



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KUAT ARUS DAN JARAK MANIK LAS PADA
PENGELASAN TITIK DUA DAN TIGA TUMPUK LEMBARAN
BAJA SPCC**

SKRIPSI

ACHMAD ZULFIKAR FAJAR

0806331380

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KUAT ARUS DAN JARAK MANIK LAS PADA
PENGELASAN TITIK DUA DAN TIGA TUMPUK LEMBARAN
BAJA SPCC**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ACHMAD ZULFIKAR FAJAR

0806331380

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Achmad Zulfikar Fajar

NPM : 0806331380

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Achmad Zulfikar Fajar
NPM : 0806331380
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi :

Pengaruh Kuat Arus dan Jarak Manik Las Pada Pengelasan Titik Dua dan Tiga Tumpuk Lembaran Baja SPCC

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng.Sc. ()
Penguji 1 : Dr. Ir. Winarto, M.Sc. ()
Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya, S.T, M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juli 2012

KATA PENGANTAR

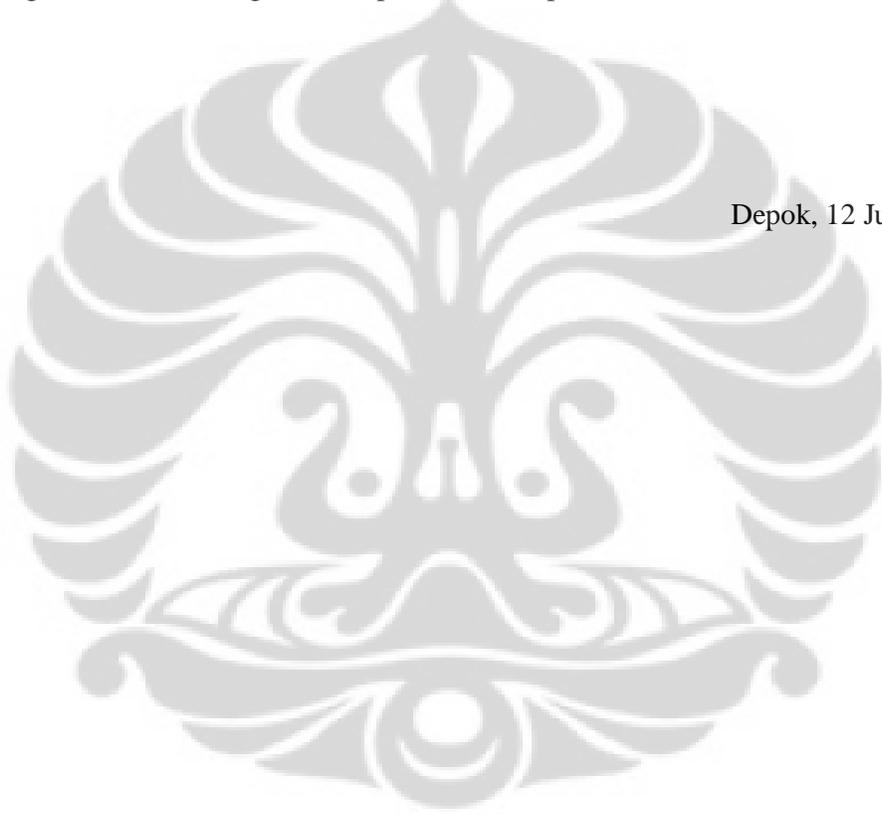
Puji dan syukur senantiasa kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan berkah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan program S1 reguler di Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, rangkaian kegiatan tugas akhir ini tidak mungkin dapat diselesaikan dengan baik. Selain memanjatkan puji serta syukur kehadiran Allah SWT, saya juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua Orang Tua, Ayah dan Ibu yang dengan setia memberikan dukungan, baik materil maupun moril sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Badrul Munir, ST, M.Eng.Sc
Selaku Penasehat Akademik (PA) sekaligus sebagai pembimbing yang selalu memberikan pengaeahan dan pemikiran kepada penulis.
3. Prof. Dr.-Ing.Bambang Suharno
Selaku Ketua Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan dosen pembimbing kerja praktek.
4. Stamping Division PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN) yang telah membantu dalam penyediaan material.
5. Seluruh Bapak-Ibu staf pengajar DMM FTUI yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menjalani kegiatan perkuliahan yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
6. Seluruh teman-teman penulis, Metalurgi UI 2008, khususnya rekan seperjuangan, Fauzi Bahanan yang telah memberikan banyak dukungan, sumbangan pemikiran dan ikut menemani penulis selama penyusunan skripsi ini
7. Seluruh anggota keluarga yang dengan tulus telah memberikan dukungan dan doa kepada saya.

8. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan penulisan karya tulis ini.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca umumnya. Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih banyak terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan dari semua pihak yang bersifat membangun untuk perbaikan skripsi ini.



Depok, 12 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Achmad Zulfikar Fajar
NPM : 0806331380
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non- exclusive Royalti – Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Kuat Arus dan Jarak Manik Las Pada Pengelasan Titik Dua dan Tiga Tumpuk Lembaran Baja SPCC

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 12 Juli 2012
Yang menyatakan



(Achmad Zulfikar Fajar)

ABSTRAK

Nama : Achmad Zulfikar Fajar
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

Pengaruh Kuat Arus dan Jarak Manik Las Pada Pengelasan Titik Dua dan Tiga Tumpuk Lembaran Baja SPCC

Baja SPCC merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pengelasan titik. Karakteristik dan sifat mekanis baja SPCC dari hasil pengelasan titik dua dan tiga lembaran yang diteliti dalam skripsi ini menggunakan parameter kuat arus 2 kA dan 4 kA dengan jarak manik las untuk setiap arus masing-masing 15, 20, dan 25 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring bertambahnya arus, maka beban tarik-geser dan nilai kekerasan juga semakin bertambah. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah manik las dengan nilai kekerasan 208 HV pada tiga lembaran dan 197 HV pada dua lembaran. Selain itu terjadi perubahan mikrostruktur pada daerah HAZ dan manik las dari struktur ferit menjadi struktur ferit-perlit dan ferit-bainit. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa beban tarik-geser optimal terjadi pada jarak nugget 20 mm pada dua lembaran dan 15 mm pada tiga lembaran.

Kata kunci :
Baja SPCC, pengelasan titik, jarak manik las, beban tarik-geser.

ABSTRACT

Name : Achmad Zulfikar Fajar
Study Program: Metallurgy and Materials Engineering
Title :

The Effect of Current and Nugget Spacing in Double and Triple Stacks of SPCC Steel Sheet using Spot Weld Process.

SPCC steel is one of the most widely used materials in the application of spot welding. This research concern about the mechanical properties and characterization of two and three stacks SPCC steel sheet using spot welding process. The welding current was 2 kA and 4 kA with nugget spacing for each current is 15, 20, and 25 mm. The results showed that with increasing current, tensile-shear load and hardness values are also increasing. The highest hardness found in the nugget area with a hardness value 208 HV for three sheets and 197 HV for two sheets. In addition, the microstructure of HAZ and nugget change from ferrite into ferrite-pearlite and ferrite-bainite structure. The results also showed that the optimum tensile-shear load occurs at nugget spacing of 20 mm for double sheet and 15 mm for the triple sheet.

Key words :
SPCC steel, spot weld, nugget spacing, tensile-shear load.

DAFTAR ISI

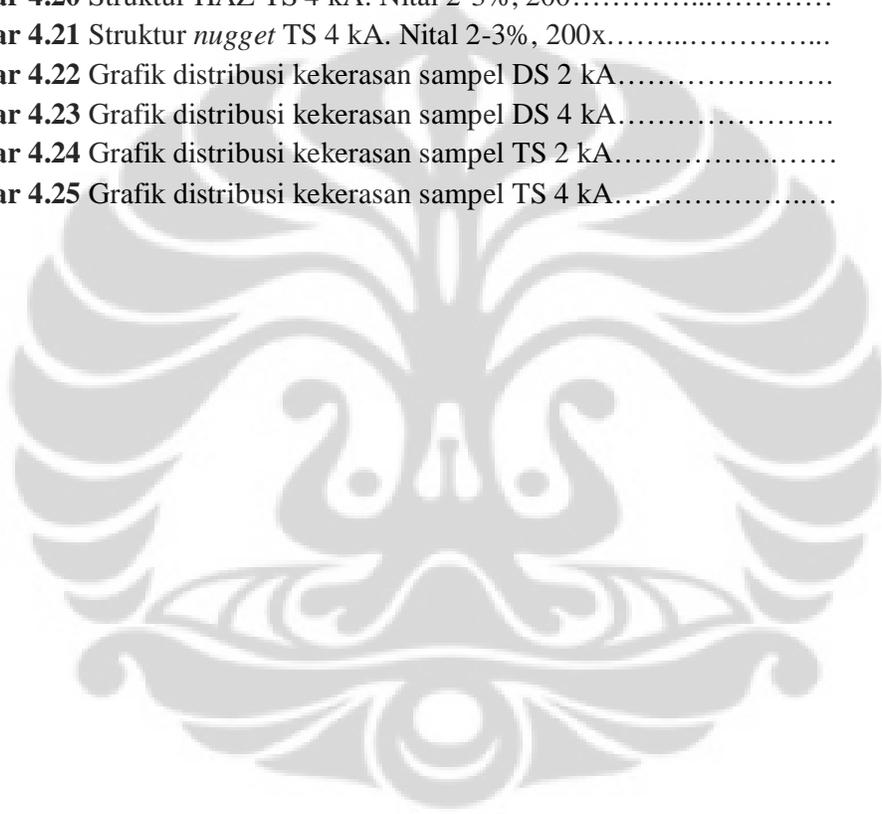
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Hipotesis.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI	6
2.1. Prinsip Las Resistansi Titik.....	6
2.1.1. Masukan Panas Pada Daerah Las.....	7
2.1.2. Periode Pengelasan Titik.....	7
2.2. Parameter Pengelasan Titik.....	9
2.2.1. Arus Listrik.....	9
2.2.2. Waktu Pengelasan.....	10
2.2.3. Resistansi Listrik.....	11
2.2.4. Gaya Tekan Elektroda.....	12
2.3. Metalurgi Las.....	14
2.3.1. Siklus Pemanasan.....	15
2.3.2. Siklus Pendinginan.....	17

