

**PENGARUH BESAR ARUS LISTRIK TERHADAP TINGKAT  
KEKERASAN HASIL PENGELASAN *STAINLESS STEEL*  
DENGAN LAS *TUNGSTEN INERT GAS***

**SKRIPSI**  
**Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ANDI HAKIM, S**  
**NIM. 0410623007-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2010**

**PENGARUH BESAR ARUS LISTRIK TERHADAP TINGKAT  
KEKERASAN HASIL PENGELASAN *STAINLESS STEEL*  
DENGAN LAS *TUNGSTEN INERT GAS***

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ANDI HAKIM. S**

**NIM. 0410623007-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT**  
NIP 19450307 197603 1 001

**Ir. Tjuk Oerbandono, MSc**  
NIP 19670923 199303 1 002

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH BESAR ARUS LISTRIK TERHADAP TINGKAT  
KEKERASAN HASIL PENGELASAN *STAINLESS STEEL*  
DENGAN LAS *TUNGSTEN INERT GAS***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Disusun Oleh :

**ANDI HAKIM. S**  
**NIM. 0410623007-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 27 Juli 2010

Skripsi 1

Skripsi 2

**Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST, M.Eng**  
**NIP. 19710310 199802 1 001**

**Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko M. Eng. Sc**  
**NIP. 19490911 198403 1 001**

**Komprehensif**

**Handono Sasmito , Ir.,M.Eng.Sc**  
**NIP. 19480216 198003 1 001**

**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT.**  
**NIP. 19720903 199702 1 001**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, juga salawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh besar arus listrik terhadap tingkat kekerasan hasil pengelasan *stainless steel* dengan las tungsten inert gas**” dapat terselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. H. Slamet Wahyudi, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito P, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Ir Marsoedi Wirohardjo, MMT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak sekali membantu memberikan masukan, saran, motivasi dan semangat pada saya.
5. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk berdiskusi dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staf Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin yang saya hormati.
7. Ayahanda dan Ibunda tercinta keluarga H. Mas Ali Muzayin serta adik - adikku yang aku cintai dan hormati.
8. Teman – temanku Gatra, Anto, Andy, Andre, Made, Ridho dan seluruh teman – teman M’04 yang telah banyak memberikan bantuan, dorongan, semangat, dan do’a dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama warga Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

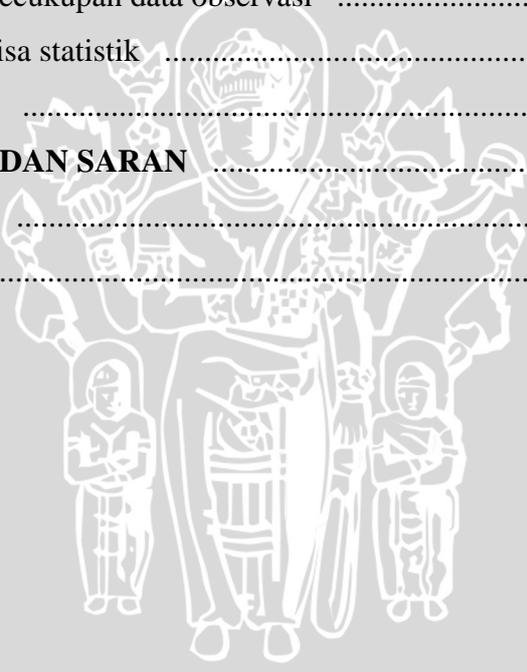
Malang, Mei 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Cara-cara pengelasan .....	4
2.2 Las <i>Tungsten Inert Gas</i> ( <i>TIG Welding</i> ) .....	6
2.2.1 Peralatan Las TIG .....	7
2.3 Efek Parameter Las .....	9
2.4 Pengaruh bahan terhadap kualitas sambungan las .....	11
2.5 Siklus termal las .....	12
2.6 Pengujian kekerasan .....	13
2.6.1 Teori dasar pengujian .....	13
2.6.2 Metode pengukuran kekerasan .....	13
2.6.3 Fakto-faktor yang mempengaruhi kekerasan .....	17
2.7 Efek pada struktur mikro dan ukuran butiran .....	21
2.8 Hipotesa .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	29
3.1 Metode Penelitian .....	29
3.2 Variabel penelitian .....	29
3.2.1 Variabel bebas .....	29
3.2.2 Variabel terikat .....	29
3.2.3 Variabel terkontrol .....	29

3.3	Alat dan bahan penelitian .....	29
3.3.1	Alat yang digunakan .....	29
3.3.2	Bahan yang digunakan .....	30
3.4	Tempat penelitian .....	30
3.5	Prosedur penelitian .....	30
3.6	Rancangan penelitian .....	32
3.6.1	Analisa statistik .....	32
3.6.2	Analisa varian satu arah .....	33
3.7	Diagram alir penelitian .....	35
<b>BAB IV</b>	<b>DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>36</b>
4.1	Data hasil penelitian .....	36
4.2	Pengolahan data .....	37
4.2.1	Uji kecukupan data observasi .....	37
4.2.2	Analisa statistik .....	42
4.3	Pembahasan .....	46
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>50</b>
5.1	Kesimpulan .....	50
5.2	Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Klasifikasi cara pengelasan	5
Tabel 2.2.	Klasifikasi Baja Tahan Karat	12
Tabel 2.3	Daftar fase dan keterangannya	25
Tabel 3.1.	Data rancangan penelitian	32
Tabel 3.2	Analisis varian satu arah	34
Tabel 4.1	Data kekerasan logam	36
Tabel 4.2	Uji kecukupan data observasi kekerasan LL	37
Tabel 4.3	Uji kecukupan data observasi kekerasan HAZ	40
Tabel 4.4	Analisa varian data pengujian kekerasan LL	43
Tabel 4.5	Analisa varian data pengujian kekerasan daerah HAZ	45

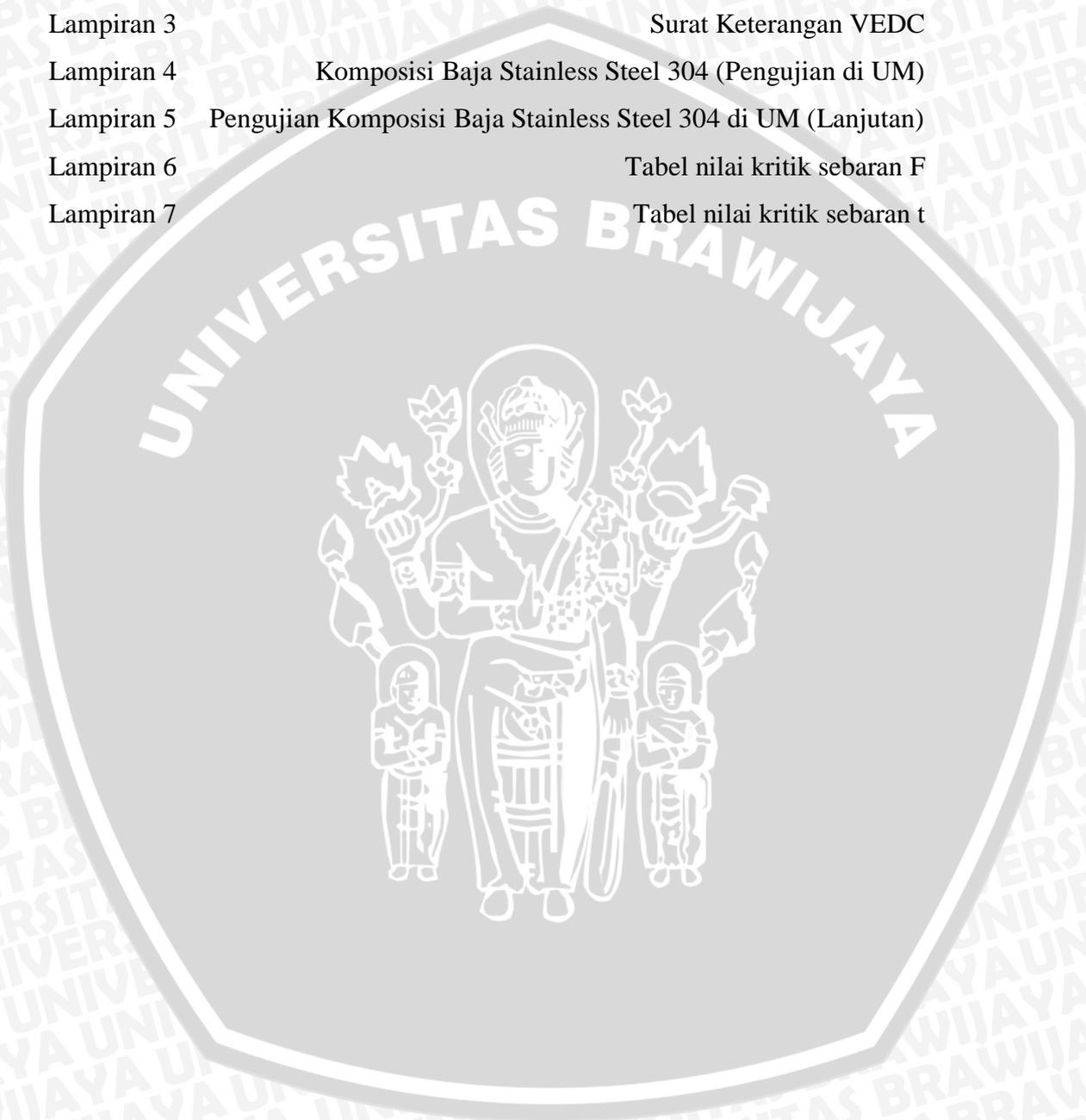


## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Mesin Las TIG Manual	7
Gambar 2.2	<i>Torch</i> dengan Pendingin Udara	8
Gambar 2.3	<i>TIG Regulator</i>	9
Gambar 2.4	Diagram Rangkaian Listrik dari Mesin Las Listrik DC	10
Gambar 2.5	<i>Brinell Test</i>	15
Gambar 2.6	<i>Vickers Test</i>	15
Gambar 2.7	<i>Rockwell Test</i>	16
Gambar 2.8	<i>Shore Schleroscope Test</i>	17
Gambar 2.9	Hubungan kekerasan dengan kadar karbon	17
Gambar 2.10	Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C	21
Gambar 2.11	Struktur mikro <i>ferrite</i>	23
Gambar 2.12	Struktur mikro <i>austenite</i>	23
Gambar 2.13	Struktur mikro <i>cementit</i>	24
Gambar 2.14	Struktur mikro <i>pearlit</i>	25
Gambar 2.15	Kurva pendinginan diagram TTT	27
Gambar 3.1	Dimensi benda kerja las	31
Gambar 3.2	Spesimen uji kekerasan	31
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Kuat arus Terhadap Kekerasan	46
Gambar 4.2	Foto mikro daerah logam las (pembesaran 450x)	47
Gambar 4.3	Foto mikro daerah HAZ ( <i>Heat Affected Zone</i> ) (pembesaran 450x)	48

**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul
Lampiran 1	Alat yang digunakan
Lampiran 2	Benda uji setelah mengalami pengelasan, penghalusan
Lampiran 3	Surat Keterangan VEDC
Lampiran 4	Komposisi Baja Stainless Steel 304 (Pengujian di UM)
Lampiran 5	Pengujian Komposisi Baja Stainless Steel 304 di UM (Lanjutan)
Lampiran 6	Tabel nilai kritik sebaran F
Lampiran 7	Tabel nilai kritik sebaran t



## RINGKASAN

**Andi Hakim Sulistiawan**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, September 2008. **Pengaruh Besar Kuat Arus Listrik Terhadap Tingkat Kekerasan Hasil Pengelasan *Stainless Steel* Dengan Las Tungsten Inert Gas**. Dosen Pembimbing : Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT. dan Ir. Tjuk Oerbandono, MSc

Baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan logam paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr dan memiliki sifat tahan terhadap lingkungan korosif dan temperatur tinggi. Las Tungsten Inert Gas adalah salah satu pengelasan busur listrik berpelindung gas mulia dimana elektrodanya tidak diumpankan (bukan merupakan filler metal). Dasar proses pengelasan dari las Tungsten Inert Gas adalah dengan mendekatkan elektroda tungsten kepada logam induk (benda kerja) yang masing-masing mempunyai kutub listrik yang berlawanan sehingga menimbulkan busur listrik dalam lingkungan gas pelindung. Kuat arus pengelasan merupakan salah satu efek parameter las yang besarnya tergantung dari bahan, dimensi benda kerja, geometri sambungan, proses pengelasan serta jenis dan diameter elektrode

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah *true experimental research* yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung. Pengambilan data tingkat kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan *Brinell*

Penelitian ini menggunakan variabel bebas berupa variasi kuat arus ( 100A, 110A, 120A, 130A, 140A ). Variabel terikatnya adalah tingkat kekerasan. Pada penelitian ini tiap variasi dilakukan tiga kali pengulangan dimana posisi yang di uji adalah pada bagian permukaan benda yaitu pada daerah logam las, daerah HAZ dan daerah logam induk

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kuat arus yang terjadi maka mengakibatkan terjadinya peningkatan kekerasan terutama pada daerah logam las dan daerah HAZ dimana pada daerah logam las pada arus 130A terjadi peningkatan kekerasan yang cukup tinggi

**Kata kunci** : Las *Tungsten Inert Gas*, Kekerasan, Kuat Arus, *Stainless Steel*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini proses pengelasan telah digunakan secara luas dalam dunia industri, baik untuk penyambungan material logam pada konstruksi-konstruksi baja dan mesin maupun untuk tujuan reparasi. Hal ini dikarenakan konstruksi-konstruksi baja dan mesin yang dibuat dengan proses pengelasan menjadi lebih ringan dan proses pengerjaannya lebih sederhana sehingga biaya produksi secara keseluruhan menjadi lebih murah.

