

**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNET EKSTERNAL
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PENGELASAN
ANTARA BAJA St 37 DAN BAJA EMS 45**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

SASMITA AJIE

NIM. 0210620115-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2007

**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNET EKSTERNAL
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PENGELASAN
ANTARA BAJA St 37 DAN BAJA EMS 45**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

SASMITA AJIE

NIM. 0210620115-62

DOSEN PEMBIMBING:

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

Ir. Wardi Kasim

NIP. 130 531 844

Sugiarto, ST. MT

NIP. 132 137 966

**PENGARUH PENAMBAHAN MAGNET EKSTERNAL
TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PENGELASAN
ANTARA BAJA St 37 DAN BAJA EMS 45**

Disusun Oleh:

SASMITA AJIE
NIM. 0210620115-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 3 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Ir. Suharto, MT
NIP. 131 131 025

Skripsi II

Ir. Tjuk Oerbandono, M. Sc
NIP. 132 048 543

Komprehensif

Ir. Winarno Y. A.
NIP. 131 280 655

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 132 159 708

KATA PENGANTAR

Ungkapan syukur saya ucapkan kehadiran Tuhan YME atas ijin dan petunjukNya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Segala suka dan duka telah terlalui dalam upaya penyelesaian tugas akhir ini. Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu saya, yaitu:

- 1 Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT.
- 2 Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.
- 3 Ketua kelompok konsentrasi produksi Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT.
- 4 Bapak Ir. Wardi Kasim dan Bapak Sugiarto ST. MT yang telah membimbing dan mentransfer ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
- 5 Aris, Bahrul, Heri, Irwan atas bantuannya.
- 6 Serta segala pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu.

Saya berharap hasil penelitian ini dapat berguna baik bagi saya pribadi, kalangan industri, serta sumbangan pemikiran bagi penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan demi lebih tersempurnanya skripsi ini

Malang, Agustus 2007

Sasmita Ajie

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
RINGKASAN	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan	3
2.2 Proses Pengalasan	4
2.2.1 Definisi dan klasifikasi pengelasan	4
2.2.2 Pengelasan baja karbon	6
2.2.2.1 Klasifikasi baja karbon	6
2.2.2.2 Pengelasan baja karbon rendah	6
2.2.2.3 Pengelasan baja karbon sedang dan tinggi	6
2.2.3 Pengelasan Bimetal	7
2.3 Konveksi pada <i>Weld Pool</i>	7
2.3.1 Pengaruh konveksi pada pengalasan	7
2.3.2 Gaya-gaya yang mempengaruhi konveksi	9
2.3.2.1 Gaya <i>Bouyancy</i>	9
2.3.2.2 Gaya tekan permukaan	10
2.3.2.3 Gaya elektromagnetik	11
2.4 Homogenitas <i>Weld Pool</i> pada Pengelasan	13
2.5 Korosi	15
2.5.1 Korosi permukaan merata	15
2.5.2 Korosi batas butir	16

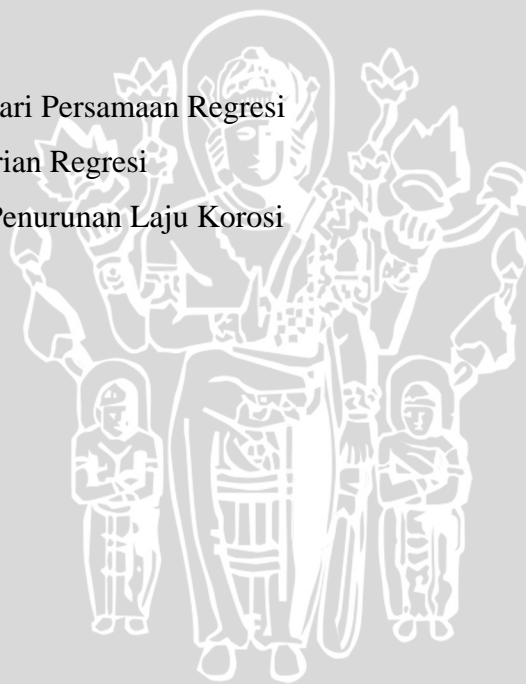
2.5.3 Korosi lubang	16
2.5.4 Korosi tegangan	17
2.5.5 Korosi celah	18
2.5.6 Korosi lelah	19
2.5.7 Korosi erosi	20
2.5.8 Korosi kontak	20
2.5.9 Metode pengujian korosi	21
2.5.10 Reaksi kimia	23
2.5.11 Laju korosi	23
2.6 Hipotesis	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Variabel Penelitian	25
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.4 Bahan dan Alat yang Digunakan	25
3.4.1 Bahan penelitian	25
3.4.2 Alat-alat yang Digunakan	26
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.6 Rancangan Analisis Data	31
3.6.1 Analisis varian	31
3.6.2 Analisis regresi	33
3.7 Diagram Alir Penelitian	35
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data dan Analisis Statistik	36
4.1.1 Data hasil pengujian	36
4.1.2 Analisis varian	37
4.1.3 Analisis regresi	39
4.2 Pembahasan	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Hubungan Kuat Arus dengan Laju Korosi	3
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Masukan Panas dengan Laju Korosi	4
Gambar 2.3 Klasifikasi Proses Pengelasan	5
Gambar 2.4 Bagian Daerah Lasan	6
Gambar 2.5 Efek Konveksi terhadap Porositas	9
Gambar 2.6 Sirkulasi Logam Cair Akibat Gaya <i>Bouyancy</i> dan Distribusi Temperatur pada Kolam Las	10
Gambar 2.7 tegangan Permukaan Logam Cair dan Sirkulasi yang Terjadi	11
Gambar 2.8 Arus Konveksi karena Pengaruh Gaya Elektromagnetik	12
Gambar 2.9 Penetrasi yang Ditimbulkan Gaya Elektromagnetik	12
Gambar 2.10 Arah Garis Medan Magnet dalam Solenoida	13
Gambar 2.11 Arah Pembekuan dari Hasil Lasan	14
Gambar 2.12 Korosi Permukaan Merata	16
Gambar 2.13 Korosi Batas Butir	16
Gambar 2.14 Korosi Lubang	17
Gambar 2.15 Korosi Tegangan	18
Gambar 2.16 Korosi Celah	19
Gambar 2.17 Korosi Lelah pada Badan Pesawat Terbang	20
Gambar 2.18 Korosi Erosi	20
Gambar 2.19 Korosi Kontak	21
Gambar 2.20 Uji Korosi Basah	23
Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja	26
Gambar 3.2 Spesimen Uji Korosi	26
Gambar 3.3 Transformator	27
Gambar 3.4 Teslameter	27
Gambar 3.5 Mesin Las MIG	28
Gambar 3.6 Kamera Digital untuk Foto Makro	28
Gambar 3.7 Timbangan Digital	29
Gambar 3.8 Gambar Instalasi Pengelasan	30
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4.1 Hubungan Antara Medan Magnet dan Laju Korosi	40
Gambar 4.2 Geometri Kampuh pada Berbagai Variasi Medan Magnet	41
Gambar 4.3 Foto Daerah yang Terkorosi	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon	6
Tabel 2.2 Klasifikasi Korosi	15
Tabel 3.1 Laju Korosi	31
Tabel 3.2 Tabel Anava	32
Tabel 3.3 Tabel Pembantu Mencari Persamaan Regresi	33
Tabel 3.4 Tabel Analisis Varian Regresi	34
Tabel 4.1 Massa Sebelum Uji Korosi	36
Tabel 4.2 Massa Sesudah Uji Korosi	36
Tabel 4.3 Selisih Massa Sesudah Uji Korosi	36
Tabel 4.4 Laju Korosi	37
Tabel 4.5 Tabel Anava	38
Tabel 4.6 Tabel Bantu Mencari Persamaan Regresi	39
Tabel 4.7 Tabel Analisis Varian Regresi	40
Tabel 4.8 Tabel Persentase Penurunan Laju Korosi	44



RINGKASAN

Sasmita Ajie, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, 2007, "Pengaruh Penambahan Magnet Eksternal Terhadap Laju Korosi Hasil Pengelasan Baja St 37 dan Baja EMS 45". Dosen Pembimbing: Ir. Wardi Kasim dan Sugiarto, ST. MT.

Korosi adalah masalah yang sangat serius pada pengelasan, terutama pengelasan dengan logam yang berbeda (bimetal). Pada pengelasan logam, sirkulasi pada *weld pool* akan mempengaruhi sedikit banyaknya unsur-unsur terlarut. Jumlah unsur terlarut ini akan menentukan besar kecilnya laju korosi pada hasil pengelasan. Pada pengelasan logam berbeda jenis, akan cenderung terjadi korosi kontak, sehingga logam yang bertindak sebagai anoda akan cenderung lebih terkorosi dibanding logam yang menjadi katoda.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan magnet eksternal terhadap laju korosi pada hasil pengelasan antara baja St 37 dan baja EMS 45. Jenis las yang digunakan adalah las *Metal Inert Gas* (MIG). Magnet eksternal yang ditambahkan saat proses pengelasan berlangsung adalah (0; 1,72; 2,22; 2,56; 3,26) mT dan dibangkitkan menggunakan solenoida yang telah diberi arus listrik. Bahan yang digunakan adalah baja St 37 dan baja EMS 45 dengan ketebalan sepuluh milimeter. Pengujian korosi dilakukan dengan membandingkan massa sebelum spesimen uji korosi direndam dalam larutan HCL 35 % dan massa sesudah perendaman. Selisih massa yang dihasilkan akan menunjukkan seberapa besar laju korosi yang terjadi.

Hasil penelitian dengan dengan variasi magnet eksternal yaitu sebesar (0; 1,72; 2,22; 2,56; 3,26) mT, laju korosi hasil pengelasan bimetal adalah sebesar (641,8284; 630,8262; 570,8471; 520,6958; 614,6973) mm/th. Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa semakin besar medan magnet solenoida yang diberikan (0 mT sampai 2,56 mT) saat pengelasan, maka laju korosi akan semakin menurun. Jika medan magnet diperbesar menjadi 3,26 mT, maka laju korosi akan meningkat kembali.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada aplikasi bidang teknik, banyak ditemui adanya penyambungan logam. Penyambungan logam dapat menggunakan berbagai macam cara, diantaranya dapat dikeling, dibaut, maupun menggunakan proses pengelasan. Pengelasan merupakan cara yang sangat efektif pada penyambungan logam, karena dapat digunakan menyambung logam dengan berbagai posisi dan bentuk, serta prosesnya yang cukup sederhana sehingga biaya keseluruhan menjadi lebih murah. Pengelasan dapat dibedakan menjadi pengelasan logam sejenis dan pengelasan logam berbeda jenis (bimetal).

Proses pengelasan bimetal adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan bimetal mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan dengan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektrode yang sesuai, pengaturan *heat input* yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pasca pengelasan yang tepat. Karena berbagai macam kesulitan tersebut, maka pengelasan bimetal jarang diterapkan pada bidang perencanaan konstruksi dibandingkan dengan pengelasan dengan logam yang sejenis. Untuk itu dibutuhkan inovasi-inovasi agar pengelasan bimetal lebih dapat diterima dan pada akhirnya dapat diaplikasikan dengan baik sesuai dengan yang kita inginkan. Salah satu inovasi yang mungkin dapat dilakukan adalah penambahan magnet eksternal saat proses pengelasan. Pada proses pengelasan, terjadi sirkulasi logam cair pada *weld pool*. Sirkulasi logam cair pada *weld pool*, akan berpengaruh terhadap porositas, pelarutan unsur-unsur lain pada hasil lasan, serta laju korosi pada hasil lasan. Magnet eksternal dapat dibangkitkan dengan adanya elektromagnet dari kumparan yang telah dialiri listrik.

Seberapa besar pengaruh penambahan magnet eksternal pada pengelasan material yang tidak sejenis terhadap laju korosi sambungan lasnya, sangat menarik untuk diteliti lebih dalam.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

“ Bagaimanakah pengaruh penambahan magnet eksternal terhadap laju korosi hasil pengelasan antara bahan St 37 dan bahan EMS 45 ”

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencegah pokok bahasan yang meluas, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- Pengelasan yang digunakan adalah las MIG dengan pelindung gas CO₂.
- Elektrode yang digunakan ER70S diameter 1 mm.
- Medan magnet yang digunakan adalah (0; 1,72; 2,22; 2,56; 3,26) mT.
- Pengujian korosi selama 30 menit.
- Pengujian laju korosi pada larutan HCL 35%.
- Pengamatan korosi menggunakan foto makro.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan magnet eksternal terhadap laju korosi pada hasil pengelasan antara baja St 37 dan baja EMS 45 .

1.5 Manfaat Penelitian

Penulis berharap penelitian ini memberikan manfaat antara lain:

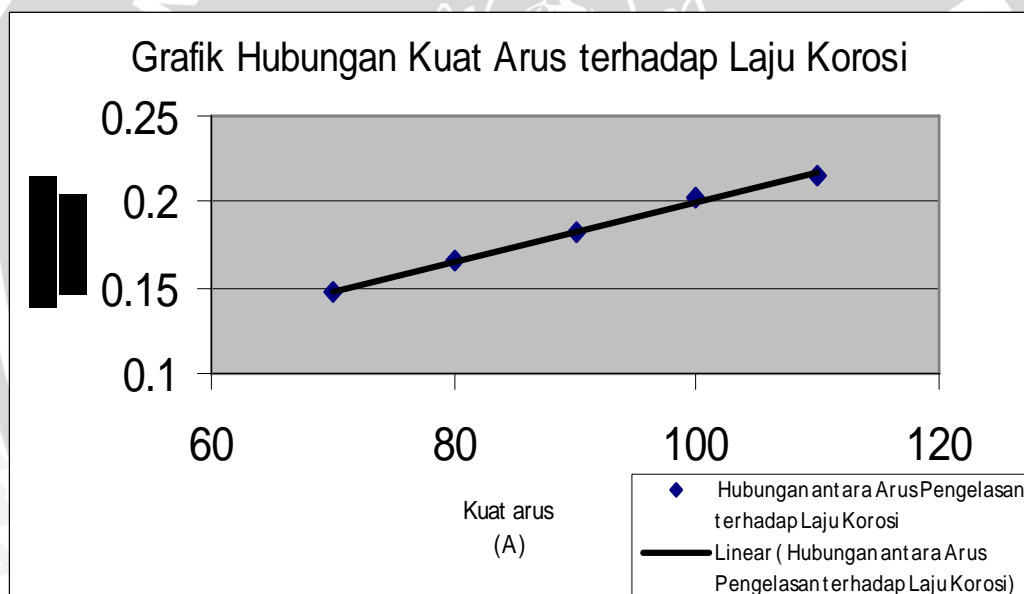
- Menambah wawasan, pengetahuan, dan pengalaman bagi penulis tentang pengelasan terutama pada pengelasan bimetal.
- Sebagai bahan masukan dan pertimbangan bagi kalangan industri yang berhubungan dengan pengelasan bimetal.
- Memberikan sumbangan referensi bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengelasan bimetal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan