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1. Persiapan Spesimen.....	24
3.2. Pengelasan Titik	24
3.3. Pengukuran Diameter Manik Las.....	26
3.4. Pengujian Tarik-Geser.....	26
3.5. Pengujian Metalografi.....	29
3.6. Pengujian Kekerasan Mikro.....	30
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1. Hasil Pengukuran Diameter Manik Las	32
4.2. Hasil Pengujian Tarik-Geser	33
4.2.1. Pengaruh Jarak Manik Las	34
4.2.2. Pengaruh Jumlah Lembaran	38
4.2.3. Pengaruh Besar Arus	40
4.3. Hasil Pengujian Mikrostruktur	40
4.4. Hasil Pengujian Kekerasan Mikro	47
BAB 5 KESIMPULAN.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengelasan titik pada kerangka/ <i>frame</i> kendaraan.....	2
Gambar 2.1 Proses pengelasan titik	6
Gambar 2.2 Periode pengelasan titik.....	8
Gambar 2.3 Prinsip siklus pengelasan titik.....	9
Gambar 2.4 Pengaruh arus las titik.....	10
Gambar 2.5 Pengaruh waktu pengelasan.....	11
Gambar 2.6 Pengaruh tekanan elektroda terhadap resistansi kontak.....	12
Gambar 2.7 <i>Weldability range</i>	13
Gambar 2.8 Grafik hubungan welding time dengan manik las size.....	14
Gambar 2.9 Hubungan kekuatan tarik (a) dan elongasi (b) dengan temperatur anil baja 0,06% P, 0,5% Si yang direduksi 70%....	16
Gambar 2.10 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	17
Gambar 2.11 Dekomposisi dari struktur austenit.....	18
Gambar 2.12 Dekomposisi pada baja hypoeutektoid.....	18
Gambar 2.13 Bentuk diagram TTT untuk baja karbon non-eutektoid.....	19
Gambar 2.14 Pengaruh suhu pada proses nukleasi dan pertumbuhan butir (a) dan hubungan diagram TTT baja karbon eutektoid dengan laju pengintian dan pertumbuhan butir (b).....	20
Gambar 2.15 Diagram CCT yang diturunkan dari diagram TTT baja eutektoid.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Susunan <i>lap joint</i> dan dimensinya (a) tampak samping (b) tampak atas.....	25
Gambar 3.3 Struktur geometri manik las.....	26
Gambar 3.4 Mesin Uji Tarik-geser Shimadzu.....	27
Gambar 3.5 Skematis pengujian tarik.....	28
Gambar 3.6 Tipe perobekan pada pengujian tarik-geser.....	28
Gambar 3.7 Skematis pengujian kekerasan mikro Vickers.....	31
Gambar 4.1 Hubungan diameter jejak elektroda dengan kuat arus.....	32
Gambar 4.2 Grafik perbandingan kekuatan tarik-geser versus jarak manik las DS.....	34
Gambar 4.3 Distribusi bidang geser dan momen.....	35
Gambar 4.4 Spesimen DS hasil pengujian tarik-geser.....	36
Gambar 4.5 Perbandingan kekuatan tarik-geser versus jarak manik las TS...	37
Gambar 4.6 Sampel TS hasil pengujian tarik-geser.....	38
Gambar 4.7 Grafik kekuatan tarik-geser vs jumlah lembaran pada arus 2 kA	38
Gambar 4.8 Grafik kekuatan tarik-geser vs jumlah lembaran pada arus 4 kA	39
Gambar 4.9 Momen pada sampel TS.....	39
Gambar 4.10 Struktur <i>base metal</i> DS 2 kA. Nital 2-3%, 200x.....	40