Lingkup penggunaan teknologi pengelasan sangat luas meliputi perkapalan, jembatan rangka baja, bejana tekan, dan lain-lain. Proses pengelasan kelihatan sederhana tetapi didalamnya terdapat aspek-aspek yang harus diatasi, dimana pemecahannya memerlukan berbagai macam pengetahuan karena itu dalam pengelasan, pengetahuan harus turut mendampingi praktek. Secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, cara pemeriksaan bahan las dan jenis las yang digunakan berdasarkan fungsi dari bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Proses manufaktur lainnya yang telah dikenal antara lain proses-proses pengecoran (*metal casting*), pembentukan (*metal forming*), pemesinan (*machining*), dan metalurgi serbuk (*powder metallurgy*). Produk dengan bentuk-bentuk yang rumit dan berukuran besar dapat dibuat dengan teknik pengecoran. Produk-produk seperti pipa, pelat dan lembaran, baja-baja konstruksi dibuat dengan proses pembentukan. Produk-produk dengan dimensi yang ketat dan teliti dapat dibuat dengan pemesinan. Bagaimana dengan proses pengelasan ? Proses pengelasan yang pada prinsipnya adalah menyambungkan dua atau lebih komponen, lebih tepat ditujukan untuk merakit (*assembly*) beberapa komponen menjadi suatu bentuk mesin. Komponen yang dirakit mungkin saja berasal dari produk hasil pengecoran, pembentukan atau pemesinan, baik dari logam yang sama maupun berbeda-beda. Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Dari definisi tersebut terdapat 4 kata kunci

untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu **mencairkan sebagian logam, logam pengisi, tekanan dan sambungan kontinu**

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan antara lain : jenis pengelasan, rencana sambungan las, keterampilan, situasi dan kondisi pengelasan, material benda kerja, jenis dan diameter elektroda. Disamping itu salah satu faktor yang sangat menentukan dalam proses pengelasan adalah besarnya arus listrik yang digunakan pada proses pengelasan tersebut. Pada saat pemindahan logam elektrode saat mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus listrik. Permasalahannya seberapa besar arus listrik yang dibutuhkan sehingga didapat tingkat kekerasan yang baik. Berdasarkan hal ini maka dilakukan penelitian tentang ”pengaruh kuat arus terhadap tingkat kekerasan pada hasil pengelasan baja *stainless steel* dengan las *Tungsten Inert Gas* ”. Dimana pemilihan las TIG akan lebih menguntungkan dari pada pengelasan busur listrik yang lain. Hal ini karena elektroda pada las TIG bukan berupa logam pengisi (*Filler Metal*). dengan demikian proses pengelasannya dapat menggunakan logam pengisi atau tidak. Sehingga las TIG dapat digunakan untuk menyambung benda kerja yang tipis (dibawah 1 cm). Disamping karena gas yang digunakan adalah gas mulia (Argon atau Helium) yang berfungsi unyuk melindungi busur listrik dan logam cair dari kontaminasi dengan atmosfer. Sedangkan pemilihan baja tahan karat memiliki sifat-sifat istimewa salah satunya tahan terhadap korosi pada suhu tinggi dan rendah.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat dibuat rumusan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh perubahan besar arus listrik terhadap tingkat kekerasan hasil pengelasan *Stainless Steel* dengan las *Tungsten Inert Gas*

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk memudahkan dalam menganalisa dan memecahkan permasalahan dalam penulisan tugas akhir perlu adanya batasan-batasan masalah agar pembahasan lebih terarah. Adapun batasan-batasan masalah dari permasalahan adalah sebagai berikut :

1. Pengelasan hanya dilakukan dengan las *Tungsten Inert Gas* ( TIG Welding ).
2. Pada pembahasan ini hanya akan dianalisa tingkat kekerasan dari hasil pengelasannya saja.
3. Dimensi benda kerja, jenis dan dimensi elektrode, jarak antar ujung elektrode dengan benda kerja, jenis dan laju aliran pelindung, tegangan busur listrik, dan kecepatan pengelasan dijaga konstan.
4. Bentuk sambungan yang digunakan adalah tipe V dengan ketebalan plat yang dilas adalah 10mm dan bahan yang digunakan adalah baja tahan karat tipe AISI 304
5. Pengelasan hanya dilakukan oleh satu tukang las yang sudah memiliki sertifikat las.
6. Perpindahan panas yang terjadi tidak diukur

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulis mengadakan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui apakah ada pengaruh perubahan kuat arus terhadap tingkat kekerasan.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan manfaat dalam pelaksanaan pekerjaan las, agar pelaksanaan mengatur besarnya kuat arus yang sesuai untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan ( terutama tingkat kekerasan ) yang baik pada baja tahan karat (tipe AISI 304 ) dengan menggunakan las *Tungsten Inert Gas*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

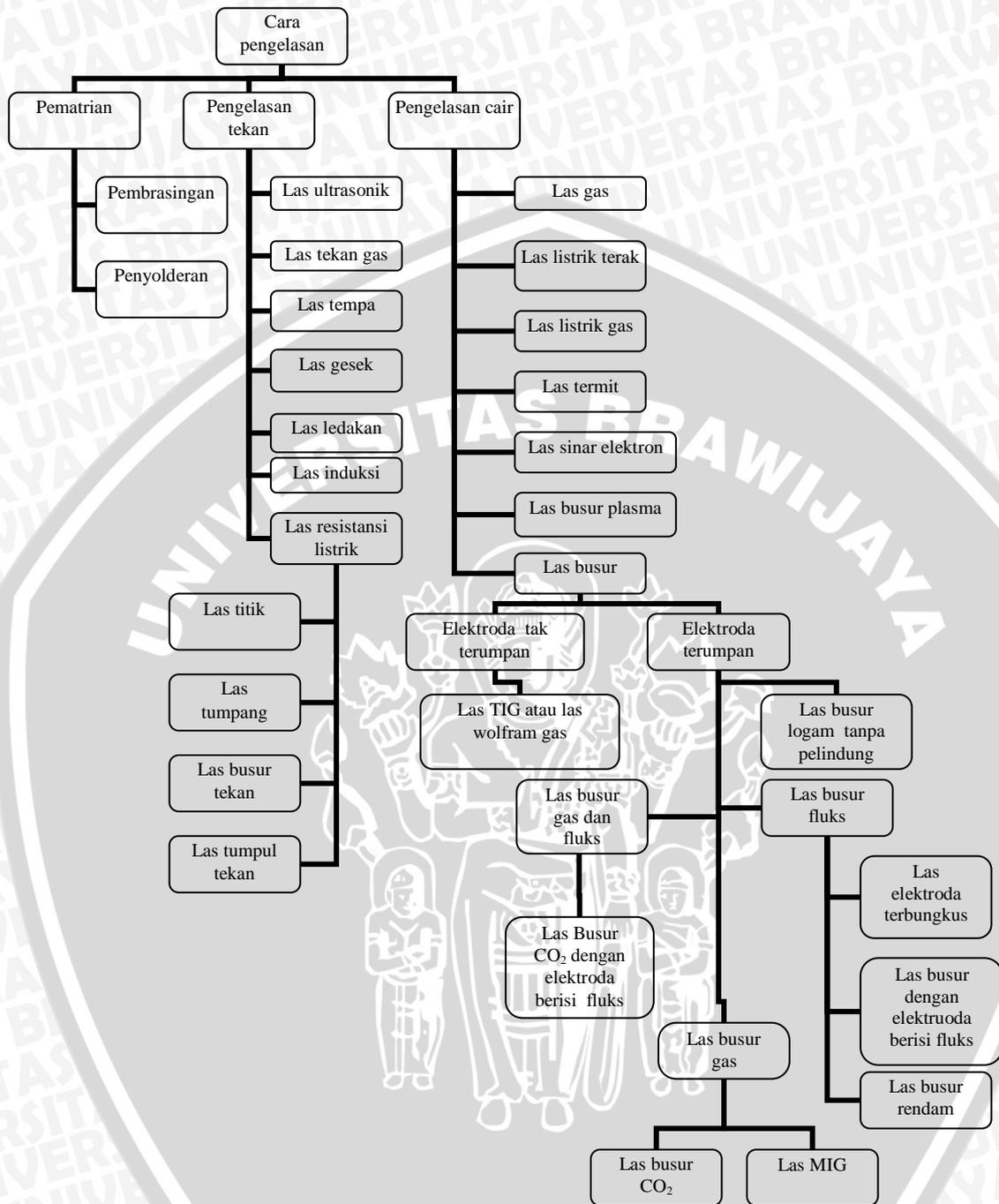
#### 2.1. Cara-cara Pengelasan

Sampai pada waktu ini banyak sekali cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut pada waktu ini dapat dibagi dua golongan yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi yang pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan dan pematrian. Sedangkan klasifikasi kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti, las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Bila diadakan klasifikasi yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi diatas akan terbaaur dan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak sekali.

Diantara kedua klasifikasi tersebut di atas klasifikasi berdasarkan cara kerja banyak digunakan. Berdasarkan klasifikasi ini dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu :

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

Table 2. 1 klasifikasi cara pengelasan



Sumber : Wiryosumarto, 1994 : hal 8

Adapun cara pengelasan yang paling banyak digunakan pada waktu ini adalah pengelasan cair dengan busur dan dengan gas.

Dalam subbab berikut akan dibahas mengenai las *Tungsten Inert Gas* ( TIG )

## 2.2. Las Tungsten Inert Gas ( TIG Welding )

Las *Tungsten Inert Gas* adalah salah satu pengelasan busur listrik berrpelindung gas mulia dimana elektrodanya tidak diumpankan ( bukan merupakan *filler metal* ). Dasar proses pengelasan dari TIG *welding* adalah dengan mendekatkan elektroda *tungsten* kepada logam induk ( benda kerja ) yang masing masing mempunyai kutub listrik berlawanan sehingga menimbulkan busur listrik dalam lingkungan gas pelindung.

Busur listrik didefinisikan sebagai tumbukan elektron yang terjadi secara terus-menerus sehingga menghasilkan panas yang cukup untuk mencairkan sebagian benda kerja. Busur listrik dan logam yang mencair tersebut dilindungi oleh gas mulia dari kontaminasi dengan udara sekitarnya.

Gas mulia yang digunakan adalah gas *Argon* atau *Helium*. Gas ini disemprotkan disekitar busur listrik dan logam cair dari *nozzle* yang terdapat pada elektroda *holder*. Gas pelindung ini selain sebagai pelindung busur listrik dan logam cair dari kontaminasi dengan udara luar juga mempengaruhi kedalam penetrasi dan kontaminasi gas yang dihasilkan.

Pada penyambungan benda kerja yang tipis, proses pengelasan TIG ini tidak menggunakan logam pengisi dan arus yang digunakan biasanya besar dengan kecepatan yang tinggi. Hal ini bertujuan agar input panas yang dihasilkan cukup untuk mencairkan sebagian logam kerja namun tidak menimbulkan distorsi yang berlebihan serta HAZ yang luas.

Proses pengelasan ini juga memiliki kemampuan yang baik untuk menyambung logam yang tebal karena input panas yang dihasilkan cukup besar pada kecepatan pengelasan yang rendah.

Penggunaan las TIG mempunyai dua keuntungan yaitu :

1. Kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur, terlepas dari besarnya listrik sehingga penetrasi kedalam logam induk dapat diatur sesuai keinginan.
2. Kualitas lebih baik pada daerah las.

Pengelasan TIG dapat dilakukan secara manual atau otomatis. Perbedaan dari kedua cara ini hanyalah pada cara pengelasannya. Pada las TIG otomatis, *torch* dan pengumpanan logam pengisi digerakkan oleh mesin, sedangkan pada las TIG manual, *torch* dan pengumpanan logam pengisi dilakukan oleh operator. Dengan sendirinya

pengelasan otomatis mempunyai kecepatan pengelasan yang lebih konstan dibandingkan dengan pengelasan manual.

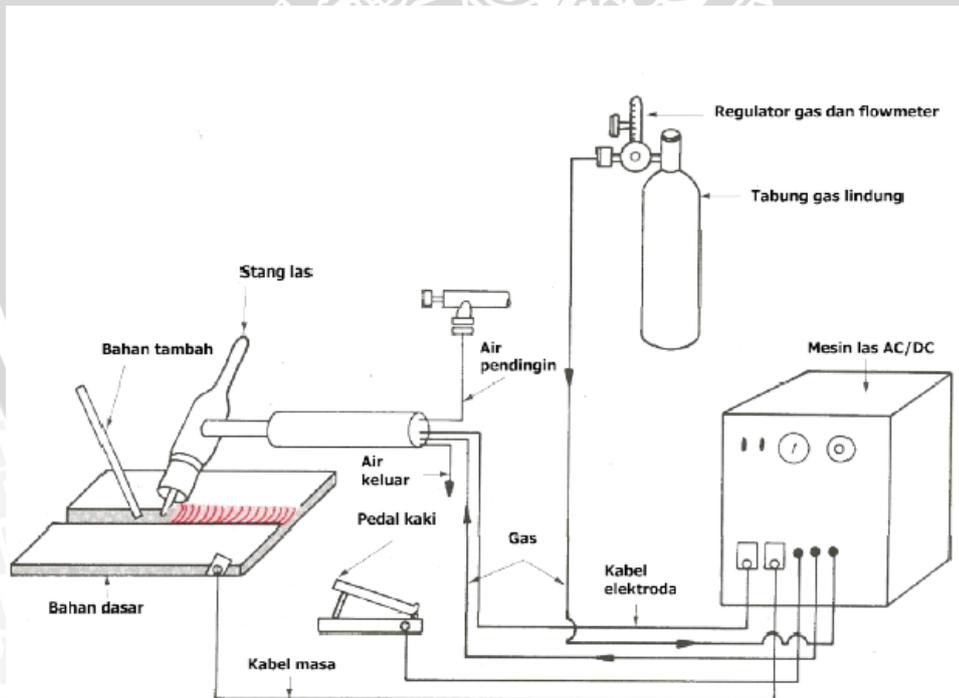
### 2.2.1 Peralatan Las TIG

Peralatan las TIG yang dibahas adalah untuk pengelasan manual, terdiri dari :

1. Mesin las ( *Welding Machine* )
2. Pemegang elektroda ( *Electrode Holder* )
3. Katup pengatur gas pelindung

#### 1. Mesin Las ( *Welding Machine* )

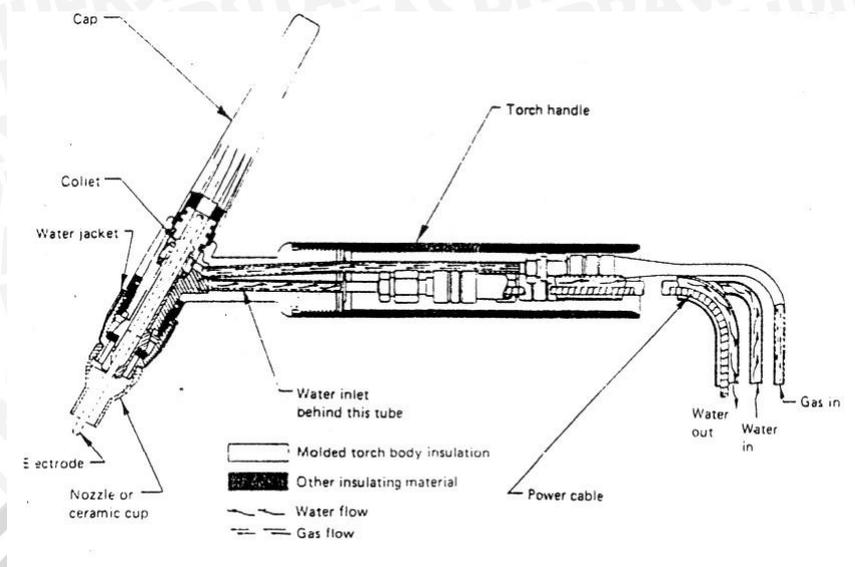
Mesin las adalah peralatan yang menghasilkan arus listrik untuk pengelasan. Mesin ini biasanya merupakan generator ataupun transformer dari arus yang masuk menjadi arus AC ( *Alternate Current* ) ataupun DC ( *Direct Current* ) yang dibutuhkan saat pengelasan. Pada mesin terdapat saklar pengatur jenis arus ( AC dan DC ) dan saklar pengatur besar arus pengelasan ( sekitar 10 – 570 A untuk arus DC dan sekitar 65 – 300 A untuk arus AC ).