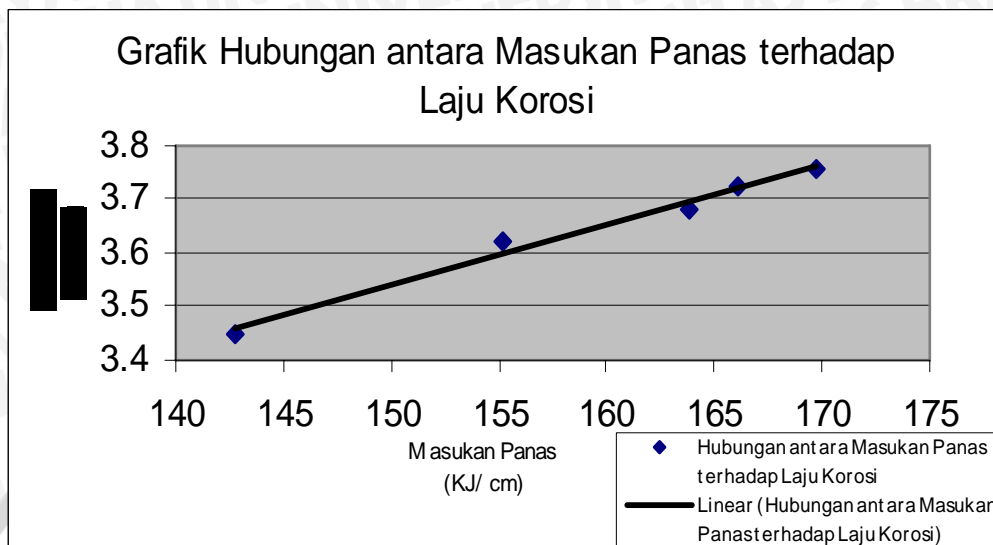
Susanto, Tri A. (2002) dengan judul penelitian "*Pengaruh Kuat Arus terhadap Laju Korosi pada Hasil Pengelasan SMAW*". Penelitian dilakukan dengan mencelupkan baja hasil pengelasan pada air laut selama kurun waktu 504 jam dan diamati korosi yang terjadi. Variabel bebas yang digunakan adalah kuat arus pengelasan, sebesar (70, 80, 90, 100, 110) *ampere*. Sedangkan variabel terikatnya adalah laju korosi. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin besar kuat arus yang diberikan, maka makin besar pula masukan panas yang diterima logam, sehingga logam akan semakin korosif (laju korosi makin besar) seperti nampak pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Kuat Arus dengan Laju Korosi
Sumber: Susanto, Tri A., 2002: 44

Drihapsanti, Mila A. (2004) dengan judul penelitian "*Pengaruh Variasi Masukan Panas (Heat Input) terhadap Ketahanan Korosi Hasil Pengelasan TIG Stainless Steel*". Penelitian dilakukan dengan mencelupkan *Stainless Steel* AISI 304 hasil pengelasan pada larutan HCL 20 % selama kurun waktu 1 bulan dan diamati korosi yang terjadi. Variabel bebas yang digunakan adalah Masukan Panas pengelasan, sebesar 142.7712 KJ/ cm, 155.1872 KJ/ cm, 163.8079 KJ/ cm, 166.1457 KJ/ cm, 169.6970 KJ/ cm. Sedangkan variabel terikatnya adalah laju korosi. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin besar masukan panas yang diberikan, maka semakin besar pula masukan panas yang

diterima logam, sehingga logam akan semakin korosif (laju korosi semakin besar) seperti nampak pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Masukan Panas dengan Laju Korosi
Sumber: Drihapsanti, Mila A., 2004: 36

2.2. Proses Pengelasan

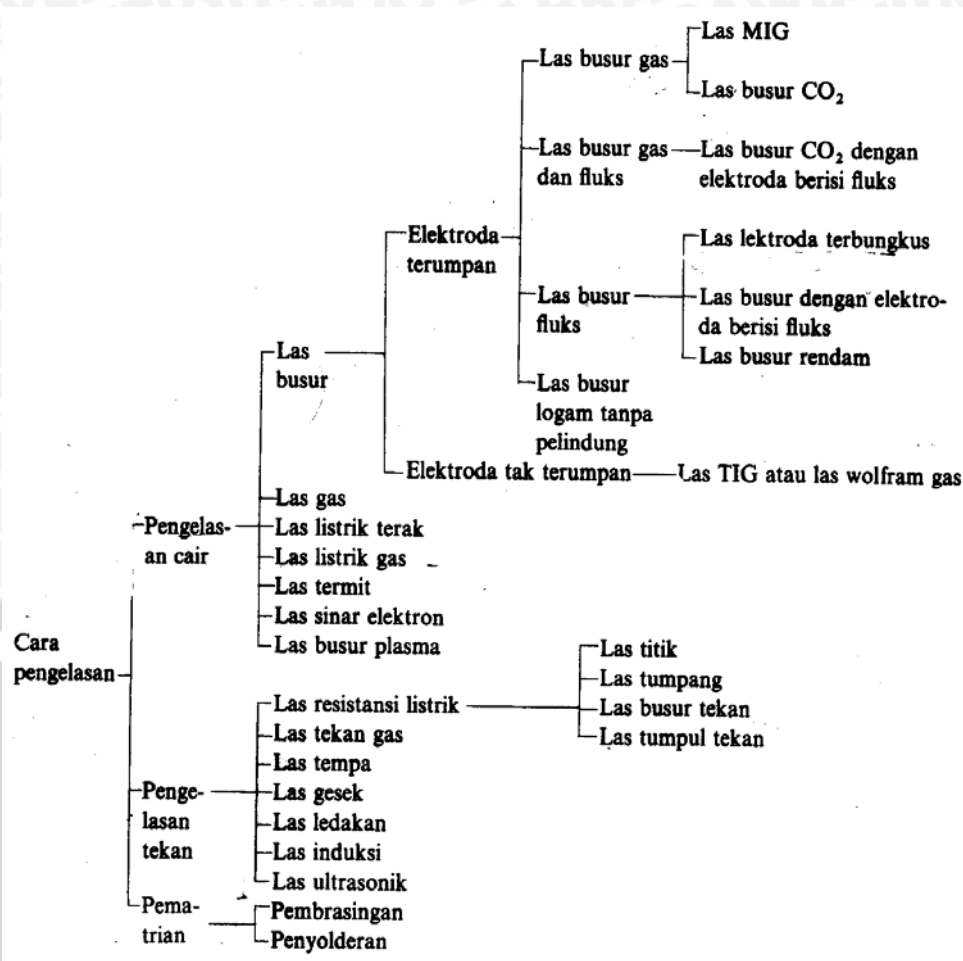
2.2.1. Definisi dan klasifikasi pengelasan

Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutsche Industrie Normen*), las merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryo Sumarto, 1994, 1).

Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan dapat dibagi dalam 3 kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian.

- Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan gas yang terbakar.
- Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang memiliki titik lebur rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

Adapun perincian lebih lanjut mengenai klasifikasi proses pengelasan dapat digambarkan dalam gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3: Klasifikasi Proses Pengelasan
 Sumber : Wiryosumarto, 1994 : 8

Secara umum daerah lasan dapat dibagi menjadi 3 bagian seperti terdapat pada gambar 2.4, yaitu:

- a. Logam lasan atau FZ (*Fusion Zone*)

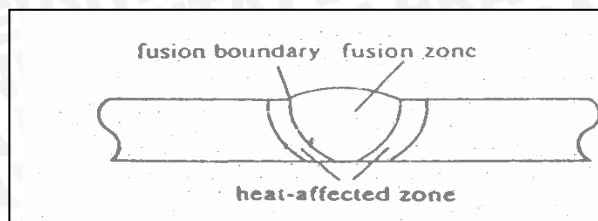
Logam las merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan berlangsung mengalami pencairan dan kemudian pembekuan.

- b. Daerah Pengaruh Panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*)

Daerah pengaruh panas merupakan logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

- c. Logam Induk Tak Terpengaruhi atau BM (*Base Metal*)

Logam induk tak terpengaruhi merupakan bagian logam dasar, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat.



Gambar 2.4 Bagian Daerah Lasan
 Sumber : Lancaster, J.F. 1993 : 85

2.2.2. Pengelasan Baja Karbon

2.2.2.1. Klasifikasi baja karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. (Wiryosumarto, 1994 : 89). Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.1. Oleh karena itu baja dapat dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya sebagai berikut.

- Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3 %.
- Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon 0,3 % - 0,45 %
- Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45 % - 1,70%

Tabel 2.1 : Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan	
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	batang, kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum.
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin.
Baja Karbon tinggi	Baja keras	0,04-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas Rel, pegas, dan kawat piano
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	

Sumber : Wiryosumarto, 1994 : 90

2.2.2.2. Pengelasan baja karbon rendah

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratan dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah merupakan baja yang mudah dilas

Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah

2.2.2.3. Pengelasan baja karbon sedang dan tinggi

Baja karbon sedang dan baja karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Oleh karena itu daerah pengaruh panas atau HAZ pada

baja ini mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Bila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan logam induk maka proses pengelasannya menjadi sukar dan pemilihan elektroda menjadi hal yang sangat perlu diperhatikan.

2.2.3. Pengelasan Bimetal

Proses pengelasan bimetal adalah proses pengelasan dimana logam yang dilas adalah dua macam logam yang berbeda. Proses pengelasan bimetal mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan dengan logam yang sejenis. Karena logam yang tak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, diantaranya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, dan pemilihan elektrode yang sesuai. Untuk pengelasan antara baja karbon rendah dengan baja karbon sedang atau tinggi, maka elektrode dipilih yang sesuai dengan baja karbon sedang atau tinggi tersebut. Hal ini dimaksudkan agar hasil pengelasannya memiliki sifat mekanik yang setara dengan baja yang memiliki kadar karbon yang lebih banyak.

2.3. Konveksi pada *Weld Pool*

Konveksi terjadi pada kolam las cair selama proses pengelasan berlangsung karena adanya gaya-gaya yang bekerja pada logam cair. Berdasarkan definisi dari *American Heritage Dictionary*, konveksi merupakan pergerakan fluida yang disebabkan adanya gaya eksternal (Messler, Robert W. 1999: 291), dimana fluida pada *weld pool* adalah logam cair. Konveksi yang terjadi dapat ditingkatkan dengan cara memperbesar gaya-gaya yang bekerja pada kolam cair tersebut.

Terdapat beberapa gaya yang dapat mempengaruhi terjadinya konveksi pada *weld pool*. Gaya-gaya yang dapat mengakibatkan pergerakan logam cair dalam *weld pool* pada pengelasan listrik (*arc welding*) antara lain gaya *Bouyancy*, gaya *Marangoni*, gaya elektromagnet.

2.3.1 Pengaruh konveksi pada pengelasan

Konveksi yang terjadi pada kolam las cair selama proses pengelasan berlangsung akan mempengaruhi aliran fluida yang akan berpengaruh pada bentuk kolam las sebagai akibat pengikisan fluida yang disebabkan oleh distribusi panas,

pencampuran yang akan menentukan tingkat homogenitas kimia sebagai hasil *macro segregation* dan distribusi porositas akibat gas yang terlarut (Messler, Robert W. 1999 : 291).

A. Pengaruh Konveksi terhadap Penetrasi

Aliran logam las cair pada kolam las dapat mempengaruhi penetrasi yang terjadi. Kecenderungan bentuk penetrasi sangat tergantung pada arah dan kecepatan dari logam las cair.

Konveksi yang terjadi akibat gaya *bouyancy* dan gaya tekan permukaan cenderung akan mengakibatkan kolam las menjadi dangkal dan lebar. Sedangkan pada arus konveksi yang terjadi akibat gaya elektromagnetik dan gaya tekan permukaan cenderung akan mengakibatkan kolam las menjadi dalam dan sempit (Kou, Sindo, 1987 : 97).

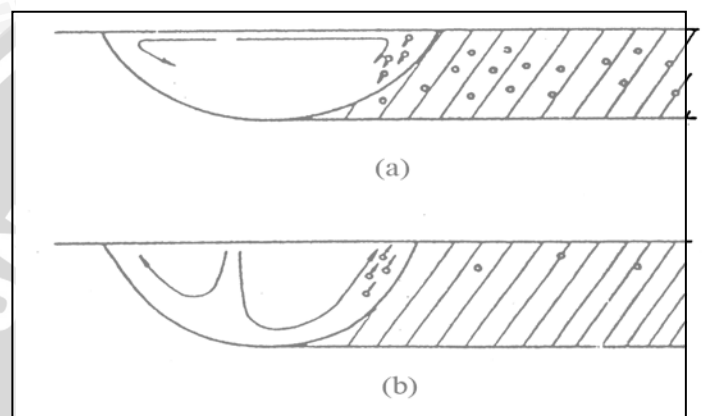
B. Pengaruh Konveksi terhadap Segregasi

Pengaruh konveksi terhadap segregasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pada pengelasan kontinu yang menggunakan logam penambah (*filler metal*), terjadinya makrosegregasi sangat dimungkinkan apabila pencampuran (*mixing*) pada *weld pool* tidak sempurna dan juga makrosegregasi terjadi pada pengelasan dengan material yang berbeda. Pada pengelasan listrik (*arc welding*), gaya elektromagnetik yang terjadi dapat meningkatkan pencampuran pada kolam las. Dengan arus konveksi yang terjadi, logam pengisi yang ditambahkan akan dapat tercampur dengan sempurna sebelum mengalami solidifikasi, sehingga komposisi logam las menjadi lebih homogen. (Kou, Sindo. 1987 : 100).
2. Pada kolam las (*weld pool*) komposisi logam las yang homogen tidak selalu terjadi pada seluruh bagian kolam las, terdapat lapisan logam cair pada daerah dekat batas las (*pool boundary*) yang cenderung diam (stagnan) selama proses sirkulasi logam las cair berlangsung. Daerah ini dinamakan *unmixed zone*. Daerah ini memiliki komposisi yang berbeda dengan daerah lain dari kolam las yang mengalami sirkulasi. Dengan meningkatnya laju konveksi akibat gaya elektromagnetik, maka semakin besar logam cair pada *unmixed zone* yang dibawa arus konveksi dan mengalami sirkulasi, sehingga ketebalan lapisan *unmixed zone* dapat dikurangi dan dapat dikatakan kolam las semakin homogen. (Kou, Sindo. 1987 : 100).

C. Pengaruh konveksi terhadap Porositas

Porositas terbentuk akibat adanya interaksi antara logam cair panas dengan permukaan kolam pada logam induk sehingga gas-gas yang terlarut pada logam cair akan bereaksi dengan logam induk dan menyebabkan gelembung gas pada daerah kolam las yang dingin. Gelembung gas yang tinggal akan membentuk lubang-lubang halus saat solidifikasi. Konveksi yang terjadi pada *weld pool* secara teoritis dapat membantu dalam melepas gelembung gas yang terbentuk ke atmosfer sebelum tersolidifikasi atau sebaliknya tergantung pada arah konveksi yang terjadi pada kolam las (Kou, Sindo. 1987 : 102). Pengaruh pola konveksi terhadap porositas dapat dilihat pada gambar 2.5.



