

**PENGARUH *QUENCHING* TERHADAP
KARAKTERISTIK MEKANIS DAN KETAHANAN
KOROSI PADA MATERIAL SUPER DUPLEX
UNS S32750 LASAN**

Tesis Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Kurikulum Program Magister

Disusun Oleh :

Nama : PENGKY ADIE PERDANA

NIM : 6305000165



**PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA**

2008

LEMBAR PERSETUJUAN

Tesis ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi Soedarsono, DEA
Pembimbing

Dr. Azwar Manaf, M.Met
Penguji 1

Dr. Rudi Subagdja
Penguji 2

Dr. Winarto
Penguji 3

Dr. Bambang Soegijono
Ketua Program Studi Ilmu Material

**Program Pascasarjana
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Jakarta, Mei 2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa pasca sarjana fakultas MIPA Universitas Indonesia

Nama : Pengky Adie Perdana

NIM : 6305000165

Program Studi : Ilmu Material

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis saya dengan judul **"Pengaruh *Quenching* terhadap Karakteristik Mekanis dan Ketahanan Korosi pada Material Super Duplex UNS S32750 Lasan"** :

1. dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, hasil penelitian, literatur dan referensi yang tercantum dalam daftar acuan,
2. bukan merupakan duplikasi tesis dan atau terjemahan buku karya ilmiah lain, kecuali pada bagian sumber informasi yang tercantum pada referensi yang semestinya.

Apabila tidak sesuai dengan pernyataan ini, maka tesis ini dapat dibatalkan.

Jakarta, Mei 2008

Pengky Adie Perdana

ABSTRAK

- A. Nama : Pengky Adie Perdana
B. NIM : 6305000165
C. Judul :PENGARUH *QUENCHING* TERHADAP
KARAKTERISTIK MEKANIS DAN KOROSI PADA MATERIAL SUPER
DUPLEX UNS S32750 LASAN
D. Kata Kunci : *Super Duplex*, Pengelasan, *Quenching*

Aplikasi material *Ferritic – Austenitic Steel* atau yang lebih dikenal dengan *Super Duplex Stainless Steel*, dalam industri migas umumnya terdapat pada sistem pemipaan *Production Flowlines* dan komponen-komponen pendukungnya. Tingginya kadar alloy (25Cr 7Ni 4Mo) dibanding dengan Stainless Steel biasa SS316 (18Cr 8Ni) menyebabkan paduan ini lebih tahan terhadap korosi *intergranular*, *pitting* dan *crevice corrosion*.

Pengelasan merupakan proses penggabungan logam dengan cara memanaskannya hingga mencapai suhu lebur dan logam cair tersebut dialirkan bersama-sama. Permasalahan yang sering terjadi pada pengelasan baja tahan karat adalah terbentuknya fasa karbida yang mengendap di batas butir (sensitasi) yang akan menurunkan ketahanan korosi dan kekuatan sambungan las.

Pada tesis ini penulis ingin mempelajari lebih dalam tentang pengaruh *quenching* terhadap karakteristik mekanis dan ketahanan korosi baja tahan karat Super Duplex UNS S32750 yang telah mengalami proses pengelasan. Dalam penelitian ini digunakan material pipa potongan Super Duplex yang dilas dengan proses GTAW sebagai masukan panas. Media *quenching* atau *quenchant* yang digunakan yaitu udara, oli dan air. Selanjutnya dilakukan pengujian metalografi, kekerasan, pemeriksaan kandungan ferit, dan pengujian *immersed solution* (pada suhu 50⁰C dan 40⁰C) untuk mengetahui hubungan antara mikrostruktur dengan nilai kekerasan, *ferrite content* dan ketahanan korosi Super Duplex tersebut.

- E. Daftar Pustaka : 9 buku dan 13 jurnal
F. Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA

ABSTRACT

- A. Name : Pengky Adie Perdana
B. SRN : 6305000165
C. Title : QUENCHING EFFECTS DUE TO MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE ON WELDED MATERIAL SUPER DUPLEX UNS S 32750
D. Keyword : Super Duplex, Welding, and Quenching.

Ferrite – Austenitic Steels or familiar with Super Duplex Stainless Steels are widely applied in oil and gas industry. They are mainly used on piping system, especially in Production Flowlines and other supporting equipments. Its high content of alloy composition (25Cr 7Ni 4Mo) rather than regular Stainless Steel SS316 (18Cr 8Ni) derived this alloy to have more corrosion resistance against *intergranular, pitting* dan *crevice corrosion*.

The term welding refers to the process of joining metals by heating them to their melting temperature and causing the molten metal to flow together. The most frequent problems occur in welding stainless steel is carbide formation and precipitation at grain boundaries (known as sensitization), which will reduce corrosion resistance and strength of the welded joints.

The aim of this research is to learn more about the effect of quenching to mechanical properties and its corrosion resistance of Super Duplex Stainless Steel. This research uses some length of Super Duplex, which was welded with GTAW process for heat input. Quenching fluids or known as quenchant which is used are : air, oil, and water. Further, the samples subjected to hardness testing, microstructure examination, ferrite content analyzer, immersed solution testing (on temperature 50⁰C and 40⁰C) in order to find out relationship among hardness value, ferrite content, and corrosion resistance of Super Duplex.

- E. List of literature : 9 books and 13 journals
F. Lecturer : Prof. Dr.Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA

KATA PENGANTAR

Penulis ingin mengawalinya dengan Alhamdulillahirabbil'alamin. Segala puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, Sang Khalik penguasa bumi beserta seluruh isinya. Beragamnya ilmu pengetahuan di muka bumi ini telah membuat penulis terpacu untuk selalu berusaha meningkatkan kemampuan yang penulis miliki. Penulis sadar bahwa karya tulis ini sangat jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah miliknya.

Dalam perjuangan penulis untuk menyelesaikan karya tulis ini, penulis banyak terbantu oleh orang-orang yang sangat berarti bagi penulis. Mereka adalah :

1. Bpk. Prof. Dr. Ir. Wahyuadi Soedarsono, DEA, selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan pencerahan luar biasa terhadap penulis,
2. Bpk. Dr. Bambang Soegijono, selaku Ketua Program Studi, yang telah memberikan dorongan kepada penulis,
3. Bpk. Muhammad Hikam, selaku Penasehat Akademik, yang selalu meng-*approve* SIAK penulis,
4. Pak Suroto, Mbak Siti, dan Mbak Lilik, selaku staff administrasi Program Studi MIPA, Salemba, yang selalu mengingatkan penulis akan tenggat waktu kelulusan,
5. Mas Haris, Mas Gofar, Mas Andre, dan tentu saja Pak Zaenal atas ajarannya terhadap alat lab serta mas Jaya yang sudah menunggui dan mengawasi pengujian sampel penulis di Jurusan Metalurgi, Universitas Indonesia, Depok,
6. Rekan-rekan se-angkatan, tahun 2005, yang masih sama-sama bergelut dengan tesisnya, Sofyan, Gian, Erwin, mas Eddy, Teguh, juga tidak lupa dari rekan yang sudah lebih dahulu lulus, bu Vera, mas Warno, Ryan, Yorga, dan Mutia,
7. Seluruh manajemen dan staff pt Reka Patria Ekaguna dan pt Raga Perkasa Ekaguna, Pak Boyke, Pak Arlan, Pak Iwan, Pak Budi, Bu Ida, Pak Ifran, dan Pak Allis, yang telah memberikan saya kelonggaran sedemikian rupa,
8. dan terakhir yang paling penting, *my most georgeus wife*, Sekar, yang telah mendukung penuh sepanjang waktu, *including all member of Puri Nugroho Marsoeman* dan *all Ragunan big family*.

Akhir kata penulis mengharapkan masukan dan kritikan terhadap karya tulis ini, agar nantinya dapat lebih dikembangkan menjadi karya ilmiah bertaraf nasional bahkan internasional.

Jakarta, Mei 2008

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan Penelitian.....	3
I.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
I.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI	5
II.1. Baja Tahan Karat.....	5
II.2. Pengelasan.....	16
II.2.1. Definisi dan tipe-tipe pengelasan.....	16
II.2.2. Pengelasan pada Super Duplex.....	21
II.3. <i>Quenching</i>	22
II.4. Korosi.....	27
II.4.1. Reaksi Elektrokimia Korosi.....	27
II.4.2. Bentuk-bentuk Korosi.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	36
III.1. Skema Kerja Keseluruhan Penelitian.....	36
III.2. Persiapan Sampel, Proses Pengelasan, Sampai dengan <i>Quenching</i> ..	37
III.2.1. Bahan.....	37
III.2.2. Peralatan.....	37
III.2.3. Prosedur.....	37
III.3. Pengujian Metalografi.....	39
III.3.1. Bahan.....	39
III.3.2. Peralatan.....	39

III.3.3. Prosedur.....	39
III.4. Pengujian Kekerasan.....	40
III.4.1. Peralatan.....	40
III.4.2. Prosedur.....	41
III.5. Pengujian <i>Immersed Solution</i>	41
III.5.1. Bahan.....	41
III.5.2. Peralatan.....	42
III.5.3. Prosedur Persiapan Sampel.....	42
III.5.4. Prosedur Persiapan Larutan.....	42
III.5.5. Prosedur Pengujian.....	43
 BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	 45
IV.1. Data Masukan Panas.....	45
IV.2. Hasil Uji Metalografi Pasca Pengelasan.....	46
IV.2.1. Foto Makro pada Daerah Lasan dengan Perbesaran 7x.....	46
IV.2.2. Foto Makro pada Daerah HAZ dengan Perbesaran 7x.....	47
IV.2.3. Foto Makro pada Penampang dengan Perbesaran 7x.....	48
IV.2.4. Foto Mikro Daerah Lasan dengan Perbesaran 100x.....	49
IV.2.5. Foto Mikro Daerah HAZ dengan Perbesaran 100x.....	50
IV.2.6. Foto Mikro Daerah <i>Base Metal</i> dengan Perbesaran 100x....	51
IV.3. Hasil Analisa Kandungan Ferit.....	53
IV.4. Hasil Uji <i>Micro Hardness Vickers</i>	56
IV.4.1. Hasil Uji <i>Micro Hardness Vickers</i> pada Sampel Pendinginan Udara.....	56
IV.4.2. Hasil Uji <i>Micro Hardness Vickers</i> pada Sampel Pendinginan Air.....	58
IV.4.3. Hasil Uji <i>Micro Hardness Vickers</i> pada Sampel Pendinginan <i>Olie</i>	59
IV.5. Hasil Uji <i>Immersed Solution</i>	62
IV.5.1. Analisa <i>Weight Loss</i>	62
IV.5.2. Analisa Foto Makro dan Mikro.....	67
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	 79
V.1. Kesimpulan.....	79
V.2. Saran.....	80

DAFTAR ACUAN (REFERENSI)..... 81
LAMPIRAN.....



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Aplikasi material *Ferritic – Austenitic Steel*, atau yang lebih dikenal dengan *Super Duplex Stainless Steel*, dalam industri migas umumnya terdapat pada sistem pemipaan *Production Flowlines* dan komponen – komponen pendukungnya, seperti : *valves*, *flanges*, dan *fittings* yang melibatkan fluida hidrokarbon. Selain itu, digunakan juga pada *mechanical equipment* seperti *separator*, kompresor, *scrubber*, dan pompa.¹ Material tersebut dipilih berdasarkan ketahanan yang baik pada lingkungan yang paling agresif/korosif, kekuatan pada temperatur tinggi (dimana suhu operasi fluida adalah di atas 60⁰C), dan ketangguhan pada temperatur *cryogenic*.²

Super Duplex SS telah digunakan pada eksplorasi migas lepas pantai (*offshore*) yang berlokasi di selat Ujung Pangkah (utara Gresik, Jawa Timur) milik Hess Indonesia – Pangkah Ltd. Material ini paling banyak digunakan dalam sistem proses yang dimulai dari *downstream choke valve* dan berakhir pada *production manifold* atau *header*.

Dalam proses fabrikasi produk yang terbuat dari baja tahan karat, pihak manufaktur umumnya menggunakan proses pengelasan sebagai metode penyambungan utama. Sambungan las pada baja tahan karat dapat memberikan dampak ketahanan korosi dan kekuatan yang optimum serta proses fabrikasi yang ekonomis. Namun demikian, seperti halnya material logam lain, baja tahan karat dapat mengalami perubahan pada saat pengelasan. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang sangat hati-hati pada saat pengelasan untuk memperkecil atau mencegah pengaruh-pengaruh merugikan yang mungkin terjadi, serta untuk mengembalikan ketahanan korosi dan kekuatan daerah sambungan las ke tingkat yang sama dengan logam induk.³

Permasalahan yang sering terjadi pada pengelasan baja tahan karat adalah terbentuknya fasa karbida yang mengendap di batas butir (dikenal sebagai sensitasi)

¹ Margun Tystad, *Application of Duplex Stainless Steel in The Offshore Industry – Stainless Steel World*, KCI Publishing, 1997, pg. 1.

² Bambang Suharno and Bustanul Arifin, *Duplex Stainless Steel: Karakteristik, Metallurgy and Materials Engineering Department University of Indonesia, Seminar Tira Austenite*, 2007, pg. 21

³ Farid Moch. Zamil, *Introduction to Welding*, KBK Welding, Milis Migas Indonesia, 2005, pg. 1

atau fase *intermetallic* lainnya (misal δ -ferrite atau *phase*- σ) yang akan menurunkan ketahanan korosi dan kekuatan sambungan las.⁴ Namun pada super duplex kondisinya lebih kompleks, yakni tidak tercapainya persentase kandungan ferit (kisaran 30 – 70 %), dan tidak terpenuhinya nilai kekerasan berdasarkan standar yang ada untuk daerah sambungan pengelasan.⁵ Permasalahan lain yang timbul adalah terjadinya korosi *pitting* dan korosi *crevice*.

Kondisi optimum dari metode pengelasan suatu material dapat diketahui dengan mempelajari sifat ketahanan material tersebut terhadap korosi *pitting* pada temperatur tertentu serta pada kondisi larutan korosif dengan kandungan tertentu. Korosi *pitting* merupakan bentuk korosi lokal akibat adanya kerusakan lokal pada lapisan pasif yang ditandai dengan adanya diameter *pitting* yang relatif besar tetapi dangkal. Kerugian akibat hal ini cukup besar, yaitu sumur dapat berhenti berproduksi apabila ditemukan adanya kebocoran gas atau minyak. Dalam kenyataannya korosi *pitting* memiliki kecepatan korosi yang berbeda-beda, tergantung pada fluida serta kondisi operasinya. Korosi *pitting* ini berpengaruh langsung terhadap *safety* serta *reliability* dari peralatan tersebut.⁶

I.2 Perumusan Masalah

Pada sebagian besar permasalahan korosi, umumnya korosi berawal dari daerah lasan. Hal ini disebabkan struktur mikro menerima stress yang berasal dari panas akibat pengelasan. Pada material baja karbon, dengan minimum ketebalan 1 inch, dilakukan *post weld heat treatment* atau PWHT pada daerah lasan. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi stress pada daerah lasan.

Namun tidak demikian halnya dengan material logam *stainless steel*. Pemanasan pada suhu austenisasi akan memicu timbulnya presipitat krom karbida atau Cr_{23}C_6 pada batas butir. Hal ini merupakan awal mula terjadinya korosi intergranular.

Maka dari itu, pada logam golongan *stainless steel* tidak pernah dilakukan PWHT. Dan pada penelitian kali ini penulis ingin melakukan suatu penelitian terhadap logam

⁴ Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Company, New York, 1992, pg. 291-292

⁵ EPCI Raga-PAL Consortium, Fabrication and Installation Procedure for Super Duplex Piping - UPD-RG-W1-CS-PR-0521, Amerada Hess Ujung Pangkah Development, Indonesia, 2006, pg. 15

⁶ KBK Korosi, Pitting and Crevice Corrosion, Milis Migas Indonesia, Indonesia, 2007, pg. 1-6

super duplex stainless steel yang mana logam tersebut mengalami pekerjaan *quenching*.

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. untuk mengetahui pengaruh *quenching* terhadap angka persentase ferit, nilai kekerasan, dan struktur mikro; serta
2. untuk mengetahui besarnya laju korosi pada material Super Duplex lasan dengan menggunakan metode uji *immersed* dalam larutan Ferit Klorit pada variasi temperatur 50°C dan 40°C.

Diharapkan dari hasil penelitian ini didapatkan lebih banyak data tentang material Super Duplex sehingga dapat bermanfaat bagi pengembangan material ini.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penulis hanya membatasi ruang lingkup penelitian pada tiga pasang material Super Duplex yang dilas pada salah satu sisinya. Pengelasan mengacu pada standar ASME Code Section IX (*Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*).

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Metalurgi dan Program Studi Ilmu Material Universitas Indonesia. Uji mekanik yang dipilih adalah uji kekerasan *micro hardness vickers*. Untuk menunjang hasil penelitian dilakukan uji kandungan *ferrite* (*ferrite content analyser*) dan foto mikro dengan pembesaran hingga 100x.

I.5 Sistematika Penulisan

Penulisan Tesis ini dibagi menjadi 5 bagian besar, yaitu : Pendahuluan, Teori Dasar, Metodologi Penelitian, Hasil dan Analisa Data, serta Kesimpulan. Pada Bab Pendahuluan akan dijelaskan secara umum tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, dan ruang lingkup penelitian yang dilakukan. Pada Bab Teori Dasar disajikan pendalaman materi dari berbagai jurnal terkait, standar-standar yang berlaku, teori yang digunakan dalam penelitian lain yang sejenis. Dalam Bab Metodologi Penelitian dijelaskan tentang

diagram alir penelitian, proses persiapan sampel, hingga pengujian. Bab Hasil dan Analisa Data menyajikan data-data yang diperoleh dari pengujian serta ulasan analisisnya dengan mengacu pada teori yang dipaparkan dalam Bab Teori Dasar. Bab terakhir berisi kesimpulan yang dapat ditarik dari rangkaian penelitian ini.

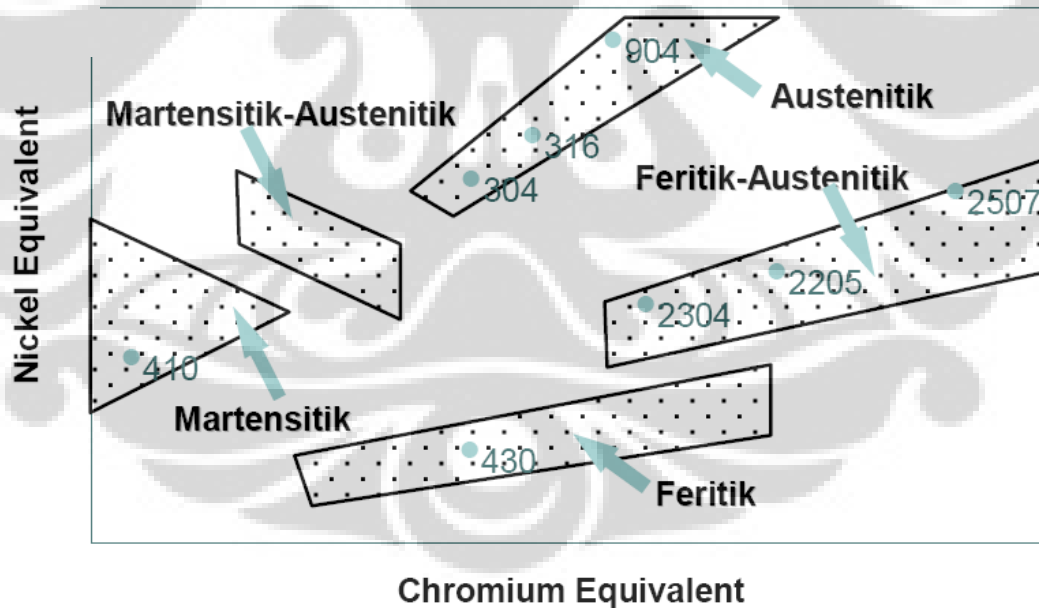


BAB II

DASAR TEORI

II.1 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau yang biasa dikenal dengan *Stainless Steel*, merupakan baja paduan. Unsur yang paling dominan setelah Fe adalah *Chromium* dengan kandungan minimum sebesar 10.5 %. *Stainless steel* tahan karat karena kemampuan pasivitasnya, yaitu kemampuan untuk membentuk lapisan oksida yang bersifat *self-repairing* pada permukaan material. Semakin tinggi kadar *Chrom*, maka semakin meningkat ketahanan korosinya. Ketahanan korosi tergantung pada kestabilan lapisan oksidanya. Untuk lingkungan yang berbeda dioptimalkan oleh *alloying* dengan unsur lain, contoh: *Nickel*, *Molybdenum*, *Nitrogen*, *Copper*, dll. Penambahan unsur paduan pada *stainless steel* dilakukan untuk mengontrol mikrostruktur dan ketahanan korosinya. Mikrostruktur *stainless steel* dapat diprediksi menggunakan diagram *Schaeffler-Delong*.



$$\text{Chromium Equivalent} = \%Cr + 1.5\%Si + \%Mo$$

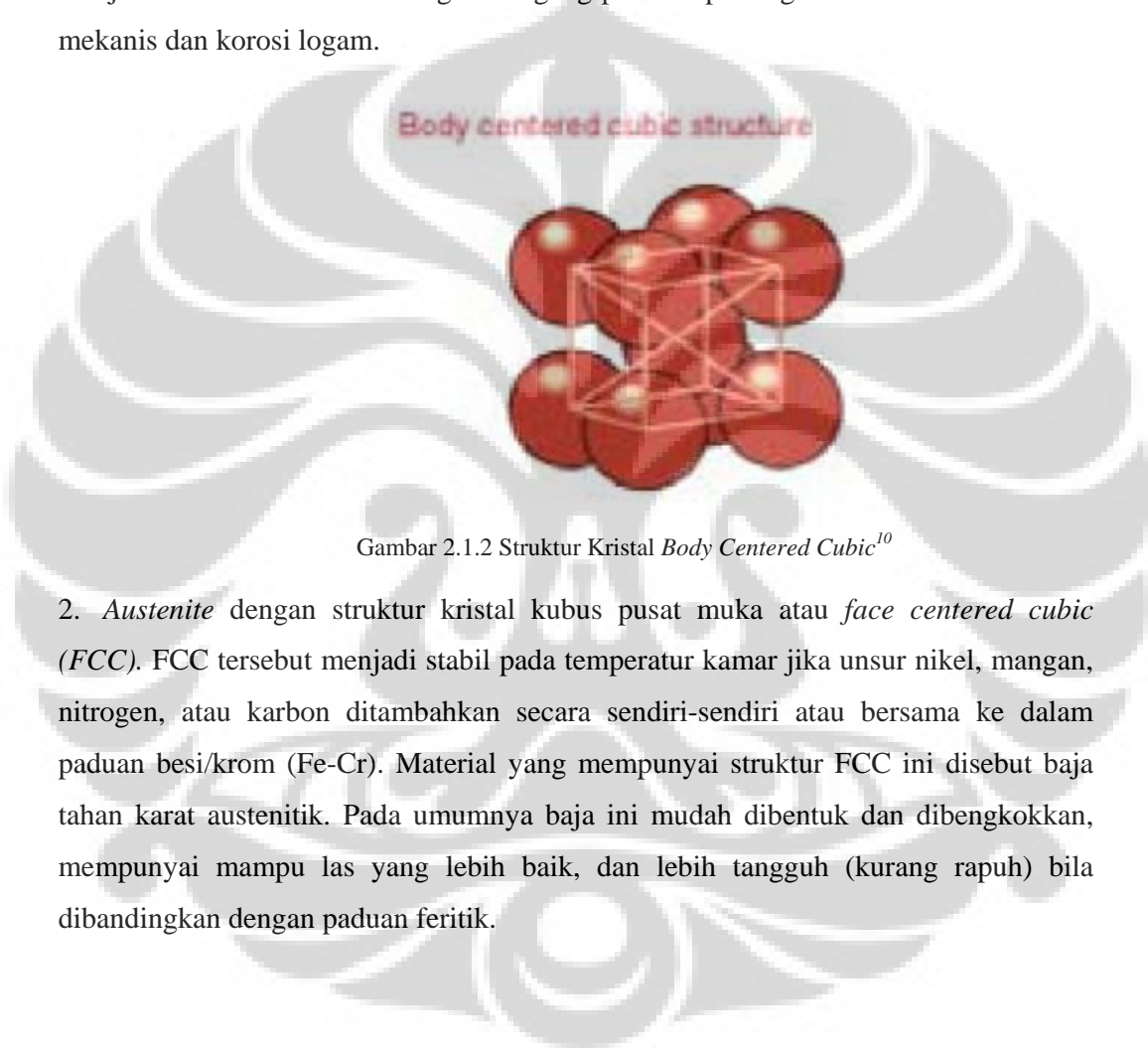
$$\text{Nickel Equivalent} = \%Ni + 30(\%C + \%N) + 0.5(\%Mn + \%Cu + \%Co)$$

Gambar 2.1.1 Diagram *Schaeffler-Delong*⁸

⁸ Bambang Suharno and Bustanul Arifin, *Duplex Stainless Steel: Karakteristik, Metallurgy and Materials Engineering Department University of Indonesia, Seminar Tira Austenite, 2007, pg. 18*

Berdasarkan struktur kristal penyusunnya, *stainless steel* dibedakan atas :⁹

1. *Ferritic* dengan struktur kristal kubus pusat badan atau *body centered cubic (BCC)*. BCC tersebut tersusun secara teratur dan berulang pada arah 3 dimensi dalam butir sampai bertemu dengan butir lain yang mempunyai arah berbeda. Daerah pertemuan ini disebut dengan batas butir. Batas butir terdiri atas banyak hal termasuk antar muka, cacat, pengotor, dan butir dari substansi/material lain. Batas butir dapat menjadi sedikit rumit dan sering memegang peranan penting dalam menentukan sifat mekanis dan korosi logam.