Gambar 2.1 Mesin Las TIG Manual

Sumber : Modul proses las gas *tungsten* Universitas Negeri Yogyakarta, 2004 : Hal 19

## 2. Pemegang Elektrode ( *Electrode Holder* )



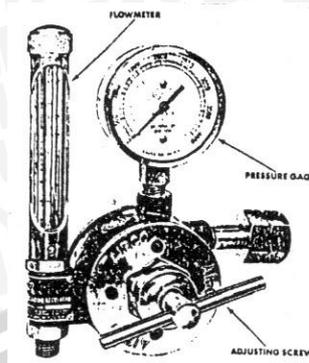
Gambar 2.2 *Torch* dengan Pendingin Udara

Sumber : De Garmo, et al, 1984. 884

Selain berfungsi sebagai pemegang tungsten juga berfungsi sebagai *nozzle* untuk menyemprotkan gas pelindung. Pemegang electrode terdiri dari beberapa bagian :

1. *Cap* atau tutup atas *torch* terbuat dari plastik dan berfungsi untuk menutup lubang tempat elektrode masuk.
2. *Collet* berfungsi untuk memegang elektrode.
3. *Nozzle* terbuat dari gelas baja, plastik atau keramik.
4. Elektroda yang digunakan biasanya terbuat dari wolfram murni atau paduan antara wolfram, thorium yang berbentuk batang dengan garis tengah antara 1,0 – 4,8 mm.

### 3. Katup pengatur gas pelindung



Gambar 2.3 TIG Regulator

Sumber : Smith, hal. 316

Terdapat 2 bagian :

1. Regulator berfungsi untuk menurunkan tekanan gas.
2. Flow meter berfungsi untuk menunjukkan laju keluar aliran gas sehingga keduanya sesuai dengan kebutuhan pengelasan.

## 2. 3. Efek Parameter Las

### 1. Efek panjang busur listrik.

Panjang busur listrik adalah jarak ujung elektroda ke permukaan benda kerja. Panjang busur listrik ini mempengaruhi tingginya tegangan busur. Pada elektrode yang sejenis panjang busur listrik berbanding lurus dengan tegangan busur listrik.

### 2. Efek heat input.

Heat input adalah panas total yang dihasilkan dari proses pengelasan yang berguna untuk mencairkan logam benda kerja. Harga heat input adalah fungsi dari arus listrik, tegangan busur listrik, kecepatan pengelasan dan koefisien laju panas. Harga heat input bisa diasumsikan sebagai harga panas yang diterima benda kerja untuk menaikkan temperatur dari temperatur awal hingga temperatur cair dan untuk merubah fase benda kerja dari fase padat ke fase cair.

### 3. Efek arus pengelasan

Besarnya arus pengelasan tergantung dari bahan dan dimensi benda kerja, geometri sambungan, proses pengelasan serta jenis dan diameter elektrode. Dalam pengelasan logam paduan sebaiknya digunakan arus pengelasan yang kecil untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan. Semakin tebal benda kerja, panas yang

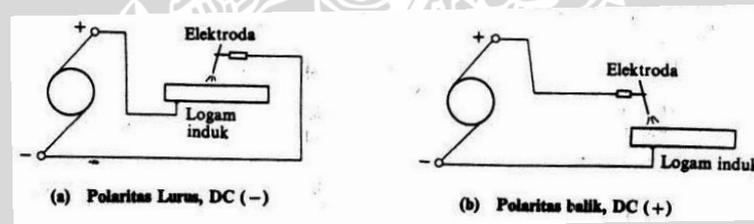
dibutuhkan juga semakin besar sehingga arus las yang digunakan juga harus semakin besar.

#### 4. Efek kecepatan pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung dari heat input. Pada pengelasan material yang membutuhkan arus yang tinggi tetapi harga heat input yang rendah maka kecepatan pengelasan yang digunakan haruslah besar. Bila dilihat persamaan heat input, pada harga arus dan tegangan dijaga konstan sedang kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah panas pengelasan persatuan pengelasan akan menurun.

#### 5. Efek polaritas listrik.

Sumber listrik yang digunakan pada pengelasan TIG dapat berupa listrik AC ( *Alternating Current* ) atau DC ( *Direct Current* ). Dalam hal listrik DC rangkaiannya dapat dengan polaritas lurus ( DCSP ), dimana kutub listrik positif dihubungkan dengan benda kerja dan kutub negatif dihubungkan dengan elektrode atau rangkaian sebaliknya disebut dengan polaritas terbalik ( DCRP ).



Gambar. 2. 4 Diagram Rangkaian Listrik dari Mesin Las Listrik DC  
Sumber : Wiryosumarto, 1994 : hal 17

#### 6. Efek gas pelindung

Argon dan Helium adalah gas beratom satu ( gas mulia ) yang digunakan sebagai gas pelindung pada proses pengelasan TIG. Argon lebih banyak digunakan pada pengelasan TIG karena besar arus, panjang busur, tegangan busur yang dihasilkan lebih rendah dari pada menggunakan gas pelindung Helium. Argon lebih sering digunakan pada pengelasan logam yang tipis karena panas pengelasan yang dihasilkan lebih rendah sehingga distorsi yang dialami logam induk tidak besar.

### Kelebihan dan kekurangan las TIG

- Kelebihan las TIG :
  1. Penetrasi dari bentuk tembusan atau kontur akan sangat baik walaupun hal ini tergantung pada keterampilan juru las.
  2. Hasil tembusan sangat baik walaupun dilakukan tanpa las lawan atau ring penyangga.
  3. Dapat diberi backing gas pada bagian dalam pipa / drum untuk mencegah terjadinya oksidasi pada bagian dalam pipa / drum.
  4. Dapat dilakukan pada semua posisi pengelasan dengan hasil lasan yang baik.
  5. Pengelasan lebih mudah karena dapat dilakukan tanpa membersihkan terak, tidak perlu digerinda, tidak perlu menggunakan tiang penyangga.
- Kekurangan las TIG
  1. Efisiensi masih lebih rendah
  2. Biaya operasinya masih lebih tinggi.

### Elektrode dan logam pengisi

Untuk las TIG elektroda yang digunakan adalah *tungsten* dan *tungsten alloy*. Elektrode ini dibuat dari tungsten murni maupun dalam bentuk *alloy* yaitu *tungsten + 1% thorium*, *tungsten + 2% thorium*. Elektroda ini digunakan sebagai elektroda tak terumpan.

### 2.4. Pengaruh bahan terhadap kualitas sambungan las.

#### 1. Baja tahan karat martensit

Baja tahan karat ini mengandung 11,5 – 13 % Chrom. Jenis baja sifat ini mempunyai sifat magnetis, dapat diterapkan dengan pengerjaan panas dan pengerjaan dingin dengan ketangguhan yang cukup baik. Baja tahan karat martensit lebih sulit dilas dari pada baja tahan karat ferit karena adanya perubahan fase dari austenit ke martensit yang terjadi pada saat pendinginan setelah pengelasan. Perubahan ini menyebabkan meningkatnya kekerasan logam, turunnya sifat liat sehingga membutuhkan cara-cara khusus untuk mengendalikan kemungkinan retak.

## 2. Baja tahan karat ferit

Baja tahan karat ferit mengandung 11,5-13% Chrom. Baja ini dipengaruhi oleh keseimbangan austenit pada temperatur tinggi sehingga pada baja ini sedikit atau tidak sama sekali tidak terjadi transformasi dari austenit ke martensit bila didinginkan, sifat-sifat dari baja tahan karat ferit yaitu bersifat magnet, dapat diperkeras dengan pengerjaan dingin, dapat dilakukan pengerjaan panas dan pengerjaan dingin dengan baik, ulet, dan tahan korosi pada annealing ( 780-850<sup>0</sup> ).

## 3. Baja tahan karat austenit

Sifat-sifat baja tahan karat austenit ini antara lain : tidak bersifat magnetis dan tak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, total kandungan Chrom  $\leq 16\%$ , Nikel  $\leq 7\%$  Carbon  $\leq 0,25\%$

Tabel 2. 2. Klasifikasi Baja Tahan Karat

Klasifikasi	Komposisi Utama (%)			Sifat Mampu keras	Sifat Tahan Korosi	Sifat Mampu Tempa	Sifat Mampu Las	Kemagnetan
	Cr	Ni	C					
Baja Tahan Karat Martensit	11-15	-	$\leq 1,20$	Mengeras sendiri	Kurang baik	Kurang baik	Tidak baik	Magnit
Baja Tahan Karat Ferit	16-27	-	$\leq 0,35$	Tidak dapat dikeraskan	Baik	Baik	Kurang baik	Magnit
Baja Tahan Karat Austenit	$\leq 16$	$\leq 7$	$\leq 0,25$	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik Sekali	Baik sekali	Bukan Magnit

Sumber : Wiryosumarto : 1994 : hal 109

### 2.5. Siklus termal las

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian utama yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone – HAZ*) dan logam induk. Dari ketiga bagian ini yang mengalami perubahan struktur hanyalah daerah logam lasan dan daerah *HAZ*. Sedangkan daerah logam induk tidak mengalami perubahan struktur Karena tidak mendapatkan masukan panas. Logam lasan adalah bagian dari logam yang pada waktu

pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah *HAZ* adalah daerah logam induk yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan yang cepat di daerah lasan. Pengelasan menghasilkan temperature yang kompleks disepanjang daerah lasan yang juga menghasilkan variasi panas pengelasan di daerah lasan. Panas pengelasan akan mengcairkan logam lasan, selanjutnya panas tersebut akan merambat dan terdistribusikan kedalam lasan yang lain. Setelah proses pengelasan dihentikan, maka logam cair akan membeku dimana kecepatan pendinginan sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan

## **2.6 Pengujian kekerasan**

### **2. 6. 1 Teori dasar pengujian**

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan tusukan (penetrasi) benda yang lebih keras dari luar. Ada juga yang menyatakan dengan kemampuan menahan deformasi plastis. Kekerasan merupakan sifat mekanik yang penting karena dari kekerasan dapat diperkirakan kekuatan material tersebut.

### **2. 6. 2 Metode pengukuran kekerasan**

Pada dasarnya pengukuran kekerasan ada tiga jenis yaitu :

1. Kekerasan goresan ( *scratch* hardness ), yaitu dengan cara Moh's.
2. Kekerasan lekukan ( *indentation* hardness ), yaitu dengan cara Brinell, Meyer, Vickers, Rockwell.
3. Kekerasan pantulan ( *rebound* hardness ), yaitu dengan cara Shoer scleroscope.

Metode pengukuran di atas diuraikan sebagai berikut :

### A. Cara Moh's.

Pengukuran kekerasan dilakukan dengan menggunakan beberapa mineral standar yang telah diketahui kekerasannya.

Ukuran kekerasan menurut Moh's antara lain :

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1. Gips     | 6. Feldspar |
| 2. Kalsit   | 7. Kwarsa   |
| 3. Talk     | 8. Topas    |
| 4. Flourite | 9. Titanium |
| 5. Apatite  | 10. Intan   |

Skala Moh's jarang digunakan dalam pengujian karena skala intervalnya yang tinggi, sehingga hasilnya kurang tepat, terutama untuk logam. Logam pada umumnya mempunyai skala Moh's 4 – 8.

### B. Cara Brinell.

Pengukuran ini dilakukan dengan cara menekan secara tegak lurus bola baja yang sudah diketahui diameternya pada permukaan benda uji. Bekas yang ditimbulkannya diukur dan kekerasannya diukur dengan rumus :

$$BHN = \frac{2P}{\pi \cdot D \sqrt{D^2 - d^2}}$$

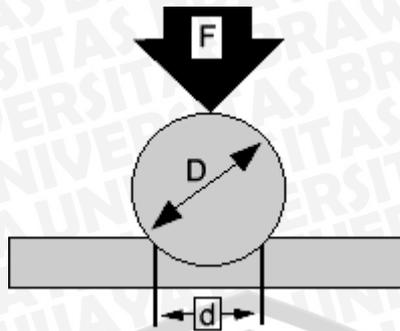
Keterangan :

BHN = Angka kekerasan Brinell ( kg/mm<sup>2</sup> )

P = Beban yng dikenakan ( kg )

D = Diameter bola baja ( mm )

d = Diameter bekas tusukan ( mm )



Gambar 2.5 *Brinell Test*

Sumber: [http://www.instron.us/wa/applications/test\\_types/hardness/brinell.aspx?ref](http://www.instron.us/wa/applications/test_types/hardness/brinell.aspx?ref)  
 = <http://www.google.co.id/url>

Pengukuran ini harus dilakukan pada permukaan yang halus dan datar. Terak dan kotoran pada permukaan benda kerja dapat mengakibatkan pengukuran tidak tepat.

C. Cara *Vickers*.

Pengukuran ini memakai piramida intan atau baja yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut piramida 136°. Beban yang diberikan antara lain 5, 10, 20, 30, 50, 100, atau 120 Kg. Angka kekerasannya dinyatakan dengan :

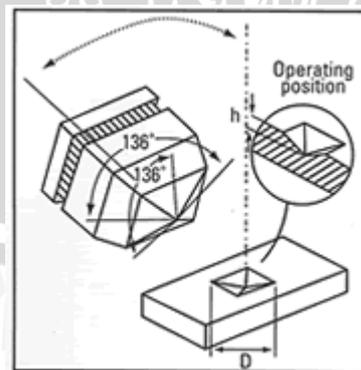
$$VHN = \frac{1,8544.P}{d^2}$$

Keterangan :

VHN : Angka kekerasan *Vickers*

P : Beban yang diberikan ( Kg )

d : Diameter bekas indentasi ( mm )



Gambar 2. 6 *Vickers Test*

Sumber: [http://www.instron.us/wa/applications/test\\_types/hardness/vickers.aspx?ref](http://www.instron.us/wa/applications/test_types/hardness/vickers.aspx?ref)  
 = <http://www.google.co.id/url>



#### D. Cara *Rockwell*.

Pada pengukuran kekerasan dengan cara ini digunakan 2 macam indenter, yaitu

1. memakai kerucut intan dengan sudut puncak 120° ujungnya agak bulat, berjari-jari 0,2 mm.
2. memakai bola baja dengan diameter 1/16.

$$H_{rc} = \frac{k - (h_1 - h_2)}{C}$$

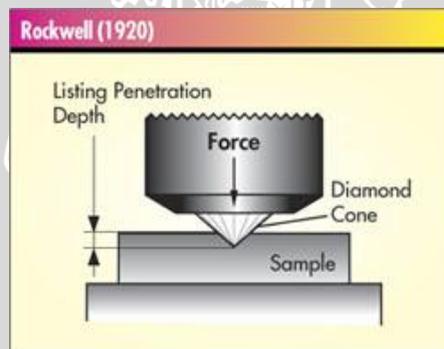
Keterangan :

H<sub>rc</sub> : Angka kekerasan *Rockwell*.

k : konstanta ( intan = 0,2 ; bola baja = 0,26 )

h<sub>1</sub> : kedalaman akibat beban mayor ( mm )

h<sub>2</sub> : kedalaman akibat beban minor ( mm ).