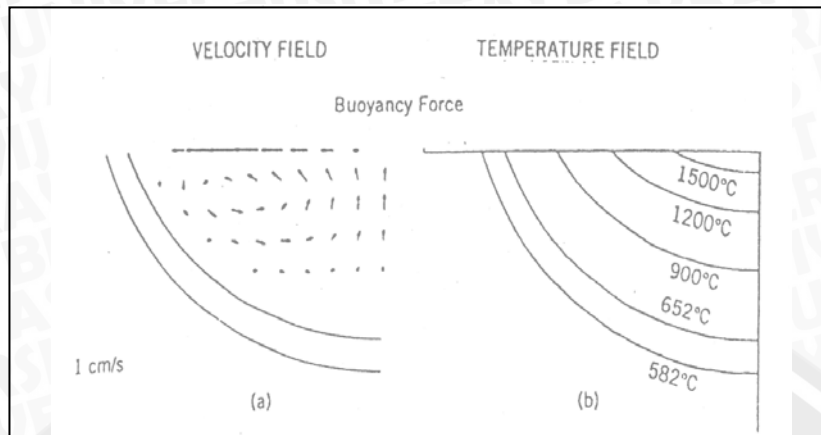
Gambar 2.5 Efek Konveksi Terhadap Porositas
 (a) Pola konveksi yang dapat menjebak gelembung gas
 (b) Pola konveksi yang dapat melepas gelembung gas
 Sumber : Kou, Sindo. 1987 : 102

2.3.2. Gaya-gaya yang mempengaruhi konveksi

2.3.2.1. Gaya *Bouyancy*

Gaya *Bouyancy* merupakan gaya yang diakibatkan oleh adanya perbedaan densitas pada daerah kolam las yang dipengaruhi gravitasi. Perbedaan densitas yang terjadi disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur lokal, juga dapat disebabkan oleh komposisi dan konsentrasi lokal pada kolam las. Akan tetapi perbedaan temperatur lokal lebih mendominasi dalam memunculkan gaya ini.

Gaya *Bouyancy* mengakibatkan terjadinya sirkulasi logam cair dalam kolam las. Daerah logam cair yang dekat dengan batas las merupakan daerah yang paling dingin. Pada daerah ini logam cair memiliki densitas yang besar, sehingga logam cair akan bergerak kebawah. Sedangkan daerah tengah kolam las merupakan daerah yang paling panas, sehingga logam cair pada daerah ini memiliki densitas yang rendah. Akibatnya logam cair akan bergerak keatas. Sirkulasi yang terjadi akibat gaya *Bouyancy* dan distribusi temperatur pada kolam las dapat digambarkan pada gambar 2.6 berikut:



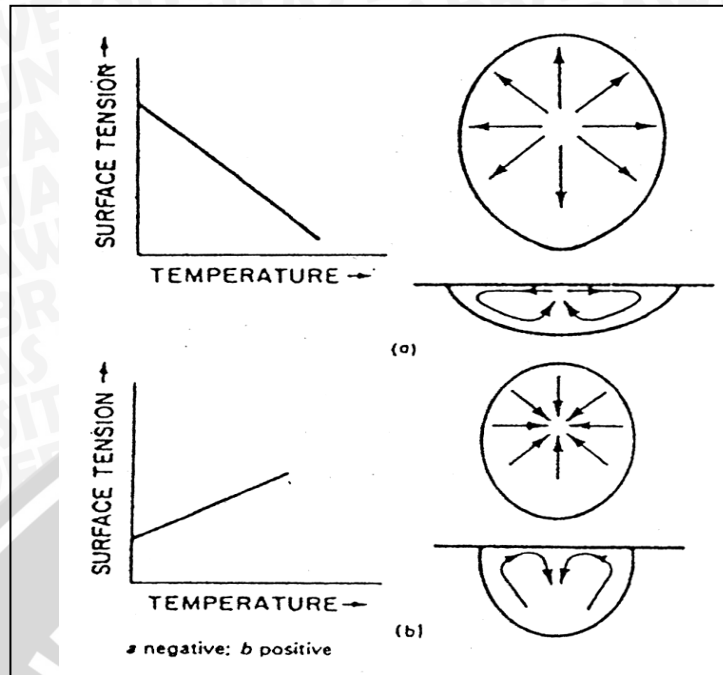
Gambar 2.6 Sirkulasi Logam Cair Akibat Gaya *Bouyancy* dan Distribusi Temperatur pada Kolam Las
 Sumber : Messler, Robert W. 1999 : 299

Gaya *Bouyancy* ini memberikan pengaruh yang kecil pada sirkulasi logam las cair, bahkan terkadang diabaikan.

2.3.2.2. Gaya tekan permukaan

Seperti halnya sifat-sifat fluida pada umumnya, logam las cair juga mempunyai tegangan permukaan yang besarnya sangat tergantung pada temperatur. Jika pada logam las cair terdapat gradien suhu maka pada pada kolam las cair tersebut timbul tegangan permukaan, dimana tegangan permukaan akan semakin rendah pada daerah yang bertemperatur tinggi dan akan semakin besar pada daerah yang bertemperatur rendah. Pada kolam las terjadi perbedaan temperatur lokal sehingga memunculkan perbedaan tegangan permukaan.

Gaya permukaan yang terjadi mengakibatkan terjadinya sirkulasi logam las cair yang arahnya tergantung pada nilai dari koefisien termal tegangan permukaan. Disamping perbedaan suhu, tegangan permukaan juga dipengaruhi komposisi logam las cair. Adanya unsur-unsur pengaktif seperti O, S, maka arus konveksi logam las cair bergerak dari tepi kolam las menuju tengah kolam las (De Herrera, Naomi, 2003). Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tegangan Permukaan Logam Cair dan Sirkulasi yang Terjadi
 (a) Tanpa unsur pengaktif (b) Dengan unsur pengaktif
 Sumber : Messler, Robert W. 1999 : 296

2.3.2.3. Gaya elektromagnetik

Pada proses pengelasan listrik (*arc welding*) akan menimbulkan medan magnet dan medan listrik. Interaksi kedua medan ini akan menimbulkan gaya elektromagnetik (gaya lorentz) yang besarnya dapat dirumuskan pada persamaan 2-1 sebagai berikut:

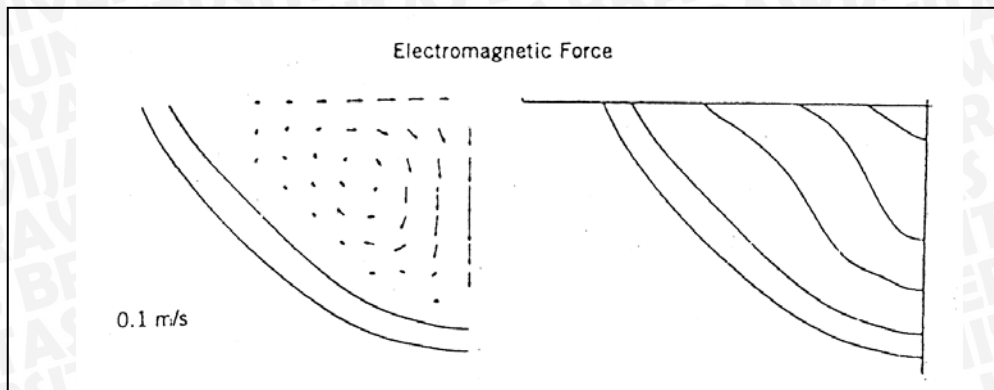
$$F = J \times B \quad (\text{Messler, Robert W, 1999 : 299}) \quad (2-1)$$

Keterangan: F = gaya elektromagnet (tesla)

J = arus listrik (ampere)

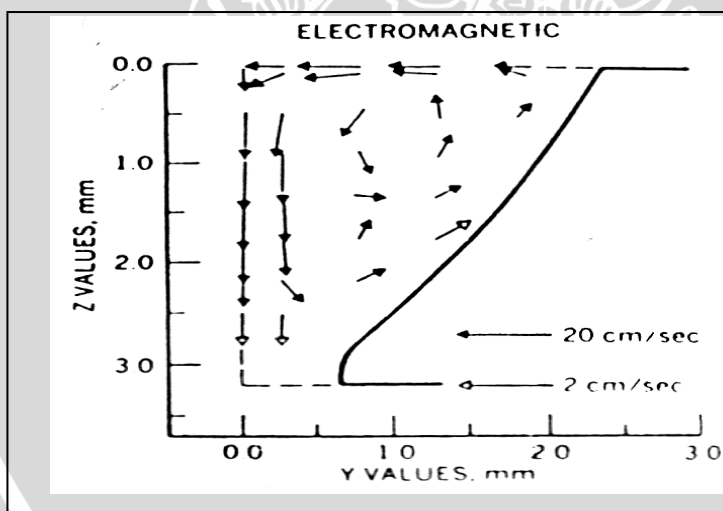
B = fluks magnetik

Gaya elektromagnetik yang terjadi mengakibatkan arus konveksi logam las cair yang berlawanan dengan arus konveksi yang ditimbulkan oleh pengaruh gaya *bouyancy*. Gaya elektromagnetik yang timbul pada kolam las mengakibatkan kecenderungan logam cair bergerak dari tengah kolam las menuju kedalam dan bergerak keatas menuju ke permukaan pada tepi kolam las (Herrera, 2003), dapat dilihat pada gambar 2.8 sebagai berikut:



Gambar 2.8 Arus Konveksi karena Pengaruh Gaya Elektromagnetik
 Sumber : Messler, Robert W. 1999 : 299

Gambar 2.9 menunjukkan gaya elektromagnetik ditengah kolam las akan mendorong logam las cair yang panas ke bawah sampai ke dasar kolam, sehingga perpindahan panas yang terjadi mengakibatkan sebagian dasar kolam las mencair dan sirkulasi pergerakan logam cair yang terjadi mengakibatkan kolam las yang terbentuk menjadi lebih sempit dan dalam (Messler, Robert W. 1999 : 300).



Gambar 2.9 Penetrasi yang Ditimbulkan Gaya Elektromagnetik
 Sumber : Messler, Robert W. 1999 : 302

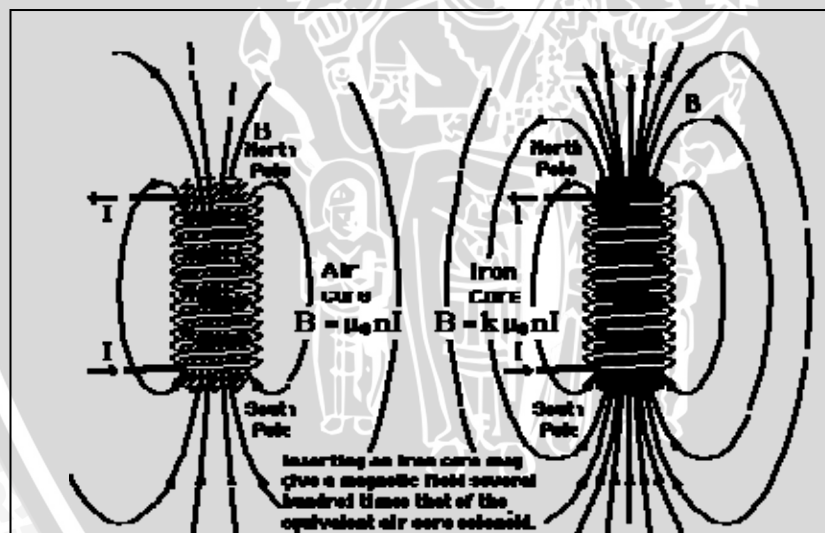
Gaya elektromagnetik dengan sirkulasi logam cair yang dihasilkan sangat berperan dalam proses pencampuran (*mixing*) dalam kolam las. Hal ini berpengaruh terhadap tingkat homogenitas dalam kolam las (Kou, Sindo, 1987 : 100).

Gaya elektromagnetik dalam pengelasan listrik (*arc welding*) dapat ditingkatkan dengan 2 cara yaitu :

- Meningkatkan arus listrik yang digunakan dalam pengelasan sehingga arus (J) dan fluks magnet meningkat.
- Meningkatkan fluks magnetik (B) dengan menambahkan medan magnet eksternal.

Meningkatkan gaya elektromagnetik dengan memperbesar arus pengelasan bukan merupakan cara yang terbaik, mengingat penambahan arus pengelasan akan memperbesar masukan panas dan menimbulkan masalah baru seperti tegangan sisa, distorsi, dan perubahan pada struktur mikro (Messler, Robert W, 1999 : 306)

Medan magnet eksternal dapat dibangkitkan menggunakan solenoida. Solenoida merupakan kumparan atau lilitan kawat yang biasanya membungkus inti logam dan dapat menghasilkan medan magnet apabila arus listrik dialirkan pada kumparan tersebut. Solenoid dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya dapat dikontrol. Adapun arah garis medan magnet tergantung pada arah aliran arus listrik dalam kumparan (solenoida) yang dapat dijelaskan dalam gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Arah Garis Medan Magnet dalam Solenoida
 Sumber : hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

Adapun besar induksi magnet yang dibangkitkan solenoida yang berarus listrik dapat diketahui nilainya dengan menggunakan Teslameter.

2.4. Homogenitas Weld Pool pada Pengelasan

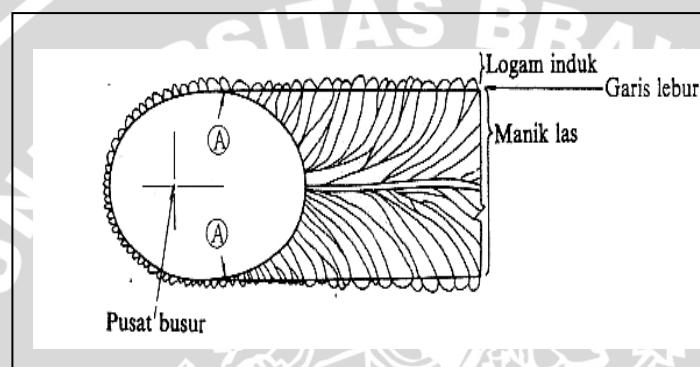
Pada kenyataannya komposisi logam las tidak pernah homogen pada seluruh bagian kolam las. Tetapi selama pengelasan berlangsung dapat dilakukan perlakuan

pada kolam las sehingga dihasilkan homogenitas yang lebih baik. Homogenitas pada kolam las dapat dipengaruhi oleh konveksi. Konveksi ini menyebabkan sirkulasi logam las cair sehingga terjadi pencampuran pada kolam las.

