut, yaitu

Tabel 4.9 Sebab akibat cacat las dan rencana mitigasi

No	Proses	Dampak kegagalan	Penyebab	Mitigasi
1	<i>Porosity</i>	Ketidak sinambungan akibat gas yang terperangkap selama Proses pembekuan logam las.	Masuknya gas pada saat pengelasan	Menggunakan elektroda hidrogen rendah dan dikeringkan sebelum digunakan.
		Terjadi lubang halus pada <i>base metal</i> akibat terdapat kotoran	Pembersihan permukaan kurang bersih.	Membersihkan terak dari lapisan sebelumnya dan daerah di sekitar pengelasan. Serta, Disiplin dalam penggantian batu gerinda.
		Bila jarak terlalu jauh pengaruh gas pelindung hilang dan akan terjadi rongga halus	Panjang busur atau besar arus yang tidak tepat.	Panjang busur harus sama dengan diameter kawat. Sehingga, harus memilih elektroda yang tepat.
		Oksigen atau hidrogen ikut masuk pada saat peleburan terak	Kecepatan terlalu tinggi	Kurangi kecepatan pengelasan sehingga gas pelindung dapat berfungsi dengan baik.
		Elektroda type E7016 lebih banyak menyerap kotoran dibandingkan dengan type elektroda yang lain.	Elektroda las terlalu lembab.	Sebelum dipakai dipanaskan dahulu dengan suhu antara 200°C s/d 260°C, serta disimpan pada temperatur 54°C s/d 165°C sekurangnya

				selama 8 jam.
		Elemen kimia yang terkandung dapat menyebabkan hot crack	Ketidak murnian logam.	Menggunakan elektroda hidrogen rendah
		Gas yang terperangkap di dalam menyebabkan lubang halus.	Pendinginan logam cair terlalu cepat.	<i>Heat input per area</i> harus seimbang
		Penggabungan antara <i>weld metal</i> dan <i>base metal</i> tidak sempurna.	<i>Base metal</i> kotor.	Permukaan metal harus digerinda lebih dahulu (<i>mill scale</i>).
2	<i>Incomplete fusion</i>	<i>Filler metal</i> tidak melebur secara sempurna.	Jalannya elektroda terlalu cepat.	Menggunakan arus yang rendah, dan saat pengayunan, berhenti sebentar pada setiap titik
		Menghasilkan deposit las yang tinggi.	Suhu <i>metal</i> terlalu dingin.	Melakukan pemanasan awal dan menggunakan elektroda hidrogen rendah.
		Penggabungan antara <i>weld metal</i> dan <i>base metal</i> tidak sempurna.	Arus terlalu rendah.	Dengan membesarkan arus.
		Memperlemah sambungan antara <i>base metal</i> nya.	Perencanaan sambungan salah.	Persiapan sambungan yang baik.
		<i>Weld metal</i> dan <i>base metal</i> tidak dapat bergabung dengan sempurna.	Elektroda terlalu besar.	Harus disesuaikan dengan arus las dan usahakan menggunakan elektroda yang lebih kecil.

		Tidak menyebabkan fusi.	Sudut elektroda yang tidak tepat.	Seharusnya sudut yang digunakan sebesar 70°-80°.
		Untuk pengelasan sambungan pendek jangan menggunakan arus searah karena terjadi ledakan busur pada akhir pengelasan.	Penggunaan polaritas salah.	Menggunakan DCEP pada awal pengelasan.
		Terak las tertimbun pada lapisan berikutnya.	Terdapat kotoran pada logam las.	Saat menggerinda harus lebih bersih lagi dan disikat dengan sikat baja.
3	<i>Slag inclusion</i>	Cairan tidak terisi penuh sehingga meninggalkan slag.	Diameter terlalu besar.	Harus disesuaikan dengan arus las dan usahakan menggunakan elektroda yang lebih kecil.
		Terbentuk ruang kosong yang akan diisi slag.	Sudut tidak tepat.	Kawat las menghadap searah dengan gerakan maju pengelasan, serta perkecil sudut elektroda dengan base metal.
		Penguatan manik rendah.	Arus yang digunakan terlalu kecil.	Arus las yang digunakan harus sesuai.
		Terak las sempat membeku pada ayunan elektroda kembali dan terjadi lubang halus yang	Metode gerakan elektroda kurang baik.	jika ayunan terlalu lebar.
		Terak las tertimbun.	Kecepatan pengelasan tidak kontinu.	Usahakan terak las jangan sampai mendahului gerakan busur listrik.

4	<i>Incomplete penetration</i>	Tidak dapat melebur dengan baik akibat terdapat kotoran.	Kotor pada <i>root face</i> .	Saat menggerinda harus lebih bersih lagi dan disikat dengan sikat baja.
		Berkurangnya penetrasi	Diameter terlalu besar.	Memilih dan mengganti elektroda dengan diameter yang cocok.
		Banyak rongga halus dan sifat- sifat mekanis menurun	<i>Heat input</i> terlalu rendah.	Melakukan pemanasan awal dan menggunakan elektroda hidrogen rendah.
		Penetrasi dangkal	Kecepatan terlalu tinggi.	Pengaturan kecepatan yang tepat.
		Jarak yang jauh menyebabkan kawat bergetar	Posisi elektrode terlalu tinggi.	Sesuaikan panjang busur
		awat las tidak dapat menembus karena jarak <i>root</i> sempit, menyebabkan kurangnya. Penetrasi	Jarak terlalu kecil.	Menentukan bukaan <i>base metal</i> yang teliti atau <i>clearance</i> yang tepat.
5	<i>Slag lines</i>	Manik tidak penuh, sehingga penguatan manik kurang baik	Bentuk alur las yang cembung	Besarkan arus dan kurangi kecepatan elektroda.
		Menyebabkan tidak meratanya manik, sehingga terak dapat terjebak.	Arus pengelasan terlalu rendah	<i>Heat input per area</i> harus seimbang, karena mempengaruhi kecepatan pembekuan terak las.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari proses analisa resiko yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan *likelihood welder error in action* (LWE), sebagai berikut :
 - *Porosity* dengan sebesar 0.1429.
 - *Incomplete fusion* sebesar 0.2222.
 - *Slag inclusion* sebesar 0.3333.
 - *Incomplete penetration* sebesar 0.2500.
 - *Slag lines* sebesar 0.3333.
2. Dengan menggunakan teknik *Fault Tree Analysis*, maka didapatkan peluang kegagalan (OCC), untuk masing-masing cacat las sebagai berikut :
 - *Porosity* dengan peluang kegagalan sebesar 0.0089
 - *Incomplete fusion* dengan peluang kegagalan sebesar 0.0004
 - *Slag inclusion* dengan peluang kegagalan sebesar 0.0006
 - *Incomplete penetration* dengan peluang kegagalan sebesar 0.0002
 - *Slag lines* dengan peluang kegagalan sebesar 0.0014
3. Analisis biaya perbaikan pada *joint* yang mengalami cacat las, antara lain :
 - *Porosity* dengan analisis biaya perbaikan sebesar USD 2,464.42.
 - *Incomplete fusion* dengan analisis biaya perbaikan sebesar USD 215.02.
 - *Slag inclusion* dengan analisis biaya perbaikan sebesar USD 105.85.

- *Incomplete penetration* dengan analisis biaya perbaikan sebesar USD 92.15.
- *Slag lines* dengan analisis biaya perbaikan sebesar USD 645.06.

4. Hasil perhitungan *consequency caused by failure* (CCF), sebagai berikut

- *Porosity* sebesar 0.00362
- *Incomplete fusion* sebesar 0.00032
- *Slag inclusion* sebesar 0.00016
- *Incomplete penetration* sebesar 0.00014
- *Slag lines* sebesar 0.00095

5. Setelah mengetahui nilai *LWE*, *OCC*, *CCF* maka dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* *RPN* untuk mengetahui tingkatan resiko yang terjadi, maka dapat diketahui hasilnya sebagai berikut :

- *Porosity* sebesar 4.60237E-06, termasuk dalam tingkat resiko tinggi.
- *Incomplete fusion* 2.78442E-08, termasuk dalam tingkat resiko menengah.
- *Slag inclusion* 3.08374E-08, termasuk dalam tingkat resiko menengah.
- *Incomplete penetration* 6.7E-09, termasuk dalam tingkat resiko rendah.
- *Slag lines* 4.38453E-07, termasuk dalam tingkat resiko tinggi.

5.2 Saran

Ada beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk memperbaiki Tugas Akhir ini, antara lain :

1. Dalam pengerjaan analisa berikutnya perlu ketersediaan data-data teknik, serta kondisi operasi yang lebih aktual sehingga hasil penentuan resiko akan lebih akurat.
2. Perlu dilakukan analisa resiko lebih lanjut untuk mengetahui perencanaan inspeksi yang meliputi jenis inspeksi, frekuensi inspeksi dan luas area

inspeksi. Program inspeksi dengan skala prioritas berdasar resiko tertinggi berkala dan dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama terutama pada peralatan yang beroperasi pada tekanan dan temperatur tinggi untuk menjaga agar peralatan yang dianalisis selalu dalam kondisi aman dan terkendali. Dengan kondisi tersebut diharapkan tidak pernah terjadi kondisi membahayakan bagi lingkungan kerja maupun lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2003. **Surveys Using Risk-Based Inspection for The Offshore Industry.**
- Andrews J.D., dan S.J. Dunnett. 2009. "Event Tree Analysis Using Binary Decision Diagrams". [Http://www. google.com](http://www.google.com), 21 Januari.
- API 581. 2000. **Risk-Based Inspection Base Resource Document.**
- ASME IX. 2001. **Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators.**
- Ayyub, Bilal M. 2000. **Risk Analysis in Engineering an Economics.** Chapman & Hall/CRC.
- Ega. 2009. "BAB 6 Manajemen Resiko". [Http://ega.staff.gunadarma.ac.id](http://ega.staff.gunadarma.ac.id), 27 Januari.
- Hadi, Moch. Zen S. 2008. "Materi VI Diagram Sebab Akibat Diagram Pareto". [Http://www. google.com](http://www.google.com), 21 Januari.
- Hidayat, M.Nur. 2006. "Analisa Pengaruh Cacat Las Pada Sambungan Pipa Bawah Laut (*Girth Weld*) Dengan Mengaplikasikan *Failure Analysis Diagram* (Fad)". **Tugas Akhir**, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Irwpmmi. 2007. "Mengerti dengan benar 7 QC Tools dan 7 Management Tools (New 7 Tools)".