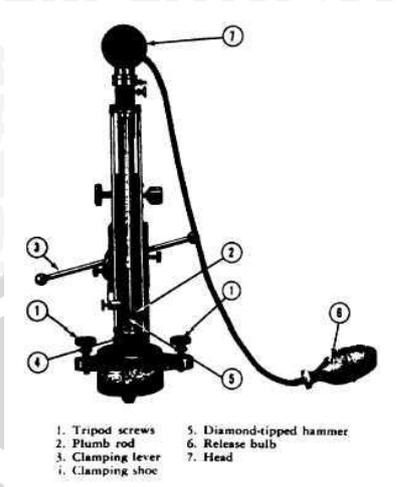
Gambar 2.7 *Rockwell Test*

Sumber: [http://doddi\\_y.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/9080/Material+Teknik+\(uji+kekerasan\).ppt](http://doddi_y.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/9080/Material+Teknik+(uji+kekerasan).ppt)

#### E. Cara *Shore Schleroscope*

Pengujian kekerasan tipe ini *diamond tipped hammer* yang dapat dinaikkan pada ketinggian tertentu, dan dari sana ia dijatuhkan bebas pada permukaan spesimen yang halus. Setelah menyentuh permukaan spesimen, *diamond* akan memantul. Ketinggian pantulan menunjukkan kekerasan bahan yang diukur. Semakin tinggi pantulan menunjukkan angka kekerasan yang semakin besar. Prinsipnya adalah konversi energi dari energi potensial menjadi energi kinetik, sebagian energi ini diserap oleh bahan dan yang lainnya menyebabkan terjadinya pantulan

Keuntungan cara ini adalah peralatannya mudah untuk dipindahkan. Selain itu bekas tusukannya kecil sehingga tidak merusak bahan yang diukur.



Gambar 2. 8 Shore Schleroscope Test

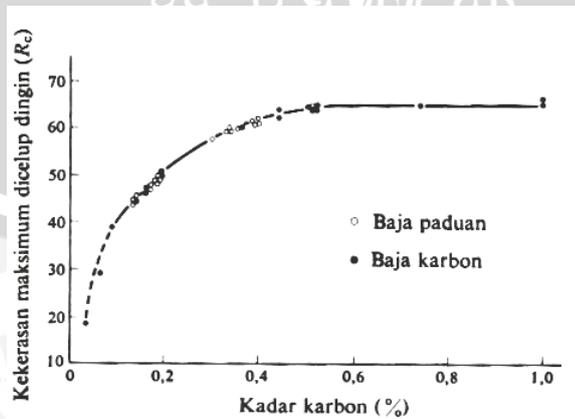
Sumber : [http://www.tpub.com/content/aviationandaccessories/TM-43-0106/css/TM-43-0106\\_295.htm](http://www.tpub.com/content/aviationandaccessories/TM-43-0106/css/TM-43-0106_295.htm)

**2. 6. 3 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekerasan.**

Kekerasan suatu material logam dipengaruhi terutama oleh kadar karbonnya. Proses heat treatment yang dilakukan juga mempengaruhi kekerasan yang terjadi

**1. Kadar karbon.**

Semakin tinggi kadar karbon, maka logam akan semakin keras, tetapi rapuh. Pengaruh kadar karbon terhadap kekerasan hanya sampai 0,5-1%



Gambar 2. 9. Hubungan kekerasan dengan kadar karbon

Sumber : Hadi Pranoto, Bardji, *Teori Dasar Pengujian Logam*, 1992, hal 16



## 2. Unsur paduan.

Unsur paduan pada umumnya dapat bersenyawa dengan baja antara lain :

### a. Nikel, untuk meningkatkan :

- kekuatan dan kekerasan baja.
- ketahanan terhadap korosi.
- keuletan dan tahan gesek.

### b. Chromium, untuk :

- menambah kekerasan baja.
- membentuk karbida.
- menambah keelastisan, sehingga baik untuk pegas.

### c. Mangan, untuk :

- meningkatkan kekerasan
- meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi
- membuat bahan mengkilap.

## 3. Perlakuan panas.

*Heat Treatment* ( perlakuan panas ) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada *elektrik terance* ( tungku ) pada temperature rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air faram, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda.

Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperature sangat menentukan.

## Jenis-jenis *Heat Treatment*

### a. *Quenching*

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase mertensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

### b. *Annealing*

Proses annealing atau melunakkan baja adalah proses pemanasan baja di atas temperature kritis (  $723\text{ }^{\circ}\text{C}$  )selanjutnya dibiarkan bebrapa lama sampai temperature merata disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperature bagian luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh struktur yang diinginkan dengan menggunakan media pendingin udara.

Tujuan proses annealing :

1. Melunakkan material logam
2. Menghilangkan tegangan dalam / sisa
3. Memperbaiki butir-butir logam.

### c. *Normalizing*

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian diinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih mulus dari annealing. Prinsip dari proses normalizing adalah untuk melunakkan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak. Mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung dari kadar karbon.

#### d. *Tempering*

Proses tempering adalah pemanasan baja sampai temperature sedikit di bawah temperature kritis, kemudian didiamkan dalam tungku dan suhunya dipertahankan sampai merata selama 15 menit. Selanjutnya didinginkan dalam media pendingin. Jika kekerasan turun, maka kekuatan tarik turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini akan menghasilkan baja yang lebih lemah. Proses ini berbeda dengan annealing karena dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak, mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung oleh kadar karbon.

#### **Jenis-jenis pengerasan permukaan**

##### 1. Karburasi

Cara ini sudah lama dikenal oleh orang sejak dulu. Dalam cara ini, besi dipanaskan di atas suhu dalam lingkungan yang mengandung karbon, baik dalam bentuk padat, cair ataupun gas. Beberapa bagian dari cara kaburasi yaitu kaburasi padat, kaburasi cair dan karburasi gas.

##### 2. Karbonitiding

Adalah suatu proses pengerasan permukaan dimana baja dipanaskan di atas suhu kritis di dalam lingkungan gas dan terjadi penyerapan karbon dan nitrogen. Keuntungan karbonitiding adalah kemampuan pengerasan lapisan luar meningkat bila ditambahkan nitrogen sehingga dapat diamfaatkan baja yang relative murah ketebalan lapisan yang tahan antara 0,80 sampai 0,75 mm.

##### 3. *Cyaniding*

Adalah proses dimana terjadi absopsi karbon dan nitrogen untuk memperoleh specimen yang keras pada baja karbon rendah yang sulit dikeraskan.

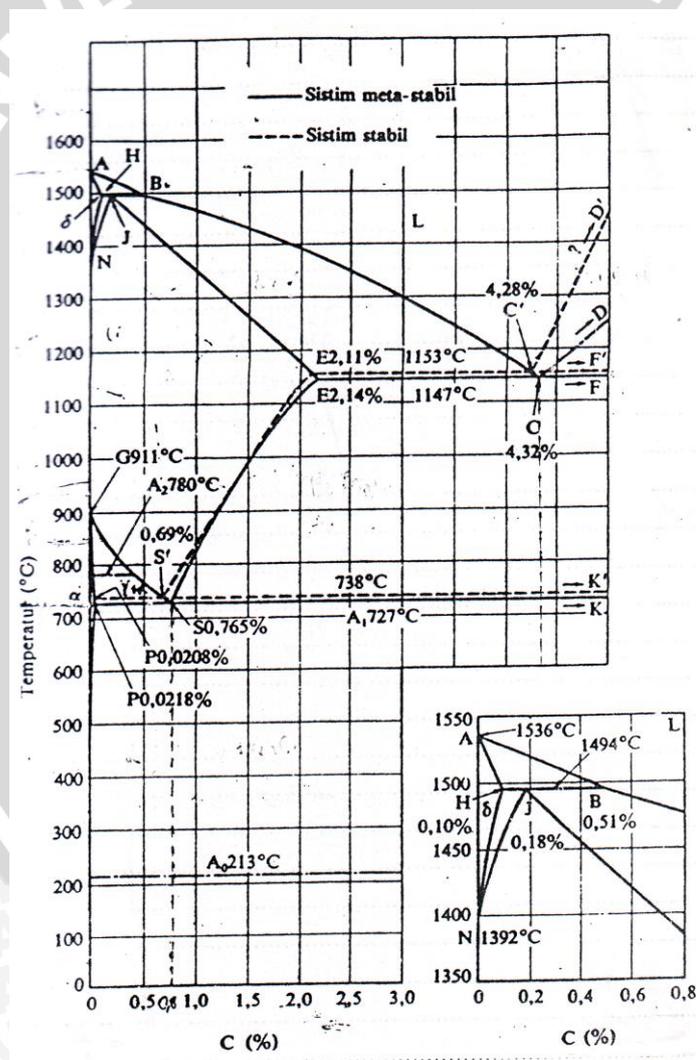
##### 4. *Nitriding*

adalah proses pengerasan permukaan yang dipanaskan sampai  $\pm 510^{\circ}\text{c}$  dalam lingkungan gas ammonia selama beberapa waktu.

## 2.7. Efek pada struktur mikro dan ukuran butiran

Pada proses pembuatannya, komposisi kimia yang dibutuhkan diperoleh ketika baja dalam bentuk fasa cair pada suhu yang tinggi. Pada saat proses pendinginan dari suhu lelehnya, baja mulai berubah menjadi fasa padat pada suhu  $1350^{\circ}$ , pada fasa ini lah berlangsung perubahan struktur mikro. Perubahan struktur mikro dapat juga dilakukan dengan jalan heat treatment.

Bila proses pendinginan dilakukan secara perlahan, maka akan dapat dicapai tiap jenis struktur mikro yang seimbang sesuai dengan komposisi kimia dan suhu baja. Perubahan struktur mikro pada berbagai suhu dan kadar karbon dapat dilihat pada Diagram Fase Keseimbangan



Gambar 2.10 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

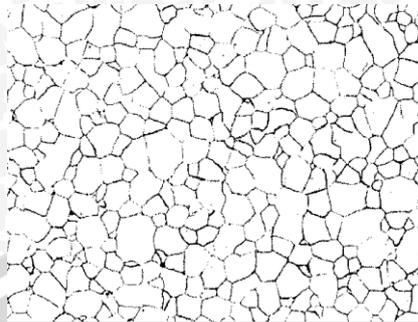
Sumber : Prof. Ir. Tata Surdia. Pengetahuan Bahan Teknik 1984. hal 70

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon, suatu jenis logam paduan besi (Fe) dan karbon (C). Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solid solution) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki alpha ferrite pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk hard intermetallic stoichiometric compound (Fe<sub>3</sub>C) yang dikenal sebagai cementite atau carbide. Selain larutan padat *alpha-ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* dan *gamma-austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, alpha-ferrite akan berubah menjadi *gamma-austenite* saat dipanaskan melewati temperature 910°C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400oC gamma-austenite akan kembali berubah menjadi *delta-ferrite*. (*Alpha* dan *Delta*) *Ferrite* dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (*Gamma*) *Austenite* memiliki struktur kristal FCC.

Penjelasan tentang fase – fase diatas adalah sebagai berikut :

### 1. *Ferrite*

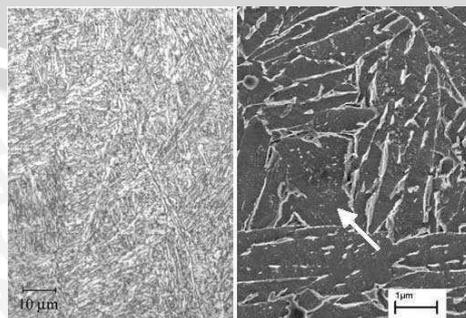
*Ferrite* adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu *ferrite* alpha atau pada temperatur tinggi, yaitu *ferrite* delta. Secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik (*magnetic*) hingga temperatur tertentu, yaitu T<sub>curie</sub>. Kelarutan karbon di dalam fase ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase *austenite*. Pada temperatur ruang, kelarutan karbon di dalam alpha-ferrite hanyalah sekitar 0,05%. Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrite. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal *ferrite* misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik *ferrite* sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fase tunggal *ferrite*, faktor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir.



Gambar 2.11 Struktur mikro *ferrite*  
Sumber : [info.lu.farmingdale.edu](http://info.lu.farmingdale.edu)

## 2. *Austenite*

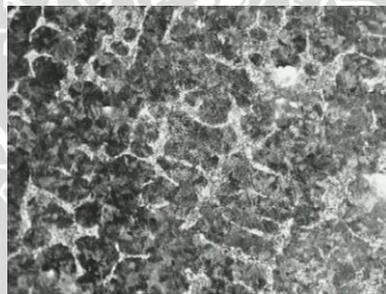
Fase *Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fase *austenite* ditemukan pada temperatur tinggi. Fase ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fase *austenite* (atau kristal FCC) dan fase *ferrite* (atau kristal BCC). Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fase pada saat pendinginan *austenite* yang berlangsung secara cepat. Selain pada temperatur tinggi, *austenite* pada sistem *Ferrous* dapat pula direkayasa agar stabil pada temperatur ruang. Elemen-elemen seperti Mangan dan Nickel misalnya dapat menurunkan laju transformasi dari *gamma-austenite* menjadi *alpha-ferrite*. Dalam jumlah tertentu elemen-elemen tersebut akan menyebabkan *austenite* stabil pada temperatur ruang. Contoh baja paduan dengan fase *austenite* pada temperatur ruang misalnya adalah Baja *Hadfield* (12% Mangan) dan Baja *Stainless 18-8* (8% Ni).