Faktor-faktor yang mempengaruhi homogenitas dari kolam las antara lain:

1. *Segregation* (pemisahan)

Terdapat tiga jenis pemisahan di dalam logam lasan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang, dan pemisahan mikro. Ketiga jenis pemisahan tersebut akan lebih mudah dijelaskan melalui gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Arah Pembekuan dari Hasil Lasan
Sumber : Wiryosumarto, Harsono. 2004 : 57

Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis pusat busur, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Kemudian pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

2. *Gas porosity* dan inklusi

Pada proses pengelasan terjadi reaksi antara logam las cair, logam induk dan udara sekelilingnya. Hal ini terjadi karena kebanyakan logam pada kondisi panas sangat reaktif. Interaksi antara gas dan logam saat pengelasan berlangsung dengan cara melarutkan gas kedalam logam las cair atau terjadi reaksi kimia membentuk senyawa. Interaksi ini antara lain:

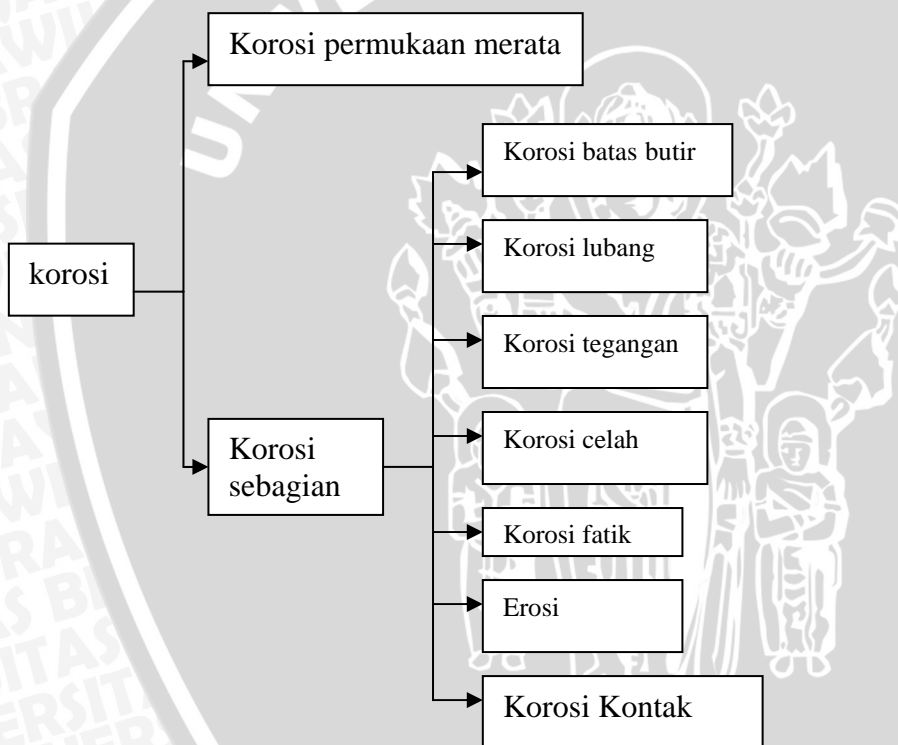
- Gas larut dalam logam cair dan tetap berada kedalam logam membentuk larutan padat.
- Gas larut ke dalam logam cair melebihi batas kelarutannya sehingga menghasilkan lubang-lubang halus pada logam las.

- c. Gas bersenyawa dengan unsur logam membentuk inklusi, misal Al_2O_3 , MnO , SiO_2 . Porositas dan inklusi yang terbentuk dapat menurunkan sifat mekanik dari logam las.

2.5. Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat adanya reaksi kimia atau elektrokimia terhadap lingkungannya. Klasifikasi korosi nampak pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Korosi



Sumber: Wiryosumarto, H. 1994: 201

2.5.1. Korosi permukaan merata

Korosi permukaan merata adalah korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam secara merata karena logam berada pada suatu lingkungan yang korosif. Contohnya nampak pada gambar 2.12 berikut:

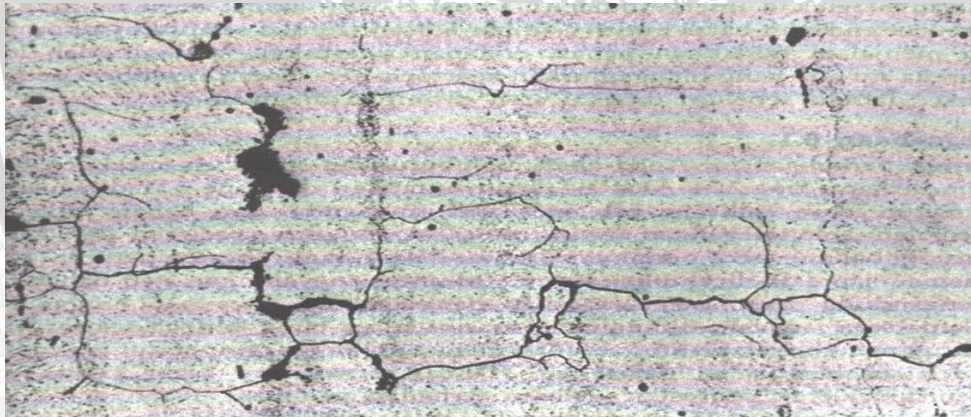




Gambar 2.12 Korosi Permukaan Merata
Sumber: <http://corrosion.ksc.nasa.gov>

2.5.2. Korosi batas butir

Adalah korosi yang terjadi antara lain karena ada endapan antara lain karbida khrom pada butir austenit di daerah HAZ. Dengan begitu maka krom yang melapisi permukaan stainless steel akan makin berkurang, sehingga akan mengurangi pula ketahanan korosi baja tahan karat tersebut. Contohnya nampak pada gambar 2.13 berikut:



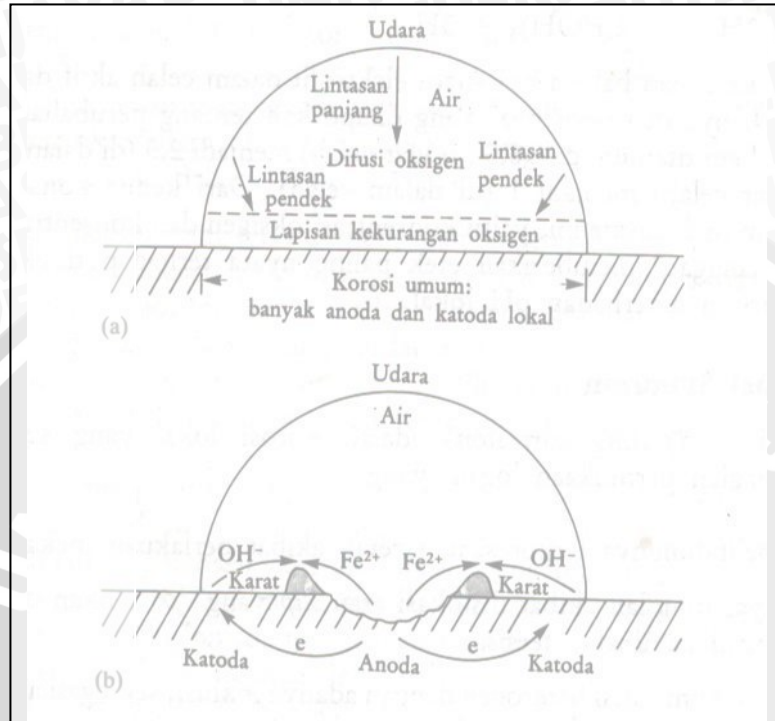
Gambar 2.13 Korosi Batas Butir
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 53

2.5.3. Korosi lubang

Adalah korosi yang terjadi bila ada ion halogen atau zat lain yang melekat di permukaan. Mekanisme korosi lubang sesuai dengan gambar 2.14 adalah:

- Adanya lapisan yang menutupi permukaan logam yang basah menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen dalam elektrolit di dekatnya.
- Karena lebih panjang lintasan yang harus ditempuh oleh oksigen untuk mencapai bagian tengah, maka bagian ini menjadi anoda. Akibatnya

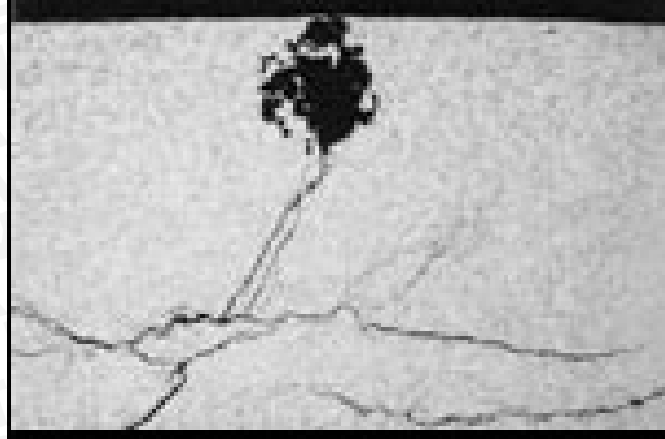
pelarutan logam terjadi di bagian tengah titik air dan reaksi ion-ion logam dengan ion hidroksil menyebabkan penumpukan produk korosi di seputar lubang sumuran dan membentuk cincin karat.



Gambar 2.14 Korosi Lubang
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 55

2.5.4. Korosi tegangan

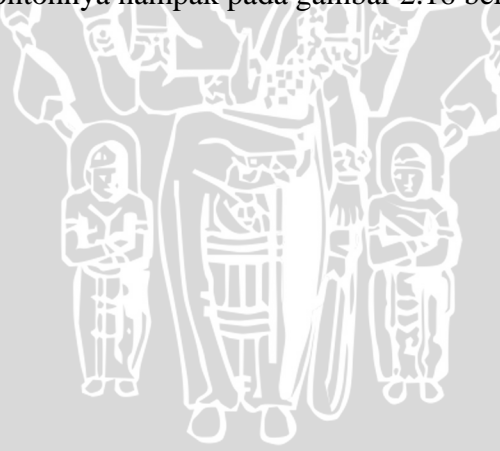
Adalah korosi yang terjadi bila ada tegangan beban atau tegangan sisa yang bekerja dan bekerja pada lingkungan yang bersifat korosi. Ciri-ciri korosi tegangan adalah adanya retak-retak bila logam digunakan dalam larutan. Korosi tegangan dapat timbul karena adanya tegangan dari dalam seperti karena pengelasan, pemanasan tak merata, dan pendinginan mendadak. Selain itu dapat pula timbul karena tegangan dari luar yang dapat berupa pembebanan. Contohnya nampak pada gambar 2.15 berikut:

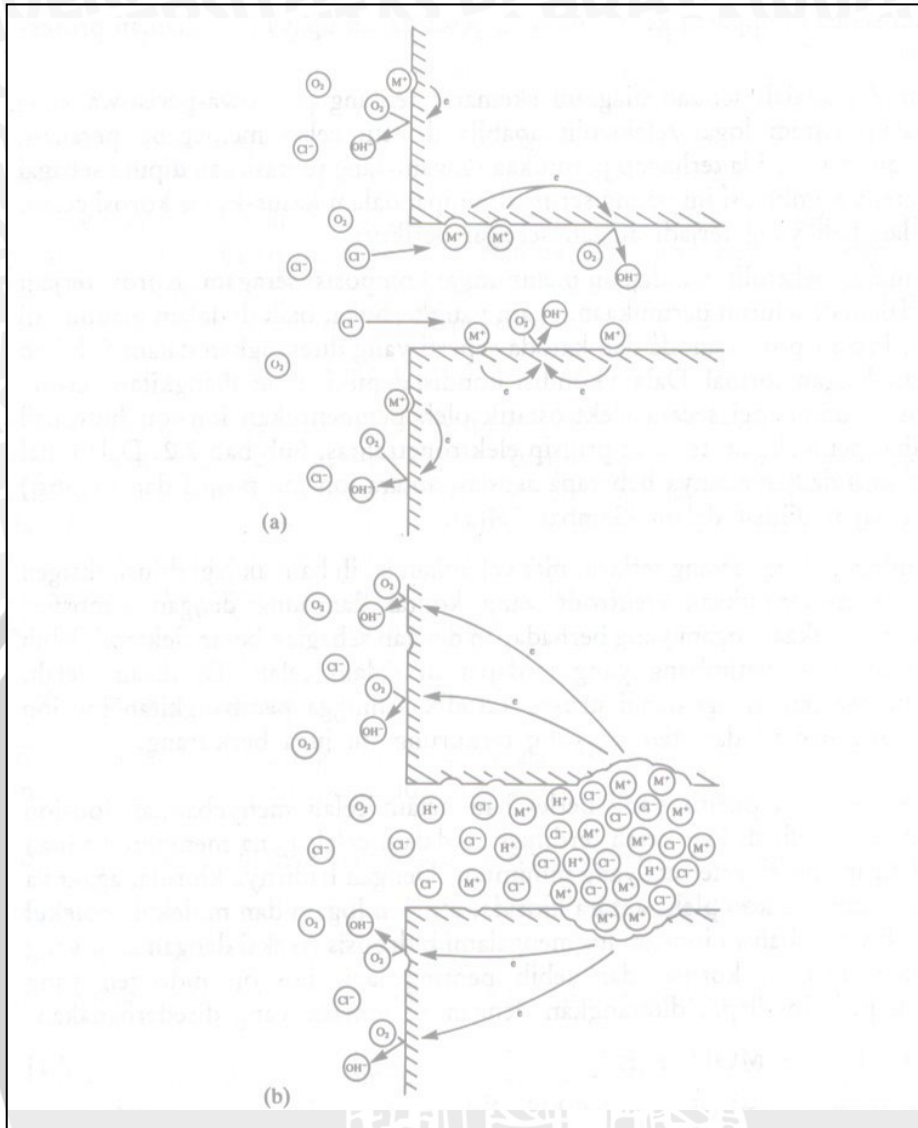


Gambar 2.15 Korosi Tegangan
Sumber <http://corrosion.ksc.nasa.gov>

2.5.5. Korosi celah

Adalah korosi yang terjadi bila ada celah seperti takik atau lipatan, sehingga ada serangan yang terjadi karena sebagian permukaan logam terhalang atau terasing dari lingkungan dibanding bagian lain logam yang menghadapi elektrolit dalam volume besar. Daerah celah tersebut menghadapi elektrolit dalam jumlah besar karena adanya larutan diam yang tak tersirkulasi. Contohnya nampak pada gambar 2.16 berikut:





Gambar 2.16 Korosi Celah
 Sumber: Wiryosumarto, 1994: 58

2.5.6. Korosi lelah

Korosi lelah adalah korosi yang terjadi bila ada beban yang berulang dan bekerja pada lingkungan yang bersifat korosi. Suatu logam patah dibawah tegangan patah setelah logam tersebut mendapat pembebanan dinamis berulang, maka tegangan patah yang terjadi disebut tegangan lelah. Batas tegangan lelah adalah tegangan maksimum yang dicapai logam setelah pembebanan dinamis tanpa patah. Korosi lelah adalah ketahanan logam yang berkurang jika berada di lingkungan yang korosif. Contohnya nampak pada gambar 2.17 berikut:

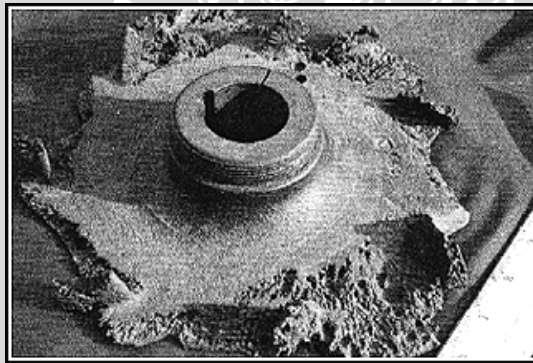


Gambar 2.17 Korosi Lelah Menyebabkan Poros Patah

Sumber: http://www.forensicmetallurgy.com/images-corroded_highway_barrier2.jpg

2.5.7. Erosi

Adalah korosi yang terjadi karena adanya gesekan dengan fluida yang mengalir di antaranya. Contohnya nampak pada gambar 2.18 berikut:



Gambar 2.18 Korosi Erosi pada Impeler Pompa Air

Sumber: http://www.advancedmaterialsassoc.com/picts-corrosion_cavitation_exmpl.gif

2.5.8 Korosi kontak

Korosi kontak adalah korosi yang terjadi karena adanya kontak antara dua logam yang mempunyai potensial listrik berbeda pada suatu lingkungan yang korosif. Logam yang mempunyai potensial listrik yang lebih tinggi akan menjadi anoda, sedangkan logam yang mempunyai potensial lebih rendah akan menjadi katoda. Saat terjadi kontak, anoda akan melepas elektron dari atom logam. Sehingga atom logam yang kehilangan elektron tersebut akan berikatan dengan atom unsur lain pada lingkungan yang korosif dan terbebas dari logam induknya. Dengan kata lain, anoda akan terkorosi. Gambar 2.19 berikut akan menunjukkan material mulai dari yang paling mudah terkorosi dengan urutan dari atas ke bawah.