Jadmiko, E., dan K.B. Artana. 2007. "Penilaian Resiko Pada Offshore Pipeline Amerada HESS (Indonesia-Pangkajene) Limited". **Jurnal Teknologi Permesinan Bangunan Laut MARINE** 3: 215-225.

Juniani, A.I., Lukman Handoko, dan C.A. Firmansyah. 2008. "Perbaikan desain tempat kerja pada proses pengelasan SMAW melalui pendekatan AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dan analisis ergonomi di bengkel las, PPNS-ITS". [Http://andaiviana.files.wordpress.com](http://andaiviana.files.wordpress.com), 24 Februari.

Kristiansen, S. 2004. **MARITIME TRANSPORTATION : Safety Management and Risk Analysis**. Butterworth-Heinemann.

Negara, A. 2009. "Analisa Ketebalan Pipa Bawah Laut Dan Resiko Akibat Kejatuhan Jangkar Kapal : Studi Kasus Pipa Ujung Pangkah". **Tugas Akhir**, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.

Pendidikan dan pelatihan inspektur las (welding inspector). 1990. **Teknologi las busur listrik elektroda terbungkus (SMAW)**. Pusdiklat PT PAL Indonesia.

Prastianto, R.W. 2003. "Studi Faktor konsentrasi tegangan Sambungan Turbular-T Penampang Bujur Sangkar Akibat Beban kombinasi Aksial dan Bending". **Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2003**, Surabaya.

Rosdiansyah, D.A. 2008. "Analisa Pengelasan Fillet Aluminium 5083 dengan Aluminium 6082 Menggunakan Elektroda ER 5356 dengan Metoda Pengelasan GMAW". **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.

Rosyid, D.M.. 2007. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Surabaya : Airlangga University Press.

Sonawan, Hery., dan Rochim Suratman. 2004. **Pengantar untuk memahami proses pengelasan logam**. Bandung : Penerbit Alfabeta.

Suryono, Fajar. 1995. "Pengaruh Misalignment terhadap Kekuatan Kelelahan pada Pengelasan Tumpul". **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya.

Tambunan. 2008. "Keselamatan dan Kesehatan Kerja". [Http://www.freewebs.com](http://www.freewebs.com), 27 Desember.

Uneputty, Veralin J.R. 1998. "Studi Faktor Konsentrasi Tegangan pada Tubular T-Joint Berpenegar Cincin Luar dengan Menggunakan Metode Numerik". **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.

UPD-RG-W1-CS-PR-8017. 2006. **Welding Joint Number Procedure Rev.0**. PT PAL (PERSERO), Indonesia.

UPD-RG-W1-SJ-DR-4502&4503 (8112-2). 2006. **NDE MAP Attachment Dwg**. PT PAL (PERSERO), Indonesia.

Wiryosumarto, H., dan Toshie Okumura. 2004. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta : Penerbit PT Pradnya Paramita.

Yudhistira., Daniel M. Rosyid, dan Murdjito. 2007. "Analisa Ultimate Strength Struktur Jacket LWA Berbasis resiko dengan MicroSAS". **Jurnal Teknologi Kelautan** 11: 49-56.

LAMPIRAN A
REKAPITULASI HASIL UJI
RADIOGRAPHY JACKET WHP-A

**SUMMARY OF RADIOGRAPHY EXAMINATION REPORT
FOR**

JACKET ELEVATION ROW A,B and ROW 1,2

SECRET ELEVATION ROW 45 AND ROW 1,2																																
No	JOINT NO.	LENGTH WELD	JLH FILM	P.N	SHOOT I			SHOOT II			SHOOT III			SHOOT IV			SHOOT V			SHOOT VII			RESULT			DEFECT OF REPAIR						
					Date	Report No.	Result	Date	Report No.	Result	Date	Report No.	Result	Date	Report No.	Result	Date	Report No.	Result	Date	Report No.	Result	ACC	REP.	R/S	CR	IP	UC	IF	SL	SI	P
1	4502 J-1	300	1	0-1	10-03-06	95/RT/06																	1									
		300	1	1-2	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	2-3	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	3-4	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	4-5	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	5-6	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	6-7	10-03-06	95/RT/06	REP	26-03-06	119/RT/06	ACC												1	1									
		300	1	7-8	10-03-06	95/RT/06	REP	26-03-06	119/RT/06	ACC												1	1									
		300	1	8-9	10-03-06	95/RT/06	REP	26-03-06	119/RT/06	ACC												1	1									
		300	1	9-10	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	10-11	10-03-06	95/RT/06																1										
		300	1	11-0	10-03-06	95/RT/06																1										
2	4502 J-2	300	1	0-1	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	1-2	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	2-3	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	3-4	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	4-5	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	5-6	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	6-7	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	7-8	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	6-9	26-03-06	122/RT/06	REP	14-04-06	131/RT/06	ACC												1	1									
		300	1	9-10	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	10-11	26-03-06	122/RT/06																1										
		300	1	11-0	26-03-06	122/RT/06																1										
3	4502 J-3	300	1	0-1	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	1-2	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	2-3	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	3-4	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	4-5	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	5-6	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	6-7	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	7-8	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	8-9	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	9-10	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	10-11	10-03-06	93/RT/06																1										
		300	1	11-0	10-03-06	93/RT/06																1										
4	4502 J-4	300	1	0-1	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	1-2	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	2-3	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	3-4	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	4-5	10-03-06	94/RT/06	REP	26-03-06	119/RT/06	ACC												1	1									
		300	1	5-6	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	6-7	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	7-8	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	8-9	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	9-10	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	10-11	10-03-06	94/RT/06																1										
		300	1	11-0	10-03-06	94/RT/06																1										
5	4502 J-5	300	1	0-1	13-03-06	98/RT/06							18-06-06	174/RT/06	ACC							1										
		300	1	1-2	13-03-06	98/RT/06							18-06-06	174/RT/06	ACC							1										
		300	1	2-3	13-03-06	98/RT/06							18-06-06	174/RT/06	ACC							1										
		300	1	3-4	13-03-06	98/RT/06							18-06-06	174/RT/06	ACC							1										
		300	1	4-5	13-03-06	98/RT/06	REP	04-05-06	142/RT/06	ACC			18-06-06	174/RT/06	ACC							1	1									
		300	1	5-6	13-03-06	98/RT/06							18-06-06	174/RT/06	ACC							1										
		300	1	6-7	13-03-06	98/RT/06							18-06-06	174/RT/06	ACC							1										
		300	1	7-8	13-03-06	98/RT/06	REP	04-05-06	142/RT/06	ACC			18-06-06	174/RT/06	ACC																	