Gambar 2.12 Struktur mikro *austenite*  
Sumber : [www.china-weldnet.com](http://www.china-weldnet.com)

### 3. *Cementit*

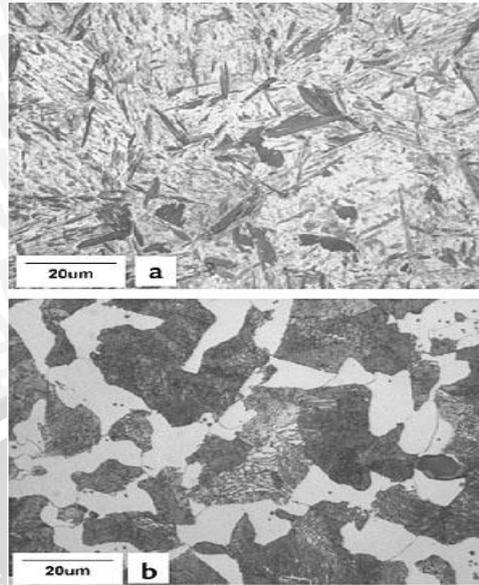
*Cementit* atau *carbide* dalam sistem paduan berbasis besi adalah *stoichiometric inter-metallic compound*  $Fe_3C$  yang keras (*hard*) dan getas (*brittle*). Nama *cementite* berasal dari kata *caementum* yang berarti stone chip atau lempengan batu. *Cementite* sebenarnya dapat terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C sehingga sering disebut sebagai fase metastabil. Namun, untuk keperluan praktis, fase ini dapat dianggap sebagai fase stabil. *Cementite* sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. *Cementite* dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (*sphere*), bentuk lembaran (berselang seling dengan *alpha-ferrite*), atau partikel-partikel carbide kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa melalui siklus pemanasan dan pendinginan. Jarak rata-rata antar karbida, dikenal sebagai lintasan *Ferrite* rata-rata (*Ferrite Mean Path*), adalah parameter penting yang dapat menjelaskan variasi sifat-sifat besi baja. Variasi sifat luluh baja diketahui berbanding lurus dengan logaritmik lintasan *ferrite* rata-rata.



Gambar 2. 13 Struktur mikro *cementit*  
Sumber : [www.wootz.se](http://www.wootz.se)

### 4. *Pearlit*

*Pearlit* adalah suatu campuran lamellar dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, di mana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutectoid*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* atau *carbide* dalam bentuk lamel-lamel.



Gambar 2.14 Struktur mikro pearlit  
 Sumber : www.industrialheating.com

Untuk lebih jelasnya bisa kita lihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Daftar fase dan keterangannya

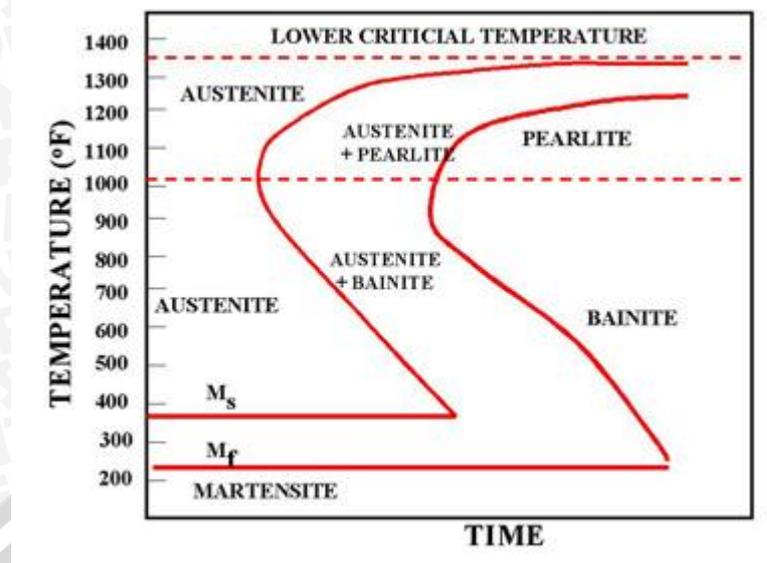
struktur	Definisi	Kondisi pembentukan	Stabil pada suhu °C	Ciri-ciri fisik	Brinell hardness number, H <sub>B</sub>
Austenite	Larutan padat antara karbon dan unsur lain pada besi gamma. Kandungan karbon hingga 2%	Pemanasan di atas temperature kritis	Di atas AC <sub>J</sub> , AC <sub>m</sub> dan AC <sub>1</sub>	Lunak non magnetic dapat ditempa, tetapi kurang ulet. Tahan listrik tegangan tinggi.	170-220
Ferrite	Larutan padat antara karbon dan unsur lain pada besi alpha. Kandungan karbon hingga 0,04%	Pendinginan lambat struktur austenite pada baja type eutectoid	Di bawah AC <sub>3</sub>	Lunak sangat mudah ditempa, magnetic	60-100
Cementite	Kombinasi zat kimia antara besi dan karbon. Dari karbida Fe <sub>4</sub> C mengandung 6,67% karbon.	Pendingin lambat pada unsur austenite		Keras rapuh. Bersifat magnetic sampai pada 210°C dan di atas 210°C non-magnetik	820
Pearlite	Campuran antara cementit dan ferrite	Terbentuk dari dekomposisi austenite	Di bawah 723	Lebih keras dan kuat dari ferrite tapi lebih ulet, magnetic.	160-210

Martensite	Larutan padat antara karbon dan unsur lain pada distorsi berkisi.	Terbentuk pada pendinginan yang sangat constant pada austenite di atas suhu kritis	Dibawah 150  Kurang lebih 400	Rapuh, keras, kekerasan tergantung pada kandungan karbon. Konduktivitas magnetik, panas dan listrik rendah.	650-700
Aercular trostite (bainite)	Campuran yang tersebar antara ferrite dan karbida.	Terbentuk pada pemanasan marteniste pada suhu 250-400°C atau pendinginan lambat pada austenite	Hingga 500	Keras, agak ulet, magnetic	Lebih keras dari troostite
Sorbite	Campuran merata antara ferrite dan cementite	Terbentuk pada pemanasan marteniste pada suhu 250-400°C/AC1 atau pendinginan austenite yang sangat lambat.	Hingga AC1	Ulet dan kenyal. Sedikit lebih keras dan kuat dari troostite magnetic	270-320
Ledebarite	Campuran austenite yang mengandung karbon 4,3%	Terbentuk pada pembekuan pada unit dengan kandungan karbon lebih dari 2%	Di bawah 1130	Rapuh	

Sumber : Diktat Kuliah Anindito Purnowidodo. Material Teknik. Universitas Brawijaya Malang. Hal 60

#### Diagram TTT (Transformasi Isotermal)

Pendinginan *non-equilibrium* dari baja yang telah dipanaskan hingga mencapai struktur austenit dapat digambarkan dalam suatu diagram hubungan antara waktu, temperature, dan hasil akhir tranformasi austenit atau dikenal dengan diagram TTT. Diagram ini secara umum dapat memberikan informasi mengenai permulaan dan akhir dari proses tranformasi akibat pendinginan waktu kecepatan pendinginan atau jangkauan waktu tertentu, diagram TTT juga menunjukkan besar prosentase transformasi yang dicapai dari austenit pada temperature tertentu.



Gambar : 2.15 Kurva pendinginan diagram TTT

Sumber : Diktat Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin UB

Gambar di atas menunjukkan daerah kiri dari kurva transformasi menunjukkan daerah austenit. Austenit stabil pada temperature diatas LCT namun tidak stabil jika berada dibawah temperature LCT. Kurva sebelah kiri menandai awal transformasi dan sebelah kanan menandai akhir dari transformasi. Daerah diantara kurva kiri dan kanan manandai transformasi dari austenit menjadi struktur kristal yang berbeda-beda. (transformasi austenit menjadi pearlite, austenit menjadi martensit, austenit menjadi bainit)

Ketika austenit didinginkan secara lambat sampai pada temperature bawah / LCT (*Lower Critical Temperature*), struktur yang terbentuk adalah Pearlite. Akibat dari laju pendinginan yang meningkat, maka temperature transformasi pearlit akan lebih rendah. Mikrostruktur material berubah secara signifikan akibat peningkatan laju pendinginan. Melalui sebuah pengujian pemanasan dan pendinginan kita dapat mencatat transformasi dari austenit. Urutan tingkat laju pendinginan dari pendinginan lambat hingga pendinginan cepat adalah sebagai berikut, pendinginan dapur, pendinginan udara, *oil quenching*, *liquid salts quenching*, *water quenching* dan *brine quenching*.

## 2.8 Hipotesa

Dengan semakin besarnya kuat arus maka akan terjadi peningkatan temperatur pengelasan yang mempengaruhi tingkat kekerasan pada spesimen.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah *True Experimental Research* yang bertujuan untuk mengetahui dan memperoleh data pengaruh kuat arus terhadap tingkat kekerasan.

#### 3.2 Variabel Penelitian

##### 3.2.1 Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Besar variabel bebas diubah-ubah atau konstan untuk mendapat hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.

Variabel bebas yang digunakan adalah :

- Kuat arus yang digunakan selama proses pengelasan yaitu sebesar 100A, 110 A, 120A, 130 A, 140 A

Disesuaikan dengan besar arus yang biasa digunakan pada pengelasan *TIG* untuk baja tahan karat yaitu 70A-120A (Smith, Dave, 1984 : 341), dengan membandingkan arus diatas standar (130A, 140A)

##### 3.2.2 Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas

Variabel terikatnya yaitu :

- Tingkat kekerasan sambungan las

##### 3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya dikonstankan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah yaitu : dimensi benda kerja, jenis dan dimensi elektroda, jarak antar ujung elektroda dengan benda kerja, jenis dan laju aliran pelindung, tegangan busur listrik, dan kecepatan pengelasan.

#### 3.3 Alat dan bahan penelitian

##### 3.3.1 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin las TIG

Merk : PANA TIG WP 300

*Setting Range* : 8A/20 V – 400A/36 V

Efisiensi : 74 %

Daya input : 9120 watt.

Berat : 195 kg

Dimensi : 1310/765/705

2. Mesin Kekerasan ( Brinnel Test Machine )

Merk : Henri Hauser S. A

Buatan : Biene ( Swiss )

Ball diameter : 10 mm dari 30 – 200 BHN

Tegangan : 220V

Frekwensi : 50 Hz.

3. *Sentrifugal sand paper machine*

4. Mikroskop Logam

### 3.3.2 Bahan yang digunakan

Baja tahan karat Austenit AISI 304

### 3.4 Tempat penelitian

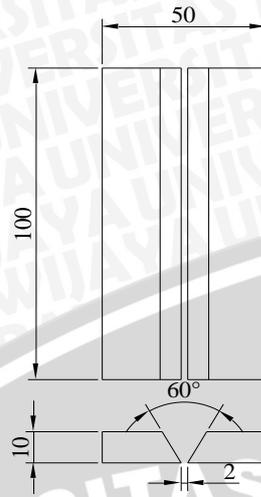
Tempat yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut :

- Departemen Pengelasan VEDC sebagai tempat dilakukannya pengelasan
- Departemen Pengerjaan Logam VEDC sebagai tempat pembuatan spesimen uji kekerasan
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sebagai tempat dilakukannya pengujian kekerasan.

### 3.5 Prosedur penelitian

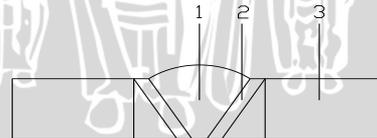
Langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.
- 2) Pembuatan benda kerja, material dipotong dengan dimensi 100 mm x 50 mm menggunakan kampuh V



Gambar 3.1: Dimensi benda kerja las

- 3) Proses pengelasan dimulai dengan menggunakan arus 100, 110, 120, 130, 140 Ampere
- 4) Membagi tiap spesimen menjadi 3 bagian.
- 5) Menghaluskan permukaan benda kerja hingga mengkilap
- 6) Meneteskan cairan etsa ( Gliserin 50%, Hidroflorid 30%, Nitric Acid 20%)
- 7) Mengambil foto mikro salah satu benda kerja tiap variasi



Gambar 3.2 Spesimen uji kekerasan

Keterangan Lokasi pengujian :

- 1 : Logam las
- 2 : Daerah HAZ
- 3 : Logam Induk

- 8) Dilakukan pengujian kekerasan untuk tiap-tiap spesimen.
- 9) Menganalisa data tingkat kekerasan yang diperoleh dari pengujian.

### 3.6 Rancangan penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari pengaruh dari suatu faktor yaitu pengaruh kuat arus terhadap tingkat kekerasan sambungan las baja AISI 304 .

#### 3.6.1 Analisa statistik

Analisa statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis varian satu arah, yaitu analisis yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi kuat arus pada pengelasan TIG terhadap tingkat kekerasan sambungan las baja AISI 304.

Tingkat kekerasan rata-rata dari spesimen hasil pengelasan dianggap  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$  maka hipotesis penelitian ini dapat ditulis dengan :

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$  ( tidak ada pengaruh nyata dari variasi besar arus pengelasan terhadap tingkat kekerasan )

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2, \neq \mu_3, \neq \mu_4, \neq \mu_5$  ( ada pengaruh nyata dari variasi kuat arus pengelasan terhadap tingkat kekerasan )

Semua kondisi perlakuan dianggap sama, sehingga perhitungan untuk analisa variannya dengan K percobaan dengan anggapan bahwa hasil pengamatan dari 1 sampai ke n dianggap heterogen. Berdasarkan data-data tersebut dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data rancangan penelitian

Perulangan	Kuat Arus (A)				
	100A	110A	120A	130A	140A
1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{14}$	$Y_{15}$
2	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{24}$	$Y_{25}$
3	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	$Y_{34}$	$Y_{35}$
Jumlah	$\sum Y_1$	$\sum Y_2$	$\sum Y_3$	$\sum Y_4$	$\sum Y_5$
Nilai rata-rata	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$

Ket : 1, 2, 3 : ulangan

$Y_{ij}$  : Tingkat kekerasan dari material pengulangan ke i besar arus j

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam analisis ini adalah :

➤ Kekerasan rata-rata

$$\bar{y}_j = \frac{\sum y_{ij}}{n}$$

- Standar deviasi ( $\alpha$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{n-1}}$$

### 3.6.2 Analisis varian satu arah

Dengan menggunakan analisa varian satu arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh kuat arus pada pengelasan TIG terhadap tingkat kekerasan sambungan las baja AISI 304.