Gambar 2.19 Korosi Kontak
 Sumber: Chamberlain, 1994:114

2.5.9 Metode pengujian korosi

Korosi dapat terjadi pada lingkungan kering maupun lingkungan basah. Pengujiannya adalah sebagai berikut:



1. Korosi kering adalah korosi yang terjadi tanpa adanya elektrolit cair dilingkungannya. Pada korosi kering, hasil reaksinya berupa bahan padat yang menempel pada permukaan benda yang terkorosi. Pengujian korosinya dapat dilakukan dengan meletakkan benda yang akan diuji korosi pada lingkungan kering yang korosif.
2. Korosi basah dapat terjadi pada lingkungan yang terdapat cairan elektrolit. Terdapat empat komponen yang dapat mendukung terjadinya korosi pada suatu lingkungan basah, yaitu:

- Katoda (kutub negatif)

Katoda mempunyai polaritas listrik yang lebih rendah dibandingkan anoda. Dengan demikian, katoda akan menerima elektron yang dilepas anoda

- Anoda (kutub positif)

Anoda mempunyai polaritas listrik yang lebih tinggi daripada katoda. Anoda akan terkorosi dengan melepas elektron dari atom logam. Reaksi anoda pada logam M adalah sebagai berikut:



- Elektrolit

Pada korosi basah, elektrolit adalah cairan yang dapat menghantarkan listrik.

- Hubungan listrik

Perpindahan elektron dari anoda ke katoda dapat mengalir bila ada selisih energi bebas antara anoda dan katoda tersebut. Selisih energi ini merupakan perwujudan potensial listrik.

Jika salah satu dari empat komponen penting tersebut diatas tak terpenuhi, maka korosi tidak akan terjadi. Pengujian korosi basah dapat dilakukan dengan meletakkan logam A (anoda) dan logam B (katoda) dimana keduanya memiliki hubungan listrik pada suatu lingkungan korosif (cairan elektrolit). Pengujian korosi basah nampak pada gambar 2.20 berikut:

Gambar 2.20 Uji Korosi Basah
Sumber: Chamberlain,1994: 37

2.5.10. Reaksi kimia

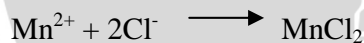
Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. (Wirjosumarto, 1994 : 89). Unsur besi (Fe), dan beberapa unsur paduan lain yang terdapat pada baja karbon, dapat bereaksi dengan unsur klor (Cl) yang terdapat pada larutan HCL.

Reaksi-reaksi yang dapat terjadi adalah sebagai berikut:

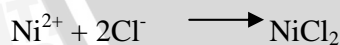
- Besi (Fe)



- Mangan (Mn)



- Nikel (Ni)



- Sulfur (S)



2.5.11 Laju Korosi

Laju korosi adalah banyaknya pengurangan massa pada suatu bahan yang mempunyai densitas tertentu, pada setiap satuan luas, dan pada setiap satuan waktu tertentu. Laju korosi dapat diketahui dengan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\text{CR} = \frac{k.W}{D.A.T} \quad (\text{Fontana, M.G., 1986: 173}) \quad (2-2)$$

Dimana :

CR = laju korosi (mm/ th)

K = 87,6

W = kehilangan berat spesimen (mg)

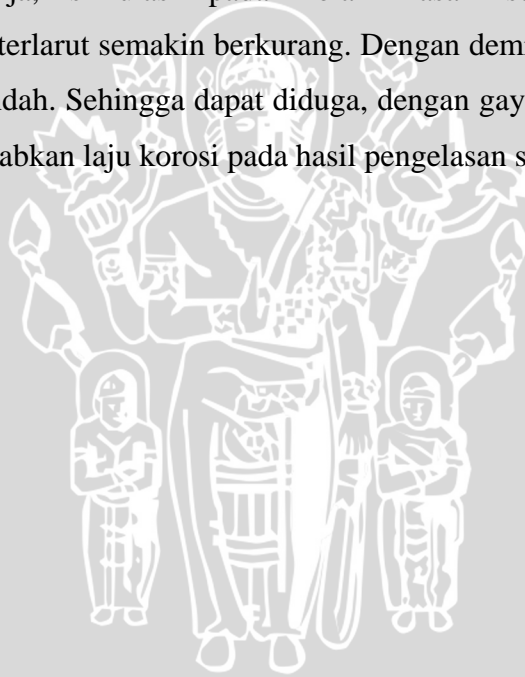
D = Densitas (g/cm^3)

A = Luas permukaan yang terkorosi (cm^2)

T = waktu korosi (jam)

2.6 Hipotesis

Berdasarkan teori dan penelitian terdahulu diketahui bahwa penambahan gaya elektromagnet berpengaruh terhadap sirkulasi pada kolam lasan. Semakin besar gaya elektromagnet yang bekerja, sirkulasi pada kolam lasan semakin besar yang mengakibatkan unsur-unsur terlarut semakin berkurang. Dengan demikian laju korosi pada hasil lasan akan semakin rendah. Sehingga dapat diduga, dengan gaya elektromagnet yang semakin besar, akan menyebabkan laju korosi pada hasil pengelasan semakin rendah.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental sungguhan (*true experimental research*). Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan data-data langsung melalui eksperimen, kemudian dianalisis, dan ditarik suatu kesimpulan.

3.2 Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian.

Variabel bebas yang digunakan adalah:

- Induksi magnet divariasikan.

Variasi medan magnet adalah (0; 1,72; 2,22; 2,56; 3,26) mT

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah laju korosi

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober hingga bulan Desember 2006. Tempat yang digunakan untuk melaksanakan penelitian adalah BLKI Singosari, laboratorium fisika dan laboratorium biologi FMIPA Universitas Negeri Malang.

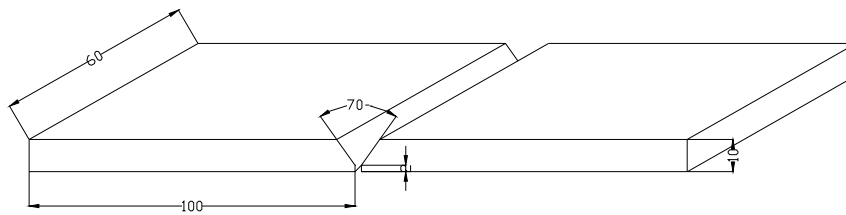
3.4 Bahan dan Alat yang Digunakan

3.4.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Baja St 37 dan Bahan EMS 45

Dimensi benda kerja nampak pada gambar 3.1 berikut:

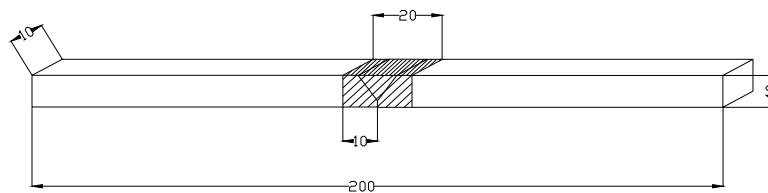


Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja

Keterangan:



Jumlah : 5 Buah

Setelah pengelasan, benda kerja diatas akan dibagi menjadi lima buah. Empat buah untuk pengujian korosi dan satu buah sebagai bahan cadangan, dimana bagian pinggir akan dibuang selebar lima milimeter. Spesimen uji korosi nampak pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Spesimen Uji Korosi

Keterangan:

-  Bagian yang diuji korosi
-  Bagian yang diisolasi saat uji korosi

b. Larutan HCL 35 %

3.4.2 Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Transformator

Digunakan untuk mereduksi tegangan dari input sebesar 220 Volt menjadi output sebesar 25 Volt. Tegangan output disambungkan dengan solenoida sehingga menjadi elektromagnet.



Gambar 3.3 Transformator

b. Teslameter

Teslameter digunakan untuk mengukur besar induksi magnet.

Merk : PHYWE
 Buatan : Jerman
 Skala ukur : 0-2000 mT



Gambar 3.4 Teslameter

c. Mesin las MIG

Digunakan untuk mengelas benda kerja.

Merk : SAF Air Liquide
 Tipe : Optimag 400
 Buatan : Perancis
 Voltase : 25 Volt
 Arus Pengelasan : 130 A



Gambar 3.5 Mesin Las MIG

d. Kamera digital untuk foto makro.

Merk : Nikon
 Tipe : Coolpix 8700
 Buatan : Jepang



Gambar 3.6 Kamera Digital untuk Foto Makro

e. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengetahui massa spesimen uji korosi.

Merk : AND
 Tipe : HM - 200
 Buatan : Jepang
 Satuan : gram

Voltase : DC 12 Volt
Arus : 0.3 A
Beban maksimum: 210 gram



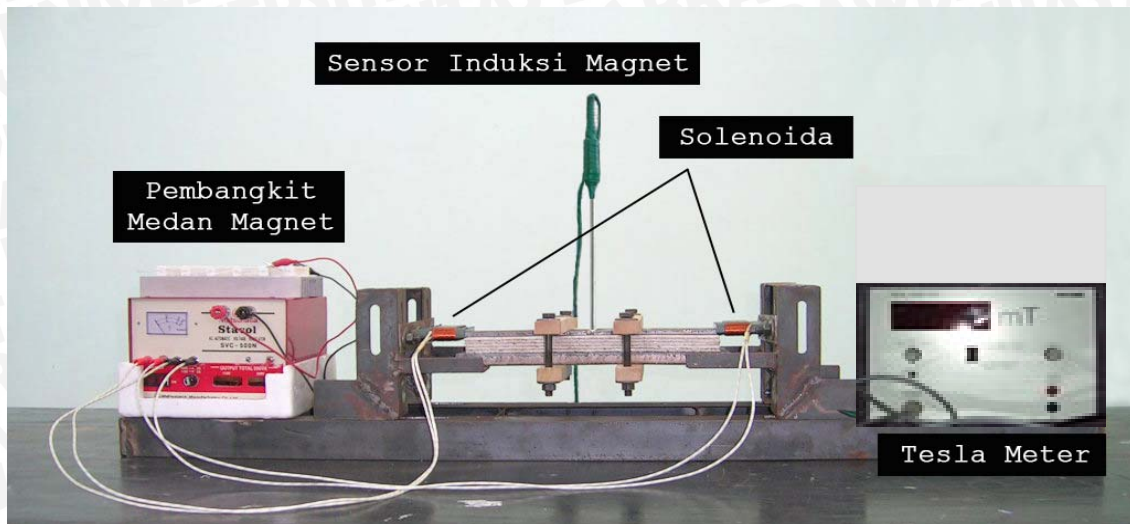
Gambar 3.7 Timbangan Digital

- f. Cawan untuk pengujian korosi (pencelupan)

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam pengelasan adalah:

- Mempersiapkan mesin las yang akan digunakan.
- Mempersiapkan transformator yang akan digunakan.
- Menyambungkan transformator dengan kumparan .
- Mempersiapkan bahan yang akan dilas yaitu bahan St 37 dan EMS 45, termasuk membuat ukuran yang sesuai, kemudian diletakkan pada alas pengelasan dan disambungkan dengan kumparan, seperti tampak pada gambar instalasi (gambar 3.8) sebagai berikut:



Gambar 3.8 Gambar Instalasi Pengelasan

- e. Transformator dihidupkan sehingga kumparan menjadi elektromagnet.
- f. Proses pengelasan dilakukan.
- g. Setelah pengelasan selesai, transformator dimatikan, benda kerja dilepas dari alas pengelasan, dan dilakukan pendinginan udara.
- h. Benda kerja dipotong menjadi lima spesimen, difoto makro awal, lalu masing-masing spesimen ditimbang dan diberi tanda pada jarak satu sentimeter dari pusat lasan kearah St 37 dan satu sentimeter dari pusat lasan kearah EMS 45 dengan arah melintang.
- i. Kemudian dari penandaan tersebut akan diisolasi dengan menggunakan selotip.
- j. Selanjutnya spesimen dicelup dalam larutan HCL selama 30 menit.
- k. Dilakukan penimbangan akhir, pengambilan data, dan pengambilan foto makro.
- l. Langkah c hingga k dilakukan hingga empat kali dengan arus transformator yang berbeda.
- m. Langkah b hingga c tidak dilakukan untuk spesimen tanpa perlakuan elektromagnetik.
- n. Pengolahan data.
- o. Pembahasan data
- p. Kesimpulan.

3.6 Rancangan Analisis Data

3.6.1 Analisis varian

Data yang diperoleh akan diolah menggunakan metode analisis varian klasifikasi satu arah untuk mengetahui pengaruh penambahan magnet eksternal pada proses pengelasan terhadap laju korosi hasil pengelasan. Data yang dianalisis adalah data laju korosi hasil pengelasan dengan perlakuan saja.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Data hasil pengujian dimasukkan kedalam tabel 3.1 seperti berikut:

Tabel 3.1 Laju Korosi (mm/ th)

Pengulangan	Induksi Magnet (mili Tesla (mT))					
	0	1,72	2,22	2,56	3,26	Σ total
1						
2						
3						
4						
Σx_i						
Mean						
$(\Sigma x_i)^2$						

- Mencari faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{(\Sigma total)^2}{nk}$$

- Mencari jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \Sigma(X_i^2) - FK$$

- Mencari jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \Sigma \frac{(\Sigma x_i)^2}{n_i} - FK$$

- Mencari jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

- Mencari kuadrat tengah perlakuan (KTp)

$$KTp = \frac{JKP}{n-1}$$

- Mencari kuadrat tengah galat (KTg)

$$KTg = \frac{JKG}{(n \times k) - n}$$

- Mencari Fhit

$$Fhit = \frac{KTp}{KTg}$$

- Mencari Ftabel

$$Ftabel = F[\alpha, \{n-1\} \{ (n \times k) - n \}]$$

Dimana $\alpha = 5\%$

n = jumlah perlakuan

k = jumlah pengulangan

x_i = perlakuan ke i

- Membuat tabel anava

Tabel 3.2
Tabel Anava

Sumber keragaman	JK	db	KT	F hit	F tabel
Perlakuan	JKP	n-1	KTp
Galat	JKG	(n x k)-n	KTg		
Total	JKT	nk-1			

1. $H_0 : A = B = C = D = E$

(Tidak ada pengaruh nyata variasi arus elektromagnet terhadap laju korosi hasil pengelasan bimetal)

2. $H_1 : A \neq B \neq C \neq D \neq E$ (minimal dua kelompok berbeda)

(Ada pengaruh nyata variasi arus elektromagnet terhadap laju korosi hasil pengelasan bimetal)

Dari tabel anava di atas, jika $Fhit > Ftabel$, maka H_0 ditolak, dan dapat disimpulkan bahwa variasi arus elektromagnet berpengaruh terhadap laju korosi pada hasil pengelasan bimetal dengan tingkat kesalahan 5%.