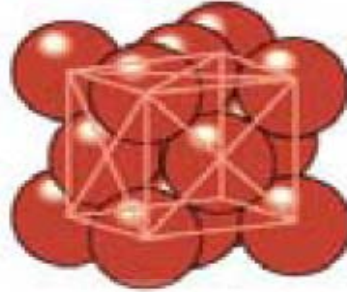
Gambar 2.1.2 Struktur Kristal *Body Centered Cubic*¹⁰

2. *Austenite* dengan struktur kristal kubus pusat muka atau *face centered cubic (FCC)*. FCC tersebut menjadi stabil pada temperatur kamar jika unsur nikel, mangan, nitrogen, atau karbon ditambahkan secara sendiri-sendiri atau bersama ke dalam paduan besi/krom (Fe-Cr). Material yang mempunyai struktur FCC ini disebut baja tahan karat austenitik. Pada umumnya baja ini mudah dibentuk dan dibengkokkan, mempunyai mampu las yang lebih baik, dan lebih tangguh (kurang rapuh) bila dibandingkan dengan paduan feritik.

⁹ James Marrow, *Ferrous Alloys Stainless Steels*, Manchester Materials Science Centre, Manchester, 2007, pg. 6-9

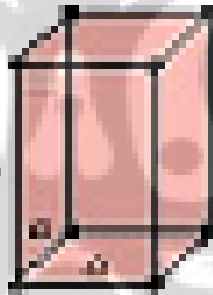
¹⁰ op.cit., pg. 13

Face centered cubic structure



Gambar 2.1.3 Struktur Kristal *Face Centered Cubic*¹¹

3. *Martensite* dengan struktur kristal kubus tetragonal, yaitu kubus yang salah satu sisinya lebih panjang. Martensit dihasilkan dengan melakukan proses perlakuan panas atau pengerjaan dingin terhadap struktur kubus *feritte* atau *austenite*. *Martensite* adalah struktur terkeras dan terkuat di antara ketiga bentuk struktur kristal, tetapi memiliki kemampuan pengerjaan logam yang rendah. Namun pada kenyataannya paduan ini memang jarang sekali dideformasi secara sengaja.

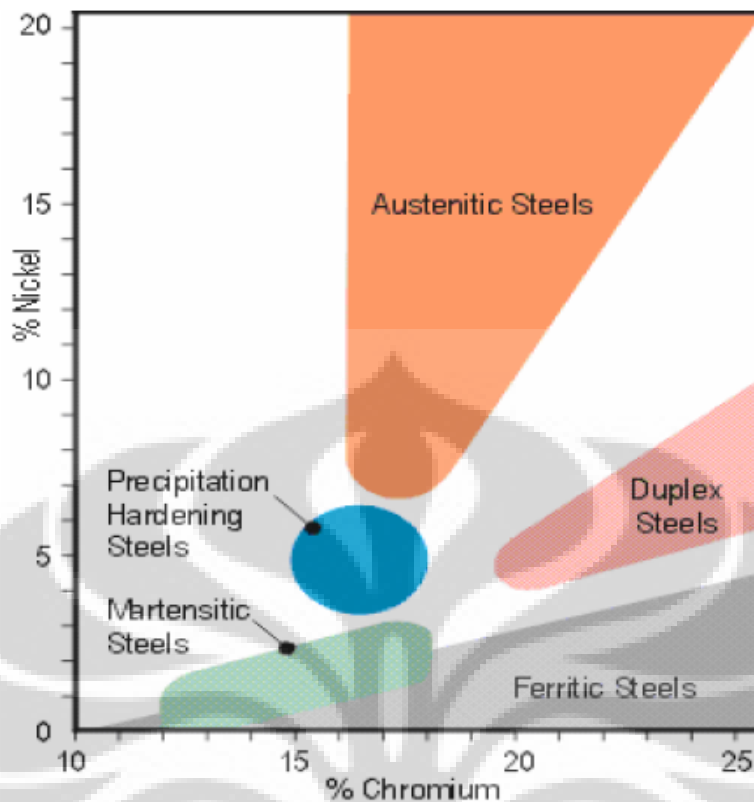


Gambar 2.1.4 Struktur Kristal Kubus Tetragonal

Berdasarkan perbedaan paduan unsur kimia dan persentasenya dalam Fe, *Stainless steel* pada dasarnya dibagi dalam lima golongan, yaitu :¹²

¹¹ ibid.

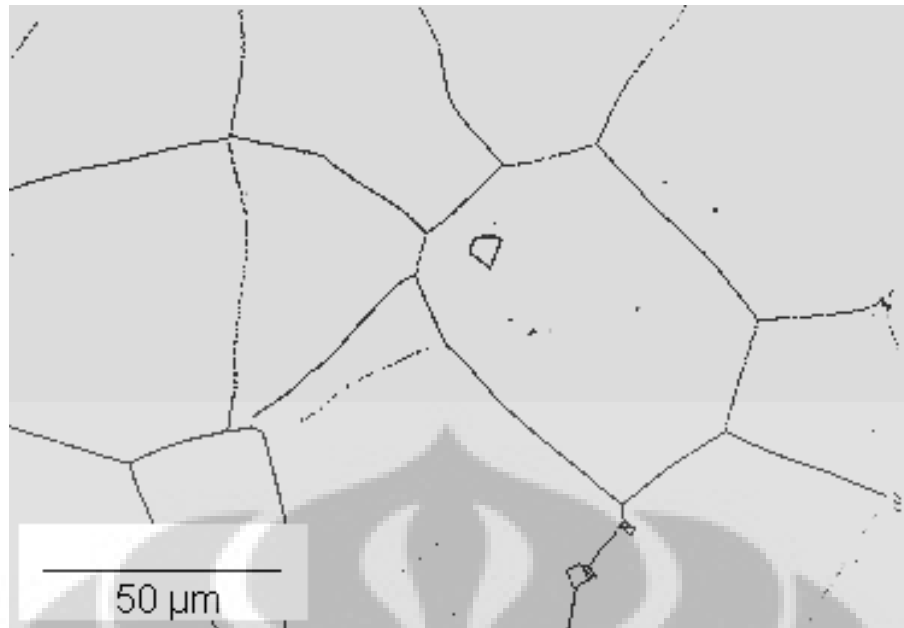
¹² ibid., pg. 19



Gambar 2.1.4 Diagram Fasa Chrom-Nickel

1. Paduan Feritik

Logam paduan yang mengandung 11% sampai dengan 30% unsur khrom dan karbon di bawah 0.12%. Unsur paduan lain dapat ditambahkan dengan persentase tertentu untuk meningkatkan daya tahan terhadap korosi dan oksidasi sehingga *applicable* untuk lingkungan klorida dan sulfur bersuhu tinggi. Karena kandungan karbonnya rendah maka pada umumnya tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Tingkat kekerasan beberapa jenis baja tahan karat ferrit dapat diperbesar dengan cara *quench*. Paduan ini bersifat magnetik, tangguh, dan kuat, namun terkadang sulit untuk dilas dan difabrikasi. Agar sifat mampu las, keuletan, dan daya tahan korosi meningkat, maka persentase tertentu dari unsur karbon dan nitrogen dalam logam paduan harus dijaga. Contoh produk jenis ini adalah UNS S43000 yang mengandung 16-18% Cr, dan umumnya berupa *pipes*, *heat exchange tubes*, *valves* dan *tanks*. Paduan ini juga digunakan pada industri kimia, kertas dan makanan.

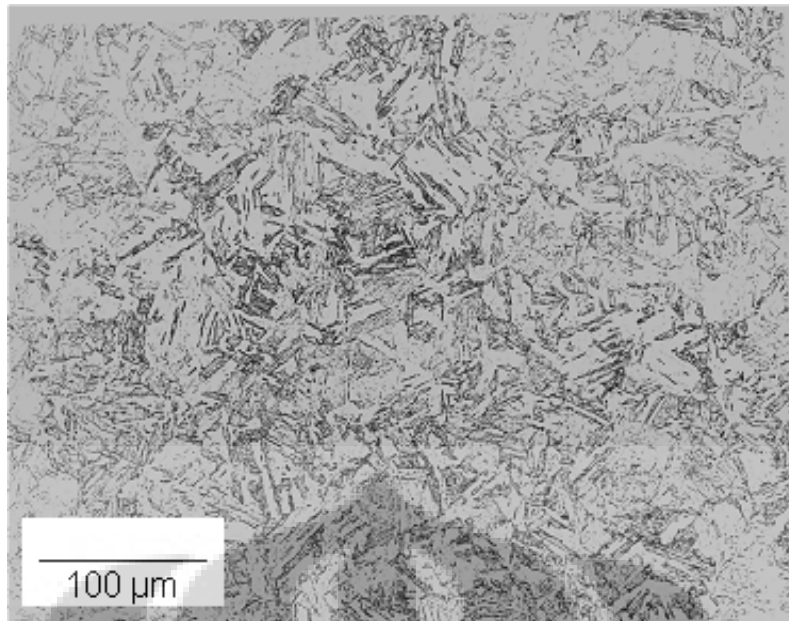


Gambar 2.1.5 Mikro Struktur Logam Paduan Ferritik¹³

2. Paduan Martensitik

Logam paduan yang mengandung 12% sampai dengan 17% unsur khrom dan karbon antara 0.1% sampai dengan 1.0%. Penambahan unsur paduan lain dengan persentase tertentu dapat meningkatkan daya tahan terhadap korosi, kekuatan, serta keuletannya. Logam paduan ini memiliki sifat yang hampir sama dengan logam paduan ferritik. Bedanya adalah kandungan nikelnya yang lebih tinggi, sehingga dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Tingkat kekerasan dapat diperoleh bila persentase kandungan karbonnya tidak lebih dari 1.0% dan dibuat dengan perlakuan panas yang sesuai. Paduan ini juga memiliki kekuatan yang tinggi. Contoh produk jenis ini adalah UNS S41000 dengan kandungan 12-13.5% Cr, dan maksimum 0.15%, dan umumnya berupa *turbine blades*, roda gigi, bantalan tahan karat (pada kondisi bersuhu tinggi), pisau, katup *parts* kompresor, dan *needle valve*.

¹³ James Marrow, *Ferrous Alloys Stainless Steels*, Manchester Materials Science Centre, Manchester, 2007, pg. 21

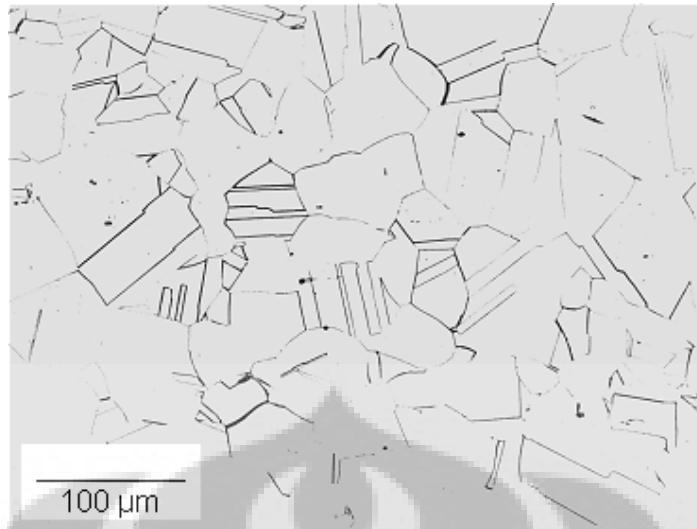


Gambar 2.1.6 Mikro Struktur Logam Paduan Martensitik¹⁴

3. Paduan Austenitik

Logam paduan yang mengandung 16% sampai dengan 20% unsur khrom dan 7% sampai dengan 12% unsur nikel. Strukturnya akan tetap austenitik bila unsur nikel dalam logam paduan diganti oleh mangan, dan juga setelah proses *annealing* dari suhu tinggi tertentu ke suhu ruang. Hal ini karena sifat stabilisasi struktur austenitik. Sama halnya seperti logam paduan ferrit, austenitik hanya dapat dikeraskan dengan perlakuan dingin. Umumnya jenis baja ini dapat tetap menjaga sifat austenitiknya pada suhu ruang, memiliki keuletan dan ketahanan korosi yang lebih baik daripada ferritik dan martensitik. Paduan ini masing-masing dikelompokkan dalam seri 200 dan 300 dalam sistem AISI yang lama. Paduan ini bersifat non-magnetik. Paduan utama tipe ini adalah S30400 dan S31600 yang mengandung 18-20% Cr, 8-10.5% Ni dan besi. Paduan ini umumnya digunakan pada industri makanan, kimia, *pharmaceutical*, kertas, dan offshore untuk berbagai peralatan seperti: pipa, *heat exchanger*, dan bejana.

¹⁴ *ibid.*, pg. 24



Gambar 2.1.7 Mikro Struktur Logam Paduan Austenitik¹⁵

4. Paduan *Precipitation* atau *Age-Hardening*

Paduan ini utamanya adalah paduan Fe-Cr-Ni dimana unsur-unsur lain telah ditambahkan untuk membentuk senyawa dengan butir yang kecil mengendap ketika dipanasi pada suhu tinggi atau medium (500-900°C) selama beberapa saat. Ketika terbentuk, butir-butir kecil ini akan meregangkan kristal dan menguatkan paduan. Contoh jenis paduan ini adalah S17400 (17-4PH) dengan kandungan 15-17.5% Cr, 3-5% Cu, 0.15-0.45% Cb, dan 3-5% Ni. Paduan ini digunakan pada aplikasi yang memerlukan kombinasi kekuatan dan ketahanan korosi. Beberapa paduan ini dapat dibentuk dan dideformasi dalam kondisi pelunakan atau *annealing* dan selanjutnya dikeraskan atau di-*aging*. Salah satu penggunaan yang terkenal dari *stainless steel age hardenend* ini adalah tongkat kepala golf.¹⁶

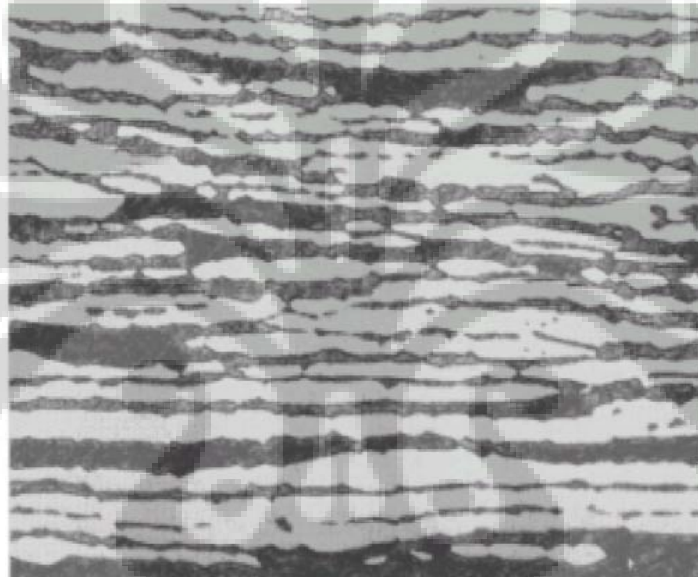
5. Paduan Dupleks

Paduan ini ditemukan pertama kali oleh Avesta Jernverke pada tahun 1929, dengan kandungan: 25% Cr dan 5% Ni. Kemudian pada tahun 1933 J-Holtzer Company dari Perancis mengembangkan Austenitik SS (20% Cr, 9% Ni, 2.5% Mo) menjadi Duplex SS dengan kandungan 20% Cr, 8% Ni, 2.5% Mo. Mereka menemukan adanya fase ferrit dalam matriks austenitik, yang ketika diberi perlakuan panas ternyata tidak sensitif terhadap korosi intergranular. Hal tersebut berkembang

¹⁵ *ibid.*, pg. 27

¹⁶ Romy Lesmana (6303000168), *Pengaruh Masukan Panas dan Perlakuan Panas terhadap Karakteristik Mekanis dan Korosi Material Stainless Steel AISI 304*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2006, pg. 9

terus hingga dekade 70-an di Swedia dan Jerman untuk penggunaan dalam industri kertas sulfit. Duplex sebenarnya diciptakan untuk memecahkan permasalahan korosi yang disebabkan oleh Klorida (pada *bearing* air pendingin) dan fluida kimia proses lainnya yang agresif. Industri migas pun telah mengaplikasikannya pada perpipaan sumur minyak (*down hole tubing well*) yang mengandung H₂S yang bersifat korosif. Hingga pada tahun 1980-an diperkenalkan istilah “Super Duplex SS” untuk menyatakan bahwa *Alloy* ini lebih mulia dari *Duplex* sebelumnya yang ditandai dengan nilai *Pitting Resistance Equivalent Number* ($PREN = \%Cr + 3.3\% Mo + 16\% N$) > 40.¹⁷



Gambar 2.1.8 Mikro Struktur Logam Paduan Duplex¹⁸

Adanya dua fase pada mikrostruktur paduan ini (Ferritik dan Austenitik) ditimbulkan oleh komposisi kandungan :

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
max	max	max	max	max				
0.030	0.8	1.2	0.035	0.015	25	7	4	0.3

Tabel 2.1.9 Komposisi kimia paduan Super Duplex SS¹⁹

¹⁷ Bambang Suharno and Bustanul Arifin, *Duplex Stainless Steel: Karakteristik, Metallurgy and Materials Engineering* Department University of Indonesia, Seminar Tira Austenite, 2007, pg. 31-36

¹⁸ *ibid.*, pg. 44

¹⁹ A.B. Sandvik Steel, *Seamless Tube: Sandvik SAF 2507*, Sandvik Steel, Sweden, 2000, pg. 1

Super Duplex memiliki perpaduan sifat antara ketangguhan (*toughness*) yang dimiliki oleh beberapa *Austenitic Steel* dengan kekuatan (*strength*) dan ketahanan korosi yang dimiliki oleh *Ferritic Steel*. Komposisi unsur kandungan yang optimum mampu menghasilkan ketahanan korosi (baik *pitting* maupun *crevice*), kekuatan dan kelenturan (*ductility*) yang sangat baik. Beberapa jenis dari material Duplex dapat digunakan pada suhu yang ekstrim rendah (di bawah nol) dan mampu bertahan terhadap *Stress Corrosion Cracking* (SCC).

Tingginya kadar alloy (25Cr 7Ni 4Mo) dibanding dengan Stainless Steel biasa SS316 (18Cr 8Ni) menyebabkan paduan ini lebih tahan terhadap korosi *intergranular*, *pitting* dan *crevice corrosion*. Efek dari penambahan Chromium dan Molybdenum adalah meningkatkan kemampuan pasivitas-nya dalam membentuk lapisan oksida yang bersifat *self-repairing*. Efek dari penambahan Nitrogen adalah memperkuat ikatan antar atom dengan mekanisme interstisi larutan padat yang meningkatkan *yield strength* tanpa mengurangi ketangguhan (*toughness*). Walaupun kadar Nikel dikurangi sebesar 1% untuk mengurangi ongkos produksi dibandingkan dengan SS316, tetapi masih mempertahankan sifat mampu las dari SS tipe ini.

Super Duplex memiliki kombinasi kekuatan tarik (*high tensile*) dan kekuatan takik (*impact strength*) yang tinggi, dengan koefisien ekspansi termal yang rendah dan konduktivitas thermal yang tinggi. Karakteristik seperti ini sangat cocok untuk konstruksi komponen mekanikal. Super Duplex tidak disarankan untuk diaplikasikan dalam waktu yang relatif lama pada suhu diatas 280⁰C, karena akan mengurangi ketangguhan.²⁰

²⁰ Sandmeyer Steel Company, *Specification Sheet: SAF 2507 (UNS S32750) A 25Cr Duplex Stainless Steel*, Sandmeyer Steel Company, Philadelphia, 2000, pg. 1

Mechanical Properties

Ultimate Tensile Strength, ksi	116 min.
0.2% Offset Yield Strength, ksi	80 min.
1% Offset Yield Strength, ksi	91 min.
Elongation in 2 inches, %	15 min.
Hardness, Rockwell C	32 max.
Impact Energy, ft-lbs	74 min.

Low Temperature Impact Properties

Temperature °F	RT	32	-4	-40
Ft-lbs	162	162	155	140
Temperature °F	-76	-112	-148	-320
Ft-lbs	110	44	30	7

Elevated Temperature Tensile Properties

Temperature °F	68	212	302	392	482
0.2% Offset Yield Strength, ksi	80	65	61	58	55
Ultimate Tensile Strength, ksi	116	101	98	95	94

Tabel 2.1.10 Tabel karakteristik mekanis²¹

Physical Properties

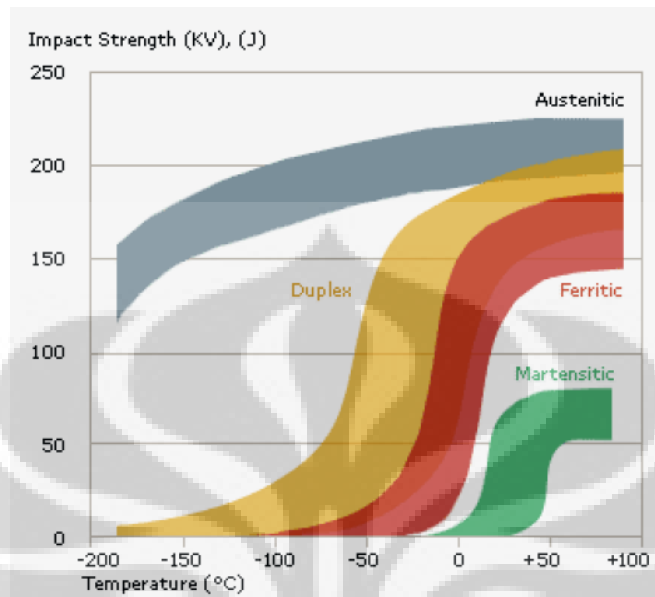
Density	lb/in ³	0.28
Modulus of Elasticity	psi x 10 ⁶	29
Coefficient of Thermal Expansion 68-212°F/°F	x10 ⁻⁶ /°F	7.2
Thermal Conductivity	Btu/h ft °F	8.7
Heat Capacity	Btu/lb °F	0.12
Electrical Resistivity	Ω-in x 10 ⁻⁶	31.5

Tabel 2.1.11 Tabel karakteristik fisis²²

²¹ ibid., pg. 2

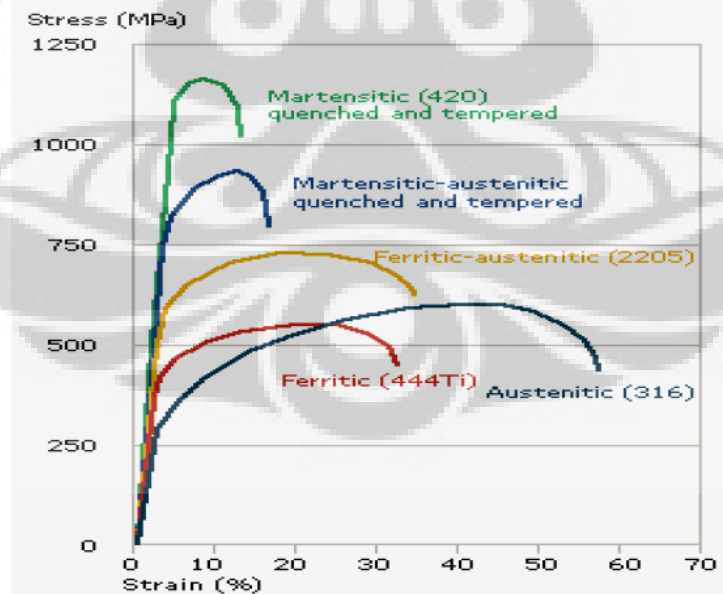
²² ibid.