Rumus-rumus yang digunakan dalam varian satu arah adalah sebagai berikut :

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$$

- Jumlah seluruh kuadrat perlakuan

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (Y_{ij}^2)$$

- Faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} \right]^2}{\sum ni}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (y_{ij}^2) - FK$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{ni} - FK$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{K-1}$$



- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{N - k}$$

- Nilai F<sub>hitung</sub>

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

Tabel 3.2 Tabel analisis varian satu arah

Sumber Varian	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat rata-rata	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Perlakuan (Kategori)	k-1	$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{ni} - FK$	$KTP = \frac{JKP}{k-1}$	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Galat	n-k	$JKG = JKT - JKP$	$KTG = \frac{JKG}{N-k}$		
Total	n-1	$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (Y_{ij})^2 - FK$			

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan F<sub>hitung</sub> dengan F<sub>tabel</sub>

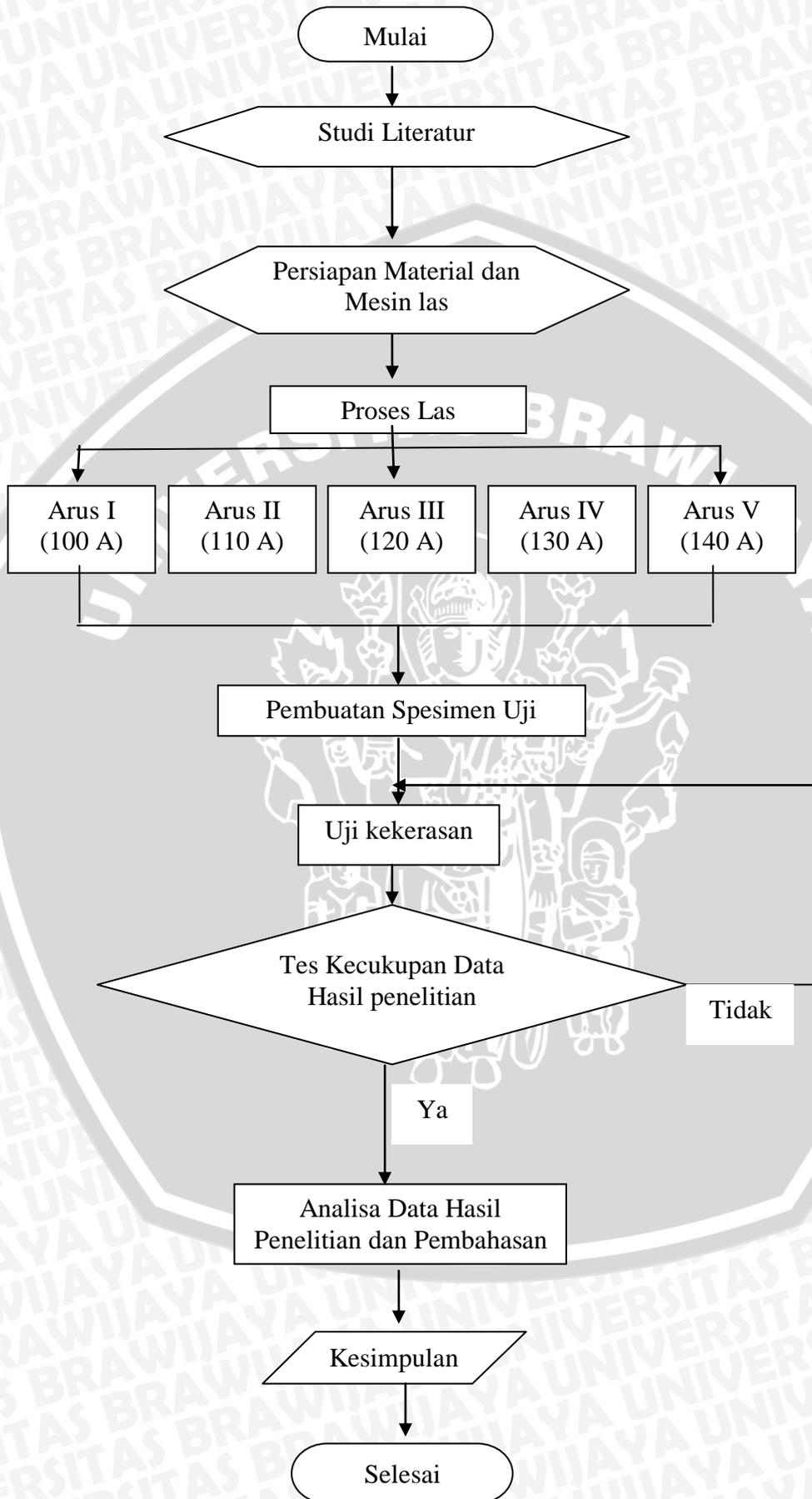
1. Jika F<sub>hitung</sub> > F ( α, k, db ) berarti Ho ditolak

Ini menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antar perlakuan

2. Jika F<sub>hitung</sub> < F ( α, k, db ) berarti Ho diterima

Ini menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antar perlakuan

### 3.7 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Dari data hasil penelitian yang telah dilakukan didapat data kekerasan hasil las TIG dengan variasi arus 100A, 110A, 120A, 130A dan 140A

Setelah spesimen mendapat perlakuan pengelasan, dilakukan proses pengujian kekerasan. Untuk memberikan tingkat ketelitian pengujian dilakukan pengambilan data sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata-ratanya.

Tabel 4.1 Data kekerasan logam

Kekerasan (BHN)	LI	Arus (A)									
		100		110		120		130		140	
		LL	HZ	LL	HZ	LL	HZ	LL	HZ	LL	HZ
1	230	260	240	250	242	255	243	260	244	270	246
2	245	235	240	252	241	240	242	270	243	270	244
3	250	250	241	248	241	255	241	265	240	260	243
$\Sigma$	725	745	721	750	724	750	726	795	727	800	733
Rata-rata	241,6	248,3	240,3	250	241,3	250	242	265	242,3	266,6	244,3

Ket : 1, 2, 3 : ulangan

LI : Logam Induk

LL : Logam Las

HZ : Daerah HAZ ( *Heat Affected Zone* )

## 4.2 Pengolahan Data

### 4.2.1. Uji Kecukupan Data Observasi

Untuk mempermudah uji kecukupan data observasi, maka data hasil uji kekerasan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tabel uji kecukupan data observasi kekerasan LL

No sampel ( $n_i$ )	Data observasi ( $x_i$ )	$x_i^2$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	270	72900	14	196
2	270	72900	14	196
3	260	67600	4	16
4	250	62500	-6	36
5	252	63504	-4	16
6	248	61504	-8	64
7	260	67600	4	16
8	270	72900	14	196
9	265	70225	9	81
10	255	65025	-1	1
11	240	57600	-16	256
12	255	65025	-1	1
13	260	67600	4	16
14	235	55225	-21	441
15	250	62500	-6	36
Total	3840	984608	0	1568

## 1. Median (rata-rata) sampel

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} = \frac{3840}{15} = 256$$

2. Variasi sampel ( $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1} = \frac{1568}{14} = 112$$

## 3. Standart deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{1568}{14}} = 10,58$$

## 4. Tingkat ketelitian data (DA)

$$\begin{aligned} DA &= \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \\ &= \frac{10,58}{256} \times 100\% \\ &= 4,1\% \end{aligned}$$

## 5. Tingkat keyakinan (CL)

$$\begin{aligned} CL &= 100\% - DA \\ &= 100\% - 4,1\% \\ &= 95,9\% \end{aligned}$$

## 6. Batas kontrol :

## a. Batas kontrol atas UCL :

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x} + k \sigma \\ &= 256 + 1,96 \cdot 10,58 \\ &= 276,73 \end{aligned}$$

## b. Batas kontrol bawah LCL :

$$\begin{aligned} LCL &= \bar{x} - k \sigma \\ &= 256 - 1,96 \cdot 10,58 \\ &= 235,26 \end{aligned}$$



## 7. Tingkat ketelitian ( S )

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{DA}{100} \\
 &= \frac{4,1}{100} \\
 &= 0,041
 \end{aligned}$$

## 8. Kecukupan data observasi ( N' )

$$\begin{aligned}
 N' &= \left[ \frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n x_i \right]^2}}{\sum_{i=1}^n x_i}} \right]^2 \\
 &= \left[ \frac{\frac{1,96}{0,041} \sqrt{15 \times 984608 - 3840^2}}{3840} \right]^2 \\
 &= 3,61 \\
 &\approx 3
 \end{aligned}$$

Nilai N' = N, yang mana nilai N = 3 sehingga data yang diambil dalam percobaan ini telah memenuhi nilai minimum kecukupan data observasi.

Tabel 4.3 Tabel uji kecukupan data observasi kekerasan HAZ

No sampel ( $n_i$ )	Data observasi ( $x_i$ )	$x_i^2$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	240	57600	-2	4
2	240	57600	-2	4
3	241	58081	-1	1
4	242	58564	0	0
5	241	58081	-1	1
6	241	58081	-1	1
7	243	59049	1	1
8	242	58564	0	0
9	241	58081	-1	1
10	244	59536	2	4
11	243	59049	1	1
12	240	57600	-2	4
13	246	60516	4	16
14	244	59536	2	4
15	243	59049	1	1
Total	3631	878987	1	43

1. Median (rata-rata) sampel

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} = \frac{3631}{15} = 242$$

2. Variasi sampel ( $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} = \frac{43}{14} = 3,07142$$

3. Standart deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{43}{14}} = 1,75254$$

## 4. Tingkat ketelitian data (DA)

$$\begin{aligned} DA &= \frac{\sigma}{x} \times 100\% \\ &= \frac{1,75254}{242} \times 100\% \\ &= 0,72399\% \end{aligned}$$

## 5. Tingkat keyakinan (CL)

$$\begin{aligned} CL &= 100\% - DA \\ &= 100\% - 0,72399\% \\ &= 99,2760\% \end{aligned}$$

## 6. Batas kontrol :

## a. Batas kontrol atas UCL :

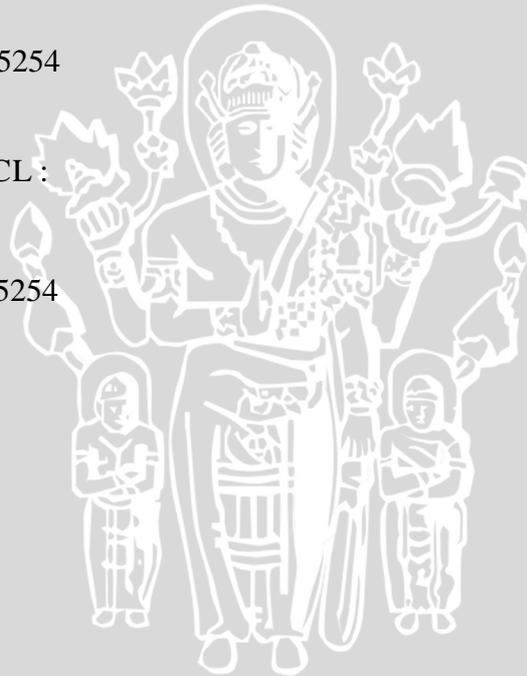
$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x} + k \sigma \\ &= 242 + 1,96 \cdot 1,75254 \\ &= 245,435 \end{aligned}$$

## b. Batas kontrol bawah LCL :

$$\begin{aligned} LCL &= \bar{x} - k \sigma \\ &= 242 - 1,96 \cdot 1,75254 \\ &= 238,565 \end{aligned}$$

## 7. Tingkat ketelitian ( S )

$$\begin{aligned} S &= \frac{DA}{100} \\ &= \frac{0,7}{100} \\ &= 0,00724 \end{aligned}$$



8. Kecukupan data observasi (  $N'$  )

$$N' = \left[ \frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n x_i \right]^2}}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{\frac{1,96}{0,00724} \sqrt{15 \times 878987 - 3631^2}}{3631} \right]^2$$

$$= 3,5$$

$$\approx 3$$

Nilai  $N' = N$ , yang mana nilai  $N = 3$  sehingga data yang diambil dalam percobaan ini telah memenuhi nilai minimum kecukupan data observasi.

## 4.2.2 Analisa statistik

Analisa varian yang digunakan adalah analisis varian satu arah :

- Analisa varian untuk kekerasan LL.

## 1. Faktor koreksi ( FK )

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij} \right]^2}{nk} = \frac{840^2}{3 \times 5} = 983040$$

## 2. Jumlah kuadrat perlakuan ( JKP )

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK$$

$$= \left[ \frac{745^2}{3} + \frac{750^2}{3} + \frac{795^2}{3} + \frac{750^2}{3} + \frac{800^2}{3} \right] - 983040$$

$$= 984016 - 983040$$

$$= 976$$

3. Jumlah kuadrat total ( JKT )

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (y_{ij}^2) - FK \\ &= 984608 - 983040 \\ &= 1568 \end{aligned}$$

4. Jumlah kuadrat galat ( JKG )

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 1568 - 976 \\ &= 592 \end{aligned}$$

5. Kuadrat tengah perlakuan ( KTP )

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\ &= \frac{976}{5-1} \\ &= 244 \end{aligned}$$

6. Kuadrat tengah galat ( KTG )

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{JKG}{N-k} \\ &= \frac{592}{15-5} = 59,2 \end{aligned}$$

7.  $F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{244}{59,2} = 4,12$

Hasil perhitungan diatas sebagai berikut :

Tabel 4.4 Analisa varian data pengujian kekerasan LL

Jumlah varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Perlakuan	4	976	244	4,12	3,48
Galat	10	592	59,2		
Total	14	1568			

$F_{hitung} = F_{(4;10)} > F_{tabel} = F_{(0,05;10)}$  berarti terdapat perbedaan yang berarti antar perlakuan.