Gambar 4.11 Struktur HAZ DS 2 kA. Nital 2-3%, 200.....	41
Gambar 4.12 Struktur <i>nugget</i> DS 2 kA. Nital 2-3%, 200x.....	41
Gambar 4.13 Struktur <i>base metal</i> DS 4 kA. Nital 2-3%, 200x.....	42
Gambar 4.14 Struktur HAZ DS 4 kA. Nital 2-3%, 200.....	42
Gambar 4.15 Struktur <i>nugget</i> DS 4 kA. Nital 2-3%, 200x.....	43
Gambar 4.16 Struktur <i>base metal</i> TS 2 kA. Nital 2-3%, 200x.....	43
Gambar 4.17 Struktur HAZ TS 2 kA. Nital 2-3%, 200.....	44
Gambar 4.18 Struktur <i>nugget</i> TS 2 kA. Nital 2-3%, 200x.....	44
Gambar 4.19 Struktur <i>base metal</i> TS 4 kA. Nital 2-3%, 200x.....	45
Gambar 4.20 Struktur HAZ TS 4 kA. Nital 2-3%, 200.....	45
Gambar 4.21 Struktur <i>nugget</i> TS 4 kA. Nital 2-3%, 200x.....	46
Gambar 4.22 Grafik distribusi kekerasan sampel DS 2 kA.....	47
Gambar 4.23 Grafik distribusi kekerasan sampel DS 4 kA.....	48
Gambar 4.24 Grafik distribusi kekerasan sampel TS 2 kA.....	48
Gambar 4.25 Grafik distribusi kekerasan sampel TS 4 kA.....	49



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi kimia spesimen uji.....	24
Tabel 4.1 Hasil pengukuran diameter jejak elektroda.....	32
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik-Geser.....	33



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan dunia perindustrian telah mendorong timbulnya berbagai inovasi dan gagasan yang baru guna menghasilkan berbagai macam produk yang lebih unggul dan memiliki kualitas yang lebih baik. Dalam industri otomotif, terobosan serta inovasi terbaru sangat diperlukan untuk menjaga dan meningkatkan hasil produksi sehingga pemanfaatan dan penerapan teknologi merupakan hal yang mutlak dilakukan, seperti halnya teknologi pengelasan. Komponen berbentuk lembaran yang tipis banyak ditemukan dalam industri otomotif tersebut seperti pada *body* dan mesin mobil ataupun motor. Salah satu metode yang digunakan dalam penyambungan lembaran-lembaran tersebut ialah dengan menggunakan metode *resistance spot weld*, yaitu proses pengelasan yang hanya dilakukan pada titik tertentu dengan menggunakan elektroda tembaga.

Las resistansi titik ini memanfaatkan arus yang besar untuk menyatukan material yang berbentuk lembaran dengan ketebalan yang bervariasi. Proses las tahanan titik ini digunakan untuk mempersingkat waktu penyambungan lembaran-lembaran logam sehingga dapat mempercepat dan meningkatkan hasil produksi. Las resistansi titik ini telah digunakan secara luas terutama dalam proses fabrikasi dan perakitan lembaran-lembaran logam seperti *automobile*, *truck cabin*, *rail vehicle* hingga *home applications* karena keuntungannya dalam efisiensi pengelasan serta kesesuaian dalam otomatisasi^[1]. Sebagai contoh ialah dalam proses perakitan *body* mobil yang membutuhkan 7000 hingga 12.000 pengelasan titik sesuai dengan ukuran dari mobil sehingga pengelasan titik ini memiliki peranan yang penting dalam perakitan *body* mobil^[1].

Material yang disambung dapat berbentuk sejenis (*similar*) maupun berbeda jenis (*dissimilar*). Pada metode ini biasanya digunakan dua lembaran logam yang saling tumpang tindih dan menggunakan prinsip pencairan setempat yang disebabkan oleh arus yang terkonsentrasi antara elektroda-elektroda yang berbentuk silinder^[2].