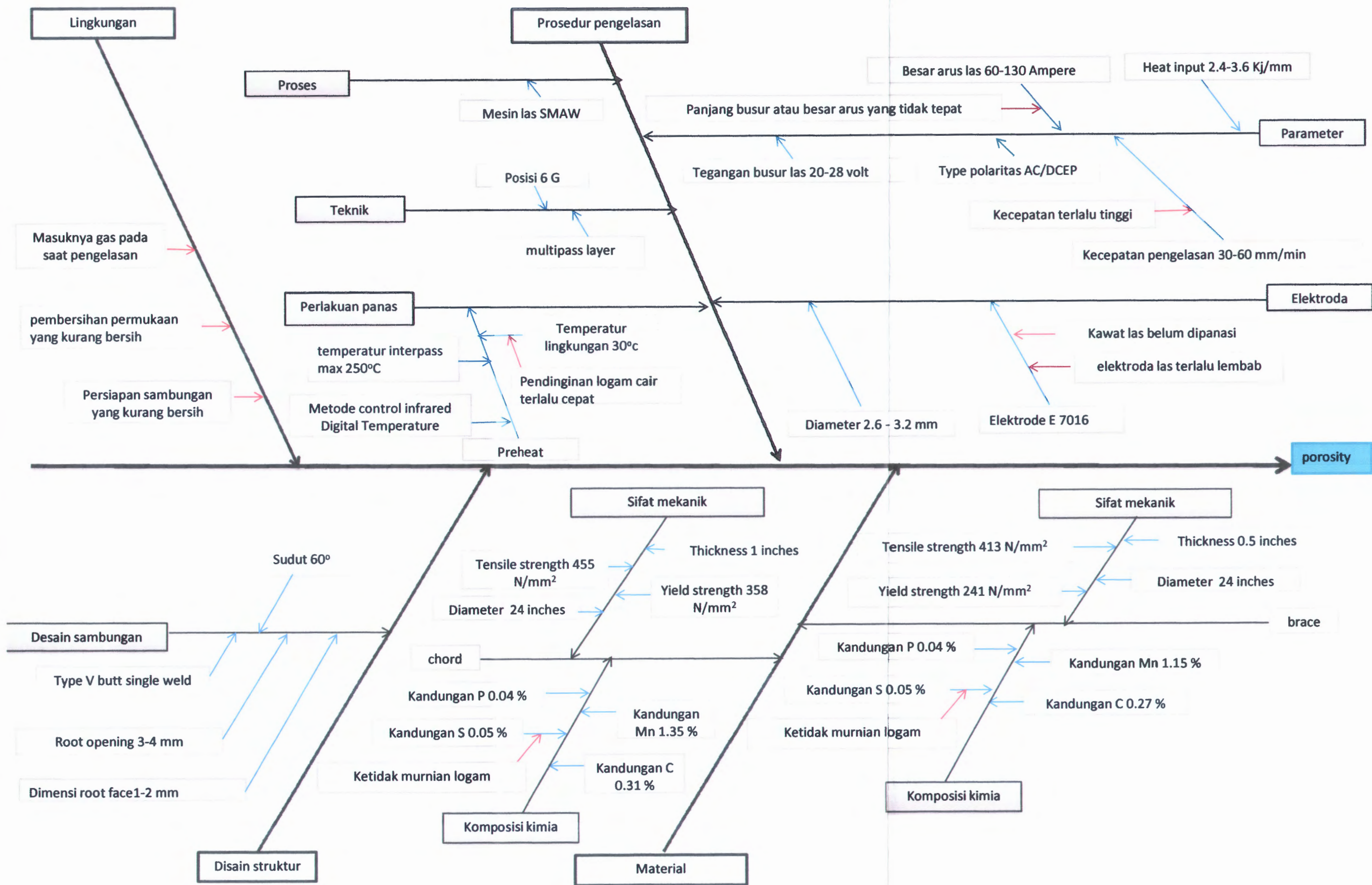
[illegible]

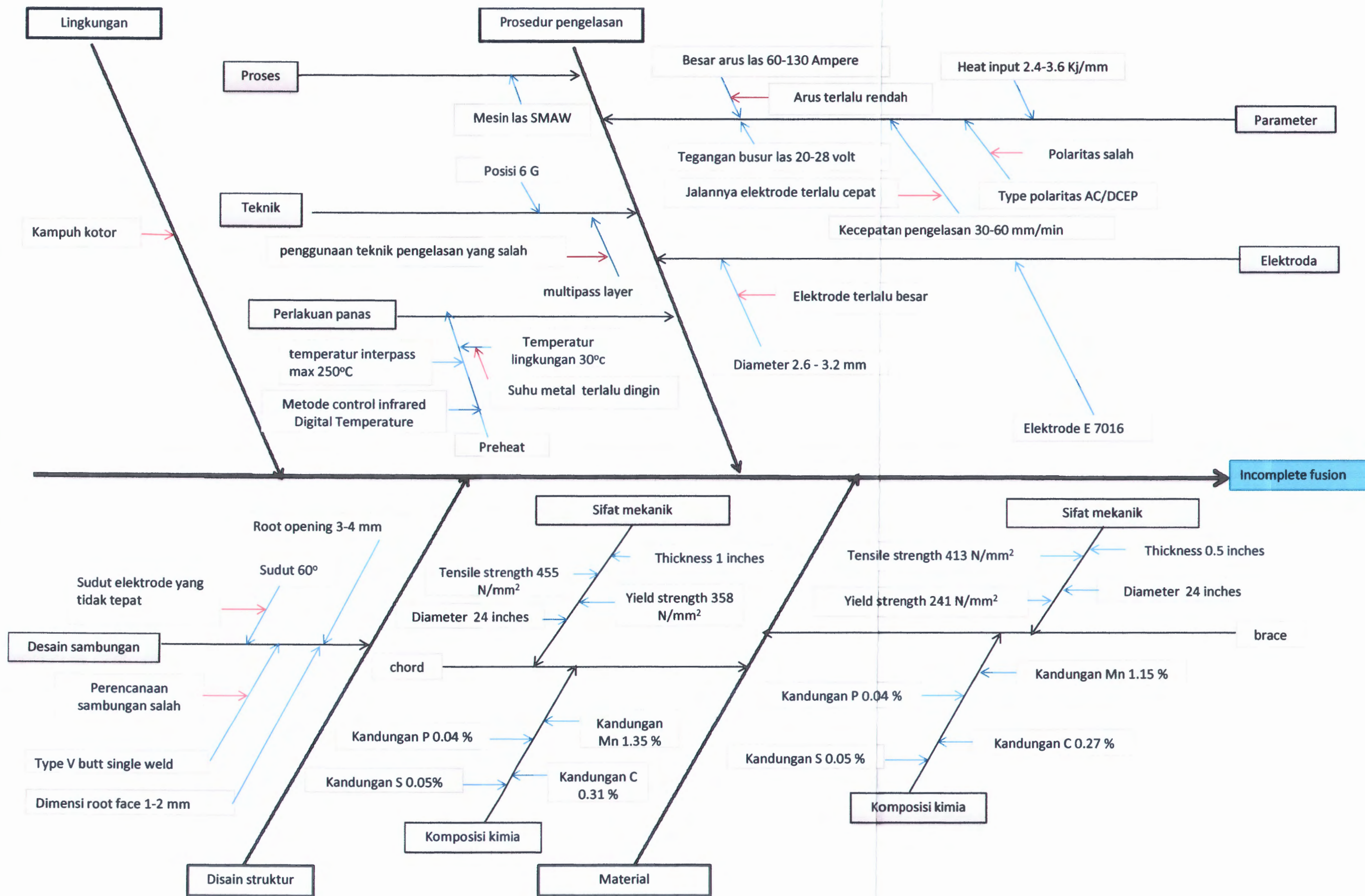
[illegible]