Sebagai perbandingan nilai kekuatan takik (*Impact Strength*) Duplex SS dengan *Stainless steel* yang lain, berikut adalah kurvanya :



Gambar 2.1.9 Kurva nilai *Impact stress* terhadap suhu²³

Sedangkan berikut ini adalah perbandingan nilai kekuatan dan keuletan Duplex SS dengan *Stainless steel* yang lain :



Gambar 2.1.10 Kurva nilai tegangan terhadap regangan²⁴

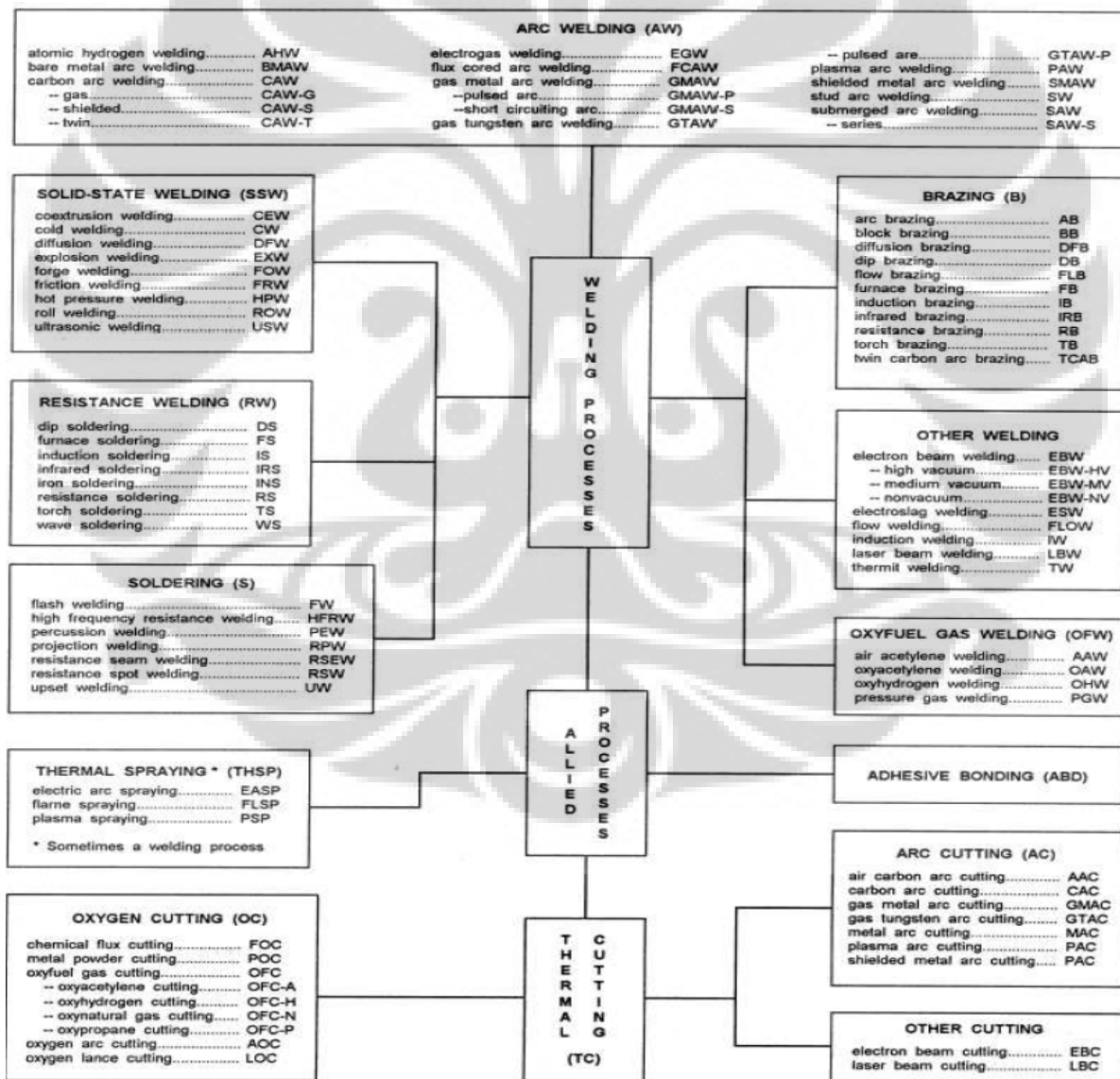
²³ Bambang Suharno and Bustanul Arifin, *Duplex Stainless Steel: Karakteristik, Metallurgy and Materials Engineering Department University of Indonesia, Seminar Tira Austenite, 2007, pg. 35*

²⁴ *ibid.*, pg. 36

II.2 Pengelasan

II.2.1 Definisi dan tipe-tipe pengelasan

Pengelasan adalah sebuah metode penggabungan logam yang paling mudah dan cepat diantara sekian banyak metode yang ada. Definisi dari pengelasan itu sendiri adalah menggabungkan dua buah logam dengan cara memanaskannya sampai dengan suhu leburnya dan menyebabkan kedua logam cair tersebut mengalir bersama-sama. Saat ini ada banyak metode pengelasan, seperti yang dijelaskan dalam diagram dibawah. Diagram tersebut menjelaskan segala proses produksi dan reparasi logam serta dipublikasikan oleh *American Welding Society*.



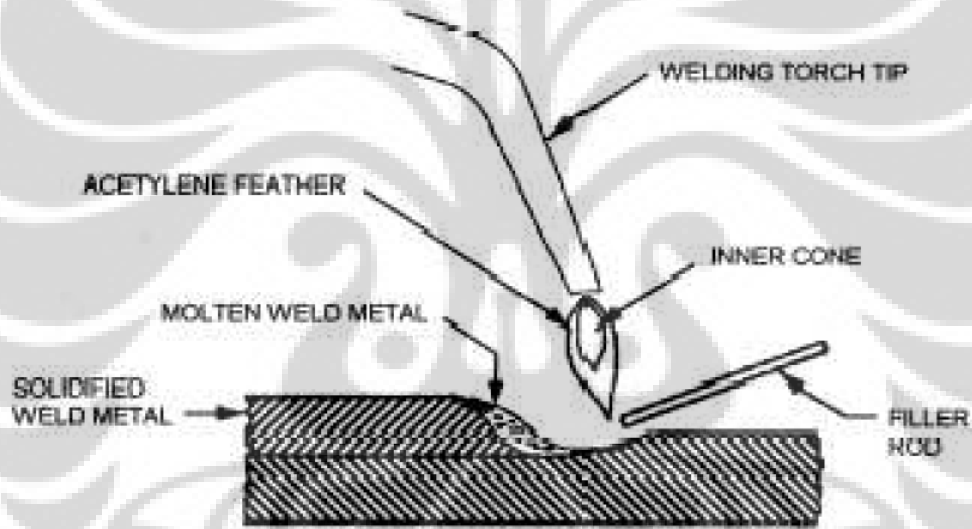
Gambar 2.2.1 Diagram jenis-jenis pengelasan²⁵

²⁵ Farid Moch. Zamil, *Introduction to Welding*, KBK Welding, Milis Migas Indonesia, 2005, pg. 2

Tipe pengelasan yang paling umum digunakan dalam industri logam adalah *Oxyfuel Gas Welding* dan *Arc Welding*. Perbedaan yang paling utama diantara keduanya adalah dalam metodenya untuk menghasilkan panas.²⁶

1. *Oxyfuel Gas Welding* (OFW)

Metode ini menggunakan semburan gas sebagai penghasil panas. Gas yang dimaksud adalah *Methylacetylene Propadiene* (MAPP) atau yang biasa kita kenal dengan *acetylene*, dicampur dengan oksigen. *Gas Welding* banyak digunakan dalam pekerjaan perawatan dan reparasi karena kemudahan dalam transportasi tabung oksigen dan *acetylene*. OFW dapat diaplikasikan pada *brazing*, memotong, dan perlakuan panas untuk semua jenis logam.



Gambar 2.2.2 Komponen-komponen pada *Gas Welding*²⁷

2. *Arc Welding* (AW)

Metode ini menggunakan busur listrik untuk menggabungkan kedua logam lasan. Perbedaannya dengan *Gas Welding* adalah tingkat konsentrasi panas yang dihasilkan. Pada *Gas Welding* nyala api tersebar pada area yang luas, sehingga kadang menyebabkan panas yang berlebihan. Akibatnya dapat timbul *buckling* (menekuk) dan *warping* (membelok). Sedangkan pada *Arc Welding*, konsentrasi panas yang dihasilkan tidak sebesar *Gas Welding*. Sehingga resiko terjadinya *buckling* dan

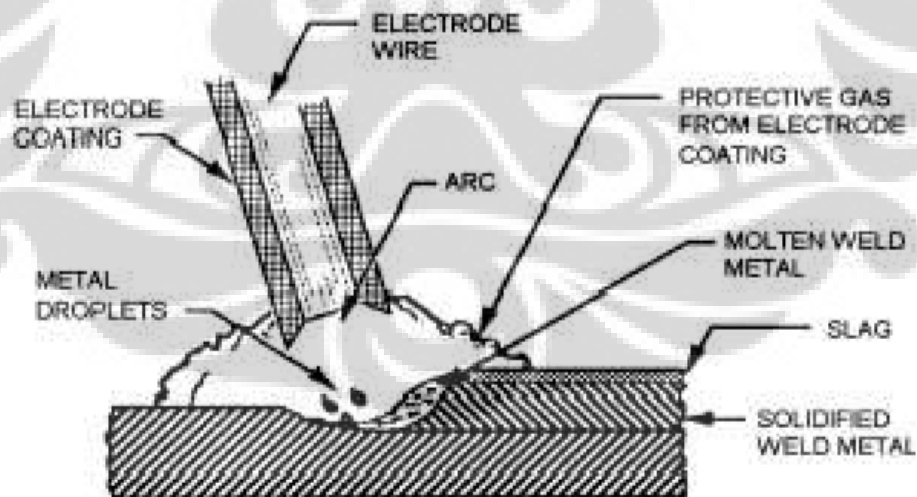
²⁶ *ibid.*, pg. 1

²⁷ *ibid.*, pg. 1 & 3

warping dapat dikurangi. Selain itu rendahnya konsentrasi panas yang dihasilkan mampu memperdalam penetrasi pengelasan dan mempercepat pekerjaan pengelasan. Oleh sebab itu *Arc Welding* lebih sering digunakan daripada *Gas Welding* karena lebih praktis dan ekonomis. *Arc Welding* sendiri memiliki berbagai macam tipe, namun ada tiga kesamaan diantara tipe-tipe tersebut. Tiga hal tersebut adalah sumber panas, logam pengisi, dan perisai / pelindung (*Shielding*). Sumber panas dihasilkan oleh arus listrik yang terjadi diantara dua kutub. Sumber tenaganya didapat dari mesin las yang digerakkan oleh motor listrik maupun motor bakar. Dalam dunia konstruksi kita mengenal ada dua tipe *arc welding*, yaitu :

a. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Tipe ini menghasilkan busur listrik diantara elektroda logam pelapis dan *base metal*. Sekali busur listrik sudah terbentuk, logam cair dari ujung elektroda akan mengalir bersama-sama dengan logam cair lain yang berasal dari ujung *base metal* menuju daerah sambungan. Proses ini dikenal dengan proses peleburan. Lapisan luar yang berasal dari elektroda menutupi deposit logam lasan dan melindunginya (*Shielding*) dari kontaminasi. Keuntungan mendasar dari pengelasan tipe ini adalah produk lasan berkualitas tinggi yang dapat dibuat dengan biaya rendah.



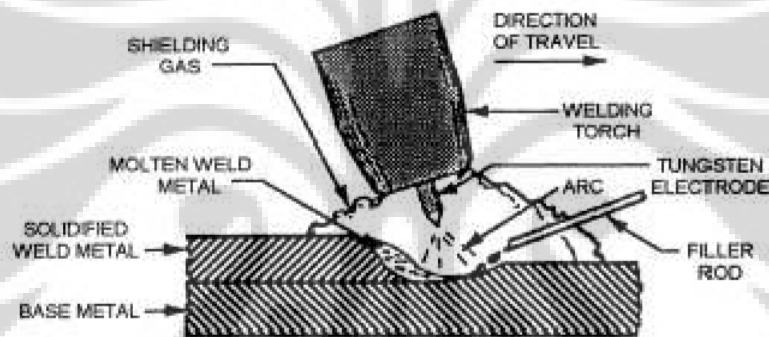
Gambar 2.2.3 Komponen-komponen pada *Shielded Metal Arc Welding*²⁸

²⁸ *ibid.*, pg. 3

b. Gas Shielded Arc Welding (GSAW)

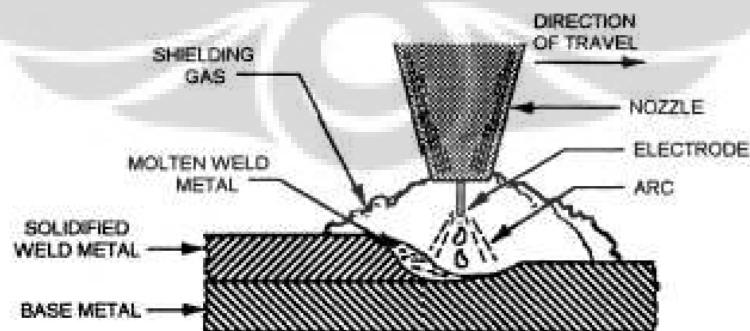
Perbedaan utama antara *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan *Gas Shielded Arc Welding* (GSAW) adalah pada tipe pelindung (*Shielding*) yang digunakan. Pada tipe ini, baik busur las maupun logam cair dilindungi / ditutupi oleh inert gas. Penutup inert gas tersebut melindungi dari kontaminasi udara atmosferik sekitarnya, sehingga menghasilkan produk lasan yang lebih baik. Gas utama yang digunakan pada proses pengelasan ini adalah helium, argon atau karbondioksida. Dalam kondisi tertentu, campuran ketiganya terkadang digunakan. GSAW lebih sering digunakan karena dapat diaplikasikan pada berbagai jenis logam fero dan non-fero dengan berbagai ketebalan. GSAW sendiri dibedakan atas :

1). Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)



Gambar 2.2.4 Komponen-komponen pada *Gas Tungsten Arc Welding*²⁹

2). Gas Metal Arc Welding (GMAW)

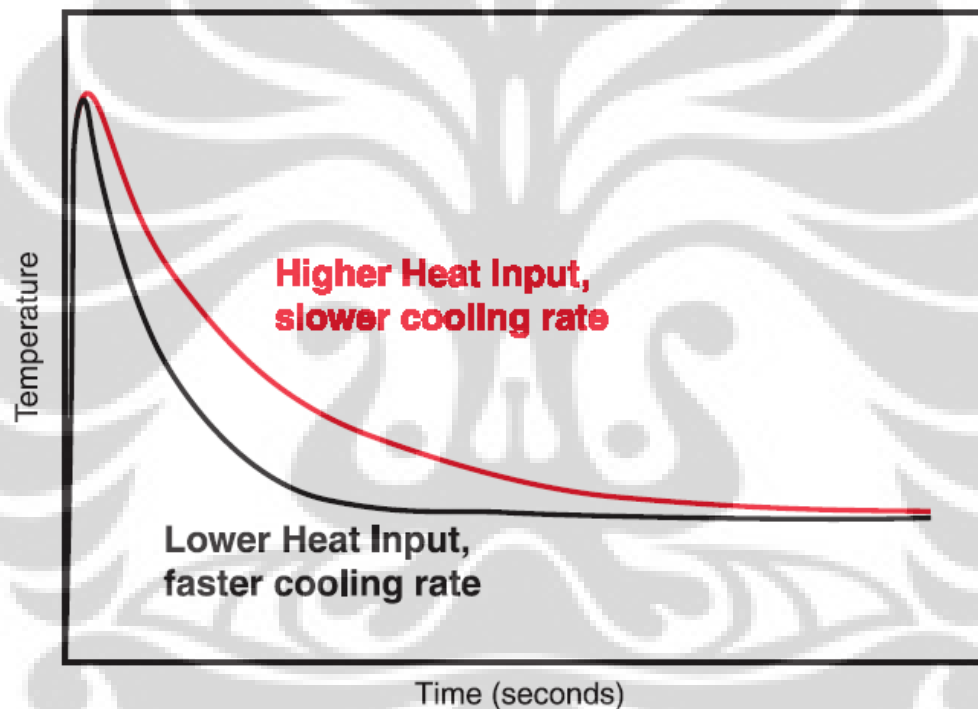


Gambar 2.2.5 Komponen-komponen pada *Gas Metal Arc Welding*³⁰

²⁹ ibid., pg. 4

³⁰ ibid.

Pada las busur atau *arc welding*, energi disalurkan dari elektroda las sampai dengan logam induk oleh busur listrik. Pada saat tukang las menyalakan busur las, baik logam pengisi maupun logam induk sama-sama mencair membentuk lapisan lasan. Mencairnya kedua logam tersebut sangat mungkin terjadi karena adanya sejumlah energi per satuan waktu dan kepadatan panas yang disuplai oleh elektroda. Siklus tersebut dikenal oleh Masukan Panas. Secara definitif, masukan panas adalah pengukuran tertentu dari transfer energi per satuan panjang jejak lasan. Panas yang masuk, seperti pada proses *preheat* dan suhu *interpass*, memiliki faktor yang penting, dimana hal tersebut dapat menentukan karakteristik mekanis dan struktur metalurgi dari daerah logam lasan dan HAZ.



Gambar 2.2.6 Kurva suhu terhadap waktu³¹

Masukan panas dihitung dari rasio energi (tegangan x arus) terhadap kecepatan sumber panas (busur las), dengan rumus³²:

$$H = \frac{60 EI}{1000 S}$$

³¹ R. Scott Funderburk, *A Look at Heat Input*, Welding Innovation, Migas Indonesia, Indonesia, 1999, pg. 1

³² *ibid.*

dimana : H = Masukan panas (kJ/inch atau kJ/mm)

E = Tegangan (volts)

I = Arus (ampere)

S = Kecepatan pengelasan (inch/menit atau mm/menit)

Laju pendinginan merupakan salah satu fungsi daripada masukan panas. Pengaruhnya sama dengan suhu *preheat*. Jika masukan panas atau suhu *preheat* naik, maka laju pendinginan akan menurun untuk logam dengan ketebalan tertentu. Selain kedua variable tersebut, laju pendinginan juga dipengaruhi oleh ketebalan material, kalor spesifik, kepadatan dan konduktivitas panas. Persamaan fungsi tersebut dibawah menunjukkan hubungan antara suhu *preheat*, masukan panas, dan laju pendinginan³³:

$$R \propto \frac{1}{T_o H}$$

dimana : R = Laju pendinginan (°F/det atau °C/det)

T_o = Suhu *preheat* (°F atau °C)

H = Masukan panas (kJ/inch atau kJ/mm)

Laju pendinginan adalah factor utama yang menentukan struktur metalurgi akhir pada daerah lasan dan daerah HAZ sebuah logam, terlebih lagi pada baja yang telah mengalami perlakuan panas. Sebagai contoh pada logam lasan yang di-*quenching* maupun di-*tempered*, laju pendinginan lambat (sebagai akibat dari besarnya masukan panas) dapat mengurangi kekerasan material yang berada bersebelahan pada daerah lasan, sehingga dapat mengurangi kekuatan sambungan.

II.2.2 Pengelasan pada Super Duplex

Super Duplex memiliki sifat mampu las yang baik dan bisa disambung dengan sesama Super Duplex atau bahkan dengan material yang lain. Metode / tipe pengelasan yang sering digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Plasma Arc Welding* (PAW), *Flux Core Wire* (FCW) atau *Submerged Arc Welding* (SAW). Pemanasan awal atau *preheat* sebelum

³³ *ibid.*, pg. 2

pengelasan tidak perlu dilakukan kecuali untuk menghindari pengembunan atau kondensasi pada kondisi lingkungan yang dingin. Suhu *interpass* harus dijaga agar tidak melewati 300⁰F atau 150⁰C agar produk lasan masih berkualitas baik. *Root pass* harus terlindungi oleh gas argon atau nitrogen 90% + hydrogen 10% untuk mendapatkan ketahanan korosi yang maksimal. Jika pengelasan akan dilakukan pada satu sisi permukaan saja, dan pembersihan pasca pengelasan tidak memungkinkan, maka disarankan menggunakan tipe pengelasan GTAW untuk *root pass*-nya. GTAW ataupun PAW tidak boleh dilakukan tanpa logam pengisi, kecuali pembersihan pasca pengelasan memungkinkan. Untuk tipe pengelasan SMAW atau GTAW besarnya masukan panas adalah pada rentang 5-38 kJ/inch. Sedangkan untuk tipe pengelasan SAW, besarnya masukan panas adalah sekitar 50 kJ/inch.³⁴

II.3 Quenching

Quenching adalah sebuah proses pendinginan cepat sebuah logam atau pengeluaran panas dari suatu logam dengan kecepatan tertentu yang berada pada kondisi suhu austenisasi, untuk baja umumnya pada rentang suhu 815⁰C s/d 870⁰C. *Quenching* menjadi proses yang penting dalam hal pengerasan logam atau *metal hardening*. Proses ini dilakukan untuk menghasilkan sejumlah fase martensitik pada mikrostruktur, memperluas distribusi ferrit, meningkatkan nilai kekerasan (*hardness*), kekuatan (*strength*), dan ketangguhan (*toughness*), dan meminimalkan jumlah presipitat karbida, residual stress, distorsi, dan kemungkinan retak (*cracking*).

Fluida yang digunakan pada proses *quenching* adalah *quenchant*. Pemilihan *quenchant* itu sendiri berdasarkan pada *hardenability*, ketebalan dan bentuk dari permukaan, dan laju pendinginan yang diinginkan untuk mendapatkan bentuk mikrostruktur yang diinginkan dari baja paduan yang akan di-*quenching*.³⁵

³⁴ Sandmeyer Steel Company, *Specification Sheet: SAF 2507 (UNS S32750) A 25Cr Duplex Stainless Steel*, Sandmeyer Steel Company, Philadelphia, 2000, pg. 2

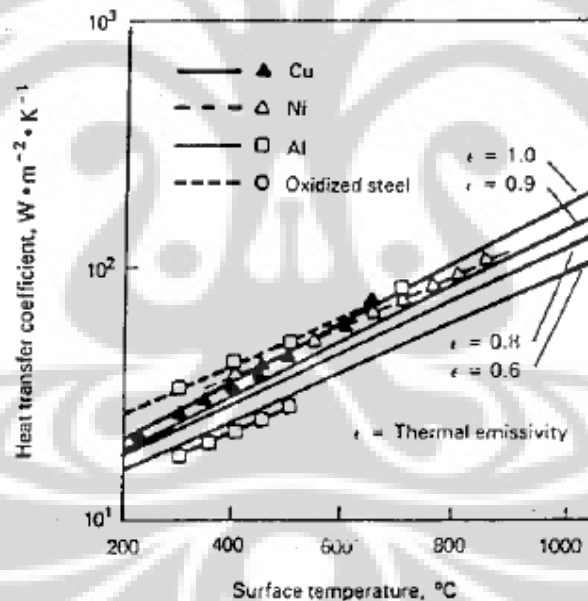
³⁵ ASM Handbook, *Quenching Steel*, Volume 4, Heat Treating, ASM International, 7th printing, March 2006, pg. 67

Adapun macam-macam *quenchant* adalah ³⁶:

1. Udara

Merupakan *quenchant* paling tua, umum dan murah. Transfer panas tergantung dari laju aliran rata-rata (*flow rate*). Pendinginan dapat dipercepat dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara, tapi cara ini tidak akan cukup efektif. Kemampuan air untuk mengeraskan (*hardening*) suatu logam (contoh : baja karbon) akan menurun drastis seiring dengan naiknya kandungan karbon. Perbandingan koefisien transfer panas dari logam yang berbeda-beda terhadap suhu permukaan logam ditunjukkan pada gambar dibawah. Untuk mendapatkan kekerasan permukaan yang diinginkan, terkadang perlu menggunakan *quenchant* lain yang lebih aktif seperti air garam atau oli.

Heat transfer coefficients for air cooling as a function of surface temperature



Gambar 2.3.1 Kurva koefisien transfer panas terhadap suhu permukaan³⁷

2. Air

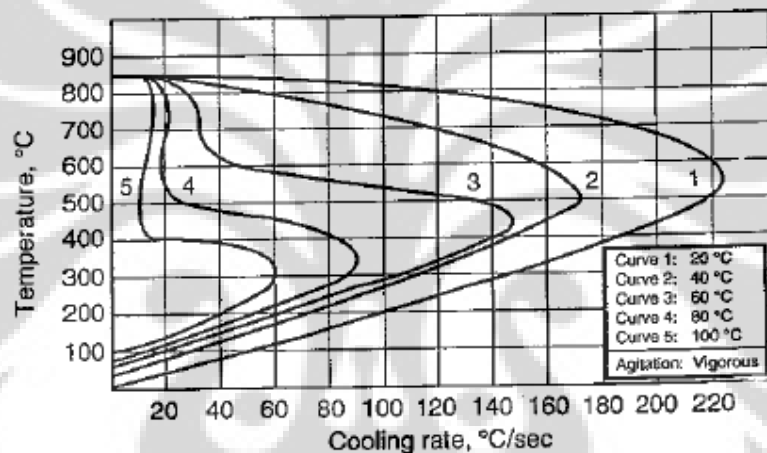
Seperti halnya udara, air juga termasuk *quenchant* yang tua, umum dan murah. Dan jika tidak terkontaminasi, air dapat dengan mudah dicampur dengan polutan. Air efektif menghancurkan kerak dari permukaan baja yang baru dikeluarkan dari tungku

³⁶ Harry Chandler, *Heat Treater's Guide – Practises and Procedures for Iron and Steels*, ASM International, February 2006, pg. 77

³⁷ *ibid.*

permanas tanpa perlindungan atmosferik. Air digunakan dimanapun proses *quenching* tidak menghasilkan distorsi atau retakan yang berlebihan, contohnya pada berbagai non-logam, baja tahan karat austenitic, dan logam lainnya yang telah mengalami perlakuan panas. *Quenching* dengan air dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu langsung (*immersion quenching*), dan dua tahap, pertama dengan air panas, kemudian dilanjutkan dengan campuran larutan polimer dan air garam. Air dingin adalah salah satu *quenchant* aktif yang tersedia bebas dan mampu memaksimalkan laju pendinginan. Saat suhu air meningkat, fase penguapan menjadi lebih panjang, dan laju pendinginan maksimum akan menurun tajam.

Effect of temperature on quenching properties of water.
Source: E.F. Houghton & Co.



Gambar 2.3.2 Kurva suhu air terhadap laju pendinginan³⁸

Pada umumnya hasil *quenching* yang optimal pada *immersion quenching* didapat dengan cara menjaga suhu air pada rentang 15-25(°C) dan kecepatan aliran air diatas 0.25 m/det.

3. Oli

Akhir-akhir ini seluruh *quenchant* oli adalah jenis mineral, biasanya berbahan dasar *paraffin* dan tidak mengandung lemak. Berdasarkan komposisi, tambahan zat aditif, dan aplikasi suhu, oli digolongkan menjadi :

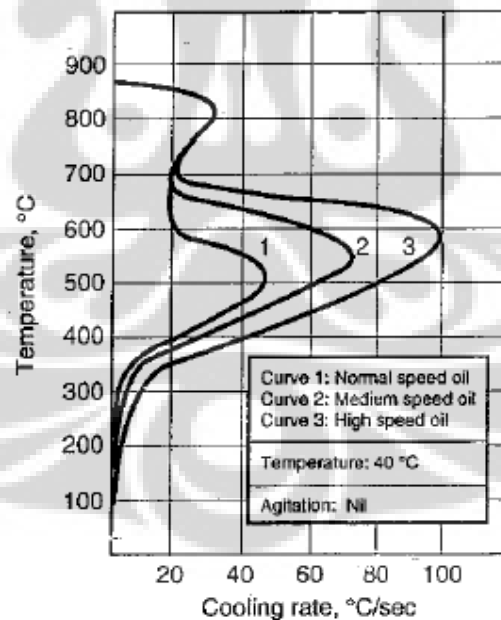
- a. oli dengan kecepatan lambat (*slow-speed oil*) untuk mendapatkan kekerasan yang tinggi (*high hardenability*),

³⁸ *ibid.*, pg. 78

- b. oli dengan kecepatan sedang (*medium-speed oil*) untuk mendapatkan kekerasan menengah (*medium hardenability*),
- c. oli dengan kecepatan cepat (*high-speed oil*) untuk mendapatkan kekerasan yang rendah (*low hardenability*),
- d. *hot oil quenching* atau biasa disebut dengan *martempering*,
- e. campuran oli dengan air (*water washable quenching oil*) untuk menghilangkan oli pada logam dengan air biasa.