3.6.2 Analisis regresi

Tabel 3.3

Tabel Pembantu Mencari Persamaan Regresi

X_i	Y_i	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i Y_i$	$X_i^2 Y_i$
X_1	Y_1	X_1^2	X_1^3	X_1^4	$X_1 Y_1$	$X_1^2 Y_1$
.
.
.
X_n	Y_n	X_n^2	X_n^3	X_n^4	$X_n Y_n$	$X_n^2 Y_n$
$\Sigma (X_i)$	$\Sigma (Y_i)$	$\Sigma (X_i^2)$	$\Sigma (X_i^3)$	$\Sigma (X_i^4)$	$\Sigma (X_i Y_i)$	$\Sigma (X_i^2 Y_i)$

Keterangan:

X = Induksi magnet

Y = Laju korosi

- Mencari Persamaan Regresi

$$Y = a + bX + cX^2$$

$$\Sigma Y_i = (an + b\Sigma X_i + c\Sigma X_i^2)$$

$$\Sigma X_i Y_i = (a\Sigma X_i + b\Sigma X_i^2 + c\Sigma X_i^3)$$

$$\Sigma X_i^2 Y_i = (a\Sigma X_i^2 + b\Sigma X_i^3 + c\Sigma X_i^4)$$

- Pengujian Persamaan Regresi

- Ho : c = 0
- H₁ : c ≠ 0
- Taraf uji 5 %
- Wilayah Kritik : f > f_{0.05(n-1)} = Ftabel
- JKT' = JKP anava

$$JKR' = b \left(\Sigma X_i Y_i - \frac{\Sigma X_i \Sigma Y_i}{n} \right) + c \left(\Sigma X_i^2 Y_i - \frac{\Sigma X_i^2 \Sigma Y_i}{n} \right)$$

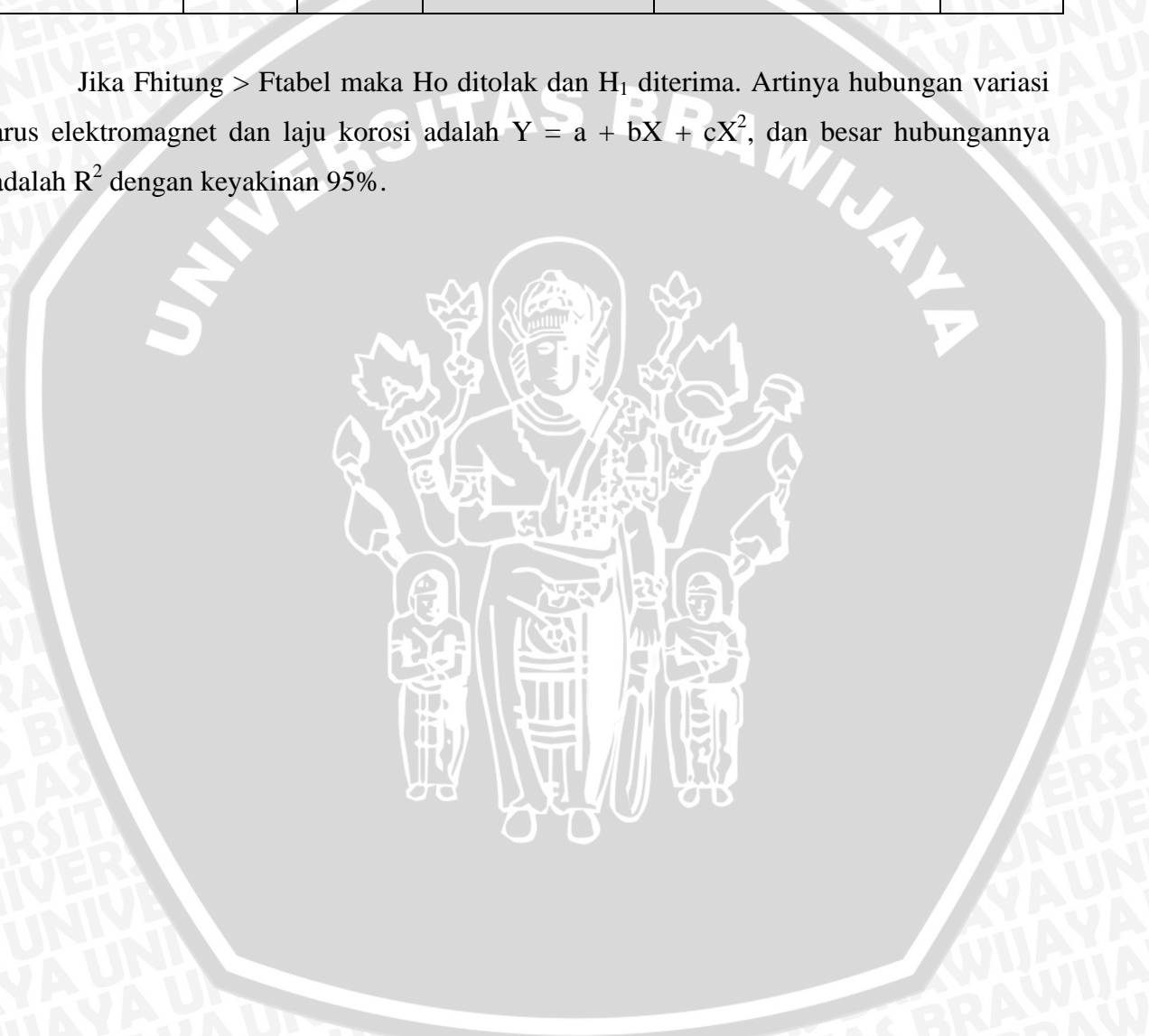
$$JKs = JKT' - JKR'$$

$$R^2 = \left(\frac{JKR'}{JKT'} \right) \times 100\%$$

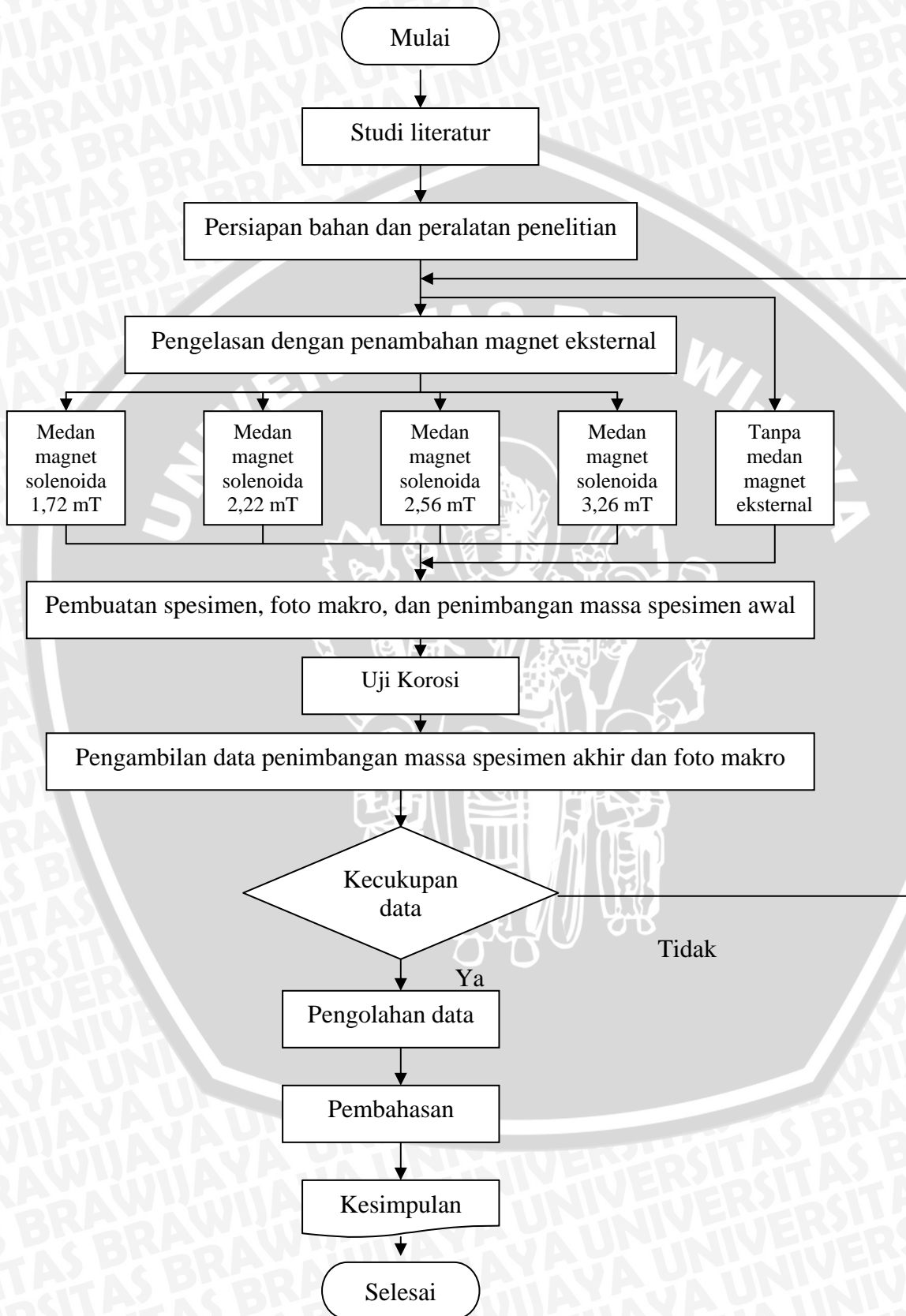
- Tabel Analisis Varian Regresi

	Db	JK	KT	F hitung	F tabel
Reg.polinomial	n-2	JKR'	$JKR' / n - 2$	$\frac{JKR' / n - 2}{JKs / (nk - 1 - (n - 2))}$	F tabel
Sisa	nk-1- (n-2)	JKs	$\frac{JKs}{(nk - 1 - (n - 2))}$		
Total	nk-1	JKT'			

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya hubungan variasi arus elektromagnet dan laju korosi adalah $Y = a + bX + cX^2$, dan besar hubungannya adalah R^2 dengan keyakinan 95%.



3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Analisis Statistik

4.1.1 Data hasil pengujian

Tabel 4.1 Massa Sebelum Uji Korosi (mg)

Pengulangan	Induksi Magnet (mili Tesla (mT))				
	0	1,72	6,22	2,56	3,26
1	158702,1	131620,9	133437,3	160118,2	133561,9
2	138579,3	153131,3	109868,5	108422,4	151206,2
3	136908,4	133837	138349,9	137227,1	151999,2
4	139145,2	133289,7	110126,8	150473,5	126099,5

Tabel 4.2 Massa Sesudah Uji Korosi (mg)

Pengulangan	Induksi Magnet (mili Tesla (mT))				
	0	1,72	2,22	2,56	3,26
1	158421,1	131342	133162,6	159857,5	133315
2	138296,1	152824,6	109621,3	108215	150906,6
3	136606	133561,9	138086,2	136994,3	151710,2
4	138833,4	132992,2	109864,4	150218,4	125806,3

Tabel 4.3 Selisih Massa Sesudah Uji Korosi (mg)

Pengu- langan	Induksi Magnet (mili Tesla (mT))					Σ total
	0	1,72	2,22	2,56	3,26	
1	281	278,9	274,68	260,7	246,88	
2	283,2	306,7	247,17	207,4	299,58	
3	302,4	275,1	263,79	232,8	288,98	
4	311,8	297,5	262,43	255,1	293,16	
Σx_i	1178,4	1158,2	1048,08	956	1128,59	4290,87
mean	294,6	289,55	262,02	239	282,15	
$(\Sigma x_i)^2$	1388626,56	1341427,24	1098467,70	913936	1273709,294	

4.1.2 Analisis varian

contoh perhitungan :

$$W = 281 \text{ mg}$$

$$A = 8 \text{ cm}^2$$

$$D = 10,0521 \text{ gr/cm}^3$$

$$T = 0,5 \text{ Jam}$$

$$CR = \frac{87,6xW}{DAT}$$

$$= 612,1988 \text{ mm/th}$$

Tabel 4.4 Laju Korosi (mm/ th)

Pengu- langan	Induksi Magnet (mili Tesla (mT))					Σ total
	0	1,72	2,22	2,56	3,26	
1	612,1988	607,6237	598,4389	567,9723	537,8535	A
2	616,9918	668,1900	538,4891	451,8506	652,6691	
3	658,8218	599,3448	574,7131	507,1882	629,5789	
4	679,3010	648,1464	571,7474	555,7719	638,6879	
Σ	2567,3136	2523,3050	2283,3886	2082,7833	2458,7895	
Mean	641,8284	630,8262	570,8471	520,6958	614,6973	
$(\Sigma x_i)^2$	6591099,456	6367068,445	5213863,895	4337986,357	6045646,018	

- Mencari FK

$$FK = \frac{(\Sigma total)^2}{nk} = 5461880,5265$$

- Mencari JKT

$$JKT = \Sigma(X_i^2) - FK = 50841,5636$$

- Mencari JKP

$$JKP = \Sigma \frac{(\Sigma X_i)^2}{n_i} - FK = 29260,6363$$

- Mencari JKG

$$JKG = JKT - JKP = 21580,9273$$

- Mencari KTp

$$K_{Tp} = \frac{JKP}{n-1} = 9753,5454$$

- Mencari KTg

$$K_{Tg} = \frac{JKG}{(n \times k) - n} = 11829061,2$$

- Mencari Fhit

$$F_{hit} = \frac{K_{Tp}}{K_{Tg}} = 6,3273$$

- Mencari Ftabel

$$F_{tabel} = F[\alpha, \{n-1\} \{ (n \times k) - n \}]$$

Dimana $\alpha = 5\%$

- Membuat tabel anava

$H_0: X_1=X_2=X_3=X_4$ (tidak ada pengaruh variasi medan magnet solenoida terhadap laju korosi hasil pengelasan bimetal)

$H_1: X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq X_4$ (ada pengaruh variasi medan magnet solenoida terhadap laju korosi hasil pengelasan bimetal)

Taraf nyata $\alpha=0,05$

wilayah kritis : $F > F_{0,05}(3,14) = 3,49$

$$JKT = \sum(X_i^2) - \{(\sum_{total})^2/n\} = 50841,5636$$

$$JKP = \sum((\sum X_i)^2/n_i) - \{(\sum_{total})^2/n\} = 29260,6363$$

$$JKG = JKT - JKP = 21580,9273$$

Tabel 4.5 Tabel Anava

	Jk	db	kt	F hit	F tabel
tesla	29260,6363	3	9753,5454	5,4230	3,49
galat	21580,9273	12	1798,4106		
total	50841,5636	15			

F hit > F tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya variasi medan magnet solenoida menghasilkan laju korosi yang berbeda.