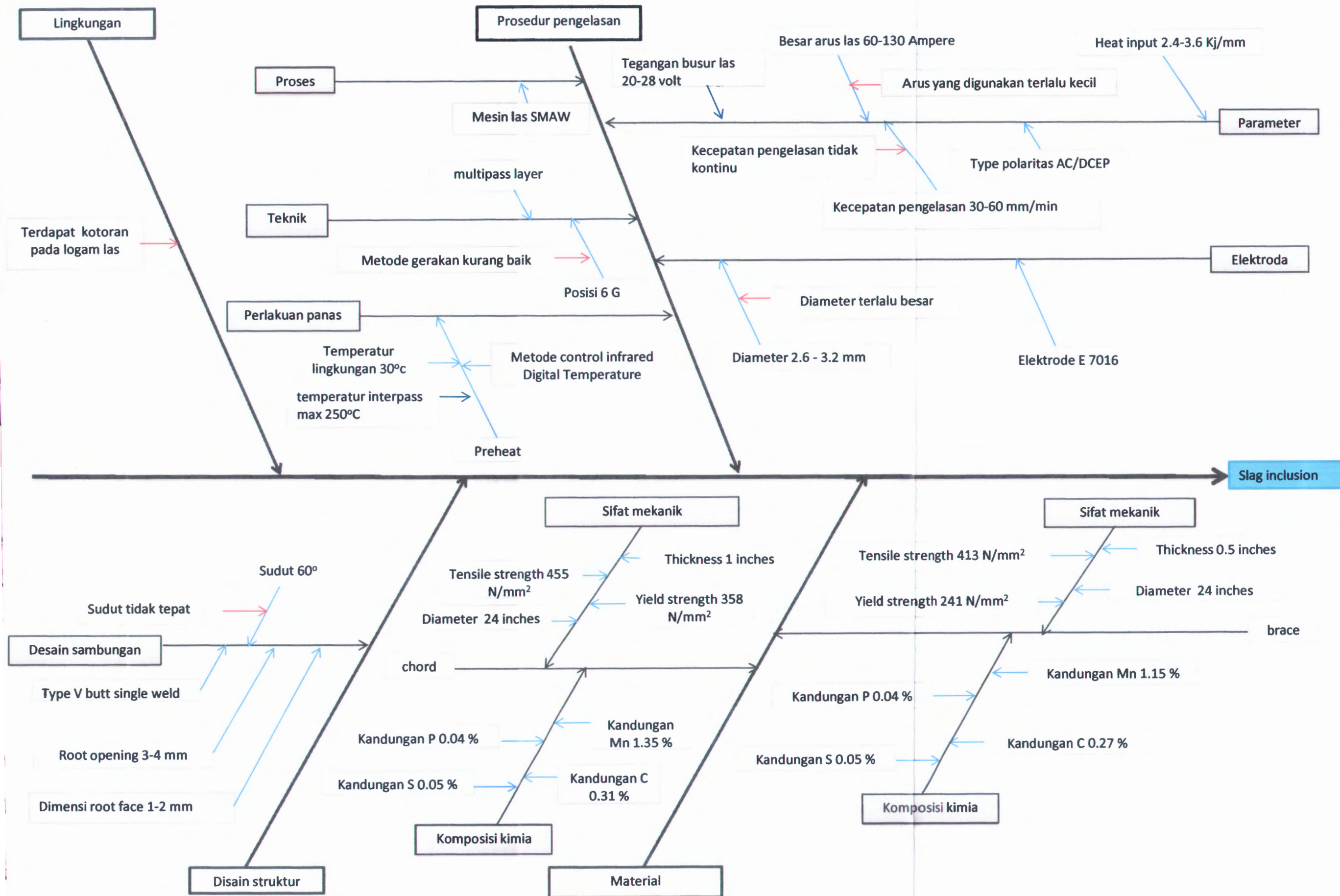
LAMPIRAN B

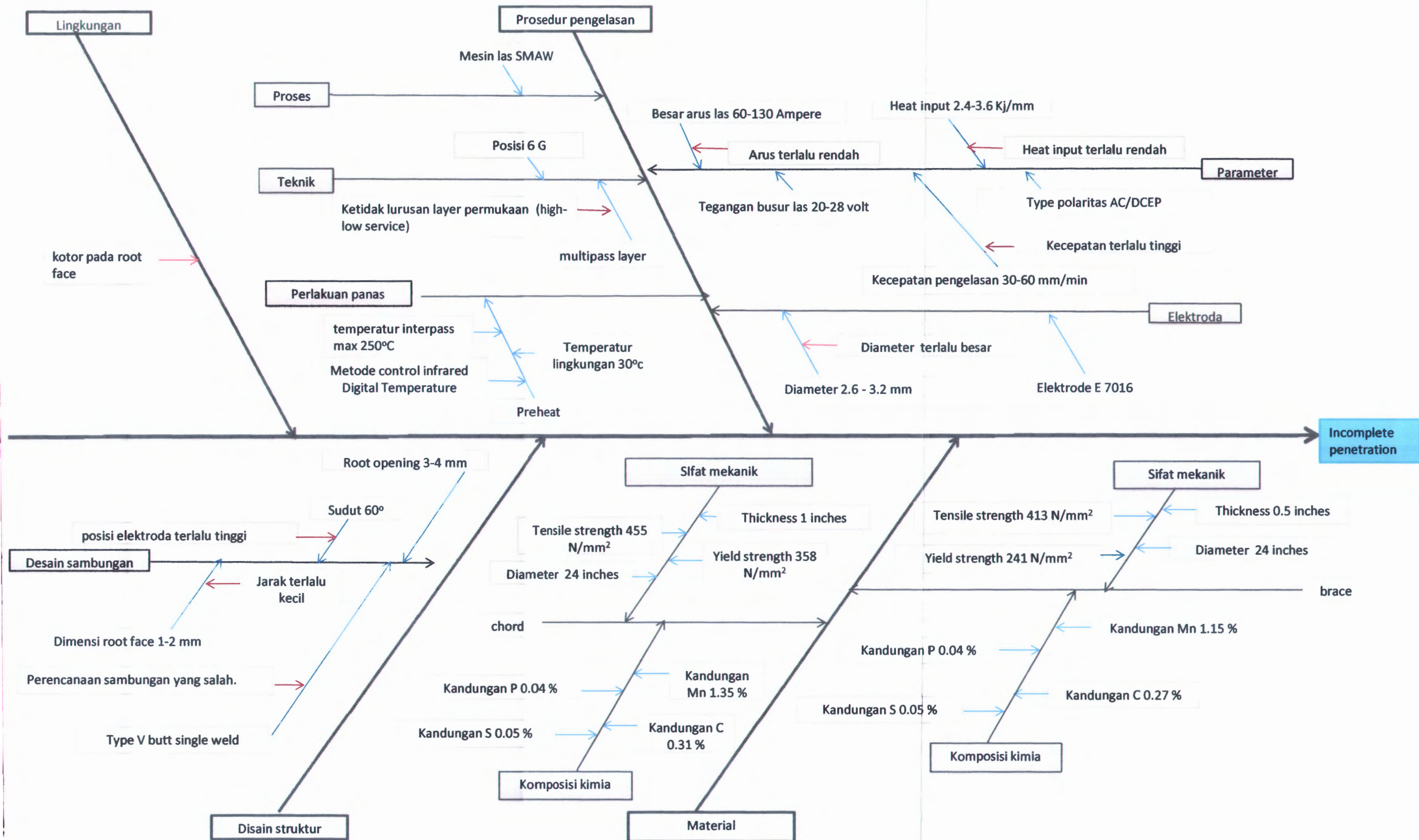
DIAGRAM *ISHIKAWA* CACAT LAS

UNTUK PAL GE-92-PQR



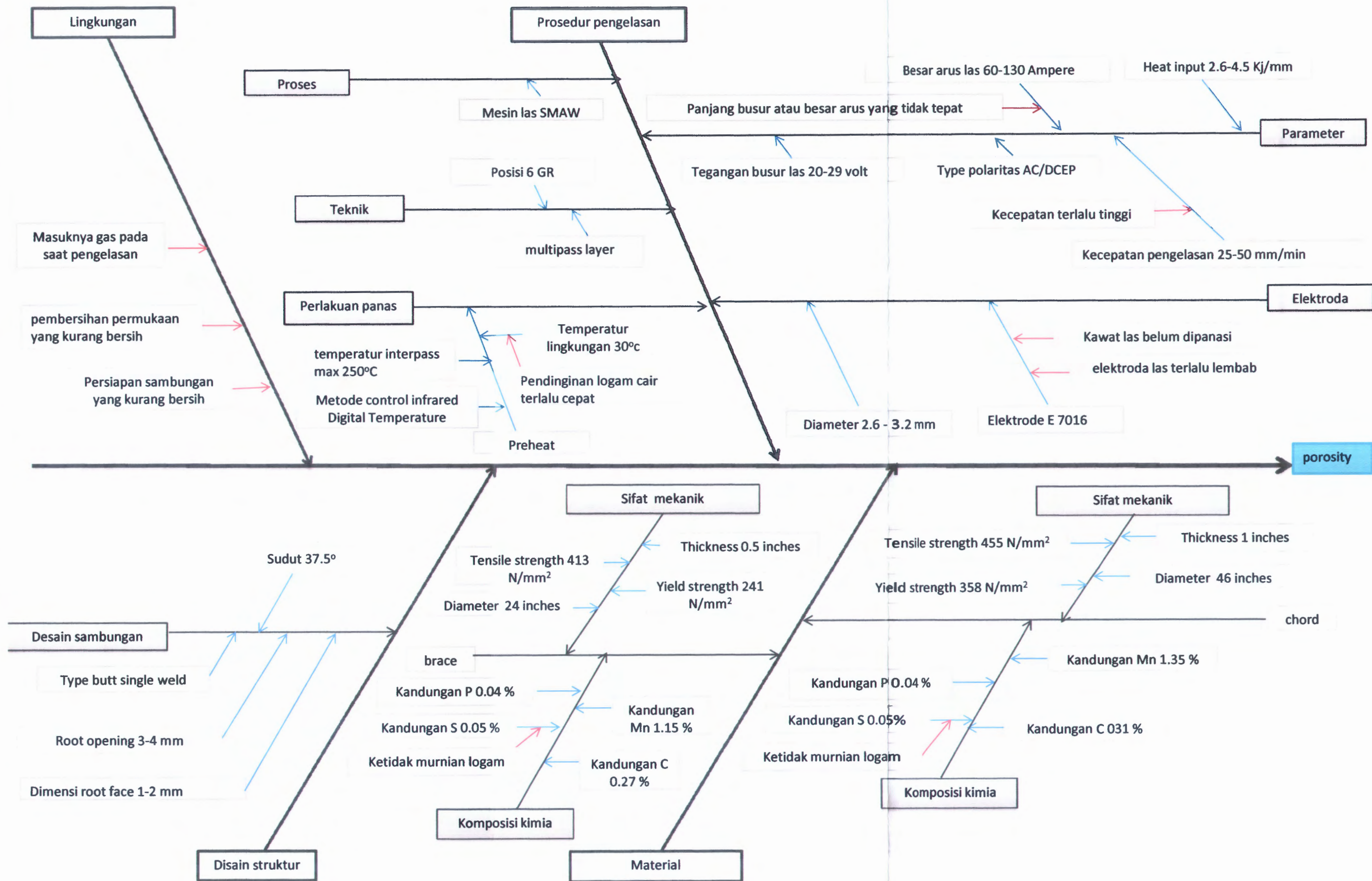


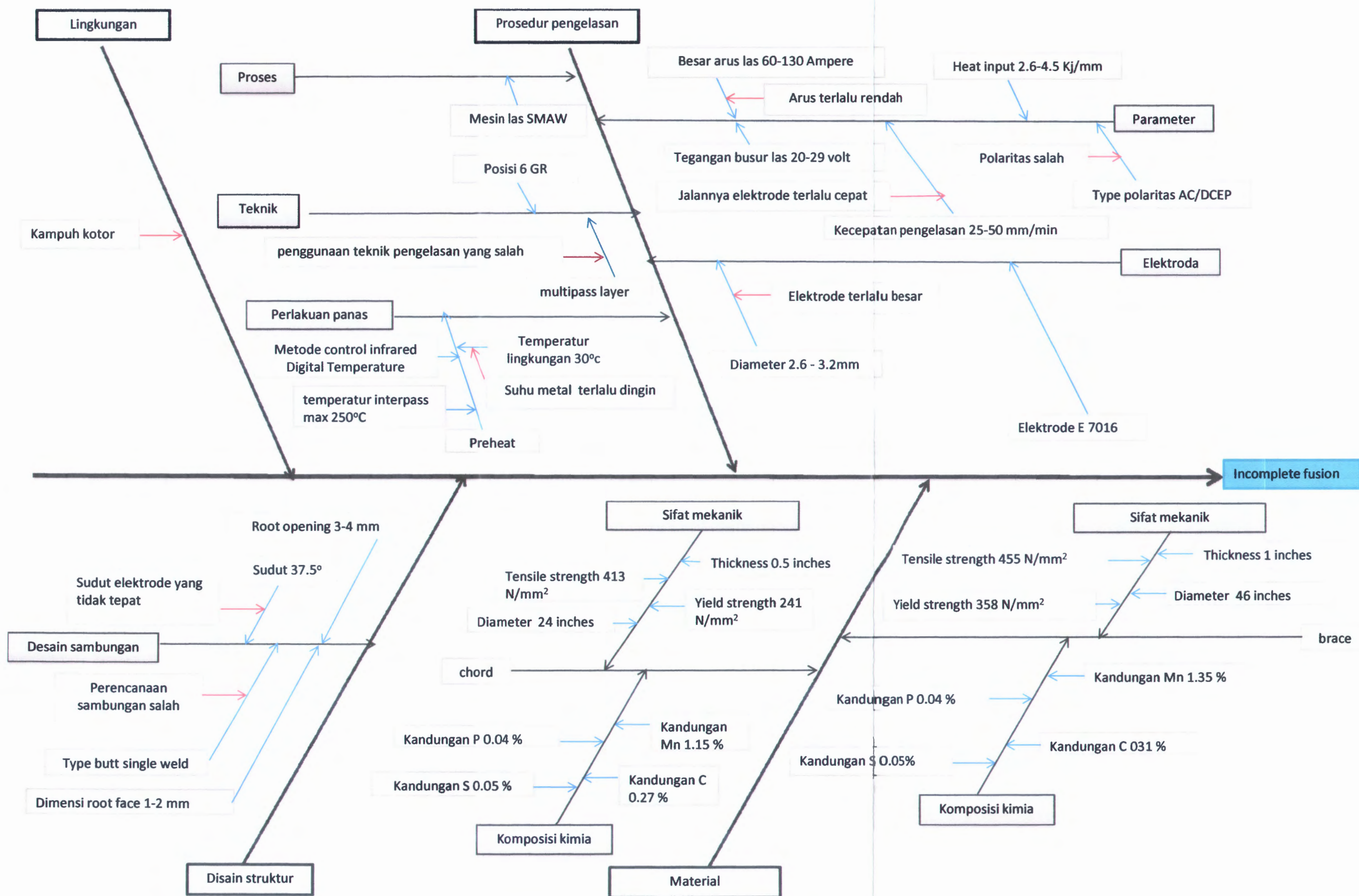


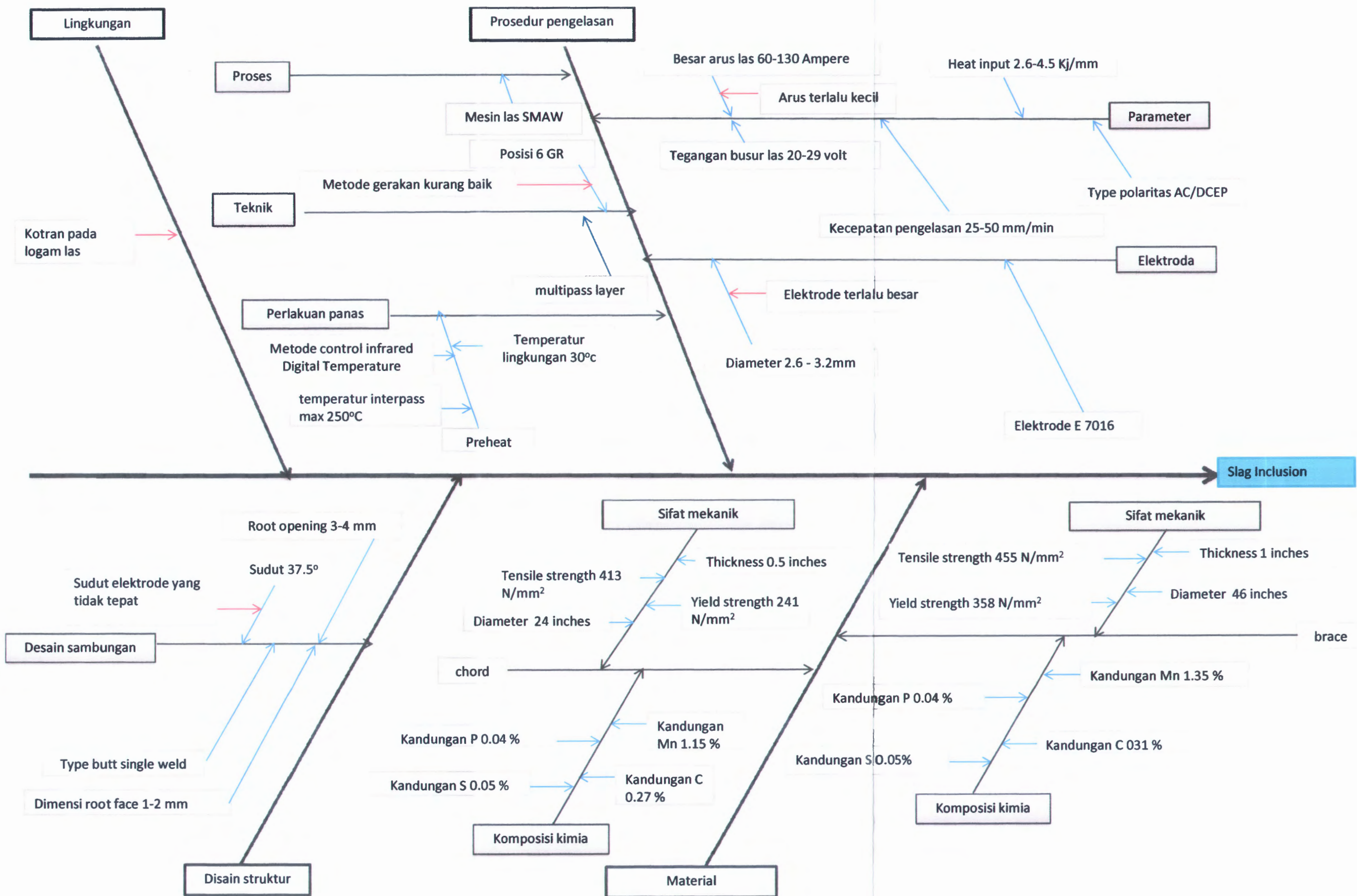


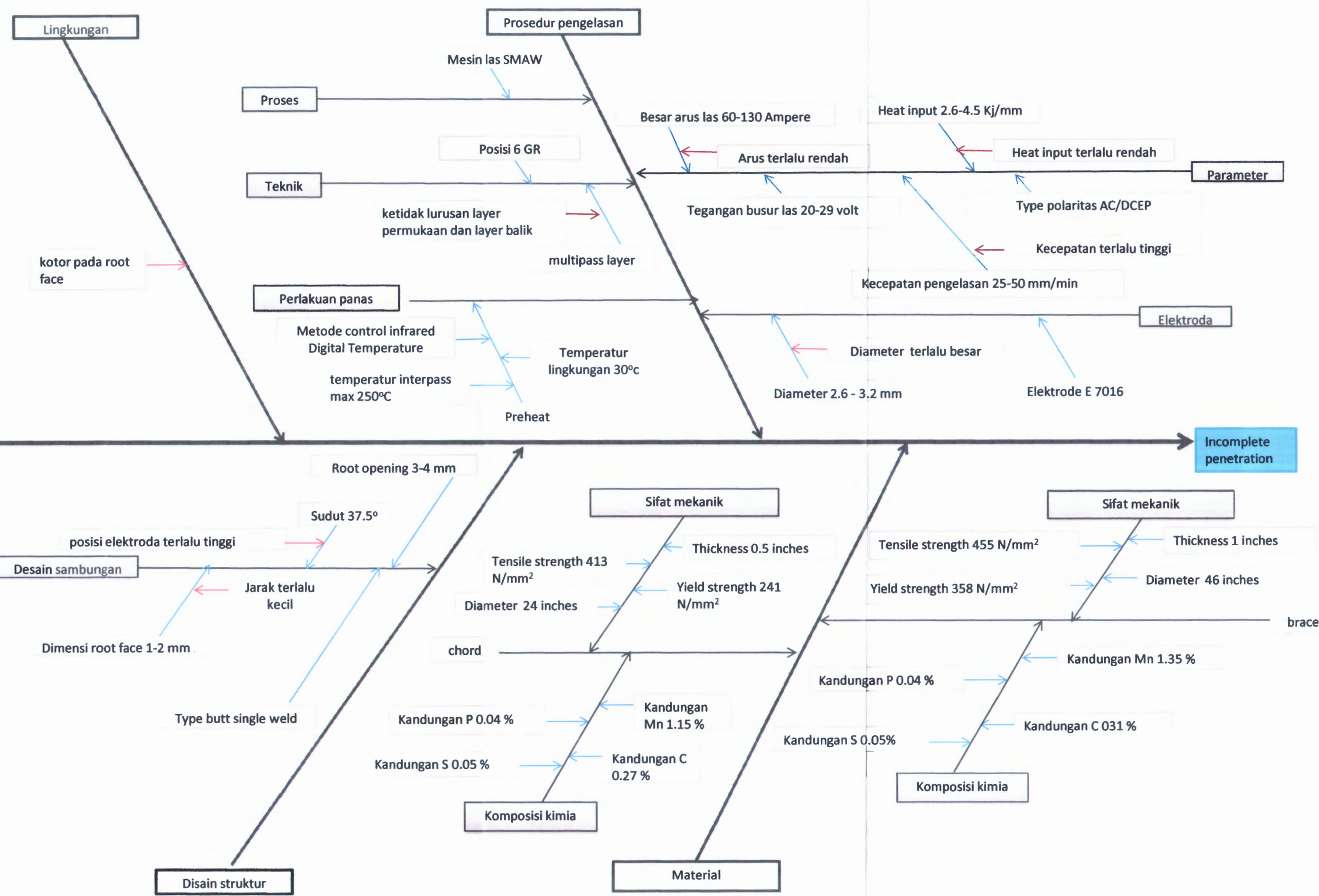
LAMPIRAN C

DIAGRAM *ISHIKAWA* CACAT LAS UNTUK PAL GE-93-PQR









LAMPIRAN D

PELUANG KEJADIAN CACAT LAS

PADA *TUBULAR JOINT JACKET*

WHP-A

Jenis cacat las	Asumsi	Identifikasi bahaya	Frekuensi kejadian/ th	Utilitas/th	Jumlah welder	Peluang kejadian	Likelihood welder error
Porosity	1	Masuknya gas pada saat pengelasan	17	1680	3	0.00337	Persiapan
	2	Pembersihan permukaan yang kurang bersih	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	3	Pendinginan logam cair terlalu cepat	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	4	Panjang busur atau besar arus yang tidak tepat	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	5	Kecepatan terlalu tinggi	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	6	Elektroda las terlalu lembab	15	1680	3	0.00298	Persiapan
	7	Ketidak murnian logam seperti adanya phospor dan sulfur.	11	1680	3	0.00218	Persiapan
Total			45			LWE	0.1429

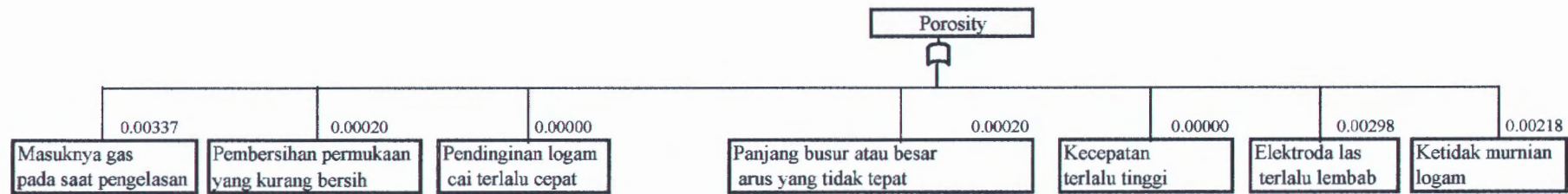
Jenis cacat las	Asumsi	Identifikasi bahaya	Frekuensi kejadian/ th	Utilitas/th	Jumlah welder	Peluang kejadian	Likelihood welder error