Gambar 1.1 Pengelasan titik pada kerangka/frame kendaraan^[13]

Lembaran logam yang mencair membentuk kampuh las/manik las atau disebut *nugget* yang dipengaruhi oleh tekanan elektroda, waktu tahan dan arus yang digunakan. Pada struktur yang lebih rumit seringkali digunakan lebih dari dua lembaran logam/multi-lembaran (*multiple stacks*) dengan ketebalan tertentu sehingga ketebalan dari struktur yang akan di las semakin bertambah. Pada industri manufaktur, proses pengelasan titik menjadi proses penyambungan material yang efektif karena dapat melakukan pengelasan titik dengan cepat sehingga mudah dalam proses otomatisasi. Selain itu, karena memerlukan pengelasan titik yang banyak, perlu diperhatikan adanya jarak antar manik las atau *nugget spacing* yang efisien. *Nugget spacing* yang terlalu rapat maupun terlalu renggang akan mempengaruhi kekuatan mekanis dari sambungan las, sehingga perlu untuk mengetahui jarak manik las yang optimal dan efisien untuk mendapatkan kekuatan yang diinginkan.

Untuk itu, kontrol terhadap kualitas pengelasan perlu diperhatikan dengan mempelajari bentuk dan ukuran nugget yang dihasilkan dari proses pengelasan titik multi-lembaran ini. Manik las yang dihasilkan akan mempengaruhi kekuatan serta sifat mekanis dari sambungan itu sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai karakterisasi pembentukan nugget pada pengelasan titik multi lembaran ini.

1.2 Perumusan Masalah

Proses pengelasan titik multi lembaran ini membutuhkan masukan panas yang cukup untuk membentuk struktur nugget yang baik sehingga dapat menghasilkan kekuatan sambungan yang maksimal. Proses ini menggunakan material *similar*, yaitu baja karbon rendah SPCC dengan ketebalan 0,6 mm yang akan disusun bervariasi menjadi dua lembaran (*double sheet*) dan tiga lembaran (*triple sheet*).

Dengan mengatur parameter besarnya arus yang diberikan (*weld current*) serta jarak antar manik las (*nugget spacing*) akan diteliti sifat-sifat atau *mechanical properties* dari daerah las (*nugget*) yang dihasilkan dan diharapkan penelitian ini akan menghasilkan kondisi optimal dan kualitas sambungan yang paling baik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh beda arus pengelasan terhadap bentuk dan ukuran nugget pada pengelasan titik dua lembaran (*double sheet*) dan tiga lembaran (*triple sheet*).
2. Mengetahui pengaruh beda arus pengelasan terhadap sifat mekanis dan mikrostruktur material dasar dan daerah *nugget* pada pengelasan titik dua lembaran dan tiga lembaran
3. Menginvestigasi hubungan dan pengaruh jarak manik las (*nugget spacing*) terhadap sifat mekanis material material.
4. Menginvestigasi pengaruh bentuk dan ukuran nugget pengelasan titik dua lembaran dan tiga lembaran dengan kualitas dan sifat fisik sambungan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah SPCC dengan ketebalan 0,6 mm. Berdasarkan pengujian komposisi kimia, baja tersebut memiliki komposisi C = 0,005%, Mn = 0,133%, P = 0,01%, S = 0,01%. Selanjutnya proses pemotongan material dilakukan dengan ukuran 105 mm x 45

mm menurut standar IIW. Kemudian dilanjutkan dengan proses pengelasan yang menggunakan mesin las bermerk WIM PMC 25 dengan parameter las :

- Tekanan Elektroda : 150 kgf
- Waktu pengelasan : 2 detik
- Arus pengelasan : 2 kA dan 4 kA

Selain itu dibuat spesimen uji las dua titik dengan jarak bervariasi. Variasi jarak antar *nugget (nugget spacing)* ialah sebagai berikut:

- Jarak antar titik 1 (L_1) = 15 mm
- Jarak antar titik 2 (L_2) = 20 mm
- Jarak antar titik 3 (L_3) = 25 mm

1.5 Hipotesis

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran diameter jejak, pengujian tarik geser, pengujian kekerasan mikro serta pengujian metalografi untuk mengetahui mikrostruktur dari specimen uji. Variasi jarak nugget dan arus yang digunakan akan mempengaruhi kekuatan mekanis dan merubah mikrostruktur daerah las dari material tersebut. Arus yang semakin besar dan jarak nugget yang optimim akan meningkatkan sifat mekanis dari sambungan las.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dalam beberapa bab yang disusun seperti berikut ini.