Suhu pada proses *quenching* sangat berpengaruh terhadap umur oli, kekentalan oli, distorsi pada logam, dan kecepatan *quenching*. Sedangkan kecepatan *quenching* itu sendiri menjadi faktor yang sangat penting karena akan mempengaruhi kekerasan suatu logam. Berikut adalah kurva laju pendinginan terhadap suhu untuk oli dengan ketiga tingkat kecepatan (lambat, sedang dan cepat).

Cooling rate curves for quenching oils. Source: E.F. Houghton & Co.



Gambar 2.3.4 Kurva suhu oli terhadap laju pendinginan³⁹

Hampir semua *quenchant* oli mampu menghasilkan laju pendinginan lebih rendah daripada air biasa ataupun air garam, tapi oli men-transfer panas lebih *uniform*

³⁹ *ibid.*, pg. 79

daripada air, yang artinya lebih kecil kemungkinan terjadinya distorsi atau keretakan. Perubahan pada kekentalan dapat mengindikasikan adanya oksidasi, degradasi suhu atau adanya kontaminasi. Secara umum, kekentalan akan meningkat seiring dengan terdegradasinya oli dan akhirnya akan mempengaruhi kecepatan *quenching*.

4. Larutan polimer atau *aqueous polymer*

Pada prinsipnya *quenchant* ini adalah air, hanya diberi tambahan zat additif seperti garam anorganik dan oli. Tapi dengan ditemukannya minyak bumi, produk hidrokarbon menjadi fluida mayoritas pada proses *quenching*. Akhir-akhir ini sering digunakan air yang dicampur dengan polimer organik dalam proses *quenching* untuk memodifikasi karakteristik pendinginan dari air. Saat ini ada tiga tipe polimer yang beredar di pasaran, yaitu : *polyalkylene glycol* (PAG), *polyvinyl pyrrolidone* (PVP), dan *polysodium acrylate*.⁴⁰

5. *Molten salt* atau *brine* atau air yang mengandung garam

Larutan garam yang dimaksud disini adalah yang mengandung ion garam seperti sodium klorida atau kalsium klorida. Laju pendinginan yang dihasilkan oleh larutan garam lebih tinggi daripada air pada pengkondisian yang sama. Penggunaan *quenchant* ini biasanya pada saat *quenching* dengan air maupun oli tidak dapat menghasilkan kekerasan permukaan yang diinginkan. Kekurangan dari *brine* adalah sifatnya yang korosif, sehingga untuk beberapa peralatan seperti tangki, pompa, dan *conveyor*, pada permukaan kontak dengan larutan garam tersebut harus di-*coating* dahulu. Idealnya besarnya kandungan NaCl adalah 10%. Rendahnya suhu pada *quenchant* ini tidak terlalu berpengaruh terhadap laju pendinginan. Untuk suhu terendah yang mampu dioperasikan adalah pada 20⁰C.⁴¹

6. *Caustic solution*

Larutan jenis ini adalah air yang mengandung 5-10% sodium hidroksida (NaOH). Larutan ini lebih aktif daripada *brine*, bahkan berbahaya jika terkena kulit manusia karena sifat alkalinitasnya yang tinggi. Dalam beberapa penelitian, larutan ini

⁴⁰ ASM Handbook, *Quenching Steel*, Volume 4, Heat Treating, ASM International, 7th printing, March 2006, pg. 100

⁴¹ *ibid.*, pg. 89

memiliki laju pendinginan lebih tinggi daripada larutan garam. Namun *quenchant* ini jarang dipilih karena lebih mahal dan lebih rumit penanganannya.⁴²

7. Gas

Gas *quenching* digunakan jika ingin mendapatkan laju pendinginan yang lebih cepat daripada air statis namun lebih lambat daripada oli. Mekanisme operasi dengan gas adalah men-sirkulasikan gas pada ruangan tertutup. Gas yang keluar dari *nozzle* diarahkan langsung mengenai permukaan logam, dan setelah itu akan didinginkan dengan koil pendingin. Kemudian gas tersebut akan di-resirkulasi atau dihisap kembali ke *nozzle* menggunakan *return fan*. Gas yang umumnya digunakan pada proses ini adalah hydrogen atau helium karena sifat transfer panasnya yang lebih baik daripada oksigen biasa.⁴³

II.4 Korosi

II.4.1 Reaksi Elektrokimia Korosi

Korosi adalah bentuk kerusakan akibat adanya reaksi kimia antara logam atau *alloy* dengan lingkungannya. Pada dasarnya, reaksi korosi memerlukan adanya 4 faktor, yaitu anoda sebagai tempat terjadinya oksidasi, katoda sebagai tempat terjadinya reduksi, elektrolit sebagai media penghantar listrik, dan adanya hubungan antara anoda dengan katoda.⁴⁴

Secara umum semua proses korosi pada logam akan melibatkan transfer elektron *charge*. Untuk korosi dalam lingkungan air dapat dicontohkan adalah korosi antara Zinc dan HCl (Asam Klorida) yang dapat ditunjukkan melalui reaksi sebagai berikut⁴⁵ :



Zinc bereaksi dengan larutan asam membentuk larutan zinc chloride dan menghasilkan gas hydrogen pada permukaan.

Dalam bentuk ionik, reaksi ini adalah:



Pengurangan Cl^- dari kedua sisi pada reaksi ini memberikan:



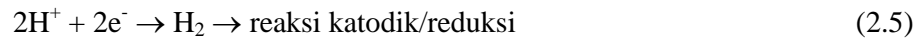
Di mana reaksi ini dapat dipisahkan menjadi:

⁴² *ibid.*, pg. 90

⁴³ *ibid.*, pg. 105

⁴⁴ Denny A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York, 1992, pg. 4

⁴⁵ *ibid.*, pg. 5-7



Reaksi anodik ini adalah reaksi oksidasi di mana bilangan valensi naik dari 0 \rightarrow +2 dan menghasilkan elektron, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi reduksi di mana bilangan oksidasi Hydrogen turun dari +1 \rightarrow 0 serta mengkonsumsi elektron.

Logam akan melepaskan elektron yang bermigrasi menuju bagian permukaan di mana elektron tersebut akan bereaksi dengan H^+ dalam larutan membentuk H_2 . Sedangkan air diperlukan sebagai pembawa ion seperti Zn^{2+} dan H^+ dan ini yang disebut sebagai elektrolit. Untuk logam yang terkorosi, reaksi anodiknya dapat bervariasi sesuai dengan bentuk:



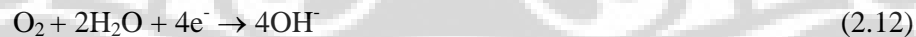
Sebagaimana contoh sebagai berikut:



Reaksi reduksi katodik yang umum adalah reduksi ion hidrogen dalam larutan asam. Selain itu juga terdapat reaksi reduksi sebagai oksidasi ion dalam larutan yang dikenal sebagai reaksi redoks. Contohnya adalah:



Reaksi reduksi oksigen terlarut sering diamati dalam larutan netral dan larutan asam. Reaksi reduksi tersebut adalah:



Ketidakhadiran reaksi reduksi yang lain, air akan berkurang oleh



Di mana disosiasi air menjadi H^+ dan OH^- dan substraksi OH^- dari kedua sisi reaksi.

II.4.2 Bentuk-bentuk korosi

Secara umum bentuk-bentuk korosi dapat dikenali secara visual. Setiap bentuk tersebut sangat berbeda antara yang satu dengan yang lainnya. Hal ini memungkinkan bagi seorang metallurgist untuk menguji sample dan membuat asumsi penyebab

korosi sehingga dapat diukur secara tepat untuk laju korosinya. Terdapat delapan bentuk atau tipe dasar korosi, yaitu⁴⁶ :

1. Korosi merata atau *uniform corrosion*

Tipe ini adalah bentuk yang paling umum terjadi. Korosi jenis ini menyerang secara merata pada seluruh permukaan logam sehingga akan mengurangi ketebalan logam. Pencegahan untuk korosi jenis ini adalah yang paling murah pada dunia industri, yaitu dengan cara menambah ketebalan dinding (*wall thickness*) atau memberikan *coating* pada permukaan logam.



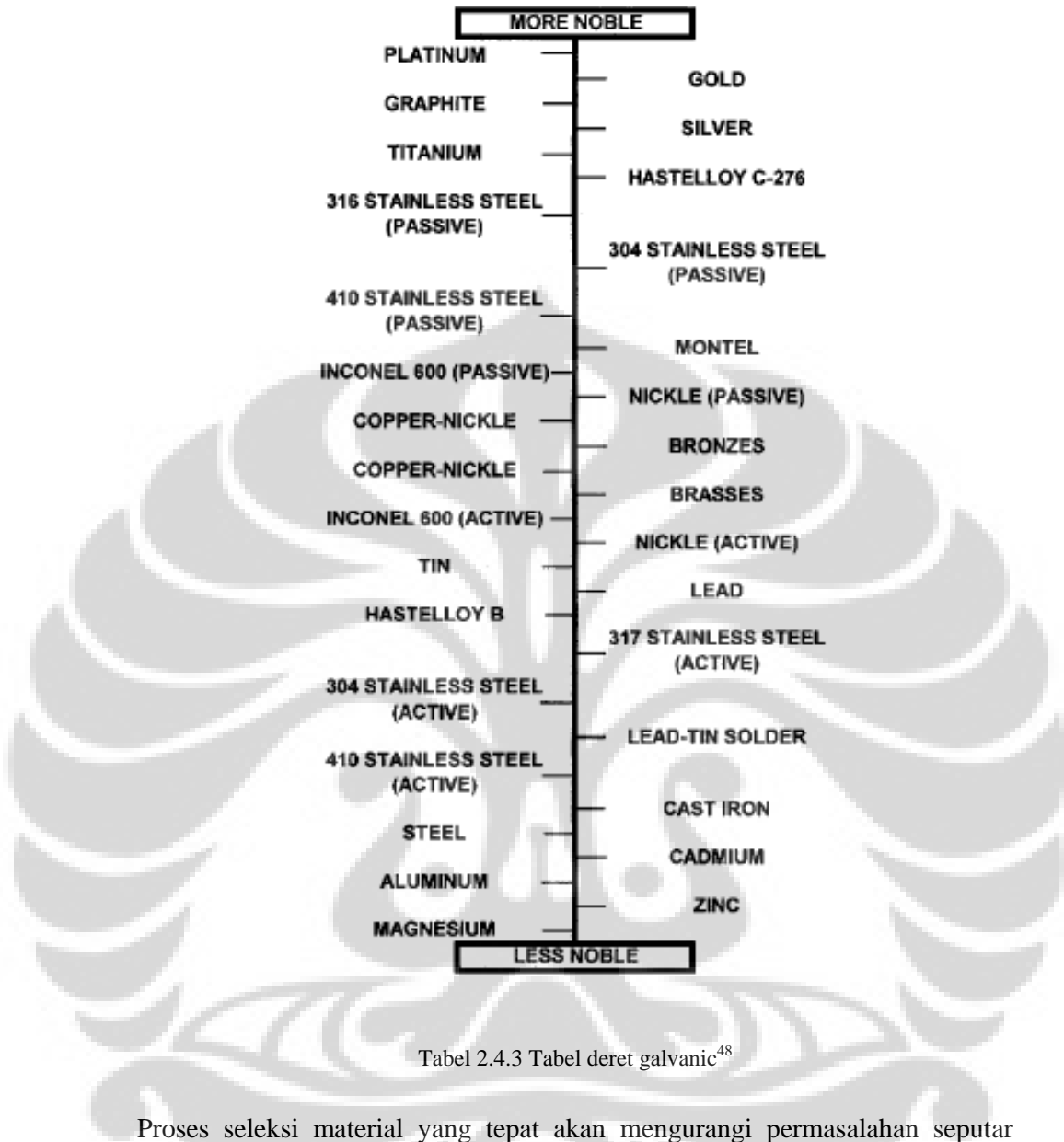
Gambar 2.4.2 Contoh bentuk korosi merata atau *uniform corrosion* pada fitting elbow⁴⁷

2. Korosi galvanik atau *galvanic corrosion*

Bentuk korosi diakibatkan oleh penggabungan dua material yang berbeda dimana terdapat beda potensial diantara keduanya. Pada saat material tersebut terhubung secara listrik, baik secara langsung maupun melalui media elektrolit, beda potensial akan menyebabkan terjadinya arus diantara keduanya atau dengan kata lain elektron-elektron atau arus akan berpindah dari material yang satu dengan yang lain. Material yang lebih *noble* akan bertindak sebagai katoda, sementara material kurang *noble* akan bertindak sebagai anoda.

⁴⁶ Brett A. Anderson, *The 8 Forms of Corrosion*, Migas Indonesia, Indonesia, 2001, pg. 7

⁴⁷ *ibid.*



Tabel 2.4.3 Tabel deret galvanic⁴⁸

Proses seleksi material yang tepat akan mengurangi permasalahan seputar korosi galvanic. Kombinasi logam dan paduannya yang digunakan bersama-sama harus memperhatikan deret galvanic. Penggabungan dua material yang berbeda, seperti pada sambungan ulir, sebaiknya dihindari, dan untuk baut pengencang seharusnya menggunakan material yang sama atau yang lebih *noble*.

⁴⁸ ibid., pg. 10



Gambar 2.4.4 Contoh bentuk korosi galvanic pada sambungan ulir antara fitting kuningan dengan pipa baja karbon⁴⁹

3. Korosi celah atau *crevice corrosion*

Adalah bentuk korosi local dan spesifik. Biasanya terjadi pada lubang, *groove* pada gasket, kepala baut, kepala *rivet*, *lap joint*, *cracks*, dan dimanapun yang memungkinkan terjadi genangan larutan tertentu. Korosi celah dimulai oleh molekul oksigen yang habis bereaksi dengan akumulasi asam yang terhidrolisis oleh garam pada suatu celah.



Gambar 2.4.5 Contoh bentuk korosi celah atau *crevice corrosion* pada baut pengikat flange, dimana terdapat celah sempit diantara kedua flange⁵⁰

⁴⁹ *ibid.*, pg. 11

⁵⁰ *ibid.*, pg. 12

Sama halnya seperti korosi galvanic, proses pemilihan material yang tepat juga mampu menurunkan kemungkinan terjadinya korosi celah. Selain itu, jika pada tahap perencanaan atau *engineering* menggunakan system drainase yang tepat, juga akan mengurangi efek terjadinya korosi celah.

4. Korosi sumuran atau *pitting corrosion*

Bentuk korosi ini mampu menyebabkan kegagalan pada suatu system, walaupun hanya menyebabkan sedikit sekali kehilangan material. Korosi ini merupakan korosi local yang berbahaya hingga mampu menembus permukaan suatu material. Korosi sumuran terkadang tidak dapat dideteksi keberadaannya karena ukuran lubang tembusannya yang teramat kecil.



Gambar 2.4.6 Contoh bentuk korosi sumuran atau *pitting corrosion* pada dinding pipa.⁵¹

Salah satu metode untuk mendeteksi adanya korosi sumuran adalah dengan menggunakan Uji *Ultrasonic*. Dan kalau beruntung lokasi lubang dapat terdeteksi secara tegak lurus.

5. Korosi batas butir atau *intergranular corrosion*

Bentuk korosi ini terjadi pada batas butir mikrostruktur suatu material. Serangan korosi pada batas butir tersebut mampu merambat hingga ke permukaan material dan terkadang menyebabkan kegagalan mekanis pada system. Umumnya korosi tipe ini dipicu oleh proses sensitasi, seperti pada proses pengelasan. Pemilihan material, perlakuan panas, *quenching*, dan teknik pengelasan yang tepat adalah metode yang efektif mencegah terjadinya korosi batas butir.

⁵¹ *ibid.*, pg. 14



Gambar 2.4.7 Contoh bentuk korosi batas butir atau *intergranular corrosion* pada daerah HAZ⁵²

6. *Selective leaching*

Selective leaching atau *dealloying* adalah proses hilangnya salah satu unsur pada logam paduan akibat korosi lingkungan. Kejadian yang paling sering adalah hilangnya unsur seng (Zn) dari logam kuningan. Pada logam tersebut umumnya memiliki kandungan seng (Zn) sebesar 30% dan tembaga (Cu) 70%. Kuningan akan berubah warna menjadi merah atau mirip dengan warna tembaga (Cu), dimana akan sangat kontras dengan warna kuning. Atau malah pada lapisan terluar kuningan akan terbentuk lapisan *zinc oxide*.



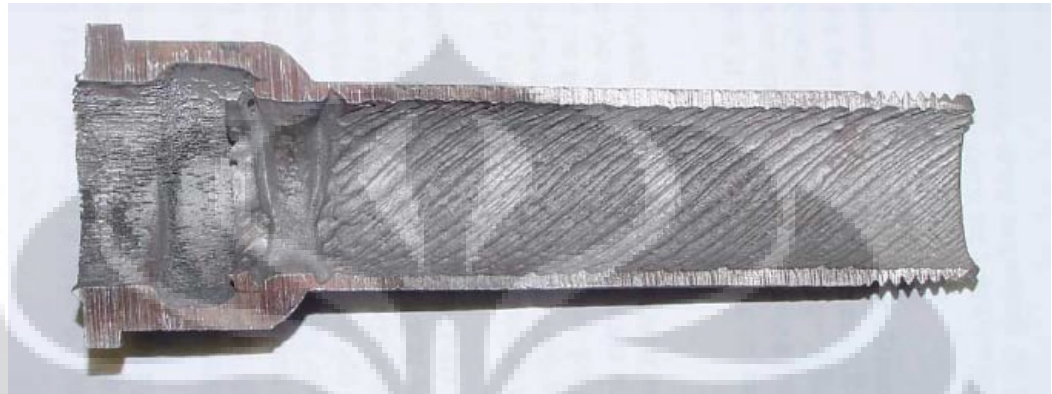
Gambar 2.4.8 Contoh bentuk *dealloying* pada valve dengan bahan kuningan⁵³

⁵² *ibid.*, pg. 15

⁵³ *ibid.*

7. Korosi erosi atau *erosion corrosion*

Adalah terkikisnya lapisan suatu permukaan material atau logam sebagai akibat aliran berkecepatan tinggi suatu fluida. Fluida tersebut tidak harus selalu mengandung partikel yang abrasif, namun jika ada maka permukaan material atau logam tersebut akan terkikis lebih cepat.



Gambar 2.4.9 Contoh bentuk korosi erosi pada dinding pipa akibat turbulensi fluida⁵⁴

8. Korosi retak tegangan atau *stress corrosion cracking*

Stress Corrosion Cracking adalah retakan yang terjadi akibat adanya tegangan tarik (*tensile stress*) dan lingkungan yang korosif. Tegangan tarik itu sendiri bisa terjadi akibat tegangan yang bekerja (*applied stress*) maupun tegangan sisa (*residual stress*). Tegangan sisa dapat terjadi akibat adanya proses fabrikasi seperti : pengelasan, gerinda, perlakuan panas, *rolling*, *bending*, *machining* dan *forming*. *Stress corrosion cracking* mungkin tidak terlihat pada permukaan material, tapi bermula pada tengah-tengah tebal dinding suatu material, yang nantinya akan merambat ke permukaan.

⁵⁴ *ibid.*, pg. 17



Gambar 2.4.10 Contoh bentuk *stress corrosion cracking* pada sebuah pompa yang bekerja⁵⁵ pada lingkungan klorit

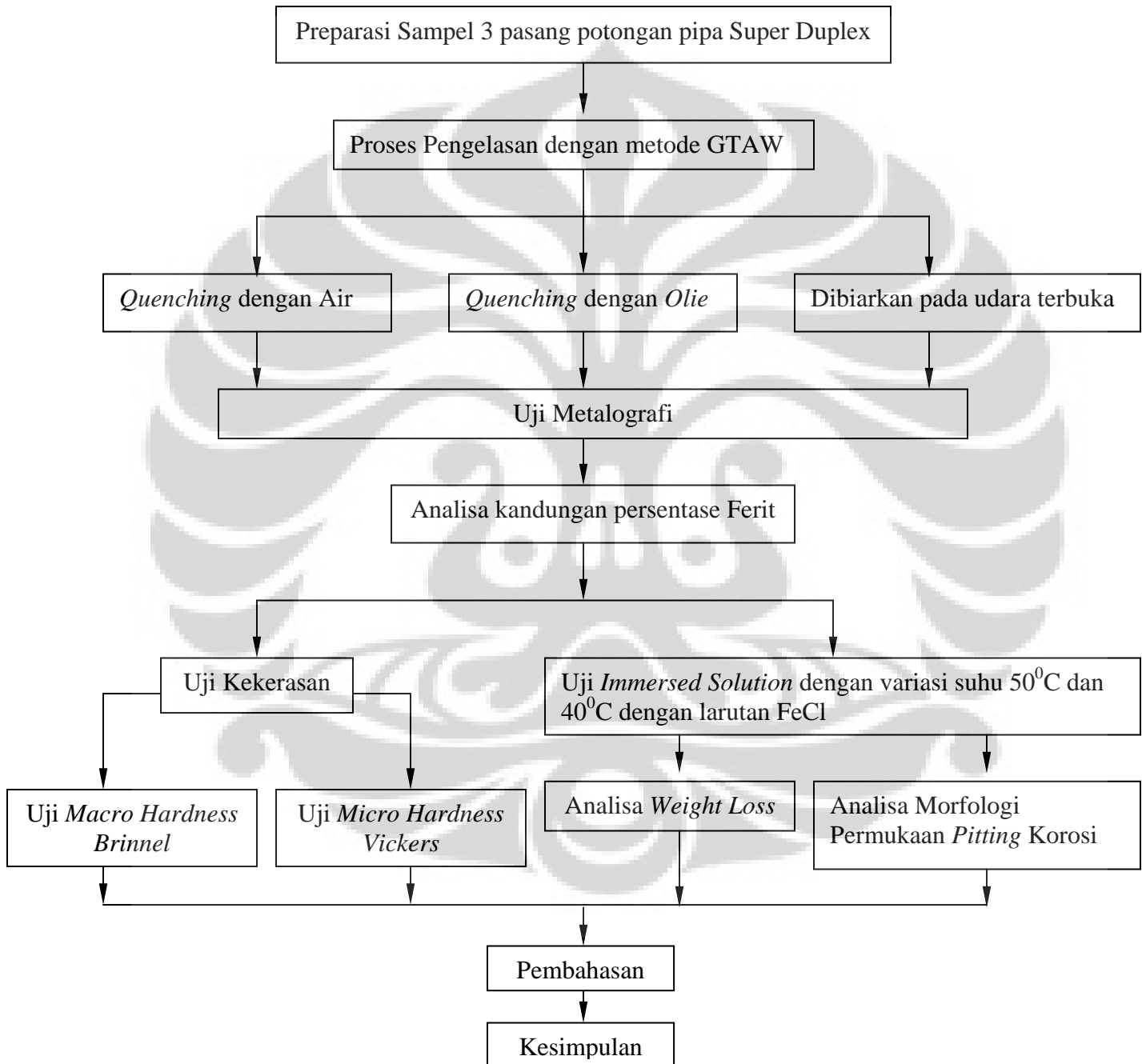
Melalui pemeriksaan visual seringkali permasalahan korosi dapat diklasifikasikan dengan cara melihat bentuk korosi yang terjadi. Setiap tipe korosi yang terjadi dapat diketahui bagaimana mekanisme terbentuknya dan metode pencegahan atau pengurangan yang mungkin dapat diterapkan.

⁵⁵ *ibid.*, pg. 18

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Skema Kerja Keseluruhan Penelitian



Gambar 3.1.1 Diagram Alir Penelitian

III.2 Persiapan Sampel, Proses Pengelasan, sampai dengan *Quenching*

III.2.1 Bahan

Material uji utama dalam penelitian ini berupa potongan pipa Super Duplex Stainless Steel UNS S32750 diameter 6 inch dengan ketebalan 10.46 mm atau *schedule 80*. Selain itu terdapat bahan penunjang lainnya, yaitu :

- 1) air untuk media *quenching* dengan suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$; dan
- 2) *olie* untuk media *quenching* juga dengan suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$.

III.2.2 Peralatan

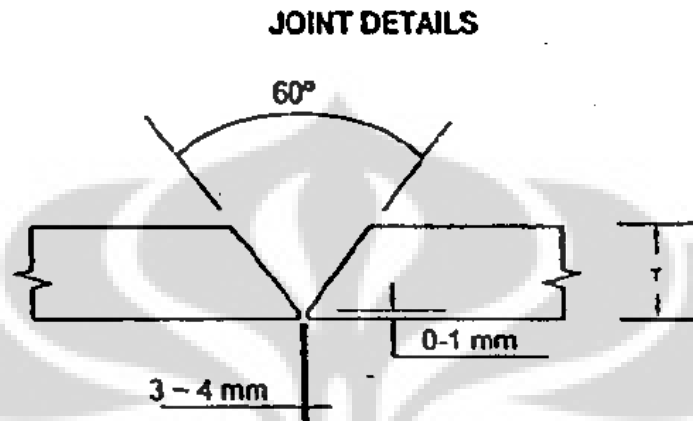
Peralatan yang dipergunakan dalam proses persiapan, pengelasan, dan *quenching* adalah:

- 1) *cold cutter*;
- 2) gerinda listrik;
- 3) *grinding disc non-ferrous*;
- 4) mesin bubut untuk *bevealing*;
- 5) mesin las-*welding transformer "Miller"*;
- 6) *GTAW welding holder*;
- 7) selang gas/*welding hose*;
- 8) *wire rod "Aviesta"* diameter 1.6 mm;
- 9) Gas Argon UHP (*Ultra High Purified*) 99%;
- 10) *Oxygen Analyzer*;
- 11) tang penjepit sample; serta
- 12) tempat wadah air dan *olie*.