4.1.3. Analisis regresi

Tabel 4.6 Tabel Bantu Mencari Persamaan Regresi

	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	1,72	607,6237	2,9584	5,0884	8,7521	1045,1127	1797,5939
2	1,72	668,1900	2,9584	5,0884	8,7521	1149,2868	1976,7733
3	1,72	599,3448	2,9584	5,0884	8,7521	1030,8731	1773,1018
4	1,72	648,1464	2,9584	5,0884	8,7521	1114,8119	1917,4765
5	2,22	598,4389	4,9284	10,9410	24,2891	1328,5343	2949,3463
6	2,22	538,4891	4,9284	10,9410	24,2891	1195,4458	2653,8896
7	2,22	574,7131	4,9284	10,9410	24,2891	1275,8632	2832,4165
8	2,22	571,7474	4,9284	10,9410	24,2891	1269,2794	2817,8002
9	2,56	567,9723	6,5536	16,7772	42,9496	1454,0093	3722,2639
10	2,56	451,8506	6,5536	16,7772	42,9496	1156,7377	2961,2486
11	2,56	507,1882	6,5536	16,7772	42,9496	1298,4018	3323,9088
12	2,56	555,7719	6,5536	16,7772	42,9496	1422,7763	3642,3073
13	3,26	537,8535	10,6276	34,6459	112,9458	1753,4027	5716,0928
14	3,26	652,6691	10,6276	34,6459	112,9458	2127,7013	6936,3064
15	3,26	629,5789	10,6276	34,6459	112,9458	2052,4272	6690,9129
16	3,26	638,6879	10,6276	34,6459	112,9458	2082,1225	6787,7195
Σ	39,04	9348,2666	100,2720	269,8107	755,7472	22756,7868	58499,1590

Persamaan : $Y = a + bX + cX^2$

$\sum Y_i = (an + b\sum X_i + c\sum X_i^2)$

$\sum X_i Y_i = (a\sum X_i + b\sum X_i^2 + c\sum X_i^3)$

$\sum X_i^2 Y_i = (a\sum X_i^2 + b\sum X_i^3 + c\sum X_i^4)$

$9348,2666 = 16a + 39,04b + 100,272c$

$22756,7868 = 39,04a + 100,272b + 269,8107c$

$58499,15902 = 100,272a + 269,8107b + 755,7472c$

dengan metode matrik atau substitusi maka akan didapat nilai berikut:

$a = 1479,6124$

$b = -741,0825$

$c = 145,6670$

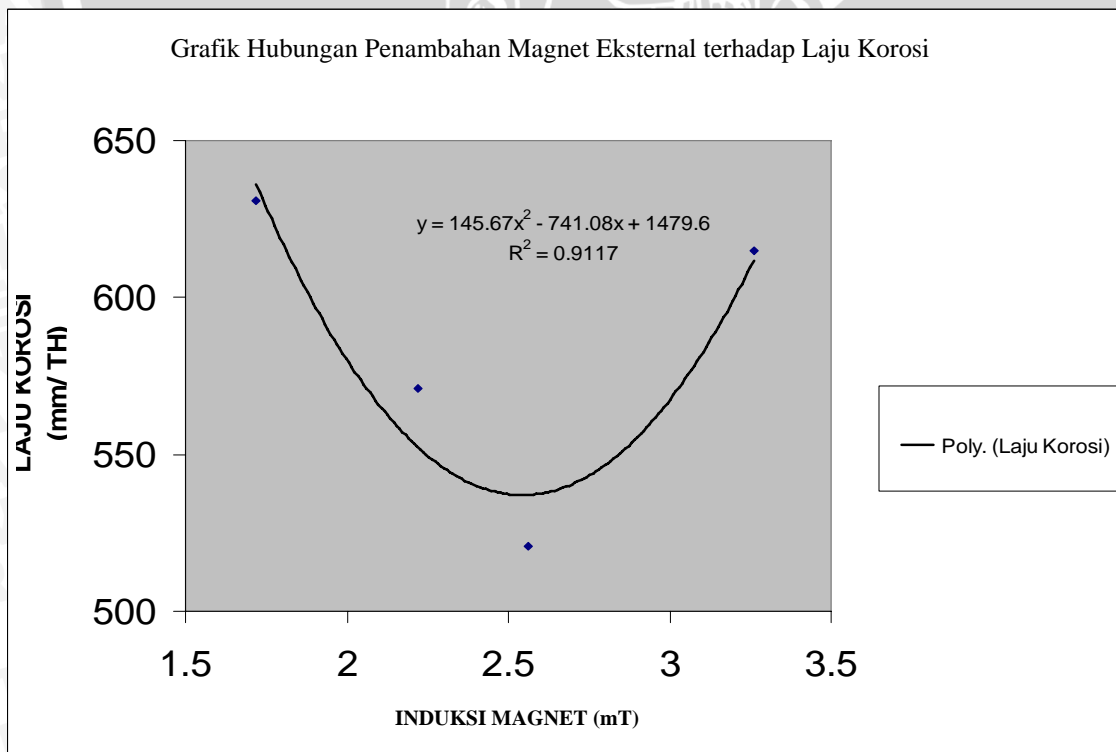
- Ho : $c = 0$
- H₁ : $c \neq 0$
- Taraf uji 5 %

- Wilayah Kritik : $f > f_{0.05}(n-1)=F$ tabel
- $JKT' = JKP$ anava = 29260,6363
- $JKR' = b \left(\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n} \right) + c \left(\sum X_i^2 Y_i - \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i}{n} \right)$
 $= 26675,6279$
- $JK_s = JKT' - JKR' = 258,0083$
- $R^2 = \left(\frac{JKR'}{JKT'} \right) \times 100\% = 91,1656 \%$

Tabel 4.7 Tabel Analisis Varian Regresi

	Db	JK	KT	F hit	F tabel
Reg.polinomial	2	JKR'	13337,8139	672,0385	3,80
Sisa	15-2	JKs	19,8468		
Total	15	JKT'			

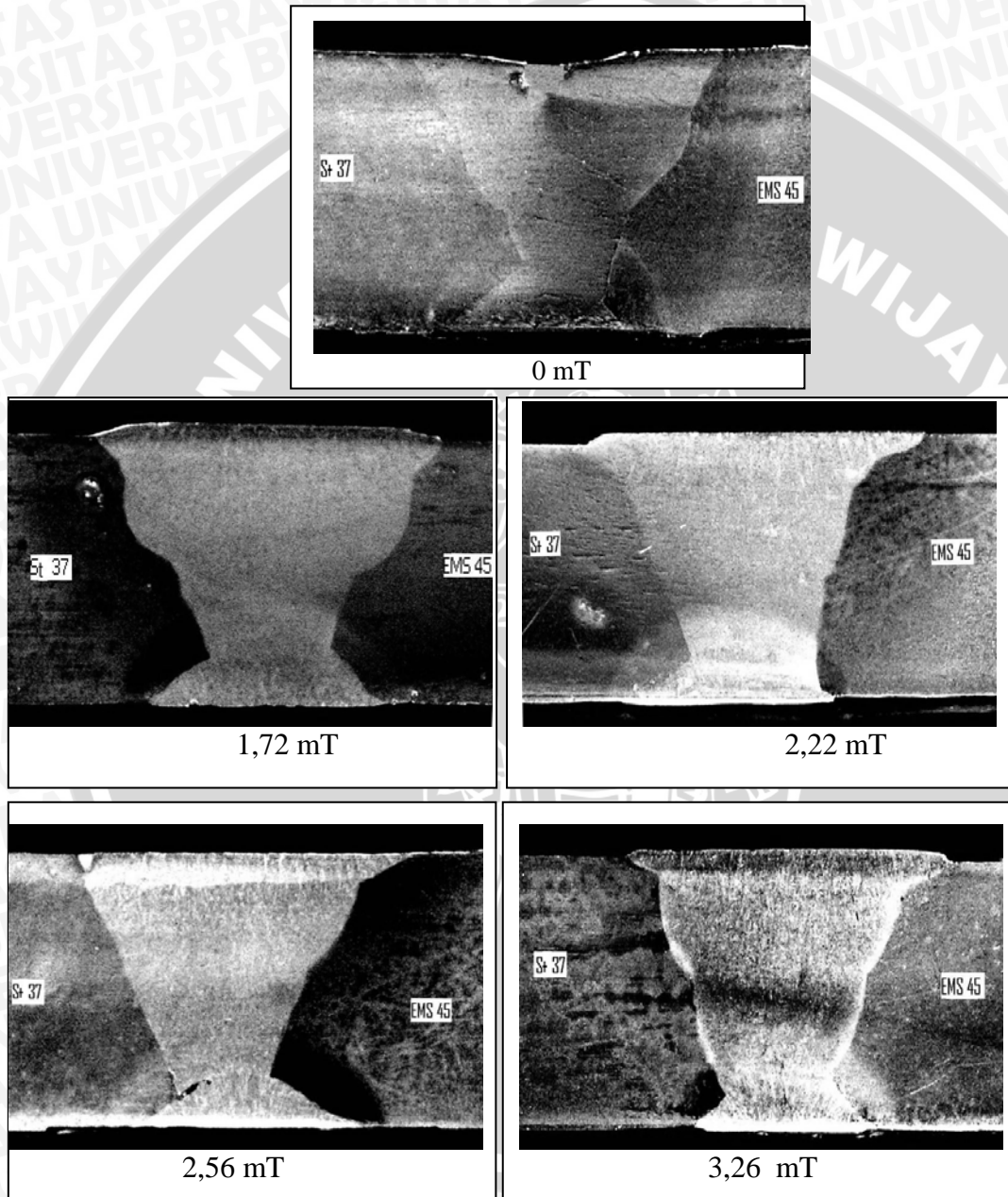
Jadi $F_{hit} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya hubungan variasi induksi magnet dan laju korosi adalah $Y=1479,6124 - 741,0825 X+145,6670 X^2$, dan besar hubungannya adalah $R^2 = 91,1656 \%$ dengan keyakinan 95%.



Gambar 4.1 Hubungan Antara Medan Magnet dan Laju Korosi

4.2 Pembahasan

Dari grafik hubungan antara medan magnet dan laju korosi (gambar 4.1) dapat diketahui bahwa semakin besar medan magnet solenoida yang diberikan (0 mT hingga 2,56 mT) saat pengelasan, maka laju korosi akan semakin menurun. Jika medan magnet diperbesar menjadi 3,26 mT, maka laju korosi akan meningkat kembali.



Gambar 4.2 Geometri Kampuh pada Berbagai Variasi Medan Magnet dengan Perbesaran 3,5 kali

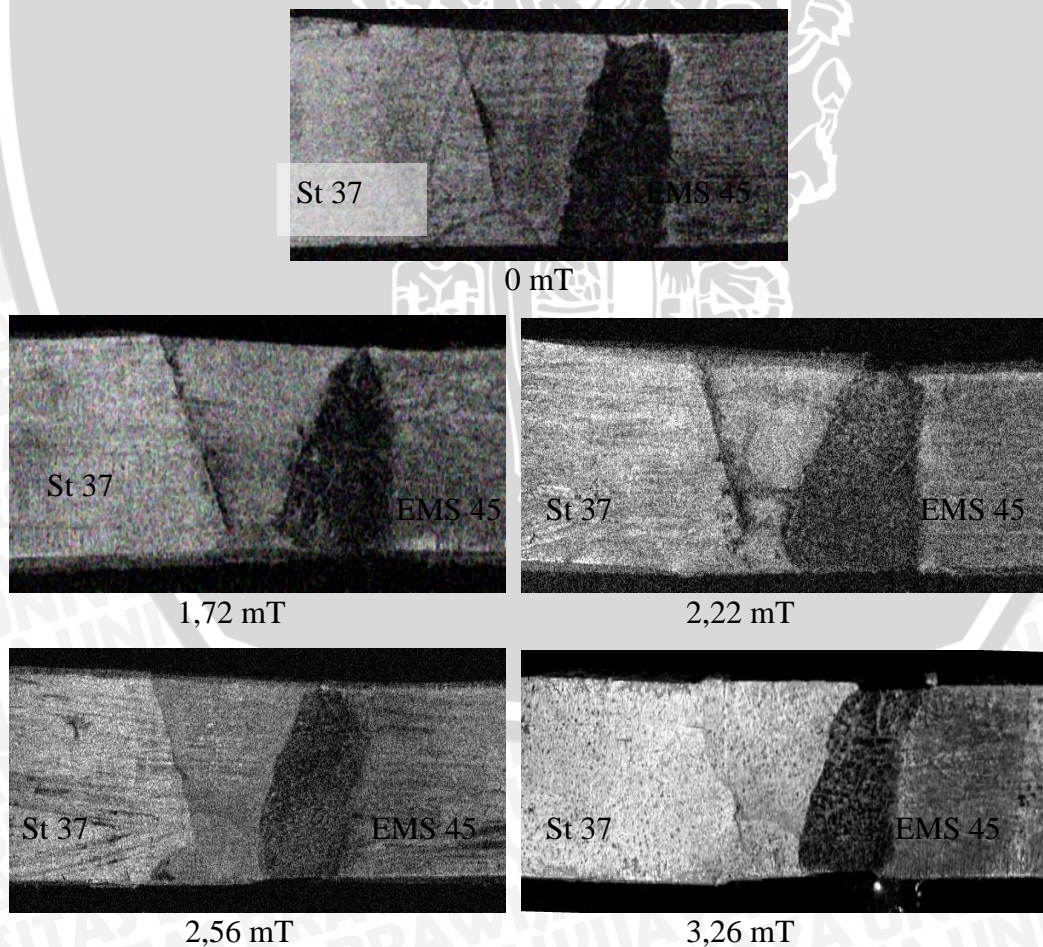
Sesuai gambar 4.2 didapatkan bahwa kampuh las pada seluruh spesimen yang mendapat perlakuan berupa penambahan medan magnet eksternal saat pengelasan akan cenderung penetrasinya lebih dalam dibandingkan dengan pengelasan tanpa perlakuan. Hal

ini dikarenakan dengan penambahan magnet eksternal akan meningkatkan laju konveksi pada *weld pool* sehingga penetrasi menjadi dalam.

Penambahan magnet eksternal pada saat proses pengelasan sebesar 1,72 mT sampai 2,56 mT, akan mempercepat sirkulasi pada logam cair pada *weld pool* yang mengakibatkan unsur-unsur yang terlarut akan semakin sedikit pula. Dengan unsur terlarut yang semakin sedikit, maka laju korosi akan menurun.

Pada penambahan magnet eksternal saat proses pengelasan lebih lanjut, yaitu sebesar 3,26 mT, sirkulasi logam cair pada *weld pool* akan bertambah cepat dibandingkan dengan penambahan magnet eksternal yang lebih kecil pada perlakuan sebelumnya. Dengan sirkulasi logam cair pada *weld pool* yang terlalu cepat, maka unsur-unsur yang terlarut dan akhirnya terjebak pada logam lasan yang membeku akan semakin banyak. Dengan semakin banyaknya unsur yang terlarut, maka potensi terjadinya korosi akan semakin besar, sehingga laju korosi pada hasil pengelasan akan meningkat.

Foto daerah terkorosi akan nampak pada gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Foto Daerah yang Terkorosi dengan Perbesaran 2,5 kali

Berdasarkan gambar 4.3 dapat diketahui bahwa HAZ dan area batas antara daerah las dengan HAZ pada bahan EMS 45 lebih terserang korosi. Fenomena ini terjadi pada seluruh spesimen baik yang mendapat perlakuan berupa pemberian magnet eksternal saat pengelasan maupun yang tidak diberi perlakuan. Baja EMS 45 mengandung karbon lebih banyak dibanding baja St 37. Dengan demikian, maka bahan EMS 45 akan lebih mudah mengalami retak pada saat dilas. Dengan kerentanan retak yang lebih besar dibandingkan daerah St 37 dan daerah las, ditambah pula spesimen berada pada lingkungan yang korosif, maka bahan EMS 45 akan lebih mudah terkorosi.