Incomplete fusion	1	Kampuh kotor	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	2	Penggunaan teknik pengelasan yang salah	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	3	Suhu metal terlalu dingin	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	4	Arus terlalu rendah	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	5	Jalannya elektrode terlalu cepat	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	6	Elektrode terlalu besar	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	7	Sudut elektrode yang tidak tepat	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	8	Perencanaan sambungan salah	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	9	Penggunaan polaritas salah	0	1680	3	0.00000	Persiapan
Total			2			LWE	0.2222

Jenis cacat las	Asumsi	Identifikasi bahaya	Frekuensi kejadian/ th	Utilitas/th	Jumlah welder	Peluang kejadian	Likelihood welder error
Slag inclusion	1	Terdapat kotoran pada logam las	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	2	Diameter terlalu besar	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	3	Sudut tidak tepat	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	4	Arus yang digunakan terlalu kecil	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	5	Metode gerakan elektrode kurang baik	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	6	Kecepatan pengelasan tidak kontinu	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
Total			3			LWE	0.3333

Jenis cacat las	Asumsi	Identifikasi bahaya	Frekuensi kejadian/ th	Utilitas/th	Jumlah welder	Peluang kejadian	Likelihood welder error
Incomplete penetration	1	Kotor pada root face	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	2	Ketidak lurusan layer permukaan (high-low service)	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	3	Arus terlalu rendah	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	4	Diameter terlalu besar	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	5	Heat input terlalu rendah	0	1680	3	0.00000	Persiapan