III.2.3 Prosedur

1. Potongan pipa Super Duplex Stainless Steel diameter 6" dengan *wall thickness* 10.46 mm atau *Schedule 80*, yang merupakan hasil sisa fabrikasi, dipotong-potong menggunakan *cold cutter* menjadi enam buah, masing-masing sepanjang 50 mm.

2. Enam potongan tersebut dilas menjadi tiga cincin raksasa.
3. Pada salah satu sisi cincin – cincin tersebut dibuat tirus atau di-*beveling* menggunakan mesin bubut.



Gambar 3.2.3.1 Detail *groove beveling* pada cincin pipa

4. Setiap cincin dipasangkan dengan satu cincin yang lain dengan bagian tirus menghadap ke sisi dalam dengan jarak seperti pada gambar 3.2.3.1. Kemudian di-cantum atau di-*tag weld* di empat titik kuadran.
5. Sebelum mulai proses pengelasan kedua sisi pasangan cincin pipa ditutup rapat untuk kemudian dimasuki selang *impush* gas Argon. Teknik yang sama juga diterapkan untuk kedua sampel berikutnya.
6. Setiap pasangan cincin pipa dilas dengan metode GTAW atau *Gas Tungsten Arc Welding*. Pengelasan tersebut menggunakan:
 - a. *inert* gas, yaitu Gas Argon UHP (*Ultra High Purified*) 99%; dan
 - b. kawat las atau *wire rod* “*Aviesta*” diameter 1.6 mm.
7. Setelah selesai pengelasan, dua sampel pertama di-*quenching* dalam masing-masing wadah yang berisi air dan *olie*. Namun pada sampel yang terakhir hanya dibiarkan saja pada udara terbuka.
8. Pada akhir proses *quenching*, hanya seperempat kuadran saja dari cincin pipa yang dijadikan sampel.

III.3 Pengujian Metalografi

III.3.1 Bahan

Proses selanjutnya adalah pengambilan foto makro dan mikro, dimana terdapat bahan penunjang, yaitu :

- 1) kertas amplas;
- 2) kain poles dari beludru laken;
- 3) zat poles titanium dioksida;
- 4) zat etsa larutan KOH 0.5 %; dan
- 5) film ASA 200.

III.3.2 Peralatan

Peralatan yang dipergunakan saat melakukan pengamatan mikrostruktur dan analisa kandungan ferit pada ketiga sampel adalah :

- 1) mesin amplas dan poles;
- 2) pengering (*hair dryer*);
- 3) mikroskop optik Olympus yang dilengkapi dengan kamera; dan
- 4) *Image Analyzer Point Counting*.

III.3.3 Prosedur

Pengamatan mikrostruktur bertujuan untuk melihat karakteristik fasa-fasa yang terbentuk dengan menggunakan mikroskop optik Olympus yang dilengkapi kamera *digital*. Sebelum proses pengamatan mikrostruktur dan analisa kandungan ferit, sampel terlebih dahulu dipreparasi meliputi:

1. Pengamplasan menggunakan mesin amplas dengan kertas amplas yang memiliki nomor *grid* yang berbeda secara bertahap, dimulai dari nomor *grid* yang paling kecil (paling kasar) sampai ke nomor *grid* paling besar (paling halus). Proses pengamplasan ini bertujuan untuk meratakan permukaan sampel. Selama proses pengamplasan berlangsung, sampel dan kertas amplas harus dialiri air. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan geram-geram hasil pengamplasan agar tidak

- menggores permukaan sampel. Proses pengamplasan dilakukan sampai didapat kehalusan permukaan yang memadai dan tidak terdapat goresan-goresan kasar pada permukaan.
2. Selanjutnya dilakukan pemolesan dengan kain poles dari beludru laken dan zat poles TiO_2 , yang bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang lebih halus dan mengkilap. Hal ini sangat penting, karena untuk melakukan pengamatan mikrostruktur permukaan sampel harus benar-benar halus dan bebas dari goresan. Permukaan yang tidak halus, tidak rata dan masih terdapat goresan akan mengganggu pengamatan karena berkas sinar akan dipantulkan secara acak.
 3. Sampel dibersihkan dan dikeringkan, lalu permukaannya dicelupkan ke dalam zat etsa berupa larutan KOH 0.5% dan didiamkan selama ± 30 detik. Setelah itu dicuci dengan alkohol dan air lalu dikeringkan dengan pengering (*hair dryer*) sampai benar-benar kering.
 4. Pengambilan gambar dilakukan menggunakan mikroskop optik Olympus yang dilengkapi dengan kamera dengan perbesaran 7x dan 100x. Pengambilan gambar tersebut dimulai dari daerah lasan, dilanjutkan dengan HAZ, hingga ke logam induk.
 5. Untuk menganalisa nilai persentase fase ferit pada tiap – tiap daerah, foto struktur mikro dengan perbesaran 100x diukur menggunakan *Image Analyzer Point Counting*. Fase ferit ditunjukkan dengan warna gelap/coklat, sedangkan fase austenit ditunjukkan dengan warna putih.

III.4 Pengujian Kekerasan

III.4.1 Peralatan

Peralatan yang dipergunakan saat melakukan pengujian kekerasan pada ketiga sampel adalah :

- 1) Mesin *Micro Hardness Vickers "Beuhler"*
- 2) Mesin *Macro Hardness Brinell*
- 3) *Measuring microscope*.

III.4.2 Prosedur

Prinsip uji kekerasan adalah pemberian beban kepada permukaan sampel dengan menggunakan indenter sehingga dihasilkan jejak. Metode seperti ini disebut metode indentasi. Jejak yang terbentuk kemudian diukur menggunakan alat ukur.

Dalam pengujian kekerasan mikro, digunakan mesin uji kekerasan mikro merek Beuhler, yaitu alat uji kekerasan sekaligus mikroskop optik dan dilengkapi dengan alat ukur. Pengujian kekerasan dilakukan pada arah horizontal yang dimulai dari tengah-tengah daerah lasan hingga daerah *base metal*. Pembebanan dilakukan menggunakan indenter intan berbentuk piramid dengan beban 25 kgf (245,15 N), dengan sudut puncak antara dua bidang yang berhadapan sebesar 136° dan dengan waktu pembebanan 15 detik. Jarak antar titik pengujian adalah 500 μm . Panjang kedua diagonal dari jejak yang dihasilkan kemudian diukur dengan menggunakan alat ukur yang telah tersedia pada mesin tersebut dan dikonversikan ke dalam harga VHN (*Vickers Hardness Number*), sesuai persamaan :

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots (3.4.2.1)$$

dimana :

P = beban (gram)

d = panjang rata-rata diagonal jejak $[(d_1 + d_2)/2]$ (μm)

Sedangkan dalam pengujian kekerasan makro, mesin uji yang dipergunakan tidak dilengkapi dengan mikroskop optik, sehingga pengukuran dilakukan terpisah. Pengujian kekerasan dilakukan pada arah horizontal yang dimulai dari tengah-tengah daerah lasan hingga daerah *base metal*. Pembebanan dilakukan menggunakan indenter intan berbentuk bola dengan beban 1875 kgf (18387,47 N), dengan diameter 3,15 mm dan dengan waktu pembebanan 15 detik. Jarak antar titik pengujian adalah 3 mm. Panjang diameter dari jejak yang dihasilkan kemudian diukur dengan menggunakan alat ukur yang telah

tersedia pada mesin tersebut dan dikonversikan ke dalam harga BHN (*Brinell Hardness Number*), sesuai persamaan :

$$\text{BHN} = 2F / \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \dots\dots\dots (3.4.2.2)$$

dimana :

F = Beban tekan (kgf)

D = Diameter bola indenter (mm)

d = Diameter jejak (mm)

III.5 Pengujian *Immersed Solution*

III.5.1 Bahan

Dalam uji *immersed* bahan yang ada hanyalah larutan. Berdasarkan *ASTM G48 – 03 – Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steel and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution*, larutan yang digunakan adalah ferit klorida dicampur dengan asam klorida.

III.5.2 Peralatan

Peralatan yang dipergunakan saat melakukan pengujian *immersed solution* pada ketiga sampel adalah :

- 1) *water bath* dengan *electrical water heater* 500 watt dengan kapasitas air pemanas sebesar 20 liter yang dilengkapi dengan *automatic thermo controller*;
- 2) ELCB (*Earth Leakage Current Breaker*) untuk proteksi *ground volt* dan hubungan pendek dan kabel rol;
- 3) corong untuk mengisi air pemanas;
- 4) gelas *beaker* 500 cc (3 pcs);
- 5) timbangan digital dengan ketelitian 3 digit;
- 6) mesin amplas dan poles; serta
- 7) pengering (*hair dryer*).

III.5.3 Prosedur persiapan sampel

1. Pada masing-masing sampel pendinginan udara, *olie*, dan air dipotong kembali sebanyak dua buah, dengan ukuran (p x l x t) : 50 x 10 x 5 (mm).
2. Setiap sampel diampelas dan dipoles dengan metoda yang sama dengan uji metalografi sebelumnya.
3. Setiap sampel tersebut diberi identitas "1" untuk suhu 50^oC dan identitas "2" untuk suhu 40^oC.
4. Setiap sampel juga ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat awal. Timbangan yang digunakan memiliki ketelitian 3 digit.

III.5.4 Prosedur persiapan larutan

1. Mempersiapkan 68.72 gram bubuk padatan *ferric chloride* yang dilarutkan dalam 600 ml air dan ditambahkan 16 ml larutan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 36.5 – 38%.
2. Hasil akhir yang didapat adalah larutan 6% FeCl dan 1% HCl dengan pH tetap untuk satu gelas *beaker*. Jadi metode yang sama juga dilakukan untuk lima gelas *beaker* berikutnya.

III.5.5 Prosedur pengujian

Standar yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan:

1. ASTM G 31-72 untuk *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*.
2. ASTM G 48-03 untuk *Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steel and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution*.

Adapun tahap – tahap dalam proses pengujian adalah :

- 1) Masukkan gelas *beaker* yang berisi cairan larutan yang dilengkapi dengan penutup tanpa disertai dengan *test sample*-nya dan diletakkan berdasarkan urutan yang telah ditentukan di dalam *water baths heater*.

- 2) Lakukan penyalaan *switch* pada ELCB *box* dan penyalaan *switch* pada masing-masing *water baths heater*.
- 3) Amati kenaikan temperatur pada *temperature control* di masing-masing *water baths heater* dan biarkan temperatur sampai benar-benar stabil pada temperatur pengetesannya.
- 4) Ketika temperatur sudah stabil, masukkan metal sampel uji ke dalam gelas *beaker* sesuai dengan urutan yang telah ditentukan.
- 5) Mencatat waktu dimulainya pengetesan korosi.
- 6) Pada 24 jam pertama, *test sample* dikeluarkan dari gelas *beaker* dan dilepaskan dari *holder*-nya serta dibiarkan sesaat agar kering.
- 7) Lakukan pemotretan sampel uji dengan menggunakan mikroskop optik Olympus yang dilengkapi dengan kamera.
- 8) Lakukan pengamatan secara visual dan mencatat *density* dan ukuran korosinya berdasarkan *standard rating chart* untuk *pitting*.
- 9) Lakukan penimbangan pada sampel.
- 10) Langkah nomor (6) s.d (9) dilakukan kembali pada 24 jam kedua dan 24 jam terakhir.
- 11) Lakukan analisa korosi *pitting* menggunakan mikroskop optik dengan layar komputer Keyence dan simpan hasilnya dalam *JPG file*. Amati morfologi *pitting* korosi yang terjadi pada *test sample* pada posisi HAZ (*Heat Affected Zone*), sambungan pengelasan (*welding joint*), dan *base metal*.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Data Pengelasan

Prosedur pengelasan mengacu kepada *Welding Procedure Specification* (WPS) no PAL GE – 94, yang dibuat berdasarkan QW – 200.1, *ASME Section IX, (Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators)*. Seluruh sampel dilas dengan metode dan parameter yang sama, yaitu :

1. Proses pengelasan : GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) tipe manual
2. Desain sambungan : *Butt joint* dengan *groove* 60°.
3. Jenis *Filler Metal* : Kelas EN 12072 : 25 9 4 N L
4. Ukuran *Filler Metal* : Diameter 1.6 – 2.0 mm
5. Suhu maks *Interpass* : 150°C
6. Gas Lasan : Argon 99.9 % (*Ultra High Purity*)
7. *Current Amp. range* : 80 – 90 A (*Root Pass*) & 80 – 110 A (*Filler Cap*)
8. *Voltage range* : 9 – 10 (*Root Pass*) & 9 – 11 V (*Filler Cap*)
9. *Travel speed range* : 40 – 45 mm/min (*Root Pass*) & 60 – 120 mm/min (*Filler Cap*)
10. Masukan Panas : 0.9 – 1.4 kJ/mm (*Root Pass*) & 0.5 – 1.0 kJ/mm (*Filler Cap*)
11. Kandungan Oksigen : 0.05 % (maksimum)

IV.2 Hasil Uji Metalografi Pasca pengelasan

IV.2.1 Foto Makro pada daerah lasan dengan perbesaran 7x



Gambar 4.2.1.1 Foto makro daerah lasan sample pendingin **udara** perbesaran 7x



Gambar 4.2.1.2 Foto makro sample pendinginan **air** perbesaran 7x



Gambar 4.2.1.3 Foto makro daerah lasan sample pendinginan **olie** perbesaran 7x

IV.2.2 Foto Makro pada daerah HAZ dengan perbesaran 7x



Gambar 4.2.2.1 Foto makro daerah HAZ sample pendingin **udara** perbesaran 7x



Gambar 4.2.2.2 Foto makro daerah HAZ sample pendinginan **air** perbesaran 7x



Gambar 4.2.2.3 Foto makro daerah HAZ sample pendinginan **olie** perbesaran 7x

IV.2.3 Foto Makro pada penampang dengan perbesaran 7x



Gambar 4.2.3.1 Foto makro penampang melintang sample pendingin **udara** perbesaran 7x



Gambar 4.2.3.2 Foto makro penampang melintang sample pendingin **air** perbesaran 7x

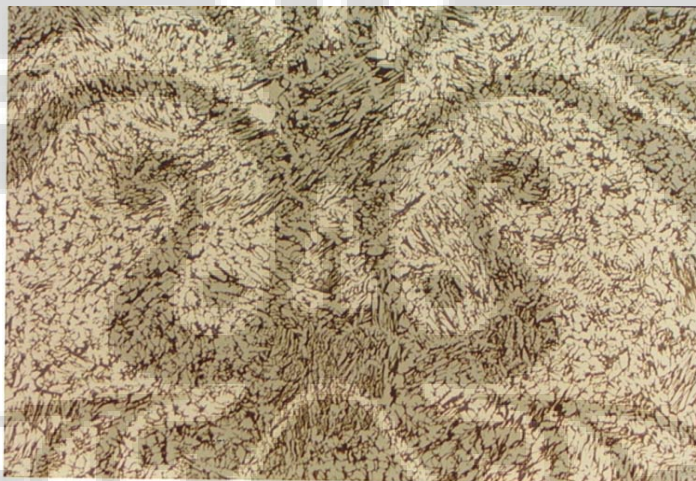


Gambar 4.2.3.3 Foto makro penampang melintang sample pendinginan **olie** perbesaran 7x

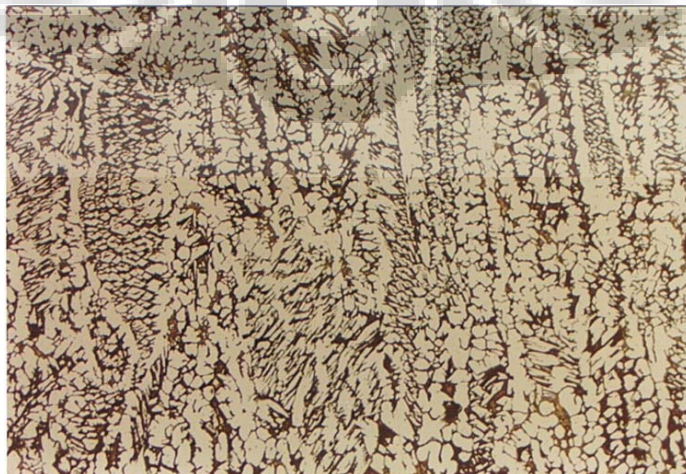
IV.2.4 Foto Mikro daerah lasan dengan perbesaran 100x



Gambar 4.2.4.1 Foto struktur mikro daerah lasan sample pendinginan **udara** perbesaran 100x

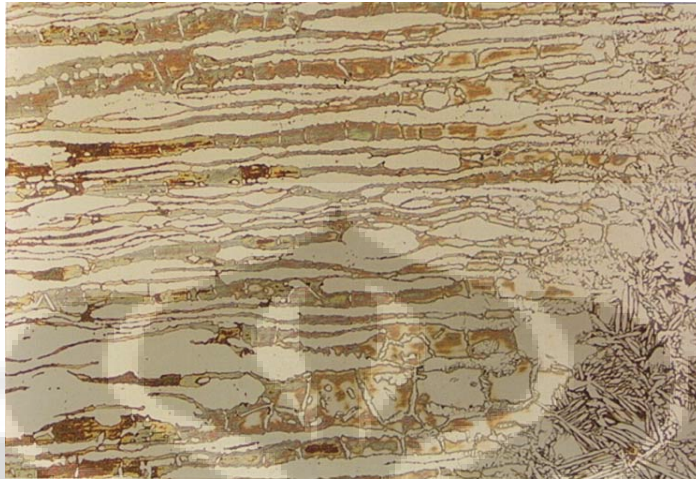


Gambar 4.2.4.2 Foto struktur mikro daerah lasan sample pendingin **air** perbesaran 100x



Gambar 4.2.4.3 Foto struktur mikro daerah lasan sample pendinginan **olie** perbesaran 100x

IV.2.5 Foto Mikro daerah HAZ dengan perbesaran 100x



Gambar 4.2.5.1 Foto struktur mikro daerah HAZ sample pendinginan **udara** perbesaran 100x



Gambar 4.2.5.2 Foto struktur mikro daerah HAZ sample pendinginan **air** perbesaran 100x



Gambar 4.2.5.3 Foto struktur mikro daerah HAZ sample pendinginan **olie** perbesaran 100x

IV.2.6 Foto Mikro daerah Base Metal dengan perbesaran 100x



Gambar 4.2.6.1 Foto struktur mikro daerah base metal sample pendinginan **udara** perbesaran 100x



Gambar 4.2.6.2 Foto struktur mikro daerah base metal sample pendinginan **air** perbesaran 100x



Gambar 4.2.6.3 Foto struktur mikro daerah base metal sample pendinginan **olie** perbesaran 100x

IV.3 Hasil Analisa Kandungan Ferit

Besarnya nilai persentase kandungan fase Ferit didapat melalui *Image Analyzer Point Counting*. Fase ferit ditunjukkan dengan warna gelap/coklat, sedangkan fase austenite ditunjukkan dengan warna putih. Pengukuran pada daerah *base metal* hanya dilakukan sekali, yaitu pada sampel pendinginan udara. Hal ini dilakukan untuk mengkonfirmasi saja, bukan sebagai data varian pengukuran.

Adapun besarnya nilai persentase Ferit tersebut adalah :

Daerah Pengukuran	Persentase <i>Ferite</i> (%)
Pendinginan udara – <i>weld metal</i>	41.95
Pendinginan udara – HAZ	44.74
Pendinginan udara – <i>base metal</i>	42.91
Pendinginan air – <i>weld metal</i>	55.67
Pendinginan air – HAZ	41.95
Pendinginan olie – <i>weld metal</i>	34.55
Pendinginan olie – HAZ	51.30

IV.4 Hasil Uji Kekerasan

IV.4.1 Hasil Uji *Micro Hardness Vickers*

Nilai *Vickers Number* diperoleh dengan rumus :

$$HV = \frac{1.854 \times P \times 1000}{(d)^2}$$

dimana :

P = Beban Uji (1000 gr)

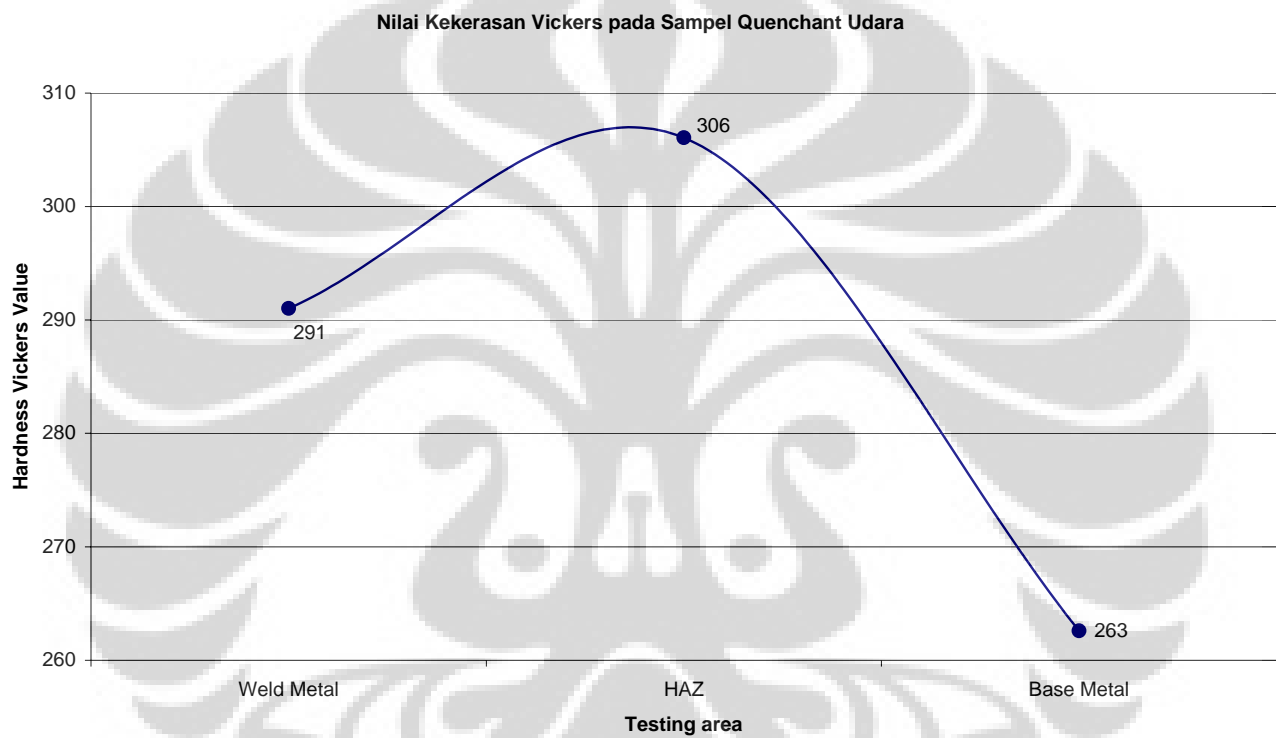
d = Diagonal indenter equivalent $[(d_1 + d_2)/2]$

Parameter lain yang digunakan adalah jarak antar titik pengujian adalah 500 μm dan waktu penetrasi adalah 15 detik. Pengukuran dimulai dari tengah-tengah daerah lasan (*Weld Metal*) sampai dengan titik ke 20 setelah awal *base metal*.