Pada penyambungan logam berbeda jenis ini, akan timbul korosi kontak dimana logam yang bertindak sebagai anoda akan lebih terkorosi. Bahan St 37 mempunyai potensial korosi sebesar -0,77 volt, sedangkan bahan EMS 45 mempunyai potensial korosi sebesar -0,86 volt. Dengan begitu dapat dikatakan bahan EMS 45 bertindak sebagai anoda dan bahan St 37 bertindak sebagai katoda. Sehingga saat diuji korosi, bahan EMS 45 lebih terkorosi.

Persentase Penurunan Laju Korosi

I. Antara 0 mT dengan 1,72 mT

$$\frac{[\text{mean } (\bar{X}_i) 0 \text{ mT}] - [\text{mean } (\bar{X}_i) 1,72 \text{ mT}]}{\text{mean } (\bar{X}_i) 0 \text{ mT}} \times 100\% =$$

$$\frac{641,8284 - 630,8262}{641,8284} \times 100\% = 1,7142 \%$$

II. Antara 0 mT dengan 2,22 mT

$$\frac{[\text{mean } (\bar{X}_i) 0 \text{ mT}] - [\text{mean } (\bar{X}_i) 2,22 \text{ mT}]}{\text{mean } (\bar{X}_i) 0 \text{ mT}} \times 100\% =$$

$$\frac{641,8284 - 570,8471}{641,8284} \times 100\% = 11,0592 \%$$

III. Antara 0 mT dengan 2,56 mT

$$\frac{[\text{mean } (\bar{X}_i) 0 \text{ mT}] - [\text{mean } (\bar{X}_i) 2,56 \text{ mT}]}{\text{mean } (\bar{X}_i) 0 \text{ mT}} \times 100\% =$$

$$\frac{641,8284 - 520,6958}{641,8284} \times 100\% = 18,8730 \%$$

IV. Antara 0 mT dengan 3,26 mT

$$\frac{[\text{mean}(\bar{X}_i) 0 \text{ mT}] - [\text{mean}(\bar{X}_i) 3,26 \text{ mT}]}{\text{mean}(\bar{X}_i) 0 \text{ mT}} \times 100\% =$$
$$\frac{641,8284 - 614,6973}{641,8284} \times 100\% = 4,2271 \%$$

Tabel 4.8

Tabel Persentase Penurunan Laju Korosi

Persentase Penurunan Laju Korosi			
0 mT dan 1,72 mT	0 mT dan 2,22 mT	0 mT dan 2,56 mT	0 mT dan 3,26 mT
1,7142 %	11,0592 %	18,8730 %	4,2271 %

Sesuai tabel 4.7 dapat diketahui bahwa pemberian magnet eksternal pada saat proses pengelasan akan menurunkan laju korosi dari baja dibanding bila baja tersebut dilas tanpa diberi perlakuan. Dengan semakin besarnya medan magnet, yaitu dari 1,72 mT sampai 2,56 mT, laju korosi akan turun antara 1,7142 % sampai 18,8730 %. Jika medan magnet diperbesar sampai 3,26 mT, maka penurunan laju korosi hanya sebesar 4,2271 %. Jadi dapat dikatakan bahwa dalam upaya menurunkan laju korosi hasil pengelasan baja, sangat efektif bila dilakukan dengan pemberian medan magnet eksternal sampai sebesar 2,56 mT. Pemberian medan magnet yang lebih besar dari 2,56 mT akan menurunkan persentase penurunan laju korosi, sehingga dapat dikatakan kurang efektif lagi menurunkan laju korosi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesuai data dan pembahasan hasil pengujian laju korosi pada pengelasan bimetal, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- ❖ Penambahan magnet eksternal antara 1,72 mT sampai 2,56 mT berpengaruh dalam menurunkan laju korosi hasil pengelasan bimetal sebesar 1,7142 % sampai 18,8730 % dibanding tanpa perlakuan. Pada penambahan magnet yang lebih lanjut yaitu sebesar 3,26 mT, laju korosi turun sebesar 4,2271 % dibandingkan laju korosi hasil pengelasan bimetal tanpa penambahan magnet eksternal. Maka dapat dikatakan laju korosi akan menurun jika pada proses pengelasan bimetal ditambahkan magnet eksternal sebesar 1,72 mT sampai 2,56 mT, dan bila ditambahkan magnet yang lebih besar, maka laju korosi cenderung meningkat kembali.

5.2 Saran

Saran-saran yang dapat disampaikan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai korosi yang terjadi pada hasil pengelasan bimetal yang ditinjau dari struktur mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Committee. 1995. *ASM Handbook Volume 6*. Colorado: The Materials Information Society.
- Bob Capudean. 2003. *Carbon Content, Steel Clasifications, and Alloy Steels*. FMA. <http://www.thefabricator.com>.
- Drihapsanti, Mila A. 2004. *Pengaruh Variasi Masukan Panas(Heat Input) terhadap Ketahanan Korosi Hasil Pengelasan TIG Stainless Steel*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Fontana, Mars Guy. 1986. *Corrosion Engineering Third Edition*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Herrera, Naomi De. 2003. *Computer Calculation of Fusion Zone Geometry Considering Fluid Flow and Heat Transfer During Fusion Welding*. Forms.gradsch.psu.edu.
- Kou, Sindo. 2003. *Welding Metallurgy Second Edition*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Lancaster, J. F. 1993. *Metallurgy of Welding*. England: Abington Publishing.
- Messler, Robert W. 1999. *Principles of Welding*. Canada: John Wiley & Sons.
- Susanto, Tri A. 2002. *Pengaruh Kuat Arus terhadap Laju Korosi pada Hasil Pengelasan SMAW*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Trethewey, K.R. and J. Chamberlain. 1991. *Korosi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Winarsunu, Tulus. 1996. *Statistik Teori dan Aplikasinya dalam Penelitian*. Malang: UMM Press.
- Wirjosumarto, Harsono. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

LAMPIRAN 1

Data Hasil Penelitian

Tabel Massa Sebelum Uji Korosi (gram)

	Induksi Magnet (mT)				
	0	1,72	2,22	2,56	3,26
1	158,7021	131,6209	133,4372	160,1182	133,5618
2	138,5793	153,1313	109,8684	108,4224	151,2061
3	136,9084	133,837	138,3499	137,2271	151,9991
4	139,1452	133,2897	110,1268	150,4735	126,0994

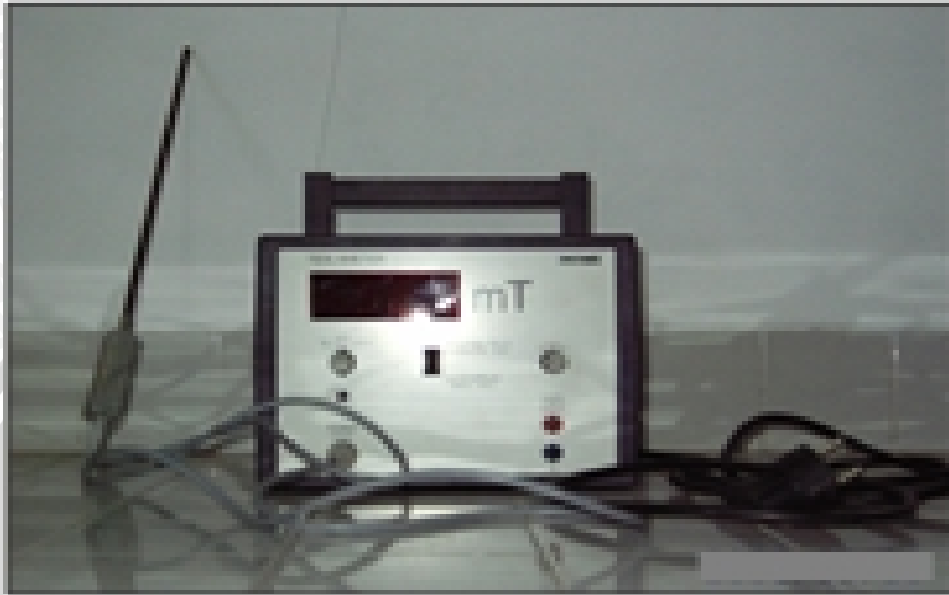
Tabel Massa Sesudah Uji Korosi (gram)

	Induksi Magnet (mT)				
	0	1,72	2,22	2,56	3,26
1	158,4211	131,3420	133,1626	159,8575	133,3150
2	138,2961	152,8246	109,6213	108,2150	150,9066
3	136,6060	133,5619	138,0862	136,9943	151,7102
4	138,8334	132,9922	109,8644	150,2184	125,8063



LAMPIRAN 2

Alat-alat yang Digunakan Untuk Penelitian



Teslameter



Pemasangan Benda Kerja pada Solenoida Bermagnet



Pengujian Besar Induksi Magnet dengan Teslameter



Mesin Las MIG



Gelas Ukur



Kamera Digital

LAMPIRAN 3

Benda Kerja Pengelasan dan Spesimen Uji Korosi



Benda Kerja Hasil Pengelasan



Hasil Lasan Tanpa Perlakuan



Hasil Lasan dengan Magnet 3,26 mT



Hasil Lasan dengan Magnet 2,56 mT



Hasil Lasan dengan Magnet 2,22 mT



Hasil Lasan dengan Magnet 1,72 mT



Spesimen Uji Korosi



Spesimen Uji Korosi yang Telah Diisolasi



LAMPIRAN 4

Pengujian Korosi



Penimbangan Spesimen Uji Korosi pada Timbangan Digital



Timbangan Digital dengan Empat Angka Dibelakang Koma



Pengujian Korosi



Pengujian Potensial Korosi Bebas



PT. PABRIK GULA CANDI BARU

Jl. Raya Candi 10 - SIDOARJO 61271
Telp. (031) 8921003 - 4
Fax. (031) 8921002
Kotak Pos 194
Email : pgc4nd1@indo.net.id

STEEL GRADE STANDARD (DIN)

Demension of Material

150mm x 90mmx10mm

A lot of

15 Pcs

Weight

15 kg

Standard and Steel Grade	Chemical composition, %						Tensile Strength Mpa	Yield Strength Mpa	Elongation, %
	CR	Ni	C	Mn	P	S			
St 37	0	0	0,19	0	0,05	0,05	350 - 480	235	25

Sidoarjo, 29 September 2006

Mengetahui

Kepala Seksi Boiler



Purwoko.D. ST





P.T. BHINNEKA BAJANAS

S.L.U.P. No. 1296/97/09 - 02/PD/XII/2000

Jl. Karang Bolong Raya No.5, Ancol Barat, Jakarta - Indonesia P.O.Box.4103/JKT
Phone: 62-21-6912116, 6912201, 6922122, 6925431, 6925591, 6909308 (hunting) Fax: 6911569, 6924291

Uf : Ibu Enny

Besteller/Purchaser/Commandant

P.T. LADANG BAJA MURNI
JL. AGUNG PODOOMO BLOK O III/40
JAKARTA 14350

Nr./No./No.: 935.904 05.10.25
Seite/Page/Page: 01

Bestell Nr./Purchaser's Order No./No. de commande
LBM/2695/44

Ursere Auftrag Nr./Work Order No./No. commande d'usage
928.859/RI

Lieferschein/Dispatch note/Avi d'expédition
52/101.376/05

Pro/zustand/Object of test/Object d'examen

STEEL BARS IN GRADE AISI 1045
EMS 45 (K945)

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Liste descriptive

	Gewicht kg Weight kg Poids kg	Schmelze Heat No. No. de coulée	Prüf-Nr Test No. Epreuve
16 X 1010.00 MM	5727.00	71477	01
20 X 1010.00 MM	5244.00	71477	02
25 X 1010.00 MM	5737.00	71477	03

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelze Heat No. No. de coulée	C	SI	MN	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al
71477	.51	.28	.65	.030	.021					.03

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Prüf-Nr Test No. Epreuve	Haerte/ Brinelli	Tensile Strength (Rm) N/mm2	Yield Strength (Rp 0.2) N/mm2	Elongation (%)	Reduction (%)
01	171	640	391	26.0	
02	168	638	390	25.0	
03	168	639	389	26.0	

TRUE COPY

**SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU
UNTUK DO NO :**



SAF NERTALIC 70A

Applications

- General purpose CO₂ and MAG (Argon + CO₂) welding wire
- Steel structures and heavy construction
- Automotive equipment and parts, motor bikes
- Trains and rollingstock
- Steel fabrication

Classification

Institutions	AWS	DIN	BS	AFNOR
Reference	A5.18	8559	2901-1	NFA81-311
Classification	ER70S-6	SG2	A18	GS2

Typical chemical analysis

	C	Mn	Si	S	P
of wire	0.08	1.4	0.8	0.015	0.015
of weld metal with CO ₂ *	0.06	1.0	0.65	0.015	0.015
of weld metal with Argon/CO ₂ *	0.06	1.1	0.7	0.015	0.015

* excluding dilution, meeting NFA81-311/312 (wire dia. 1.2-250A-40 cm/mn)

Typical mechanical characteristics

Gas	Argon/CO ₂ (82/18)	CO ₂
Heat treatment	without	without
UTS (N/mm ²)	590	580
YS (N/mm ²)	500	490
Elongation (l=5d) %	25	25
Reduction of section %	65	65
CVN (J) at -20°C	90	100

Approvals

	Nertalic 70A/CO ₂	Nertalic 70A/Argon+CO ₂
American Bureau of Shipping (ABS)	Yes	Yes
Lloyd's Register of Shipping (LRS)	Yes	Yes
TÜV	Yes	Yes
Deutsche Bundesbahn (DB)	Yes	Yes
Controlas (CL)	-	Yes

Packaging & References

Plastic spools (D300) of 16 kg, Precision Layer Wound (picture no.1)

Other packagings available on demand:

- Metal basket spool (K300) of 20 kg, Precision Layer Wound (picture no.2) to be used with an adapter (supplied with all SAF MIG machines)
- ENDURO Drum 250 or 300 kg, for high productivity applications (picture no.3) (automatic welding, robotic welding) dia. 520 mm - height 850 mm to be used with ENDURO Drum Cone Kit (1090-4655)
- PB small plastic spool (D100) of 5 kg (picture no.4)

	Plastic spool D300-16 kg Precision Layer Wound	Metal basket spool K300-20 kg Precision Layer Wound	ENDURO Drum 250 kg or 300 kg
Nertalic 70A Dia	0.6 on demand (5 kg)	-	-
	0.8 1090-4853	1090-4210	1090-4690
	0.9 1090-4854	on demand	on demand
	1.0 1090-4855	1090-4211	1090-4686
	1.2 1090-4856	1090-4212	1090-4687
	1.6 1090-4857	1090-4213	-



Manual CO₂-MAG



Automatic CO₂-MAG



Exclusive Agent:



Kawan Lama MultiWeldindo pt

Jakarta : Jl. Puri Kencana No.1, Jakarta 11610 (Effective July 1997)
Telp.: (021) 5827777; Fax : (021) 5823977

Surabaya : Pertokoan Raden Saleh Permai
Jl. Raden Saleh No. 51A Kav.26, Surabaya 60174
Telp.: (031) 5351286-7, 5326935; Fax: (031) 5326935

SAF is an activity of