- Analisa varian berdasarkan tabel hasil data kekerasan HAZ :

1. Faktor koreksi ( FK )

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij} \right]^2}{nk} = \frac{1711^2}{3 \times 5} = 878944,1$$

2. Jumlah kuadrat perlakuan ( JKP )

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n y_{ij} \right]^2}{n} - FK \\ &= \left[ \frac{721^2}{3} + \frac{724^2}{3} + \frac{726^2}{3} + \frac{727^2}{3} + \frac{733^2}{3} \right] - 878944,1 \\ &= 878970 - 878944,1 \\ &= 26,26667 \end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat total ( JKT )

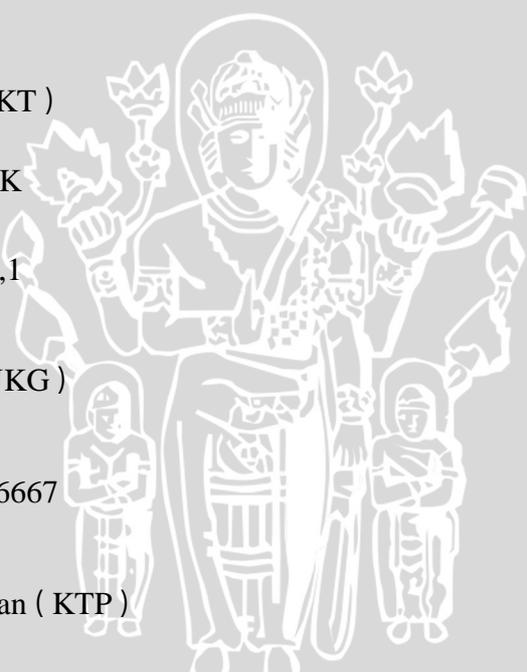
$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (y_{ij}^2) - FK \\ &= 878987 - 878944,1 \\ &= 42,93333 \end{aligned}$$

4. Jumlah kuadrat galat ( JKG )

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 42,93333 - 26,26667 \\ &= 16,66667 \end{aligned}$$

5. Kuadrat tengah perlakuan ( KTP )

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\ &= \frac{26,26667}{5-1} \\ &= 6,56667 \end{aligned}$$



6. Kuadrat tengah galat ( KTG )

$$\begin{aligned} \text{KTG} &= \frac{JKG}{N-k} \\ &= \frac{16,6667}{15-5} \\ &= 1,6667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7. F_{\text{hitung}} &= \frac{KTP}{\text{KTG}} \\ &= \frac{6,56667}{1,6667} \\ &= 3,94 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas sebagai berikut :

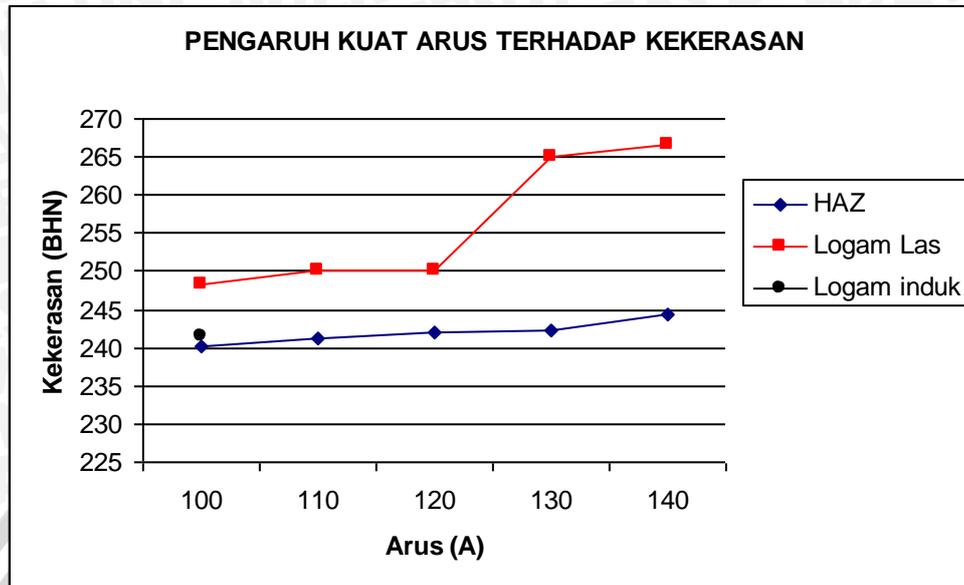
Tabel 4.5 Analisa varian data pengujian kekerasan daerah HAZ

Jumlah varian	dB	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Perlakuan	4	26,26667	6,56667	3,94	3,48
Galat	10	16,6667	1,6667		
Total	14	42,93333			

$F_{\text{hitung}} = F_{(4;10)} > F_{\text{tabel}} = F_{(0,05;10)}$  berarti terdapat perbedaan yang berarti antar perlakuan

### 4. 3 Pembahasan

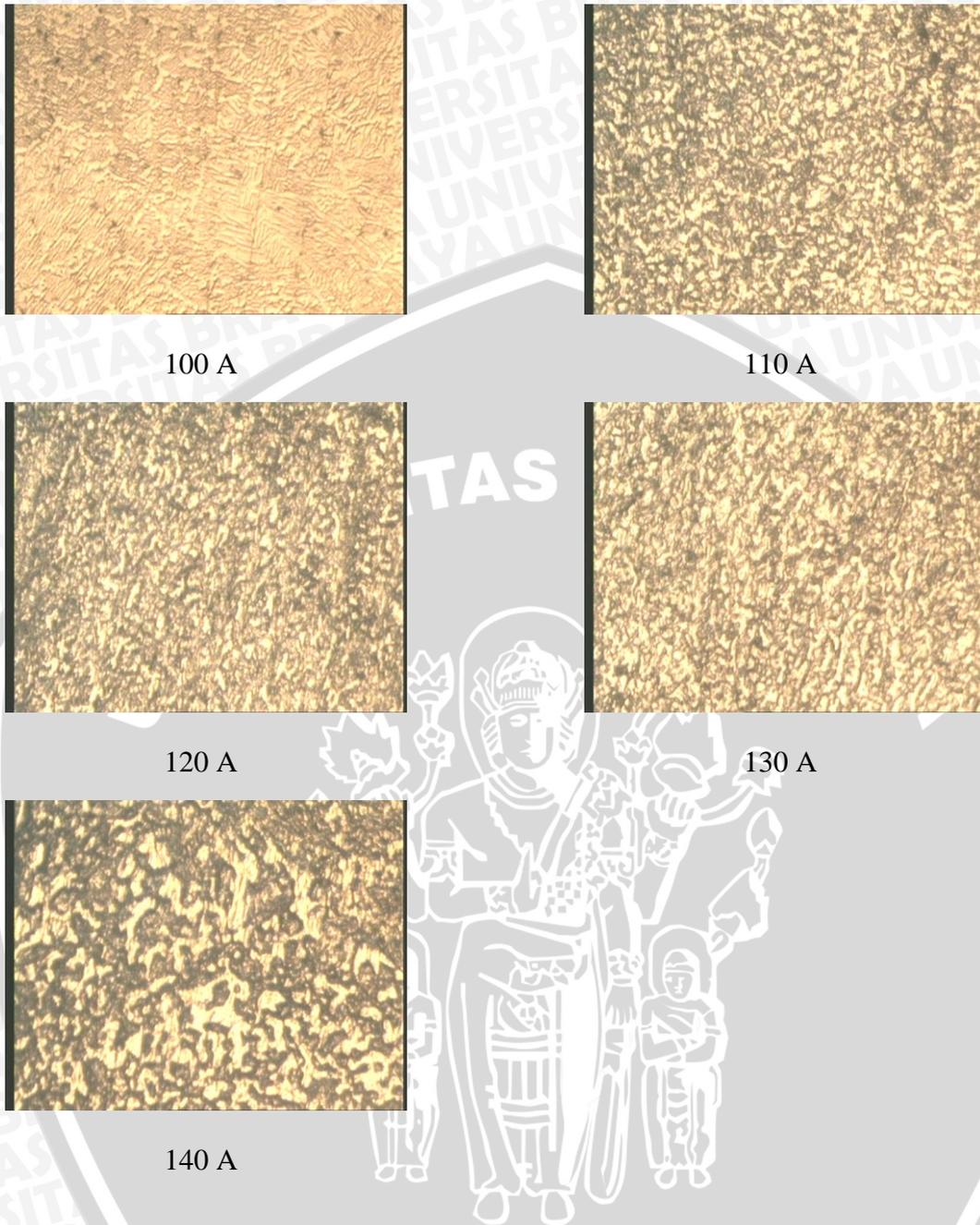
#### 4. 3. 1 Analisa Grafik Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekerasan



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Kuat arus Terhadap Kekerasan

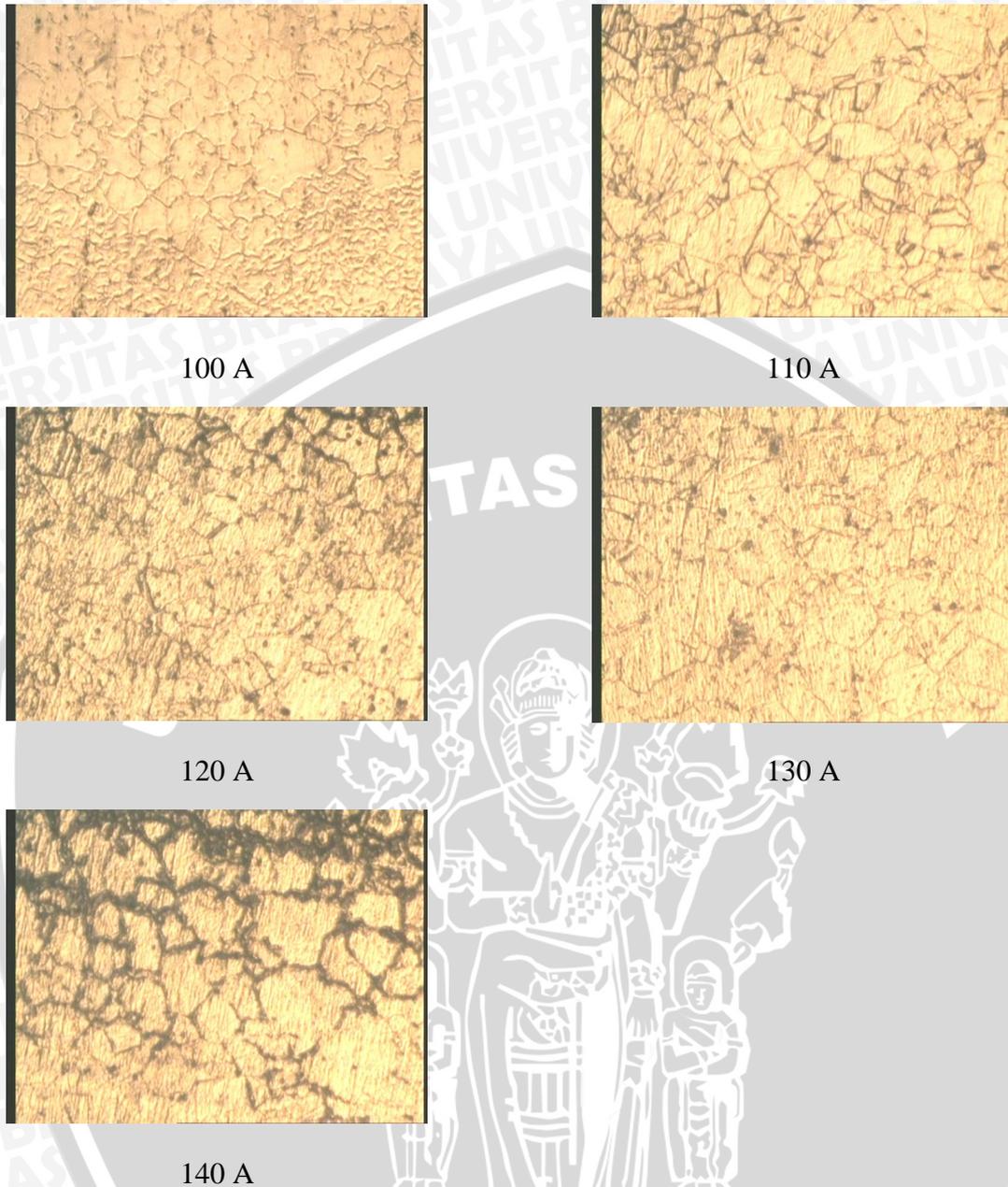
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan untuk logam las dengan arus 100 A nilai kekerasannya sebesar 248,3 BHN, 110 A sebesar 250 BHN, 120 A sebesar 250 BHN, 130 A sebesar 265 BHN, 140 A sebesar 266,6 BHN. Untuk daerah HAZ pada arus 100 A nilai kekerasannya sebesar 240,3 BHN, 110 A sebesar 241,3 BHN, 120 A sebesar 242 BHN, 130 A sebesar 242,3 BHN, 140 A sebesar 244,3 BHN. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai kekerasan mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan kuat arus.

Dari grafik yang dianalisa terlihat bahwa kekerasan pada logam las selalu lebih tinggi dari HAZ dan logam induk. Hal ini dikarenakan logam las merupakan daerah sambungan las yang paling besar menerima panas dibandingkan dengan daerah HAZ dan logam induk. Demikian pula dengan pendinginan pada daerah logam las lebih cepat dibandingkan dengan daerah HAZ dan logam induk, sehingga timbul rekristalisasi dan perubahan besar butir.



Gambar 4.2 Foto mikro daerah logam las (pembesaran 450x)

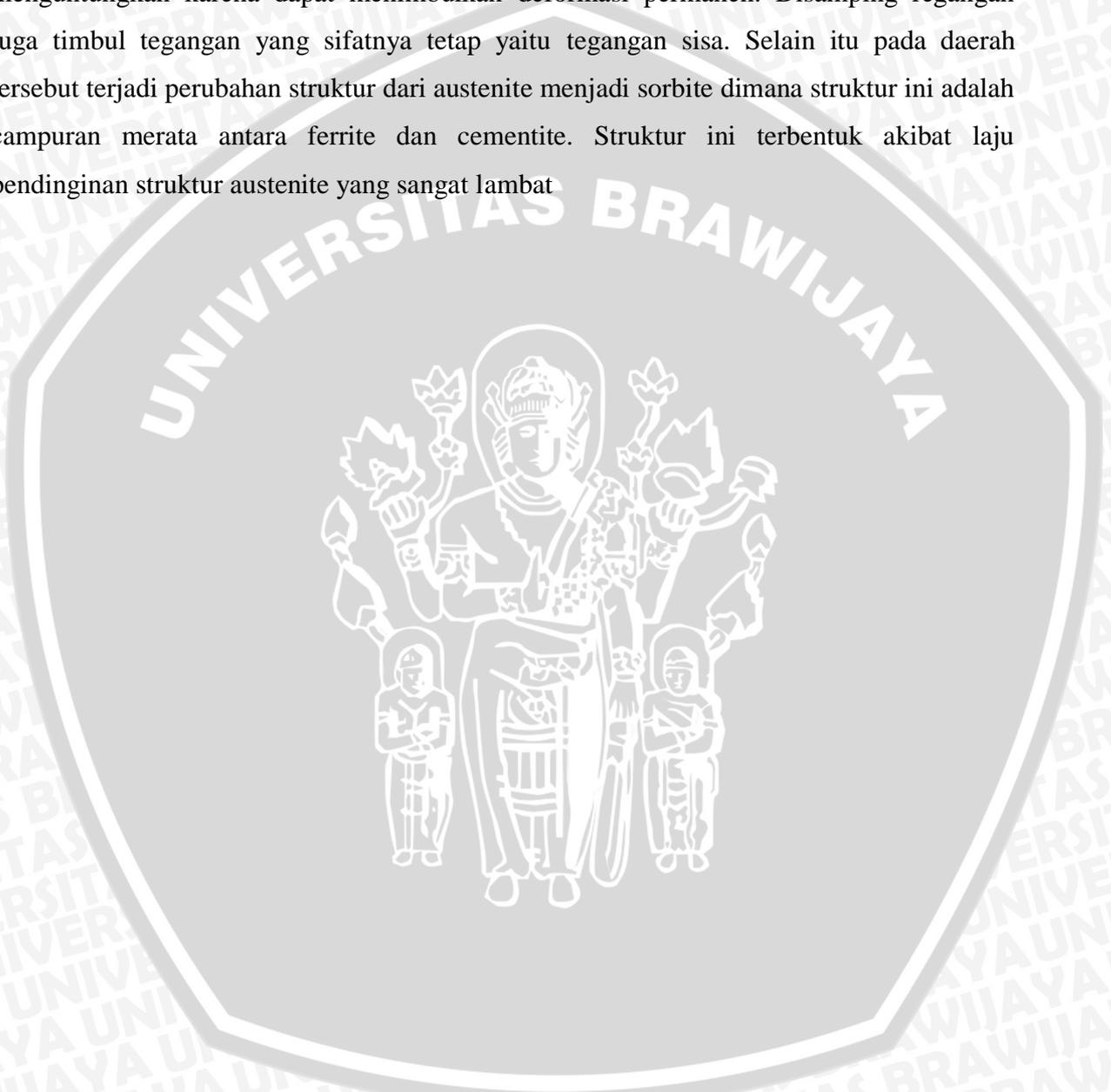
Dari gambar di atas dapat terlihat struktur mikro yang menyusun material uji terdiri dari *ferrit* yang berwarna terang dan *pearlit* yang berwarna gelap. Pada gambar struktur di atas terlihat bahwa ukuran butir yang menyusun material pasca pengelasan terlihat hampir sama namun pada arus 140 A terlihat bahwa ukuran butir sedikit mengalami perubahan menjadi lebih besar dan kasar, . Sehingga dapat diketahui bahwa peningkatan kekerasan pada material baja AISI 304 setelah pengelasan hampir sama.