	6	Kecepatan terlalu tinggi	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	7	Posisi elektrode terlalu tinggi	0	1680	3	0.00000	Pengerjaan
	8	Jarak terlalu kecil	0	1680	3	0.00000	Persiapan
Total			1			LWE	0.2500

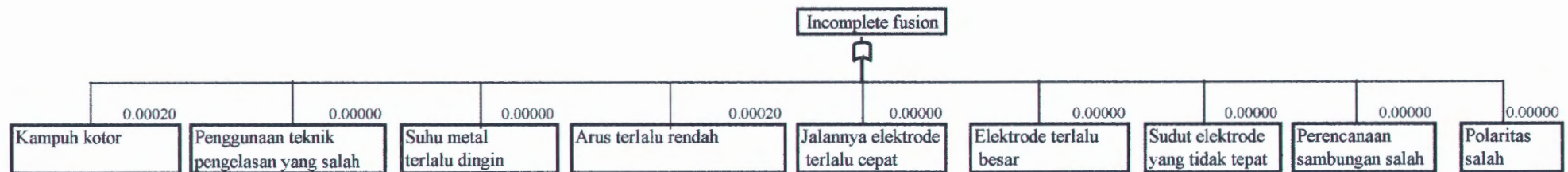
Jenis cacat las	Asumsi	Identifikasi bahaya	Frekuensi kejadian/ th	Utilitas/th	Jumlah welder	Peluang kejadian	Likelihood welder error
Slag lines	1	Arus pengelasan yang terlalu rendah	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	2	Pembersihan terak yang kurang sempurna	1	1680	3	0.00020	Persiapan
	3	Bentuk alur las yang cembung	5	1680	3	0.00099	Pengerjaan
Total			7			LWE	0.3333

LAMPIRAN E
PERHITUNGAN PELUANG
KEGAGALAN DENGAN
MENGGUNAKAN *FAULT TREE*
ANALYSIS



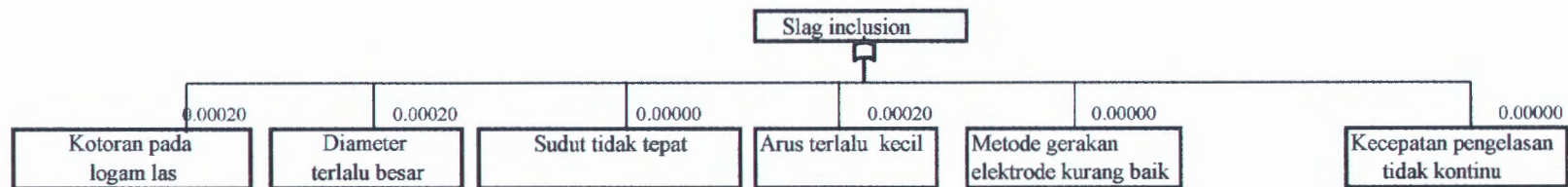
$$PoF = 1 - [(1-0.00337)(1-0.00020)(1-0)(1-0.00020)(1-0)(1-0.00298)(1-0.00218)]$$

$$PoF = 0.0089$$



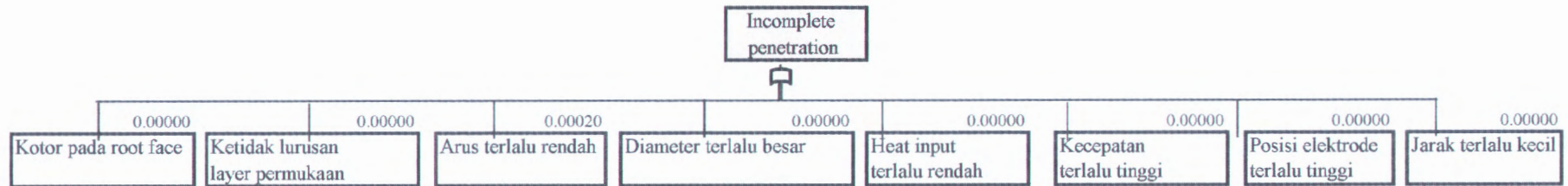
$$PoF = 1 - [(1-0.00020)(1-0)(1-0)(1-0.00020)(1-0)(1-0)(1-0)(1-0)]$$

$$PoF = 0.0004$$



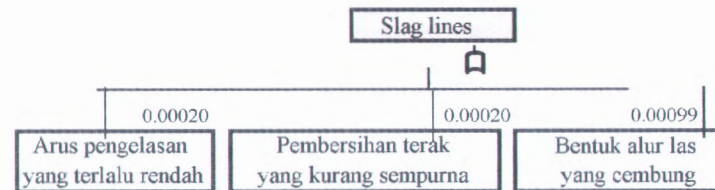
$$PoF = 1 - [(1-0.00020)(1-0.00020)(1-0)(1-0.00020)(1-0)(1-0)]$$

$$PoF = 0.0006$$



$$PoF := 1 - [(1-0)(1-0)(1-0.00020)(1-0)(1-0)(1-0)(1-0)(1-0)]$$

$$PoF := 0.0002$$



$$PoF := 1 - [(1-0.00020)(1-0.00020)(1-0.00099)]$$

$$PoF := 0.0014$$

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN KONSEKUENSI

KEGAGALAN DENGAN

MENGGUNAKAN ANALISA BIAYA

ANALISA BIAYA

Pekerjaan : Perbaikan las terhadap cacat porosity

[illegible]