IV.4.1.1 Hasil Uji *MicroHardness Vickers* pada sample pendinginan udara

Lokasi titik	(Mean) HV
Weld Metal	291
HAZ	306
Base Metal	263

Tabel 4.4.1.1.1 Nilai kekerasan rata-rata *Vickers* pada sample pendinginan udara

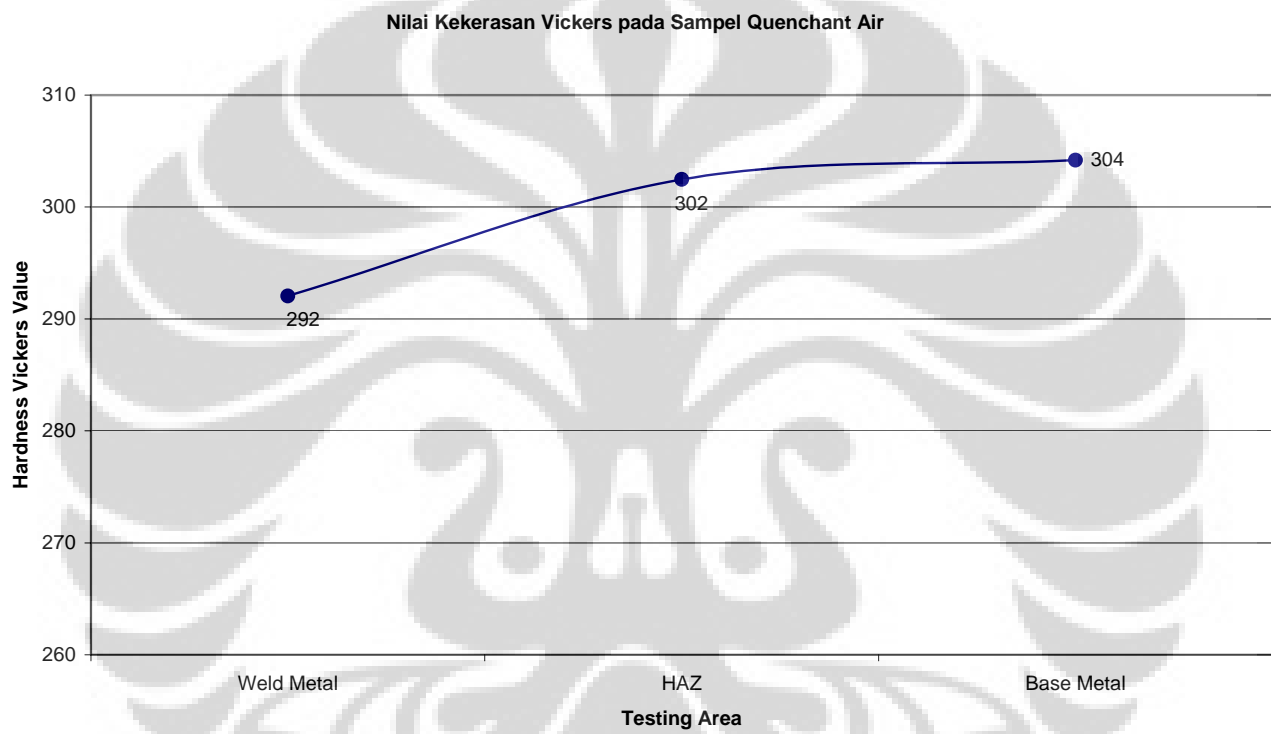


Grafik 4.4.1.1.2 Kurva nilai kekerasan pada sample pendinginan udara

IV.4.1.2 Hasil Uji *MicroHardness Vickers* pada sample pendinginan air

Lokasi titik	HV
Weld Metal	292
HAZ	302
Base Metal	304

Tabel 4.4.1.2.1 Nilai kekerasan *Vickers* pada sample pendinginan air

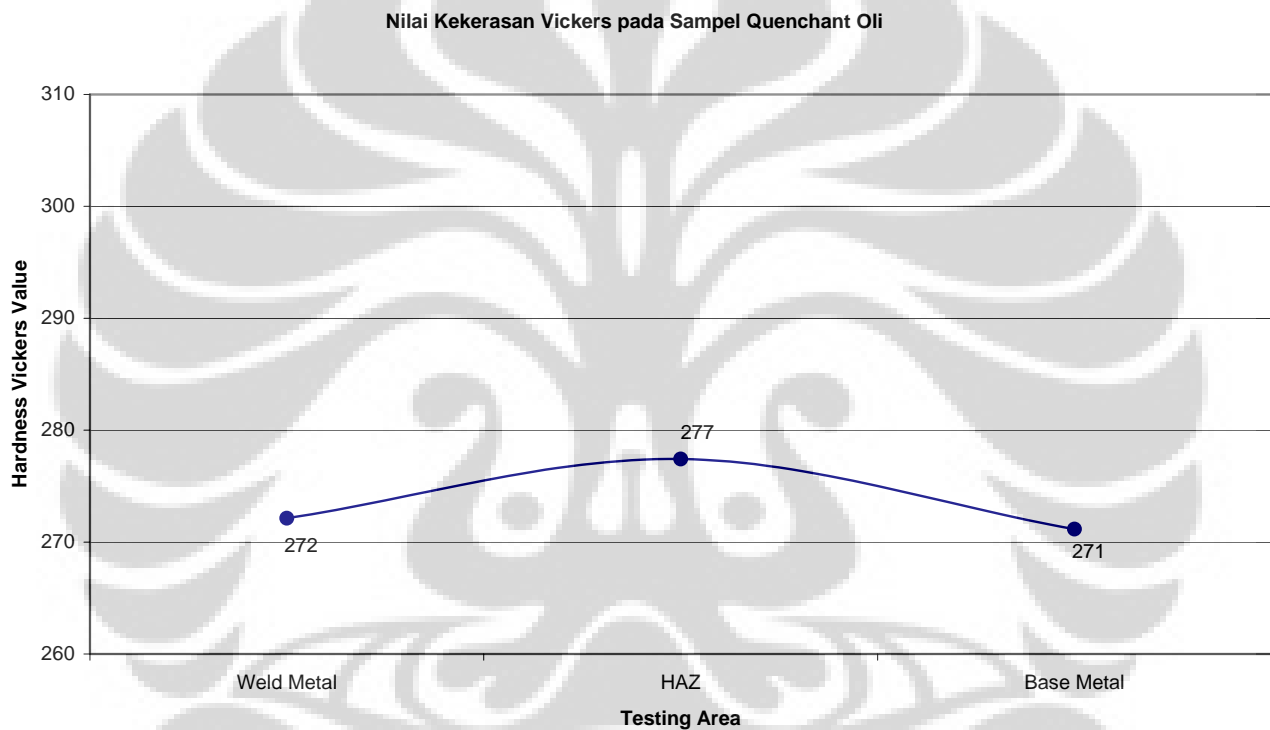


Grafik 4.4.1.2.2 Kurva nilai kekerasan pada sample pendinginan air

IV.4.1.3 Hasil Uji *MicroHardness Vickers* pada sample pendinginan olie

Lokasi titik	HV
Weld Metal	272
HAZ	277
Base Metal	271

Tabel 4.4.1.3.1 Nilai kekerasan *Vickers* pada sample pendinginan olie



Grafik 4.4.1.3.2 Kurva nilai kekerasan pada sample pendinginan olie

IV.4.2 Hasil Uji *Macro Hardness Brinell*

Nilai *Brinell Number* diperoleh dengan rumus :

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

dimana :

F = Beban tekan (kgf)

D = Diameter bola indenter (mm)

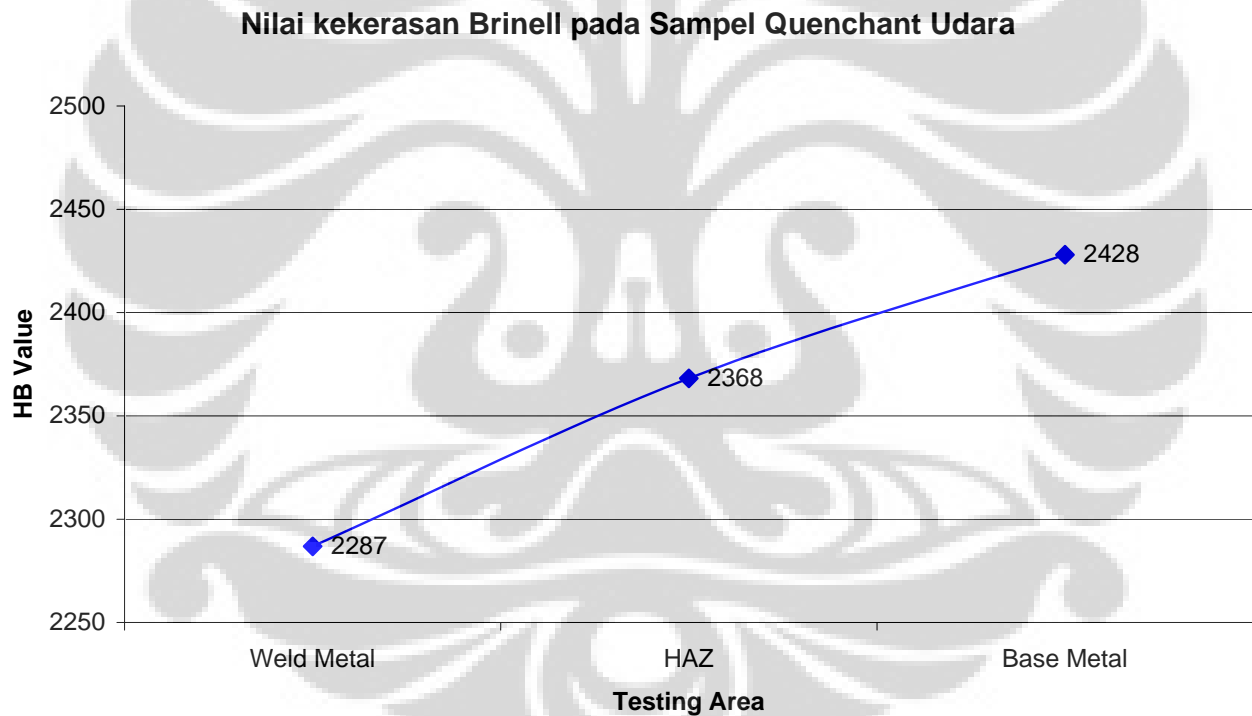
d = Diameter jejak (mm)

Parameter lain yang digunakan adalah jarak antar titik pengujian adalah 3 mm dan waktu pembebanan adalah 15 detik. Pengukuran dimulai dari tengah-tengah daerah lasan (*Weld Metal*) sampai dengan titik ke 9 pada daerah *base metal*.

IV.4.2.1 Hasil Uji *MacroHardness Brinell* pada sample pendinginan udara

Lokasi titik	(Mean) HB
Weld Metal	2287
HAZ	2368
Base Metal	2428

Tabel 4.4.2.1.1 Nilai kekerasan rata-rata *Brinell* pada sample pendinginan udara



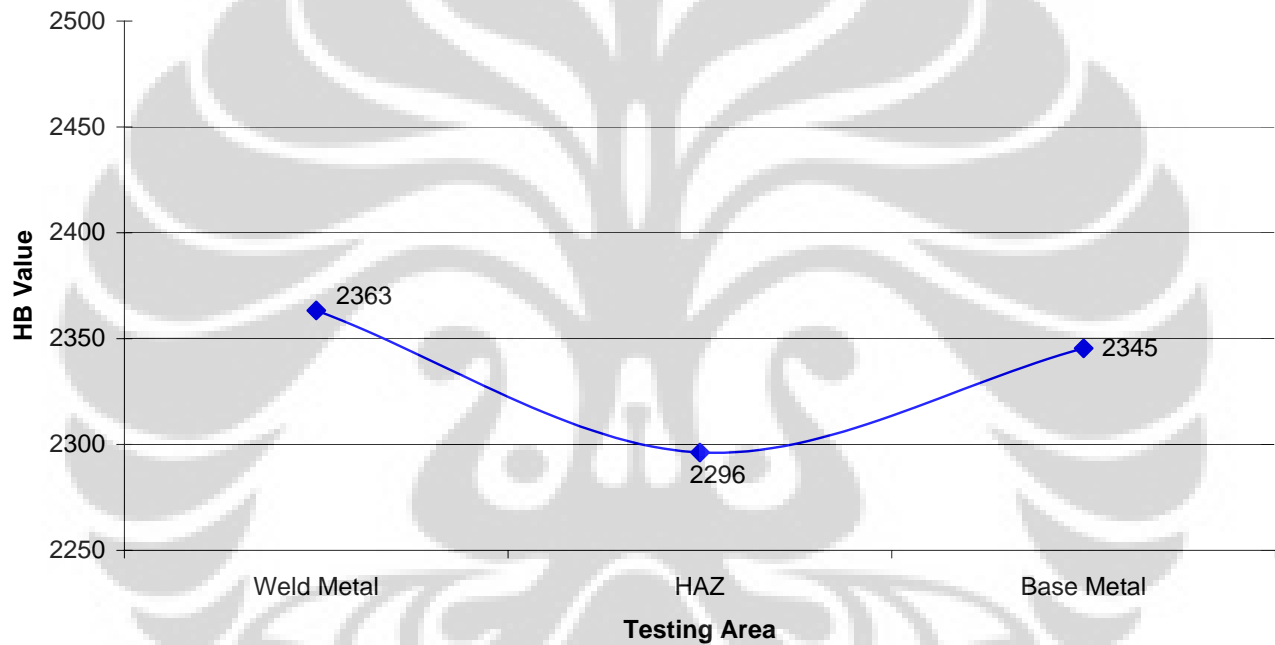
Grafik 4.4.2.1.2 Kurva nilai kekerasan pada sample pendinginan udara

IV.4.2.2 Hasil Uji MacroHardness Brinell pada sample pendinginan air

Lokasi titik	HB
Weld Metal	2363
HAZ	2296
Base Metal	2345

Tabel 4.4.2.2.1 Nilai kekerasan *Brinell* pada sample pendinginan air

Nilai kekerasan Brinell pada Sampel Quenchant Air



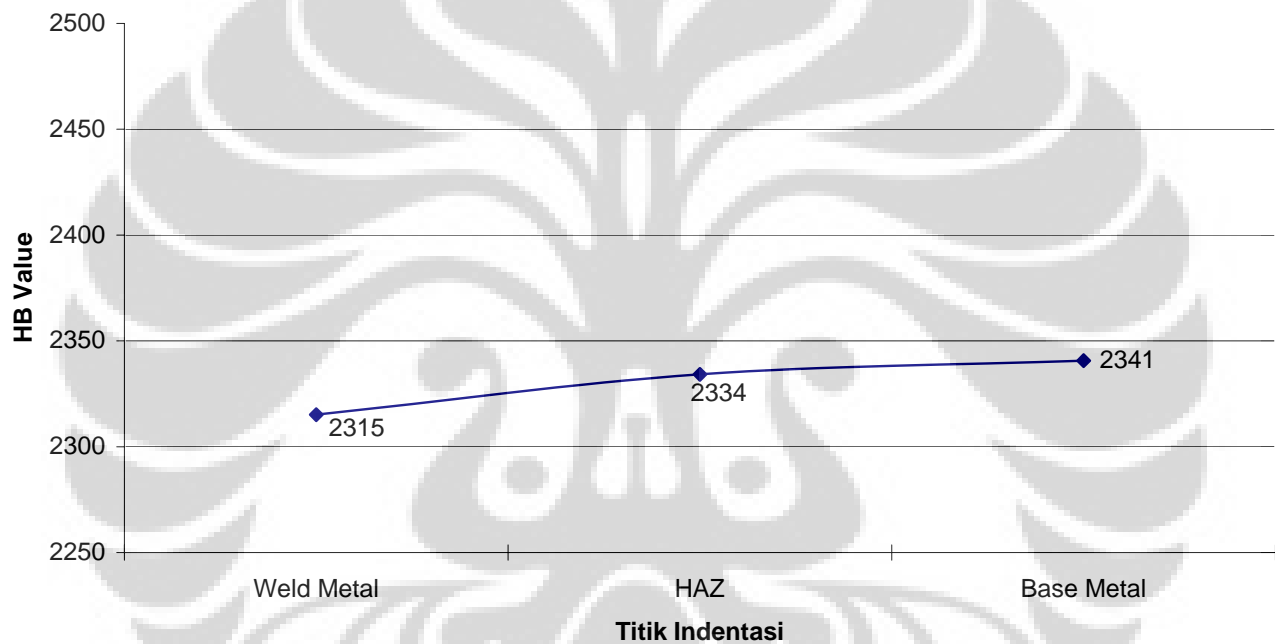
Grafik 4.4.2.2.2 Kurva nilai kekerasan pada sample pendinginan air

IV.4.2.3 Hasil Uji *MacroHardness Brinell* pada sample pendinginan olie

Lokasi titik	HB
Weld Metal	2315
HAZ	2334
Base Metal	2341

Tabel 4.4.2.3.1 Nilai kekerasan *Brinell* pada sample pendinginan olie

Nilai kekerasan Brinell pada Sampel Quenchant Oli



Grafik 4.4.2.3.2 Kurva nilai kekerasan pada sample pendinginan **olie**

IV.5 Hasil Uji *Immersed Solutions*

IV.5.1 Analisa *Weight Loss*

Untuk mendapatkan analisa *corrosion rate* maka diperlukan data sesuai dengan formula pada ASTM G48 – 03⁵⁶ adalah :

$$\text{mpy} = 534 \frac{W}{DAT}$$

Dimana :

mpy : *corrosion rate (miles / year)*

W : *weight loss (mg)*

D : *density (gr/cm³)*

A : *luas area (inch²)*

T : *waktu pencelupan (jam)*

Density (D) atau berat jenis material didapat dari tabel *Physical Properties* pada Bab II di atas, yaitu 0.28 lb/inch³.

Luas Permukaan (A) didapat dari $(p \times l \times 2) + (p \times t \times 2) + (l \times t \times 2)$

Waktu pencelupan adalah 24 jam, 48 jam, dan 72 jam.

Uji *immersed* dilakukan pada suhu 50⁰C dan 40⁰C.

Larutan yang digunakan pada uji *immersed* adalah 68.72 gram bubuk padatan *ferric chloride* yang dilarutkan dalam 600 ml air, sehingga terjadi larutan FeCl₃.6H₂O. Kemudian larutan tersebut ditambahkan 16 ml larutan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 36.5 – 38%.

Pengukuran berat dilakukan setiap periode 24 jam, sehingga data *weight loss* dan *corrosion rate* dapat diperoleh dengan lebih mendetail.

Berdasarkan standar NACE⁵⁷, maka kategori *corrosion rate* adalah :

Kategori	Nilai Corr rate (mpy)
Outstanding	< 1
Excellent	1 - 5
Good	5 - 20
Fair	20 - 50
Poor	50 - 200

⁵⁶ Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Company, New York, 1992

⁵⁷ NACE International, An Introduction of Corrosion Basic, NACE Publishing, 1994

Unacceptable	> 200
--------------	-------

SUHU UJI *IMMERSED* 50°C

Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Weight Loss	A	D	T	Corr Rate	Kategori
	(gr)	(gr)	(mg)	(inch ²)	(gr/cm ³)	(jam)	(mpy)	
Air	15.377	15.229	148	2.511	7.750	24	169.208	Poor
	15.377	15.018	359	2.511	7.750	48	205.222	Unacceptable
	15.377	14.920	457	2.511	7.750	72	174.163	Poor
Udara	16.864	16.498	366	2.641	7.750	24	397.820	Unacceptable
	16.864	16.456	408	2.641	7.750	48	221.736	Unacceptable
	16.864	16.360	504	2.641	7.750	72	182.606	Poor
Oli	21.412	20.825	587	2.641	7.750	24	638.033	Unacceptable
	21.412	20.661	751	2.641	7.750	48	408.146	Unacceptable
	21.412	20.530	882	2.641	7.750	72	319.560	Unacceptable

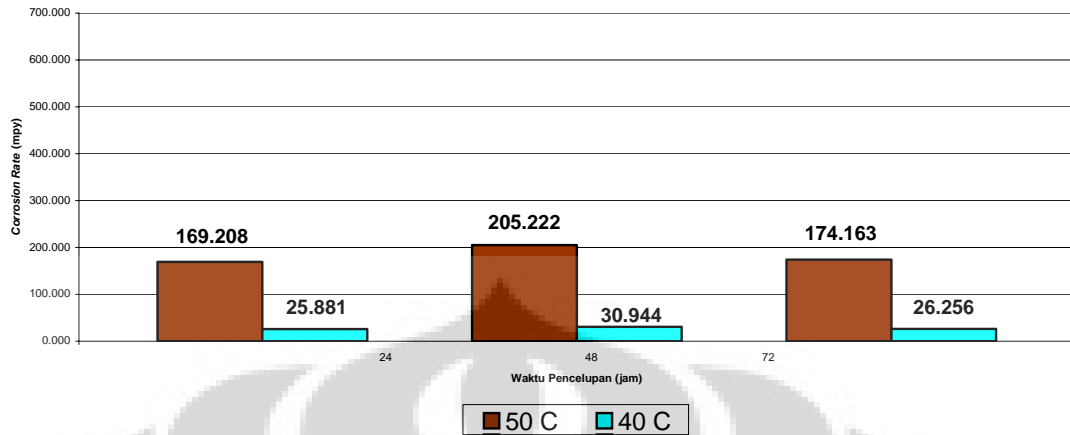
Tabel 4.5.1.1 Perhitungan *corrosion rate* pada suhu uji *immersed* 50°C

SUHU UJI *IMMERSED* 40°C

Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Weight Loss	A	D	T	Corr Rate	Kategori
	(gr)	(gr)	(mg)	(inch ²)	(gr/cm ³)	(jam)	(mpy)	
Air	18.534	18.511	23	2.551	7.750	24	25.881	Fair
	18.534	18.479	55	2.551	7.750	48	30.944	Fair
	18.534	18.464	70	2.551	7.750	72	26.256	Fair
Udara	15.235	15.174	61	2.471	7.750	24	70.879	Poor
	15.235	15.167	68	2.471	7.750	48	39.506	Fair
	15.235	15.151	84	2.471	7.750	72	32.535	Fair
Oli	16.746	16.455	291	2.471	7.750	24	338.127	Unacceptable
	16.746	16.373	373	2.471	7.750	48	216.703	Unacceptable
	16.746	16.309	437	2.471	7.750	72	169.257	Poor

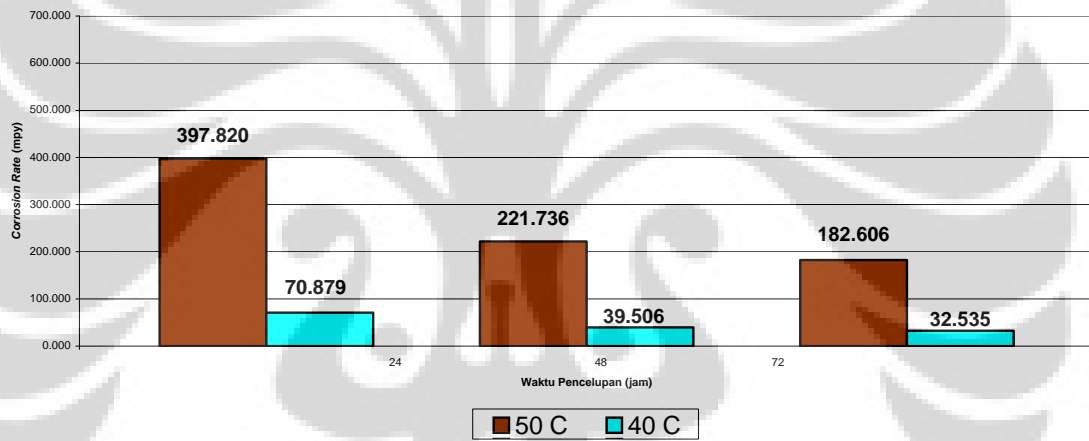
Tabel 4.5.1.2 Perhitungan *corrosion rate* pada suhu uji *immersed* 40°C

Diagram Corrosion Rate pada Sampel Quenchant Air



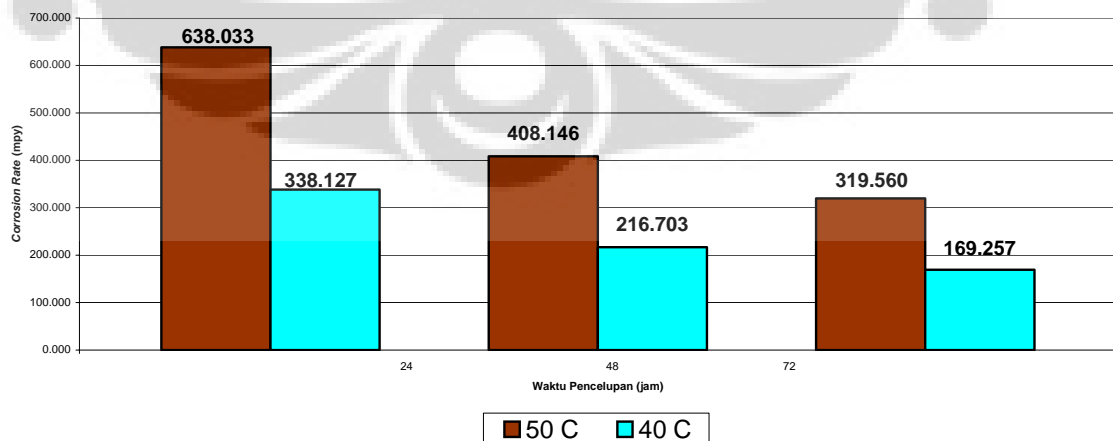
Gambar 4.5.1.3 Diagram Laju Korosi terhadap Waktu Pencelupan pada Sampel Quenchant Air

Diagram Corrosion Rate pada Sampel Quenchant Udara

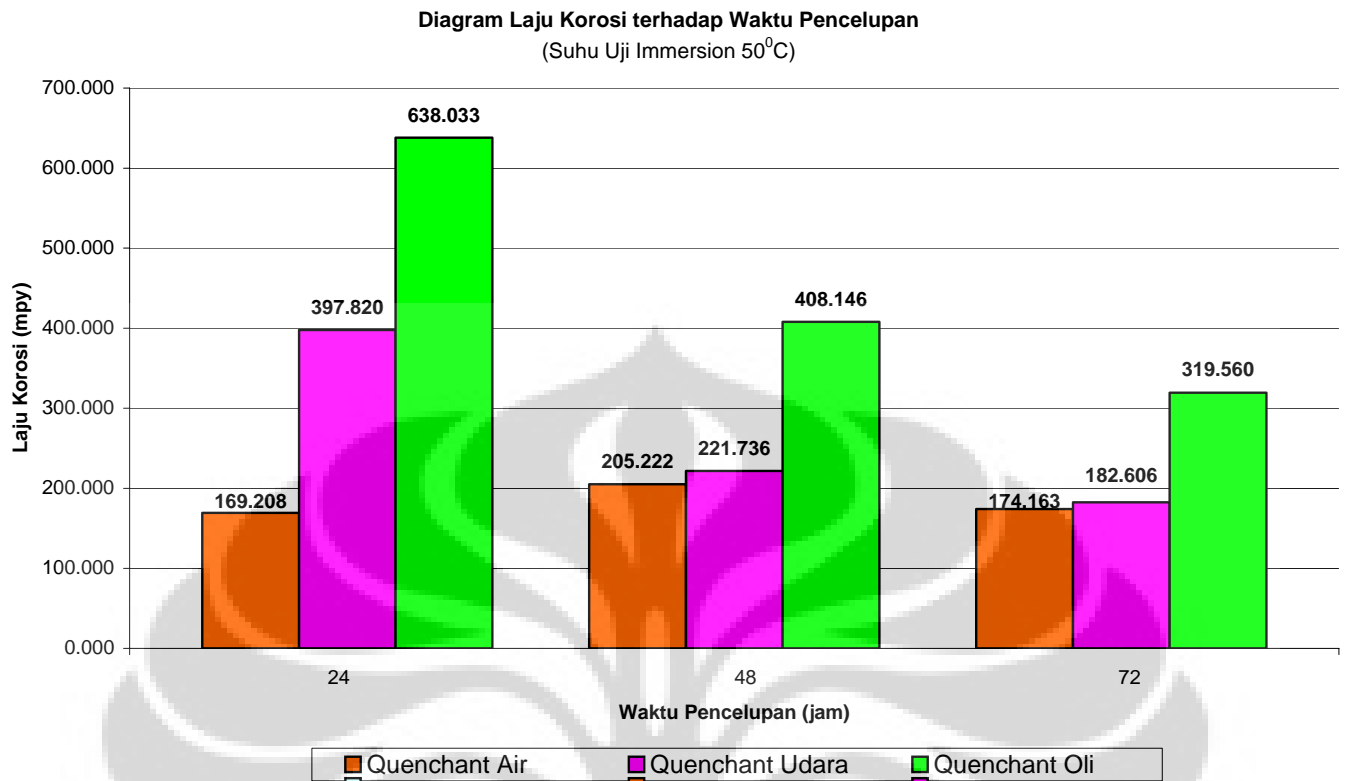


Gambar 4.5.1.4 Diagram Laju Korosi terhadap Waktu Pencelupan pada Sampel Quenchant Udara