BAB 1 : PENDAHULUAN

Berisi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB 2 : DASAR TEORI

Menjelaskan tentang prinsip dasar proses pengelasan titik dan parameter-parameter yang mempengaruhinya serta mengenai metalurgi las yang mengobservasi proses transformasi fasa pada baja karbon rendah. Penjelasan ini didasarkan pada observasi jurnal, buku dan referensi lainnya yang dapat

menunjang penelitian sehingga secara garis besar dapat dijadikan acuan dalam penulisan.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

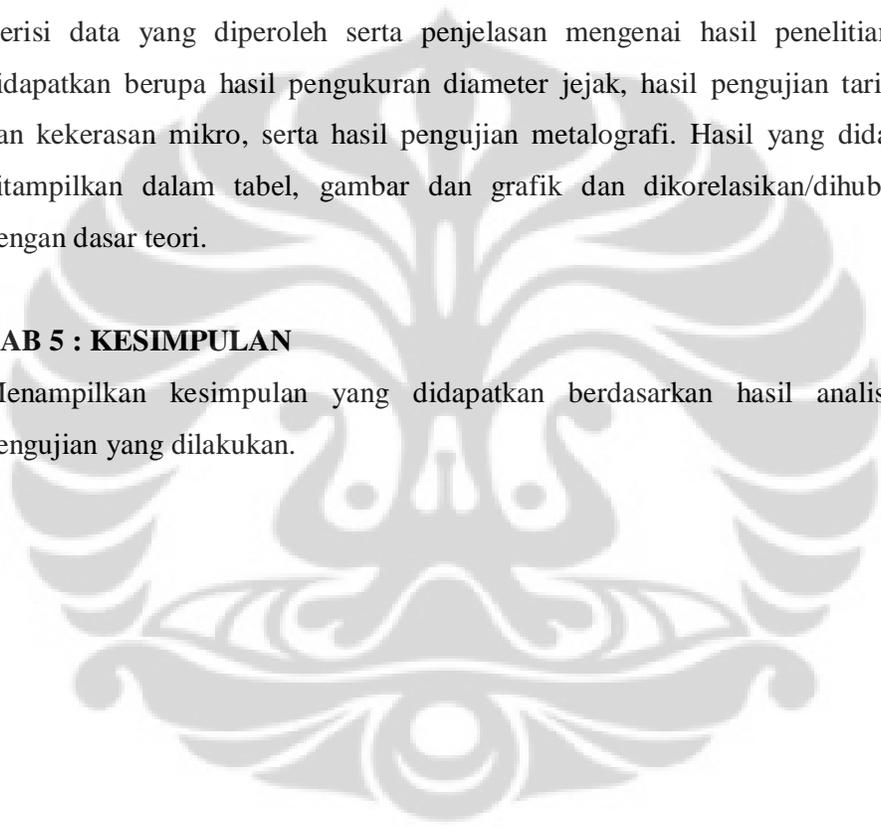
Uraian mengenai diagram alir penelitian, prosedur pengujian, parameter penelitian hingga alat dan bahan penelitian yang digunakan.

BAB 4 : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi data yang diperoleh serta penjelasan mengenai hasil penelitian yang didapatkan berupa hasil pengukuran diameter jejak, hasil pengujian tarik-geser dan kekerasan mikro, serta hasil pengujian metalografi. Hasil yang didapatkan ditampilkan dalam tabel, gambar dan grafik dan dikorelasikan/dihubungkan dengan dasar teori.

BAB 5 : KESIMPULAN

Menampilkan kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil analisa dari pengujian yang dilakukan.

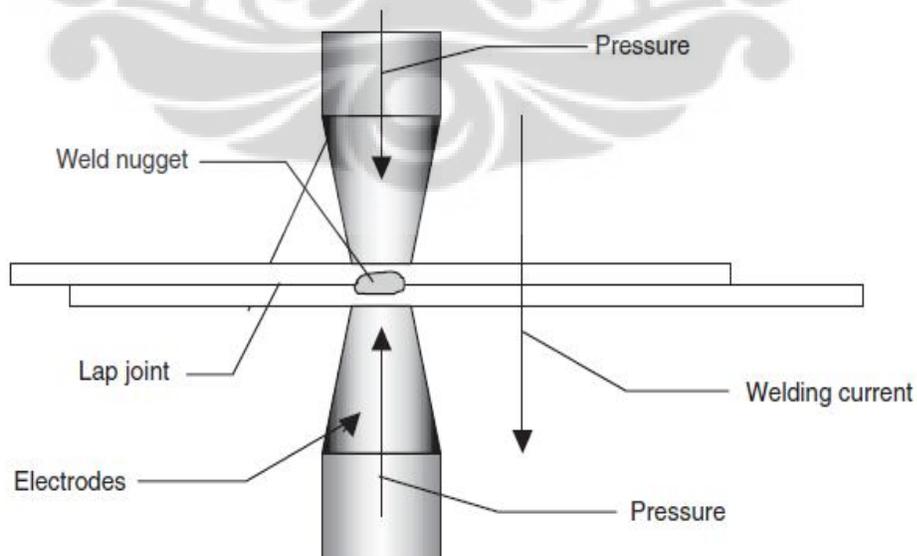


BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Prinsip Las Resistansi Titik