C	Perbaikan las joint no 4502 J-68						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	5			143,876.32	46,548.22	159,862.58
D	Perbaikan las joint no 4502 J-66						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	11			316,527.91	102,406.09	351,697.68
E	Perbaikan las joint no 4502 J-62						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	2			57,550.53	18,619.29	63,945.03

F	Perbaikan las joint no 4502 I-51						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	<i>Uji las pipa tiap panjang 300 mm</i>	9			258,977.38	83,786.80	287,752.65
G	Perbaikan las joint no 4502 I-55						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	<i>Uji las pipa tiap panjang 300 mm</i>	10			287,752.65	93,096.44	319,725.16
H	Perbaikan las joint no 4502 I-56						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	<i>Uji las pipa tiap panjang 300 mm</i>	5			143,876.32	46,548.22	159,862.58

I	Perbaikan las joint no 4502 I-33						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	<i>Uji las pipa tiap panjang 300 mm</i>	4			115,101.06	37,238.58	127,890.06
J	Perbaikan las joint no 4502 I-34						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	<i>Uji las pipa tiap panjang 300 mm</i>	6			172,651.59	55,857.87	191,835.10
K	Perbaikan las joint no 4502 I-35						
	Mandor	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.1128	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.1128	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.0376	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.0752	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.3761	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.0564	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.0752	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.0752	Days	350,000.00			26,330.31
	<i>Uji las pipa tiap panjang 300 mm</i>	6			172,651.59	55,857.87	191,835.10

[illegible]

O	Radiography las joint no 4502 J-68						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-68	5			367,057.02	402,305.16	451,533.43
P	Radiography las joint no 4502 J-66						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-66	11			807,525.45	885,071.34	993,373.54
Q	Radiography las joint no 4502 J-62						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-62	2			146,822.81	160,922.06	180,613.37
R	Radiography las joint no 4502 J-51						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-51	9			660,702.64	724,149.28	812,760.17

S	Radiography las joint no 4502 J-55						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-55	10			734,114.05	804,610.31	903,066.85
T	Radiography las joint no 4502 J-56						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-56	5			367,057.02	402,305.16	451,533.43
U	Radiography las joint no 4502 J-33						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-33	4			293,645.62	321,844.12	361,226.74
V	Radiography las joint no 4502 J-34						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-34	6			440,468.43	482,766.19	541,840.11

W	Radiography las joint no 4502 J-35						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-35	6			440,468.43	482,766.19	541,840.11
X	Radiography las joint no 4502 J-36						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-36	13			954,348.26	1,045,993.40	1,173,986.91
	Total Biaya				8,258,312.85	7,095,209.14	9,857,502.88
						Rp.	25,211,024.88
						USD	2,464.42

ANALISA BIAYA

Pekerjaan : Perbaikan las terhadap cacat Incomplete fusion

[illegible]

C	Radiography las joint no 4502 J-65						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-65	3			220,234.21	241,383.09	270,920.06
D	Radiography las joint no 4502 J-61						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-61	4			293,645.62	321,844.12	361,226.74
	Total Biaya				715,306.69	628,394.73	855,954.41
						Rp.	2,199,655.83
						USD	215.02

ANALISA BIAYA

Pekerjaan : Perbaikan las terhadap cacat Slag inclusion

[illegible]

C	<i>Radiography las joint no 4502 J-5</i>						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-5	3			220,234.21	241,383.09	270,920.06
D	<i>Radiography las joint no 4502 J-36</i>						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-36	2			146,822.81	160,922.06	180,613.37
	Total Biaya				364,110.54	287,931.32	430,782.64
						Rp.	1,082,824.49
						USD	105.85

ANALISA BIAYA

Pekerjaan : Perbaikan las terhadap cacat Incomplete penetration

No	Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Upah	Material	Sewa Alat
A	Perbaikan las joint no 4503 J-64						
	Mandor	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.113	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.113	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.075	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.376147	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.056422	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.075	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.075	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	3			86,325.79	27,928.93	95,917.55
B	Radiography las joint no 4503 J-64						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4503 J-64	3			220,234.21	241,383.09	270,920.06
	Total Biaya				306,560.01	269,312.03	366,837.60
						Rp.	942,709.64
						USD	92.15

ANALISA BIAYA

Pekerjaan : Perbaikan las terhadap cacat Slag Lines

[illegible]

C	Perbaikan las joint no 4502 J-21						
	Mandor	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.113	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.113	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.075	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.376147	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.056422	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.075	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.075	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	1			28,775.26	9,309.64	31,972.52
D	Perbaikan las joint no 4502 J-34						
	Mandor	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Tukang Las	0.113	Man Days	120,000.00	13,541.30		
	Pembantu Tukang Las	0.113	Man Days	45,000.00	5,077.99		
	Pengatur Mekanik	0.038	Man Days	75,000.00	2,821.10		
	Pekerja Mekanik	0.075	Man Days	60,000.00	4,513.77		
	Kawat Las	0.376147	Kg	22,500.00		8,463.31	
	Batu Gerinda	0.056422	Pcs	15,000.00		846.33	
	Sewa Mesin Gerinda	0.075	Days	75,000.00			5,642.21
	Sewa Mesin Las	0.075	Days	350,000.00			26,330.31
	Uji las pipa tiap panjang 300 mm	8			230,202.12	74,477.16	255,780.13
E	Radiography las joint no 4502 J-10						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-10	8	Shoot		587,291.24	643,688.25	722,453.48

F	Radiography las joint no 4502 J-12						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-12	4	Shoot		293,645.62	321,844.12	361,226.74
G	Radiography las joint no 4502 J-21						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-21	1	Shoot		73,411.40	80,461.03	90,306.69
H	Radiography las joint no 4502 J-34						
	Radiographer	0.0420	Man Days	850,000.00	35,702.64		
	Operator	0.0420	Man Days	600,000.00	25,201.87		
	Pemb. Operator	0.0834	Man Days	150,000.00	12,506.90		
	Film	2.2989	Pcs	35,000.00		80,461.03	
	Kamera	0.0420	Days	150,000.00			6,300.47
	Dark Room & Proses	0.0420	Days	2,000,000.00			84,006.22
	Radiography las joint no 4502 J-34	8	Shoot		587,291.24	643,688.25	722,453.48
	Total Biaya				2,145,920.06	1,885,184.19	2,567,863.23
						Rp.	6,598,967.48
						USD	645.06



LAMPIRAN G

EVALUASI RESIKO DENGAN

MENGGUNAKAN *FAILURE MODE*

AND EFFECTS ANALYSIS

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

No.	Proses	Model kegagalan	Dampak kegagalan	Penyebab	Mitigasi	CCF	OCC	LWE	RPN	Rangking	Prosentase
1	Porosity	Aliran listrik mati, sehingga da 3 aliran hanya 2 aliran yang digunakan.	Ketidak sinambungan akibat gas yang terperangkap selama proses pembekuan logam las.	Masuknya gas pada saat pengelasan	Menggunakan elektroda hidrogen rendah yang sebelum digunakan harus dikeringkan terlebih dahulu.	0.00362	0.0089	0.1429	4.6E-06	5	0.9013
		Logam induk dan logam las mengandung kotoran. Serta, batu gerinda tidak diganti setiap panjang pengelasan 75cm dan ketebalan 30 mm.	Terjadi lubang halus pada <i>base metal</i> akibat terdapat kotoran pada permukaan pada saat proses pengelasan.	Pembersihan permukaan kurang bersih.	Membersihkan terak dari lapisan sebelumnya dan daerah di sekitar pengelasan. Serta disiplin dalam penggantian batu gerinda.						
		Kawah las cepat membeku sebelum gas-gas keluar dari cairan las.	Gas yang terperangkap di dalam kawah las dapat menyebabkan lubang halus.	Pendinginan logam cair terlalu cep	<i>Heat input per area</i> harus seimbang karena mempengaruhi kecepatan pembekuan terak las.						
		Nyala busur lebih dari 3 mm, elektroda pembungkus ikut melebur.	Bila jarak terlalu jauh pengaruh gas pelindung hilang dan akan terjadi rongga halus.	Panjang busur atau besar arus yang tidak tepat.	Panjang busur harus sama dengan diameter kawat. Sehingga, harus memilih elektroda yang tepat.						
		Manik menyempit	Oksigen atau hidrogen ikut masu pada saat peleburan terak.	Kecepatan terlalu tinggi	Kurangi kecepatan pengelasan sehingga gas pelindung dapat berfungsi dengan baik.						
		Terdapat uap air dalam elektroda.	Elektroda type E7016 lebih banyak menyerap kotoran dibandingkan dengan type elektroda yang lain.	Elektroda las terlalu lembab.	Sebelum dipakai dipanaskan dahulu dengan suhu antara 200°C s/d 260°C, serta disimpan pada temperatur 54°C s/d 165°C sekurangnya selama 8 jam.						
		Logam induk mengandung terlalu banyak belerang.	Elemen kimia yang terkandung dapat menyebabkan hot crack	Ketidak murnian logam.	Menggunakan elektroda hidrogen rendah.						
2	Incomplete fusion	Permukaan metal kotor,karena cat, karat, dan lain sebagainya	Penggabungan antara <i>weld metal</i> dan <i>base metal</i> tidak sempurna.	<i>Base metal</i> kotor.	Permukaan metal harus digerinda lebih dahulu (<i>mill scale</i>).	0.0003	0.0004	0.2222	2.8E-08	2	0.0055
		Peletakan <i>deposit</i> las kurang baik, sudut <i>fusi</i> dan desain <i>base metal</i> terlalu sempit.	Peleburan tidak sempurna.	Penggunaan teknik pengelasan sala	Mempertahankan sudut yang tepat, serta memakai elektroda yang lebih kecil.						
		<i>Heat input</i> , <i>ampere</i> dan <i>speed travel</i> yang terlalu tingg	Menghasilkan deposit las yang tinggi.	Suhu <i>metal</i> terlalu dingin.	Melakukan pemanasan awal dan menggunakan elektroda hidrogen rendah.						
		Manik cembung	Penggabungan antara <i>weld metal</i> dan <i>base metal</i> tidak sempurna.	Arus terlalu rendah.	Dengan membesarkan arus.						
		Arus yang digunakan tidak seimbang dengan kecepatan.	<i>Filler metal</i> tidak melebur secara sempurna.	Jalannya elektroda terlalu cepat.	Menggunakan arus yang rendah, dan saat pengayunan, berhenti sebentar pada setiap titik.						