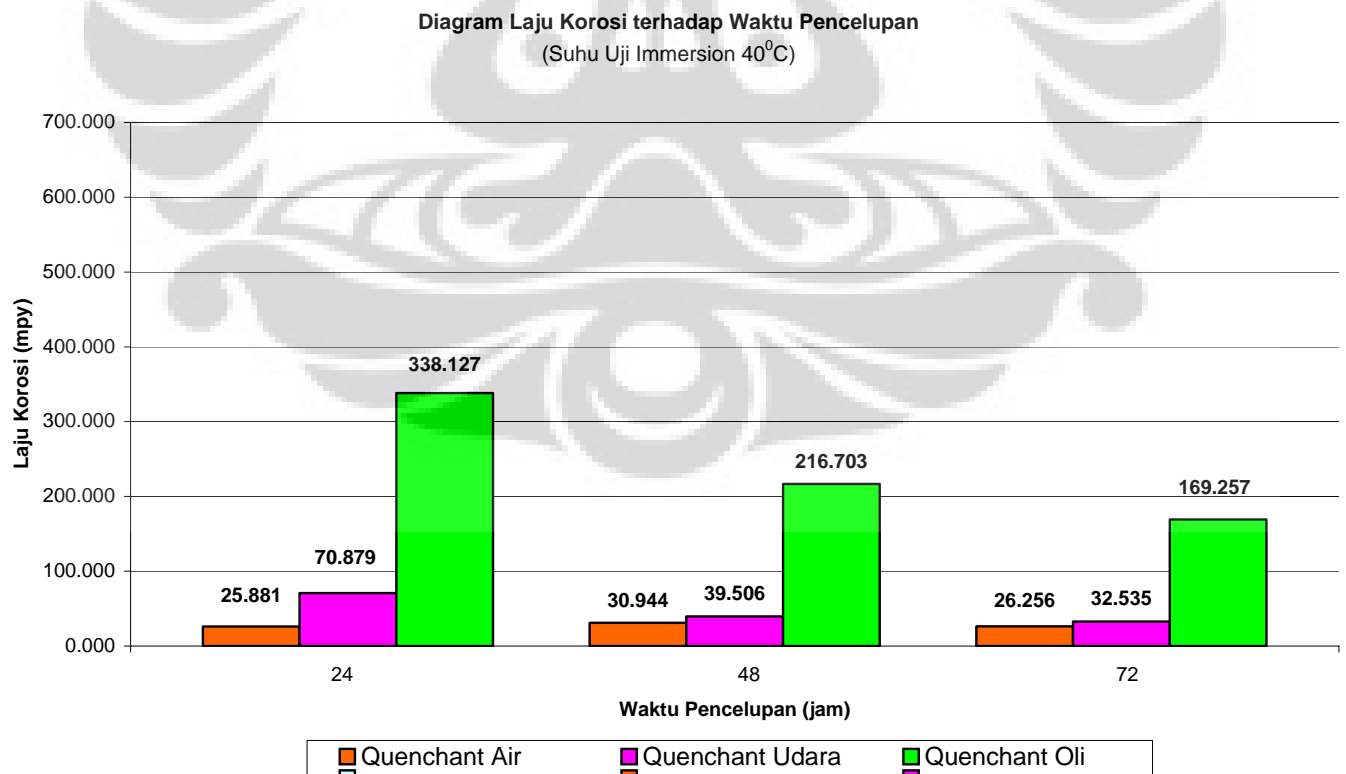
Diagram Corrosion Rate pada Sampel Quenchant Oli



Gambar 4.5.1.5 Diagram Laju Korosi terhadap Waktu Pencelupan pada Sampel Quenchant Oli

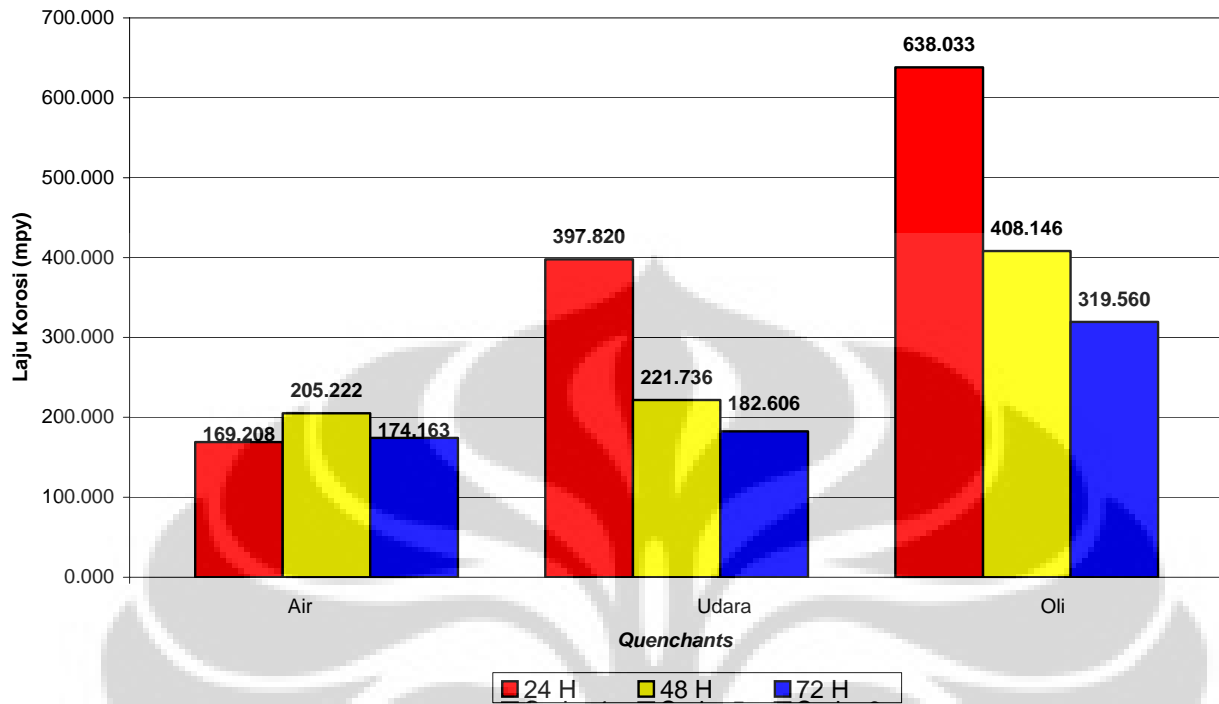


Gambar 4.5.1.6 Diagram Laju Korosi terhadap Waktu Pencelupan pada suhu *Immersed* 50°C



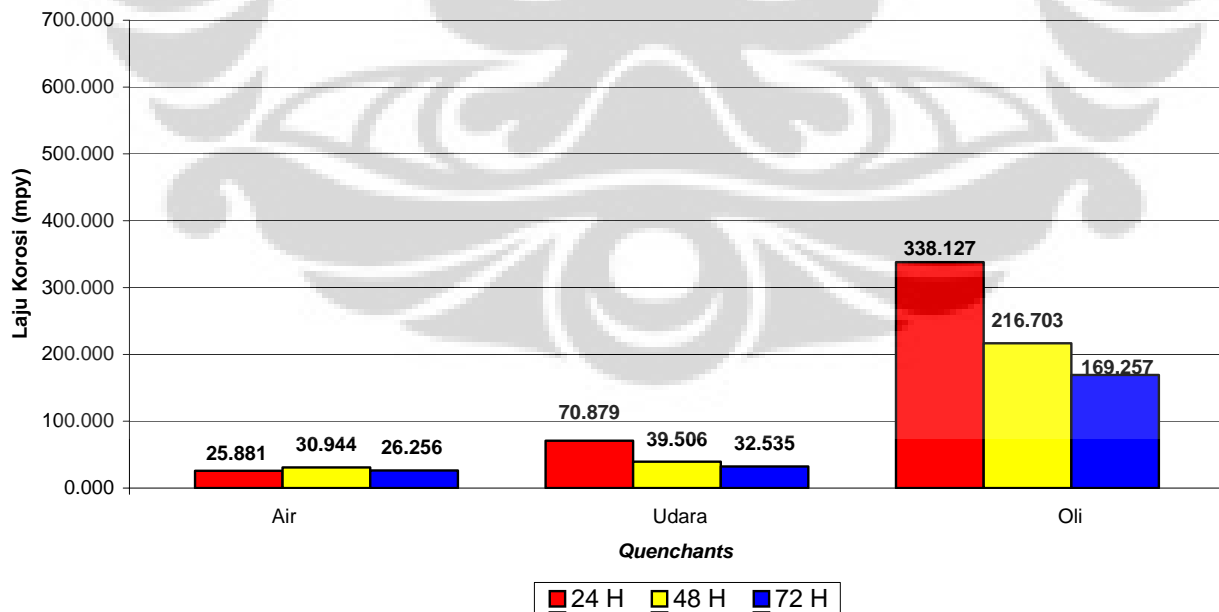
Gambar 4.5.1.7 Diagram Laju Korosi terhadap Waktu Pencelupan pada suhu *Immersed* 40°C

Diagram Laju Korosi terhadap *Quenchants*
(Suhu Uji Immersion 50°C)



Gambar 4.5.1.8 Diagram Laju Korosi terhadap *Quenchants* pada suhu *Immersed* 50°C

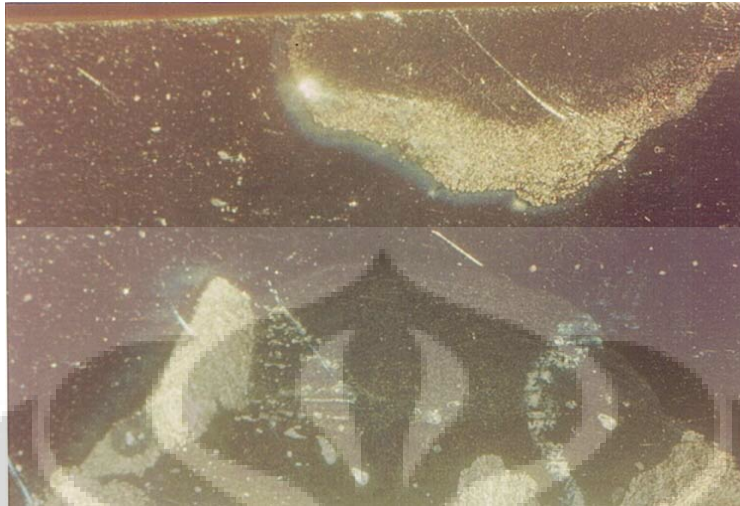
Diagram Laju Korosi terhadap *Quenchants*
(Suhu Uji Immersion 40°C)



Gambar 4.5.1.9 Diagram Laju Korosi terhadap *Quenchants* pada suhu *Immersed* 40°C

IV.5.2 Analisa Foto Makro dan Mikro

SUHU PENGUJIAN 50°C – WAKTU CELUP 24 JAM – PERBESARAN 7X



Gambar 4.5.2.1 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 24 jam – perbesaran 7x

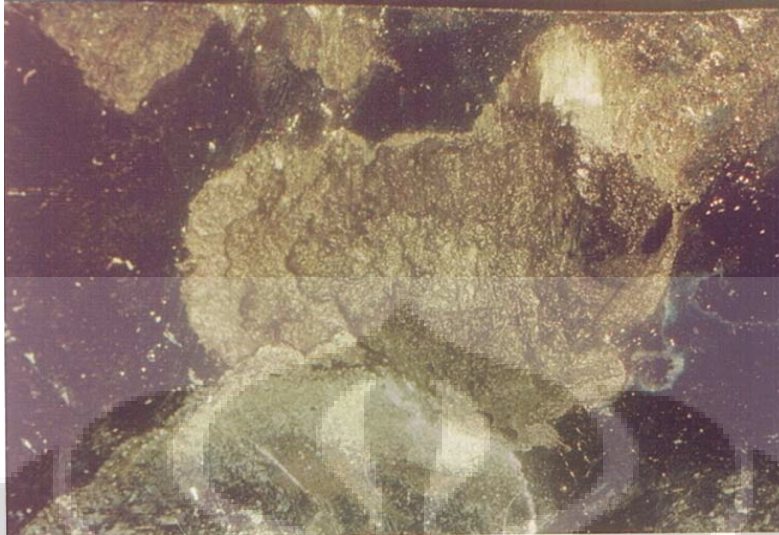


Gambar 4.5.2.2 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 24 jam – perbesaran 7x

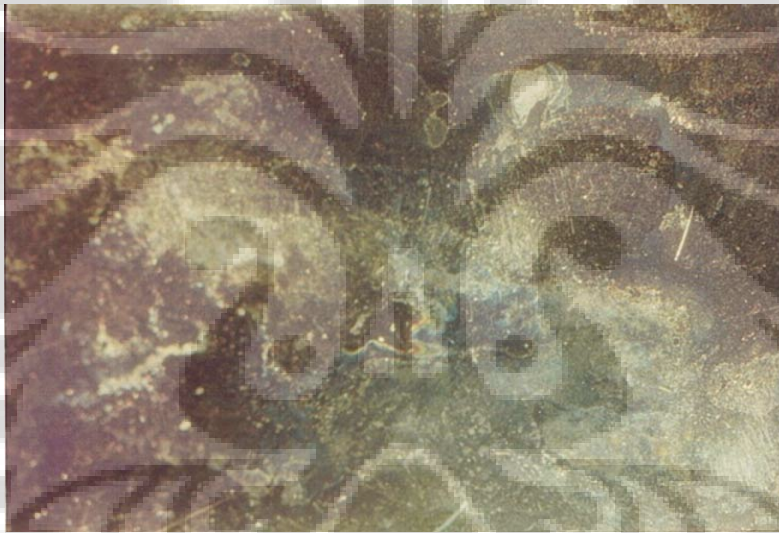


Gambar 4.5.2.3 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 24 jam – perbesaran 7x

SUHU PENGUJIAN 50°C – WAKTU CELUP 48 JAM – PERBESARAN 7X



Gambar 4.5.2.4 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 48 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.5 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 48 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.6 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 48 jam – perbesaran 7x

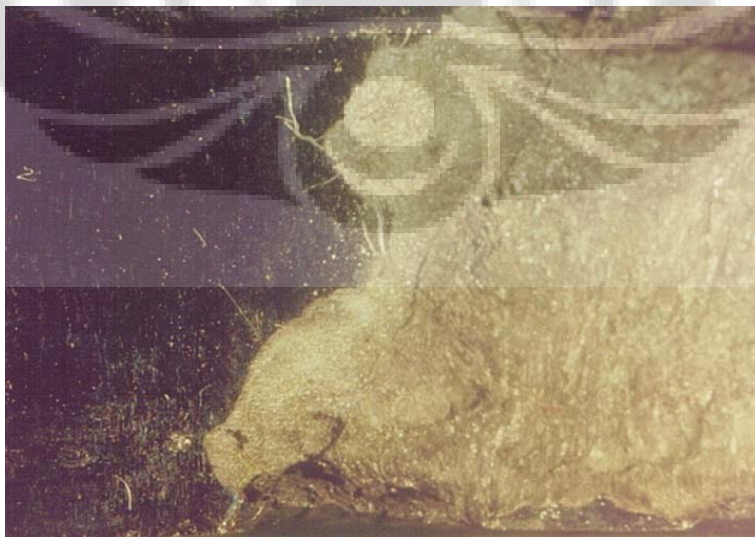
SUHU PENGUJIAN 50°C – WAKTU CELUP 72 JAM – PERBESARAN 7X



Gambar 4.5.2.7 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 72 jam – perbesaran 7x

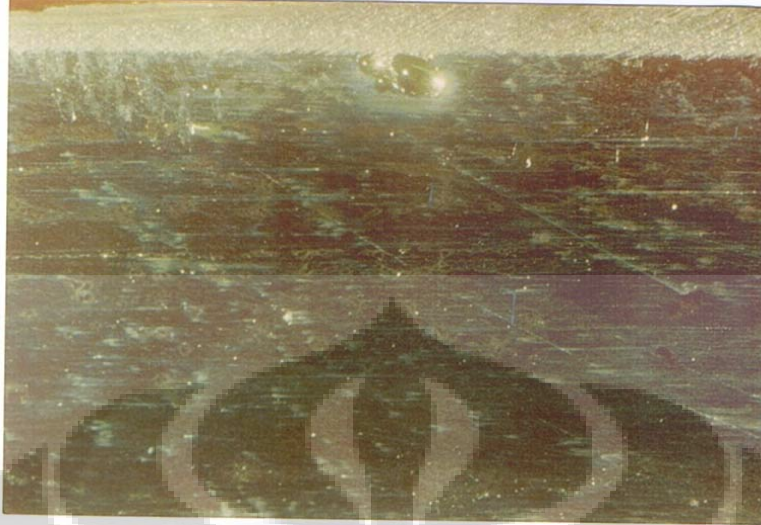


Gambar 4.5.2.8 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 72 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.9 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 72 jam – perbesaran 7x

SUHU PENGUJIAN 40°C – WAKTU CELUP 24 JAM – PERBESARAN 7X



Gambar 4.5.2.10 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 24 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.11 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 24 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.12 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 24 jam – perbesaran 7x

SUHU PENGUJIAN 40°C – WAKTU CELUP 48 JAM – PERBESARAN 7X



Gambar 4.5.2.13 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 48 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.14 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 48 jam – perbesaran 7x



Gambar 4.5.2.15 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 48 jam – perbesaran 7x

SUHU PENGUJIAN 40°C – WAKTU CELUP 72 JAM – PERBESARAN 7X



Gambar 4.5.2.16 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 72 jam – perbesaran 7x

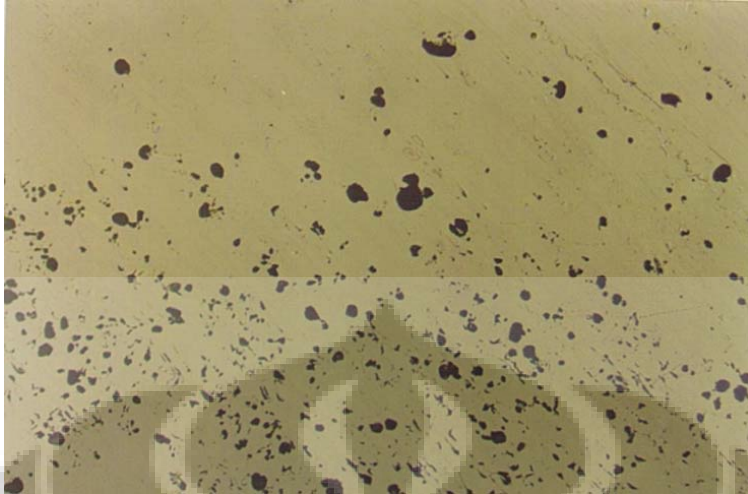


Gambar 4.5.2.17 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 72 jam – perbesaran 7x

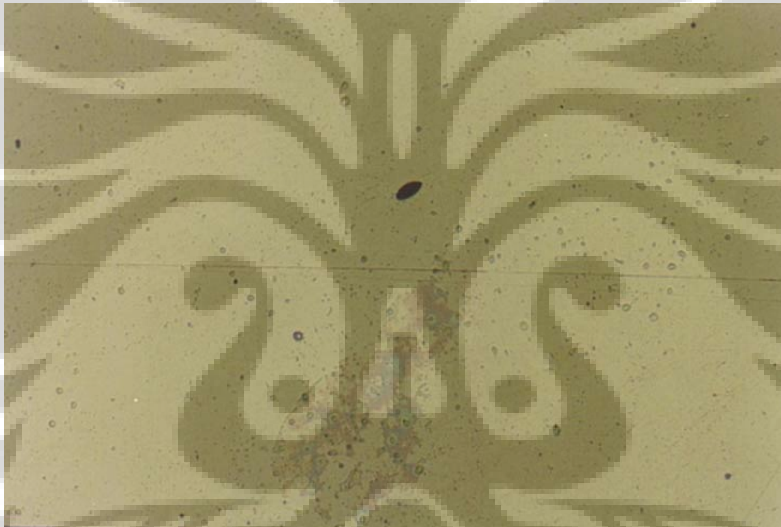


Gambar 4.5.2.18 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 72 jam – perbesaran 7x

SUHU PENGUJIAN 50°C – WAKTU CELUP 24 JAM – PERBESARAN 100X



Gambar 4.5.2.19 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 24 jam – perbesaran 100x

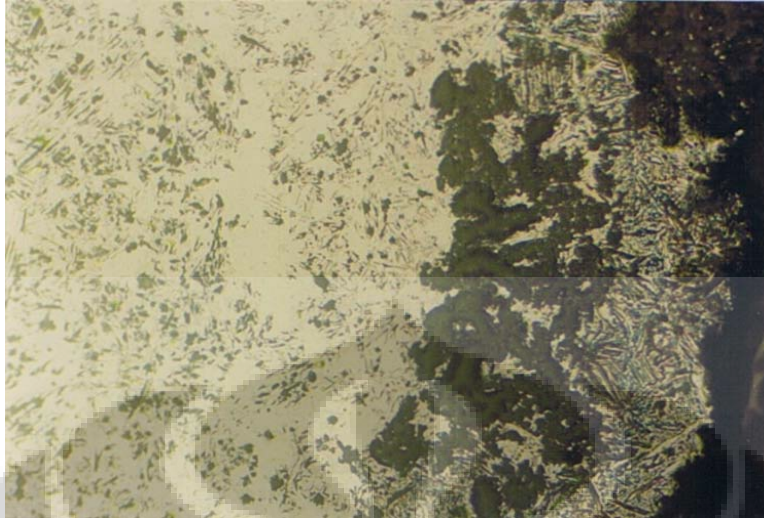


Gambar 4.5.2.20 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 24 jam – perbesaran 100x

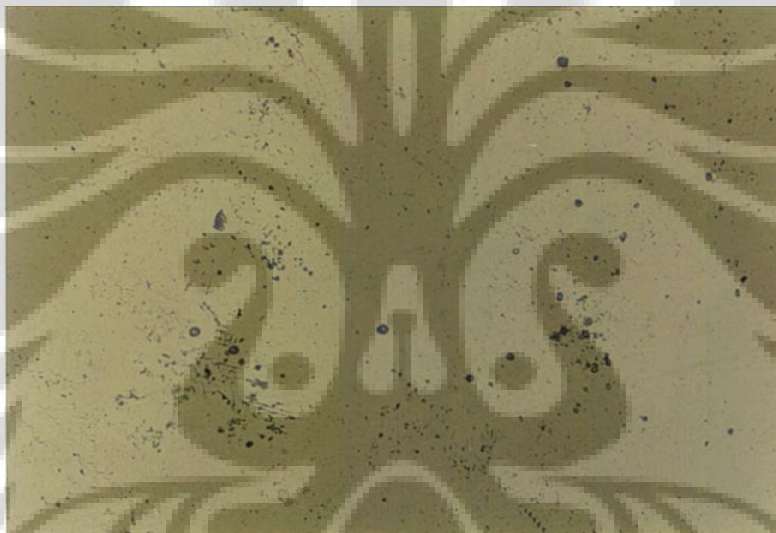


Gambar 4.5.2.21 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 24 jam – perbesaran 100x

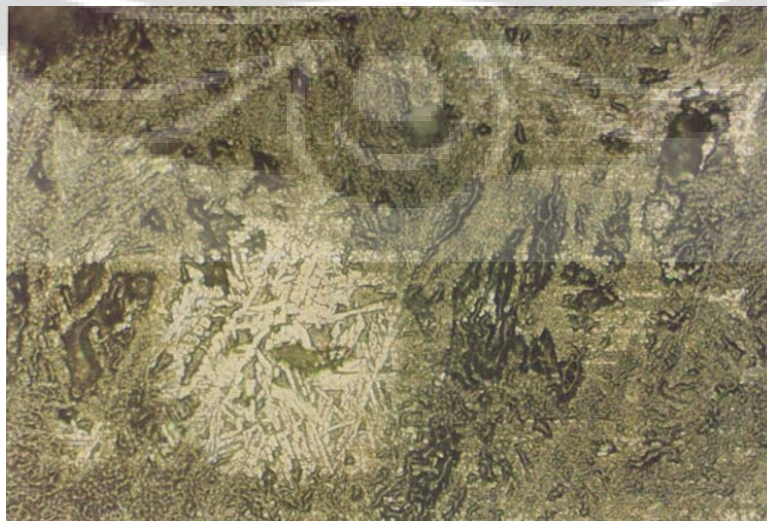
SUHU PENGUJIAN 50°C – WAKTU CELUP 48 JAM – PERBESARAN 100X



Gambar 4.5.2.22 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 48 jam – perbesaran 100x