Las resistansi titik merupakan salah satu sistem penyambungan pada bahan baja atau material lain yang biasanya berbentuk lembaran dan banyak digunakan pada perakitan *body* mobil atau kendaraan lain. Penyambungan dengan cara ini relatif lebih praktis dan pengaruh terhadap sifat bahan hasil pengelasan lebih baik dibanding dengan cara pengelasan jenis lain, sebab daerah pengaruh panas (HAZ) yang ditimbulkan relatif kecil^[3]. Pengelasan ini membutuhkan masukan panas yang cukup dalam waktu yang singkat untuk mencairkan daerah yang kontak dengan elektroda sehingga menghasilkan proses pencairan setempat. Dengan waktu yang singkat tersebut, maka dibutuhkan arus yang besar agar menghasilkan panas yang cukup untuk mencairkan lembaran logam yang kontak terhadap elektroda. Lembaran material yang akan dilas ditumpuk saling tumpang tindih (*lap joint*) ditekan dengan elektroda lalu diberikan arus pada daerah *overlap* hingga terbentuk sambungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Proses pengelasan titik^[4]

Konsentrasi arus ditentukan oleh luas kontak antara elektroda dan benda kerja, dan jelas bahwa ukuran lasan atau *nugget* dari logam yang mencair sangat berkaitan dengan luas kontak ini. Kuat geser *nugget* umumnya harus cukup dapat menjamin bahwa bila sambungan diberi tegangan hingga putus maka putus terjadi pada lembaran mengelilingi *nugget*^[5].

2.1.1 Masukan Panas Pada Daerah Las

Pada prinsipnya material yang akan disambung akan ditekan dan dialiri arus yang tinggi. Panas yang dihasilkan timbul dari perbedaan resistansi listrik antara material yang dilas ataupun dengan elektrodanya. Panas yang dihasilkan dapat ditulis dalam persamaan^[6] :

$$Q = I^2 R t \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

Q = Panas yang dihasilkan (joule)

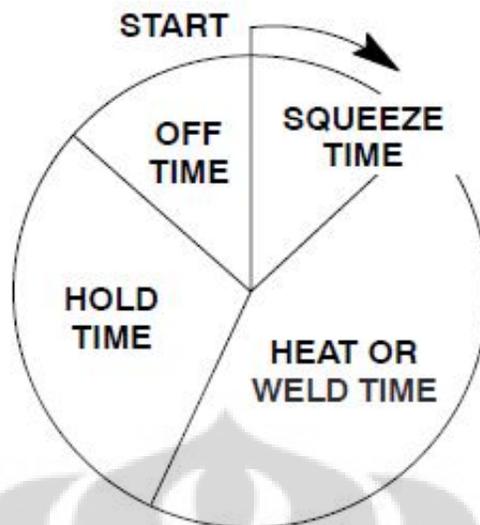
I = arus listrik yang diberikan (ampere)

R = Resistansi listrik dari benda kerja (ohm)

t = waktu pengaliran arus (detik)

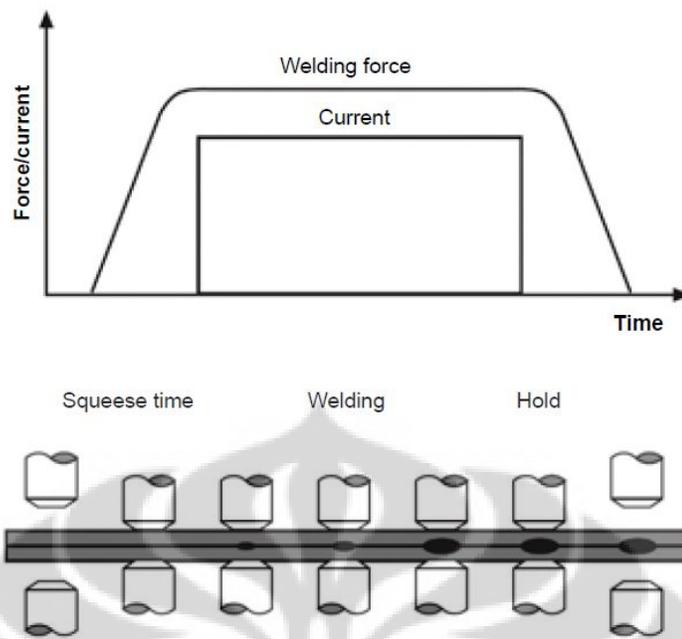
2.1.2 Periode Pengelasan Titik

Lembaran-lembaran logam yang akan disambung, dijepit oleh sepasang elektroda dengan tekanan selama waktu tertentu. Untuk menghasilkan *nugget*, terdapat empat periode waktu pengelasan yang disebut dengan siklus pengelasan. Empat periode pengelasan tersebut yaitu waktu penekanan, waktu pengelasan, waktu penahanan dan waktu selesai seperti pada gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Periode pengelasan titik ^[7]