No.	Proses	Model kegagalan	Dampak kegagalan	Penyebab	Mitigasi	CCF	OCC	LWE	RPN	Rangking	Prosentase
2	Incomplete fusion	Elektroda susah bergerak karena <i>joint</i> sempit.	<i>Weld metal</i> dan <i>base metal</i> tidak dapat bergabung dengan sempurna.	Elektroda terlalu besar.	Harus disesuaikan dengan arus las dan usahakan menggunakan elektroda yang lebih kecil.						
		Sudut terlalu sempit	Tidak menyebabkan fusi.	Sudut elektroda yang tidak tepat.	Seharusnya sudut yang digunakan sebesar 70°-80°						
		Sudut tidak sesuai dengan ketebalan material.	Memperlemah sambungan antara <i>base metal</i> nya.	Perencanaan sambungan salah.	Persiapan sambungan yang baik.						
		Arus AC tidak stabil	Untuk pengelasan sambungan pendek jangan menggunakan arus searah karena terjadi ledakan busur pada akhir pengelasan.	Penggunaan polaritas salah.	Menggunakan DCEP pada awal pengelasan.						
3	Slag inclusion	Ada sisa terak kemudian dilas diatasnya.	Terak las tertimbun pada lapisan berikutnya.	Terdapat kotoran pada logam las.	Saat menggerinda harus lebih bersih lagi dan disikat dengan sikat baja.	0.0002	0.0006	0.3333	3.1E-08	3	0.0060
		Diameter elektroda tidak dapat menjangkau ke dalam akar.	Cairan tidak terisi penuh sehingga meninggalkan slag.	Diameter terlalu besar.	Harus disesuaikan dengan arus las dan usahakan menggunakan elektroda yang lebih kecil.						
		Pengelasan yang dilakukan tidak merata dan arah kawat las berlawanan dengan gerakan pengelasan.	Terbentuk ruang kosong yang akan diisi slag.	Sudut tidak tepat.	Kawat las menghadap searah dengan gerakan maju pengelasan, serta perkecil sudut elektroda dengan base metal.						
		Manik tidak melebar dan butiran percikan besar.	Penguatan manik rendah.	Arus yang digunakan terlalu kecil.	Arus las yang digunakan harus sesuai.						
		Ayunan elektroda terlalu lebar.	Terak las sempit membeku pada ayunan elektroda kembali dan terjadi lubang halus yang akan menyebabkan slag.	Metode gerakan elektroda kurang baik.	Gerakan elektrode harus kontinu, dan persempit ayunan elektroda jika ayunan terlalu lebar.						
		Terak las mendahului busur listrik	Terak las tertimbun.	Kecepatan pengelasan tidak kontinu	Usahakan terak las jangan sampai mendahului gerakan busur listrik.						
4	Incomplete penetration	Ada kotoran kemudian dilas diatasnya.	Tidak dapat melebur dengan baik akibat terdapat kotoran.	Kotor pada <i>root face</i> .	Saat menggerinda harus lebih bersih lagi dan disikat dengan sikat baja.	0.0001	0.0002	0.2500	6.7E-09	1	0.0013
		Bentuk manik miring dan menurun	Ketidak setangkupan yaitu antara material yang disambung tidak sesumbu (<i>Misalignment</i>), sehingga penetrasinya dangkal.	Ketidak lurusan layer permukaan (<i>high-low service</i>).	Mempersiapkan sambungan las yang baik.						
		Manik menyempit	Penetrasi dangkal	Arus terlalu rendah.	Menambah kuat arus.						

[illegible]

LAMPIRAN H

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Dwi Retno Mulyaningsih lahir di Jakarta pada tanggal 27 Maret 1987. Pendidikan formal TK hingga SMU dijalani di Kota Blitar, Jawa Timur. Penulis aktif dalam mengikuti beberapa turnamen basket baik di tingkat daerah sampai dengan tingkat nasional. Prestasi tertinggi yang pernah penulis raih adalah juara 1 Pekan Olahraga Pelajar Daerah V Jawa Timur dan juara 3 HEXOS Basketball Cup Jawa Timur. Setelah menyelesaikan pendidikan formal hingga tingkat SMU, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK) - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama perkuliahan, penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan baik intra maupun ekstra kampus. Pada tahun 2006 hingga 2008 penulis menjabat sebagai staff departemen minat bakat di HIMATEKLA, sekaligus menjadi anggota Unit Kegiatan basket putri ITS. Tidak hanya itu, penulis pun menjadi salah satu asisten dosen Teknik Mekanika dan Ilmu Bahan di Jurusan Teknik Kelautan, serta menjadi *assistant engineer* di UPTSM LPPM ITS sejak tahun 2008 hingga tahun kelulusan. Pada 10 Agustus 2009 penulis menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisa Resiko Cacat Las pada Pengelasan *Tubular Joint Jacket* dengan Menggunakan Metode Diagram *Ishikawa*”.

LAMPIRAN I

LEMBAR ASISTENSI



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5928105, 5994251-55 Ext. 1105
Fex : (031) 5928105
E-mail : kajur_tkelautan@its.ac.id

FORM-04/TA

NAMA : Dwi Retno Mulyaningsih

NRP: 4305 100 004

JUDUL TUGAS AKHIR: Analisa Resiko Cacat Las pada Pengelasan Tubular Joint Jacket dengan Menggunakan Metode Diagram Ishikawa

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

No	Tanggal	Penjelasan Pembimbing	Tanda Tangan
1	03/03/09	Asistensi revisi masalah penelitian	
2	12/03/09	Asistensi revisi flowchart	
3	18/03/09	Konsultasi data spesifikasi prosedur pengelasan	
4	27/03/09	Konsultasi scope analisa	
5	03/04/09	Perbaiki dan buat tabel. Hanya	
6	08/04/09	Konsultasi diagram Ishikawa	



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. (031) 5928105, 5994251-55 Ext. 1105

Fax : (031) 5928105

E-mail : kajur_tkelautan@its.ac.id

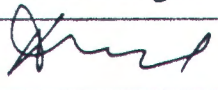
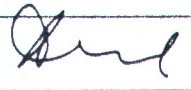
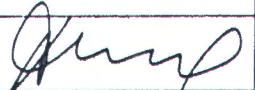
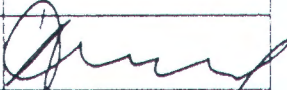
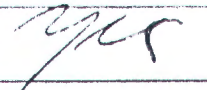
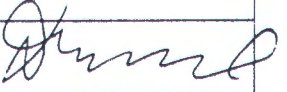
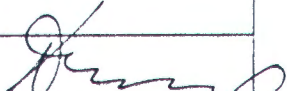
FORM-04/TA

NAMA : Dwi Retno Mulyaningsih

NRP: 4305 100 004

JUDUL TUGAS AKHIR: Analisa Resiko Cacat Las pada Pengelasan *Tubular Joint* Jacket dengan Menggunakan Metode Diagram *Ishikawa*

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

No	Tanggal	Penjelasan Pembimbing	Tanda Tangan
7	13 / 04 / '09	Revisi penyusunan diagram Ishikawa	
8	22 / 04 / '09	Pengurutan identifikasi bahaya	
9	30 / 04 / '09	Identifikasi bahaya dan pengaruh terjadinya	
10	05 / 05 / '09	Asistensi slide power point P2	
11	05 / 05 / '09	Cek ulang	
12	30 / 06 / '09	Konsultasi peluang kerja dian setiap cacat	
13	7 / 7 / '09	Logika event Tree Inglish - name - affected	



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. (031) 5928105, 5994251-55 Ext. 1105

Fax : (031) 5928105

E-mail : kajur_tkelaun@its.ac.id

FORM-04/TA

NAMA : Dwi Retno Mulyaningsih

NRP: 4305 100 004

JUDUL TUGAS AKHIR: Analisa Resiko Cacat Las pada Pengelasan Tubular Joint Jacket dengan Menggunakan Metode Diagram Ishikawa

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

No	Tanggal	Penjelasan Pembimbing	Tanda Tangan
14	13/7/09	PERBAIKI probabilitas + ETA	
15		Koreksi Batasan masalah	
16	14/7/09	- Korespon Event Tree - Mitigasi	
17	15/7/09	- Event Tree OK	
18	16/7/09	→ Substansi → Peluang Kejadian → Mitigasi	
19	17/7/09	Perbaiki konsekuensi biaya	
20	18/7/09	Perbaiki prob.	
21		PERBAIKI METODE RISK picture	
22	21/7/09	OK	