Gambar 4.3 Foto mikro daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) (pembesaran 450x)

Dari gambar di atas dapat terlihat struktur mikro yang menyusun material uji terdiri dari *ferrit* yang berwarna terang dan *pearlit* yang berwarna gelap. Pada gambar struktur di atas terlihat bahwa ukuran butir yang menyusun material pasca pengelasan terlihat hampir sama namun pada arus 140 A terlihat bahwa ukuran butir mengalami perubahan menjadi lebih besar dan kasar sehingga struktur mikro terlihat lebih jelas. Hal ini disebabkan akibat panas yang dihasilkan tinggi dimana daerah HAZ logam dasar yang selama pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat

Pada grafik juga terlihat bahwa pada arus 130 A terjadi peningkatan kekerasan yang tinggi terutama pada daerah logam las, ini disebabkan karena pada arus tersebut panas yang dihasilkan sangat tinggi. Karena bagian yang dilas akan mengalami pengembangan termal sedangkan bagian yang dingin tidak berubah, hal ini menimbulkan adanya halangan pengembangan yang menyebabkan peregangan. dan tentu ini kurang menguntungkan karena dapat menimbulkan deformasi permanen. Disamping regangan juga timbul tegangan yang sifatnya tetap yaitu tegangan sisa. Selain itu pada daerah tersebut terjadi perubahan struktur dari austenite menjadi sorbite dimana struktur ini adalah campuran merata antara ferrite dan cementite. Struktur ini terbentuk akibat laju pendinginan struktur austenite yang sangat lambat



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekerasan pada baja *Stainless Steel* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Perubahan kuat arus listrik pengelasan mempengaruhi kekerasan pada daerah logam las. Hal ini terbukti dengan semakin meningkatnya kuat arus maka tingkat kekerasan pada logam las juga naik
- Perubahan kuat arus listrik pengelasan juga mempengaruhi kekerasan pada daerah HAZ ( *Heat Affected Zone* ). Hal terbukti dengan semakin meningkatnya kuat arus maka kekerasan pada HAZ juga naik

#### 5.2 Saran

Adanya penelitian lebih lanjut tentang parameter – parameter yang lain, serta uji kekuatan mekanis yang lain, selain itu juga perlu dikaji lebih lanjut tentang cacat yang terjadi pada *Stainless Steel* paska pengelasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Burch, WL. 1968. *Fundamental of Welding*. American Welding Society
- Carry, Howard B. 1989. *Modern Welding Technology*, New Jersey : Prentice – Hall
- De Garmo, Paul. E. Temple Black, J. Ronald, A. Kohser. 1984. *Material and Processes In Manufacturing*. Seventh Edition. New York : Macmillan Publishing
- Diktat Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin UB
- Hadi Pranoto, Bardji. 1992: *Teori Dasar Pengujian Logam*; Laboratorium Pengujian Bahan jurusan mesin – fakultas teknik Universitas Brawijaya; Malang
- Hariadi, G, D. 2005. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460. *Jurnal Fakultas Teknik Mesin UNDIP*. Volume 7(3) : 1-10
- [http://doddi\\_y.staff.gunadarma.ac.id](http://doddi_y.staff.gunadarma.ac.id)
- <http://www.instron.us>
- <http://www.tpub.com>
- [Info.lu.farmingdale.edu](http://www.farmingdale.edu)
- Modul proses las gas tungsten Universitas Negeri Yogyakarta, 2004
- Purnowidodo, Anindito. : *Diktat Kuliah Material Teknik*; Univeritas Brawijaya, Malang
- Ronald E, Walpole. 1995. *Pengantar Statistika*, Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Sabo, Richard S. 1973. *The Procedure Hand Book of Arc Welding*. Ohio : The Lincoln Electric Company
- Saptono Rahmat. 2008. *Modul Pengetahuan Bahan Bab Ketiga*, Jakarta : Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI
- Sihombing, E. 2002. Penentuan Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las Baja Karbon Rendah Akibat Perlakuan Las Titik. *Jurnal Kontribusi Fisika Indonesia* (1): 1-4
- Smith, Dave. 1989. *Skills and Technology*. USA : McGraw Hill Inc
- Sugiarto. 1997: *Diktat Teknologi Pengelasan Logam*; fakultas teknik jurusan mesin Universitas Brawijaya; Malang
- Van Vlack, H. Lawrence. 1982. *Ilmu & Teknologi Bahan*, Terjemahan Sriati Djaprie Jakarta : Erlangga

Verma, ER . CL. 1976. *Strength of Materials*. New Delhi

Widarto, Sri .2003. *Petunjuk Kerja Las*, Jakarta : PT. Pradnya Paramita

Wirjosumarto, Harsono & Toshie Okumura. 1994. *Teknologi pengelasan logam*, Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

[www.china-weldnet.com](http://www.china-weldnet.com)

[www.industrialheating.com](http://www.industrialheating.com)

[www.wootz.se](http://www.wootz.se)



Lampiran 1. Alat yang digunakan



(A)



(B)



(C)



(D)

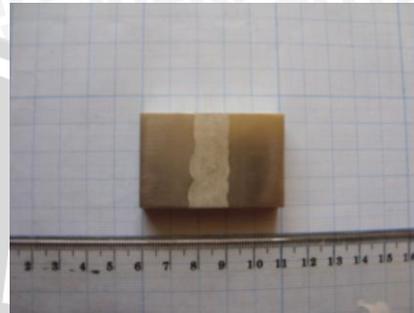
Keterangan :

- A. Mesin las PANA TIG WP 300 yang digunakan
- B. Mesin uji kekerasan ( *Brinell Test Machine* )
- C. *Sentrifugal sand paper machine*
- D. Mikroskop Logam

Lampiran 2. Benda uji setelah mengalami pengelasan, penghalusan



(A)



(B)



(C)



(D)

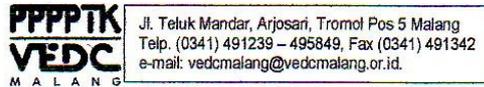


(E)

Keterangan :

- A. Besar Arus 100 (A)
- B. Besar Arus 110 (A)
- C. Besar Arus 120 (A)
- D. Besar Arus 130 (A)
- E. Besar Arus 140 (A)

### Lampiran 3. Surat Keterangan VEDC



## SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Drs. Sukaini  
NIP : 19550620 198403 1 002  
Jabatan : Kepala Departemen Teknologi Pengerjaan Logam  
PPPPTK / VEDC Malang

menerangkan bahwa ,

Nama : Andi Hakim S.  
NIM : 0410623007  
Jabatan : Mahasiswa Teknik Mesin S-1  
Fakultas Teknik – Universitas Brawijaya Malang

Mahasiswa tersebut di atas telah melaksanakan pengelasan pada bahan *stainless steel* dengan menggunakan Las TIG pada Departemen Teknologi Pengerjaan Logam (TPL) PPPPTK/VEDC Malang, berkaitan dengan penyelesaian skripsi dengan judul “ Pengaruh Besarnya Kuat Arus Terhadap Tingkat Kekerasan Hasil Pengelasan *Stainless Steel* Dengan Las Tungsten Inert Gas “.

Demikian surat keterangan ini diberikan untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 3 November 2009  
Kepala Departemen TPL



Drs. Sukaini  
NIP. 19550620 198403 1 002

Lampiran 4. Komposisi Baja Stainless Steel 304 (Pengujian di UM)

25-Jun-2009 13:47:13

Sample results

Page 1

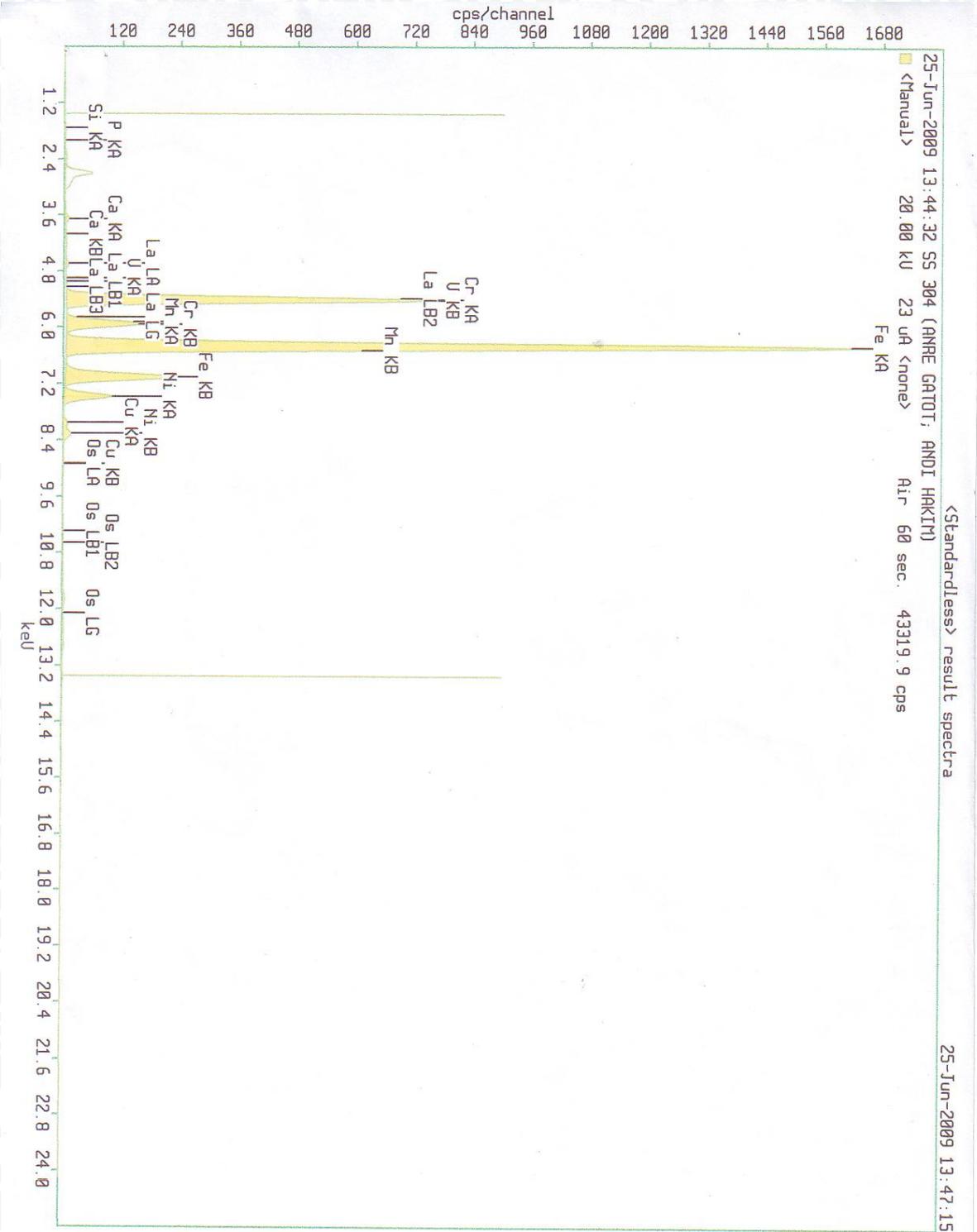
Sample ident
SS 304 (ANRE GATOT; ANDI HAKIM)

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	25-Jun-2009 13:44:32
Position	1

Compound	Si	P	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	La	Os
Conc	0.65	0.21	0.18	0.03	17.8	2.15	70.71	7.40	0.64	0.08	0.1
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

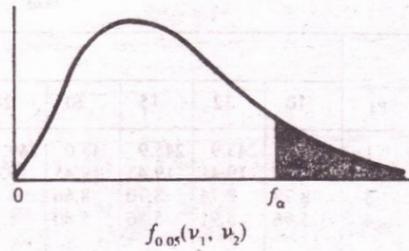
Mulyo, 29-6-2009  
Kulab. Fisika  
  
Abdulloh Fuad.

### Lampiran 5. Pengujian Komposisi Baja Stainless Steel 304 di UM (Lanjutan)



Lampiran 6. Tabel nilai kritik sebaran F

TABEL A.7  
Nilai Kritik Sebaran F



$\nu_2$	$\nu_1$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

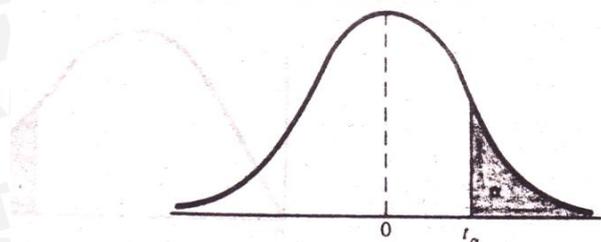
\*Direproduksi dari Tabel 18 *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. I, dengan izin dari E. S. Pearson dan Biometrika Trustees.

Tabel nilai kritik sebaran F

Sumber: Wapole, 1992: 473

Lampiran 7. Tabel nilai kritik sebaran t

TABEL A.5\*  
Nilai Kritik Sebaran t



$\nu$	$\alpha$				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

\*Tabel diambil dari Tabel IV R. A. Fisher. *Statistical Methods for Research Workers*, Oliver & Boyd Ltd., Edinburgh, dengan izin pengarang dan penerbit.

Tabel nilai kritik sebaran t

Sumber: Wapole, 1992: 471