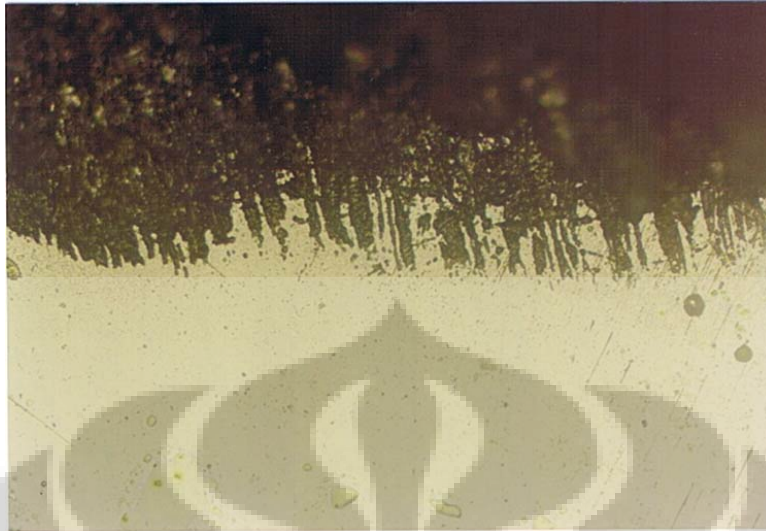


Gambar 4.5.2.23 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 48 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.24 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 48 jam – perbesaran 100x

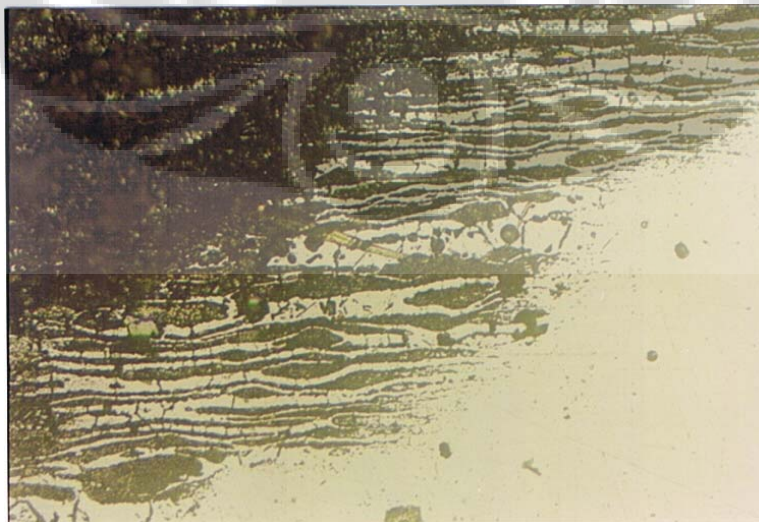
SUHU PENGUJIAN 50°C – WAKTU CELUP 72 JAM – PERBESARAN 100X



Gambar 4.5.2.25 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 72 jam – perbesaran 100x

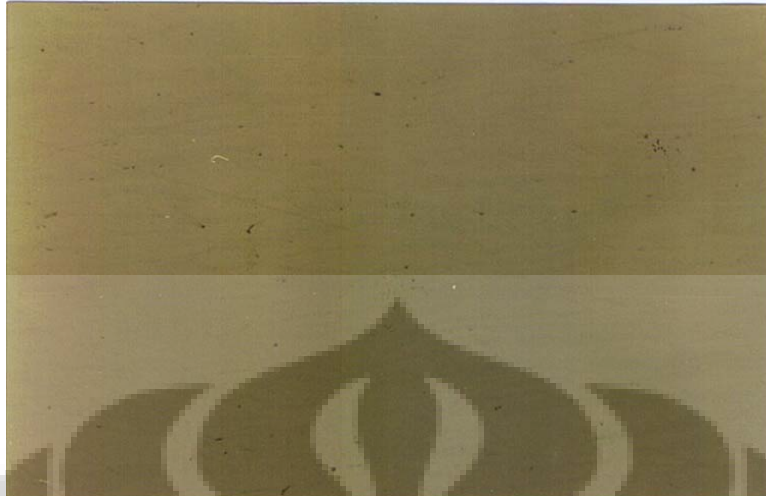


Gambar 4.5.2.26 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 72 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.27 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 72 jam – perbesaran 100x

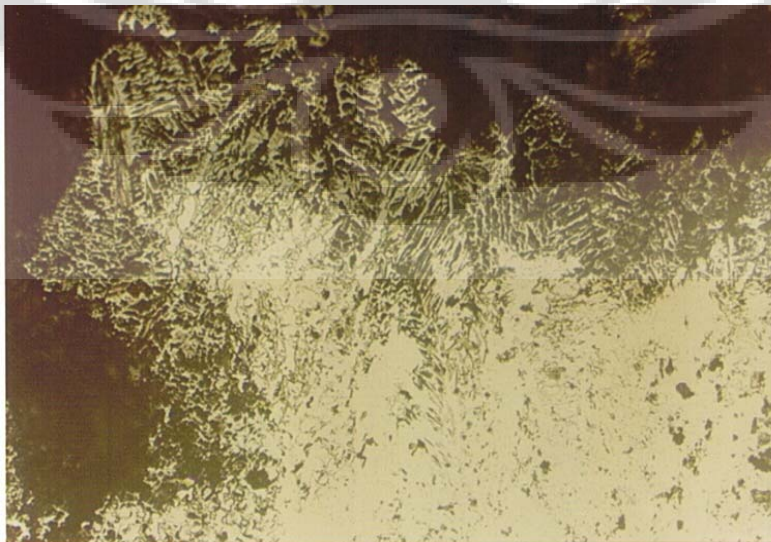
SUHU PENGUJIAN 40°C – WAKTU CELUP 24 JAM – PERBESARAN 100X



Gambar 4.5.2.28 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 24 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.29 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 24 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.30 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 24 jam – perbesaran 100x

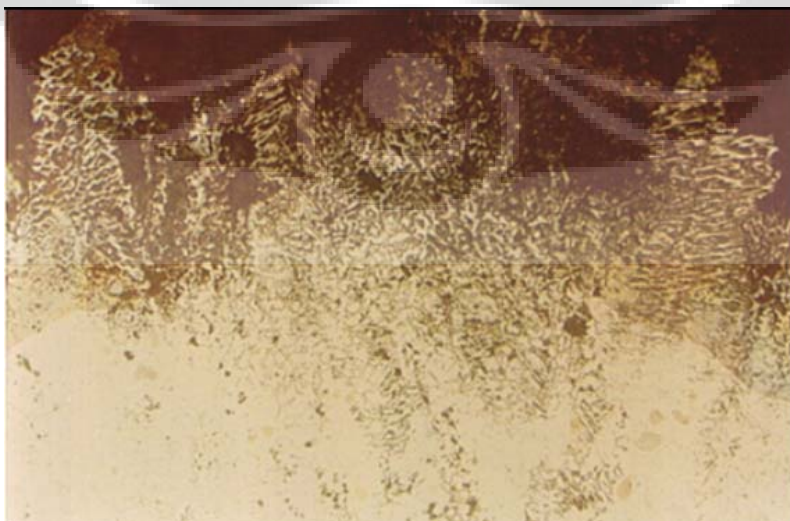
SUHU PENGUJIAN 40°C – WAKTU CELUP 48 JAM – PERBESARAN 100X



Gambar 4.5.2.31 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 48 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.32 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 48 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.33 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 48 jam – perbesaran 100x

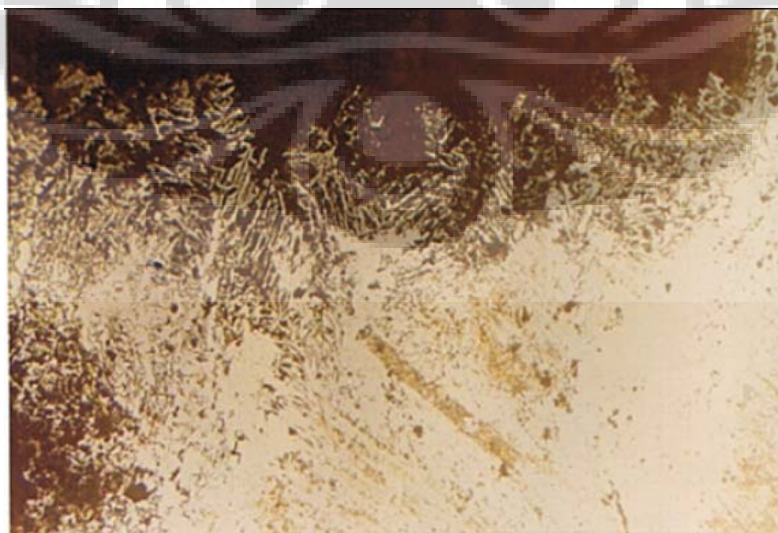
SUHU PENGUJIAN 40°C – WAKTU CELUP 72 JAM – PERBESARAN 100X



Gambar 4.5.2.34 Sampel pendinginan **udara** – waktu celup 72 jam – perbesaran 100x



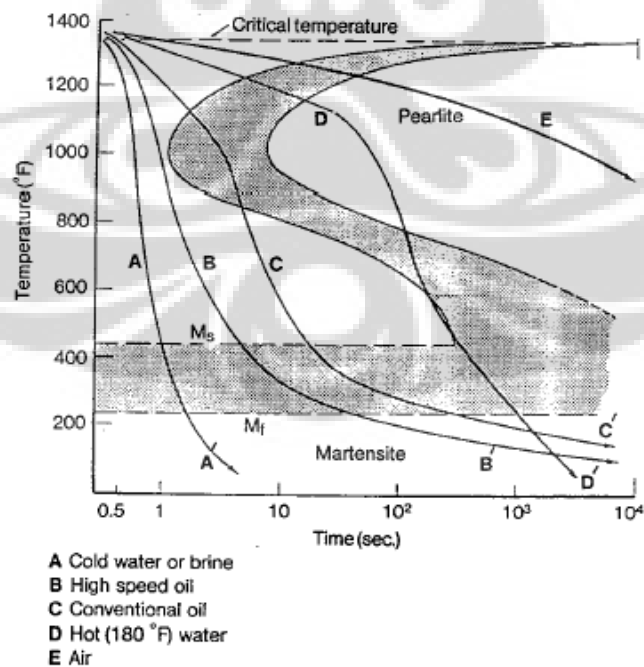
Gambar 4.5.2.35 Sampel pendinginan **air** – waktu celup 72 jam – perbesaran 100x



Gambar 4.5.2.36 Sampel pendinginan **olie** – waktu celup 72 jam – perbesaran 100x

Pembahasan :

1. Pada foto mikro sebelum uji immersed dengan perbesaran 100x, pada sampel *quenchant* oli struktur mikro terlihat lebih kecil dan tidak beraturan daripada sampel yang lain. Hal ini disebabkan terhambatnya pertumbuhan struktur mikro dan ada ketidakseimbangan fasa pada struktur mikronya. Adanya perubahan fasa dari austenit menjadi perlit atau martensit juga mempengaruhi. Hasil analisa kandungan ferit juga memperlihatkan nilai yang cukup jauh dibawah 50 %, yaitu 34,55 %.
2. Pada sampel *quenchant* air dan udara bentuk struktur mikro nya terlihat ada kesamaan dan sesuai dengan seperti yang ada pada *textbook*. Begitu juga halnya dengan persentase kandungan ferit, yaitu yang cenderung berada pada kisaran 40-50 %. Hal ini masih dalam batas toleransi, yaitu 30-70 %, sesuai dengan standar NACE MR-0175.⁵⁸
3. Pada uji kekerasan, baik pada uji mikro *Vickers* maupun *Brinell*, walaupun pada tiap-tiap daerah; daerah lasan, HAZ, logam induk, nilai kekerasan pada masing-masing sampel berfluktuasi, namun secara umum sampel *quenchant* air memiliki nilai kekerasan paling tinggi. Pada sampel *quenchant* oli memiliki nilai kekerasan sedang. Dan yang paling rendah nilai kekerasannya adalah sampel *quenchant* udara. Secara teori, hasil tersebut dapat dijelaskan melalui diagram TTT dibawah :



⁵⁸ EPCI Raga-PAL Consortium, Fabrication, and Installation Procedure for Super Duplex Piping – UPD-RG-W1-CS-PR-0521, Amerada Hess Ujung Pangkah Development, Indonesia 2006, pg. 15

Pada diagram diatas, sampel yang bisa dijadikan referensi terhadap tesis ini adalah sampel A (*Cold Water*), C (*Conventional Oil*), dan E (*Air*). Setelah seluruh sampel mengalami pemanasan hingga suhu kritis ($\pm 1400^{\circ}\text{C}$), maka pada sampel *quenchant* udara grafik penurunan suhu menjadi landai, dan jatuh di depan “hidung”. Semakin cepat waktu pendinginan, maka grafik penurunan suhu akan semakin curam. Dan apabila grafik berhenti di wilayah martenit, maka nilai kekerasan sampel tersebut akan lebih tinggi, dibanding dengan sampel yang grafiknya berakhir di wilayah pearlit.

4. Hal lain yang menjadi dasar teori terhadap waktu pendinginan adalah konduktivitas thermal yang dimiliki setiap *quenchant*. Dalam tesis ini, penulis mengkategorikan *quenchant* udara adalah sebagai sampel yang tidak di-*quenching*. Konduktivitas thermal disini dianalogikan sebagai *Grossman quench severity factor* atau faktor H, dimana untuk air nilainya adalah 1,90 dan untuk oli adalah 0,68.⁵⁹ Semakin besar nilai faktor H, maka semakin cepat laju pendinginan dan semakin curam juga untuk grafiknya.
5. Laju korosi yang didapat melalui uji *immersed* menunjukkan hasil yang cukup bervariasi. Hasil terbaik yang didapat berdasarkan kategori dari NACE adalah kriteria *fair*. Hipotesa awal yang diambil berdasarkan penelitian Sdr. Erwin Ermawan⁶⁰ pada suhu 60°C sampel belum terkorosi, namun penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat berbeda. Pada suhu 50°C saja, korosi yang timbul pada sampel sudah sangat parah, dengan hasil akhir berkriteria *unacceptable* pada sampel oli dan *poor* pada sampel air dan udara. Maka dari itu timbul gagasan untuk menurunkan suhu pengujian menjadi 40°C . Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar korosi yang terjadi suhu tersebut. Hasil akhir yang terjadi adalah *fair* pada sampel air dan udara, dan *poor* pada sampel oli.
6. Gambar 4.5.1.3, 4.5.1.4, dan 4.5.1.5 menunjukkan perbandingan masing-masing sampel dengan suhu pencelupan uji *immersed*. Pada sampel air dan udara terdapat perbedaan yang signifikan antara suhu 50°C dan 40°C . Tetapi pada sampel oli perbedaannya tidak terlalu jauh.
7. Gambar 4.5.1.6 dan 4.5.1.7 menunjukkan perbandingan laju korosi ketiga sampel dengan suhu pencelupan uji *immersed*. Berdasarkan diagram ini pula didapat

⁵⁹ G.E Totten, C.E Bates, N.A Clinton, Handbook of Quenchants and Quenching Technology, May 1995, pg. 145

⁶⁰ Erwin Ermawan (6305002052), Pengaruh Bromide Solution terhadap Ketahanan Korosi Pitting pada SUS 316L dan SUS 317L Austenite Steel, Universitas Indonesia, Jakarta, 2007, pg 49-53

- peringkat ketahanan korosi, yaitu sampel air (yang paling tahan korosi), udara, dan oli (yang paling terkorosi).
8. Penjelasan mengenai penyebab sampel udara lebih korosif daripada sampel air adalah pada sampel udara memiliki jumlah krom karbida atau Cr_{23}C_6 yang lebih banyak terbentuk sebagai akibat proses pemanasan / pengelasan. Krom karbida tersebut timbul pada batas butir, yang akan memicu terjadinya korosi intergranular hingga korosi pitting. Sedangkan pada sampel air, krom karbida tidak sempat untuk lebih banyak lagi terbentuk karena langsung mengalami proses *quenching*.
 9. Gambar 4.5.1.8 dan 4.5.1.9 menunjukkan perbandingan laju korosi dengan waktu pencelupan. Kemampuan masing-masing sampel untuk membentuk lapisan pasif menjadi tidak sama akibat proses *quenching* yang berbeda. Lapisan oksida tersebut berfungsi sebagai lapisan pelindung permukaan terluar logam dari serangan ion-ion yang bersifat korosif. Pada sampel udara dan oli, lapisan pasif sudah terbentuk setelah 24 jam. Ini terlihat dari *weight loss* yang berkurang banyak pada 48 jam berikutnya. Sedangkan pada sampel air, lapisan pasif baru terbentuk setelah 48 jam. Ini terlihat dari *weight loss* yang semakin besar pada 24 jam kedua. Baru kemudian setelah itu nilainya menurun. Ini berlaku pada kedua varian suhu uji *immersed*.
 10. Serangan korosi yang hebat terhadap sampel oli, selain disebabkan oleh mikrostruktur yang terbentuk melalui *quenching*, ditambah oleh adanya zat-zat aditif tambahan yang korosif terdapat pada fluida oli tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

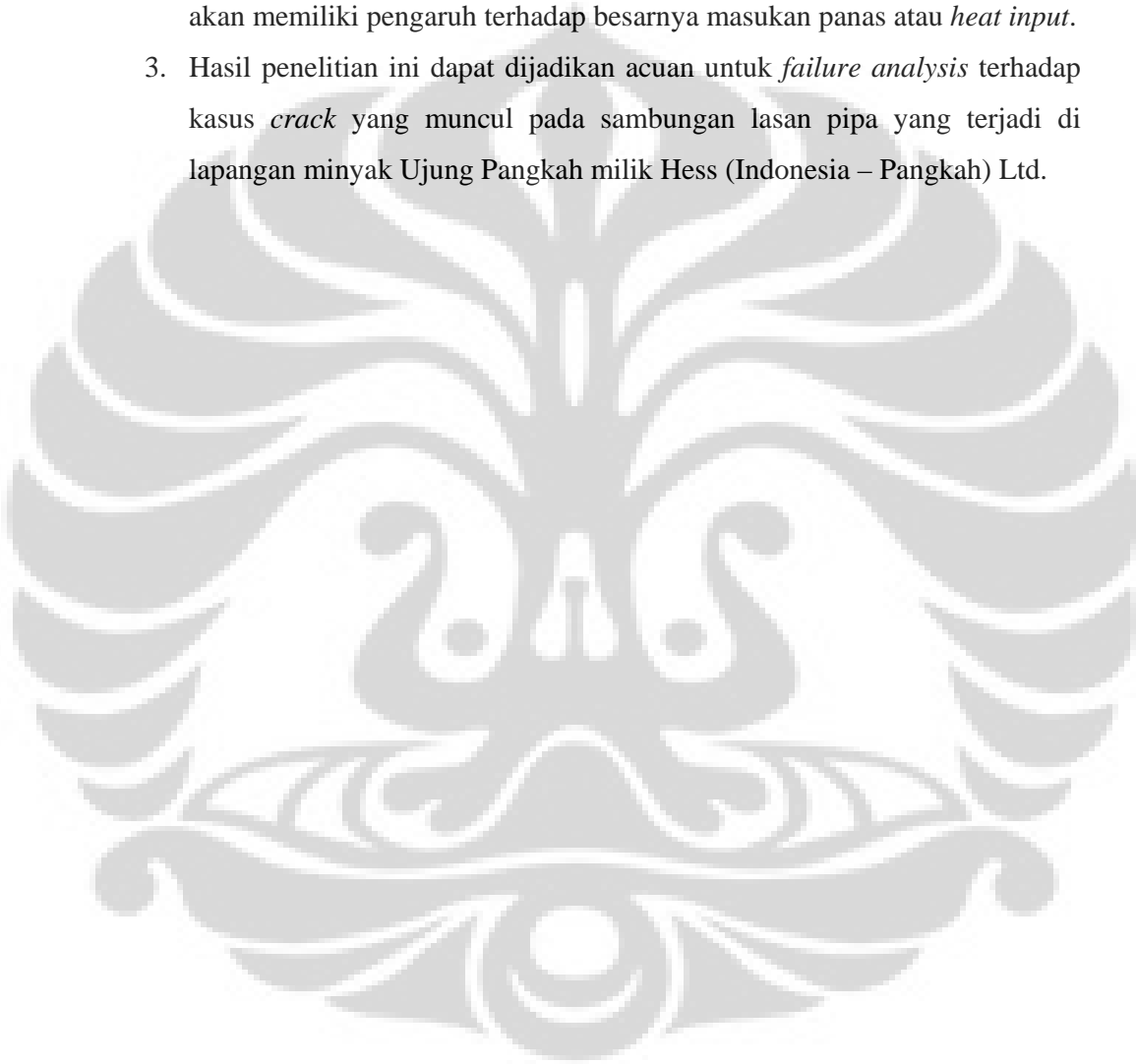
V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil data-data penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Quenching* memiliki pengaruh terhadap bentuk butir pada mikrostruktur dan karakteristik mekanis dari ketiga sampel. Perbedaan tersebut timbul akibat laju pendinginan atau *cooling rate* yang juga berbeda-beda berdasarkan media *quenching* atau *quenchant* yang dipilih.
2. Pada hasil uji metalografi, foto-foto mikrostruktur di daerah lasan memiliki perbedaan diantara ketiganya. Pada sampel udara memiliki bentuk butir yang lebih kecil daripada sampel air. Namun pada sampel oli memiliki batas butir yang tidak beraturan atau dengan kata lain ada ketidaksetimbangan fase antara *ferrite* dan *austenite* pada mikrostrukturnya. Fakta ini juga ditunjang oleh rendahnya persentase *ferrite* yang hanya sebesar 34.55%. Sedangkan pada foto-foto mikrostruktur di daerah HAZ, terlihat ada satu persamaan diantara ketiganya, yaitu timbulnya fase *secondary austenite* antara perbatasan logam lasan sampai dengan sebagian logam HAZ.
3. Proses *quenching* pada produk lasan logam Super Duplex tidak memiliki pengaruh terhadap besarnya persentase *ferrite*. Hal ini terlihat dari perbedaan nilai *ferrite* pada daerah lasan dan daerah HAZ pada masing-masing sampel. Namun bagaimanapun besarnya deviasi masih masih dalam batas toleransi, yaitu 30-70 %, sesuai dengan standar NACE MR-0175.
4. Pada uji *micro hardness Vickers* dan *macro hardness Brinell*, apa yang terjadi pada ketiga sampel sesuai dengan teori pada bab II, yaitu nilai kekerasan tertinggi akan didapat dari *water quenching*, kemudian *oil quenching*, dan terakhir *air quenching*.
5. Korosi yang terjadi pada sampel Super Duplex adalah jenis korosi sumur atau *pitting corrosion*. Deselerasi suhu pada uji *immersed solution* mampu menurunkan laju korosi. Peringkat *quenchant* berdasarkan ketahanan korosinya adalah air, udara dan oli.

V.2 Saran

1. Proses *quenching* dengan *quenchant* oli sebaiknya dihindari, selain bersifat korosif, juga tidak mampu menaikkan nilai kekerasan secara signifikan jika dibandingkan dengan *quenchant* air.
2. Varian penelitian bisa ditambahkan pada saat proses pengelasan seperti *Arc Voltage*, arus, kecepatan jalan, dan ukuran kawat las yang nantinya akan memiliki pengaruh terhadap besarnya masukan panas atau *heat input*.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk *failure analysis* terhadap kasus *crack* yang muncul pada sambungan lasan pipa yang terjadi di lapangan minyak Ujung Pangkah milik Hess (Indonesia – Pangkah) Ltd.



DAFTAR ACUAN

- ASM Handbook, *Quenching Steel*, Volume 4, Heat Treating, ASM International, 7th printing, March 2006
- A.B. Sandvik Steel, *Seamless Tube: Sandvik SAF 2507*, Sandvik Steel, Sweden, 2000
- Bambang Suharno and Bustanul Arifin, *Duplex Stainless Steel: Karakteristik*, Metallurgy and Materials Engineering Department University of Indonesia, Seminar Tira Austenite, 2007
- Bernard Bonnefois and Amelie Fanica, *Welding of Duplex Stainless Steels*, Seminar Tira Austenite, 6 Maret 2007
- Brett A. Anderson, *The 8 Forms of Corrosion*, Migas Indonesia, Indonesia, 2001
- Denny A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- Erwin Ermawan (6305002052), *Pengaruh Bromide Solution terhadap Ketahanan Korosi Pitting pada SUS 316L dan SUS 317L Austenite Steel*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2007
- Farid Moch. Zamil, *Introduction to Welding*, KBK Welding, Milis Migas Indonesia, 2005
- Harry Chandler, *Heat Treater's Guide – Practises and Procedures for Iron and Steels*, ASM International, February 2006
- James Marrow, *Ferrous Alloys Stainless Steels*, Manchester Materials Science Centre, Manchester, 2007
- John C. Leopold and Damian J. Kotecki, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*, John Wiley & Sons Incorporation, 2005
- Margun Tystad, *Application of Duplex Stainless Steel in The Offshore Industry – Stainless Steel World*, KCI Publishing, 1997
- Masbaroto Santonugroho (6301000349), *Pengaruh Bending Material S316L Lasan terhadap Stress Corrosion Cracking*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2005
- NACE International, *An Introduction of Corrosion Basic*, NACE Publishing, 1994
- Pierre Soullignac and Jerome Peultier, *Applications of Duplex Stainless Steels in The Oil and Gas and Offshore Industries*, Seminar Tira Austenite, 6 Maret 2007
- EPCI Raga-PAL Consortium, *Fabrication and Installation Procedure for Super Duplex Piping - UPD-RG-WI-CS-PR-0521*, Amerada Hess Ujung Pangkah Development, Indonesia, 2006

- R. Scott Funderburk, *A Look at Heat Input*, Welding Innovation, Migas Indonesia, Indonesia, 1999
- Romy Lesmana (6303000168), *Pengaruh Masukan Panas dan Perlakuan Panas terhadap Karakteristik Mekanis dan Korosi Material Stainless Steel AISI 304*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2006
- Sandmeyer Steel Company, *Specification Sheet: SAF 2507 (UNS S32750) A 25Cr Duplex Stainless Steel*, Sandmeyer Steel Company, Philadelphia, 2000
- KBK Korosi, *Pitting and Crevice Corrosion*, Milis Migas Indonesia, Indonesia, 2007