1. Waktu penekanan (*Squeeze Time*)
Waktu dimana pengelasan dimulai dengan memberikan gaya/penekanan terhadap lembaran logam yang akan disambung, namun arus listrik belum dialirkan.
2. Waktu Pengelasan (*Weld Time*)
Setelah diberi tekanan, arus listrik dialirkan dengan waktu yang telah diatur dan relatif singkat. Pada proses ini, daerah lembaran logam yang kontak dengan elektroda akan menjadi panas, sehingga pada daerah tersebut logam akan mencair.
3. Waktu Penahanan (*Hold Time*)
Waktu setelah aliran arus ditiadakan, tetapi gaya penekanan dari sepasang elektroda masih tetap diberikan. Selama penahanan berlangsung, daerah logam yang kondisinya cair, akhirnya membeku dan menyatu, akhirnya membentuk *nugget*.
4. Waktu Selesai (*Off Time*)
Waktu dimana gaya penekanan dari sepasang elektroda ditiadakan.



Gambar 2.3 Prinsip siklus pengelasan titik^[8]

2.2 Parameter Pengelasan Titik

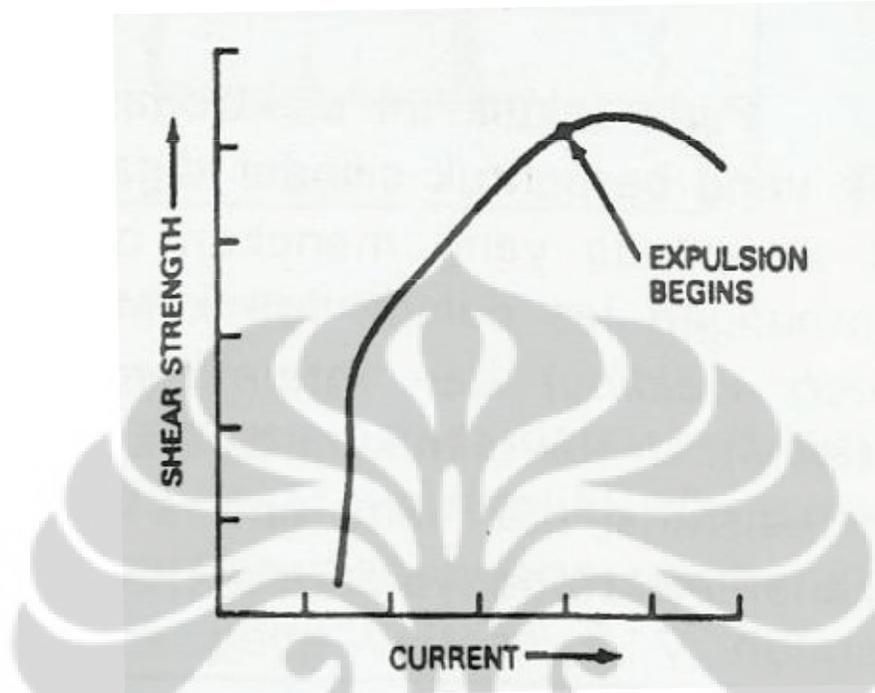
Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan sambungan las dari proses terbentuknya nugget (*nugget formation*). Faktor-faktor tersebut antara lain,

1. Pengaruh arus listrik
2. Pengaruh waktu pengelasan
3. Resistansi listrik
4. Gaya tekan elektroda

2.2.1 Arus Listrik

Peralatan yang dipakai dalam proses pengelasan titik ini harus mampu menghasilkan arus yang besar agar panas yang dikeluarkan cukup untuk mencairkan lembaran logam yang akan dilas. Namun pengontrolan terhadap arus yang keluar tetap perlu diberikan, karena arus yang terlalu besar akan menimbulkan loncatan atau hamburan logam cair (*spattering*), sedangkan arus yang terlalu kecil akan menimbulkan kekuatan sambungan yang rendah akibat

dari hasil lasan yang kecil^[9]. Gambar 2.4 berikut ini memperlihatkan hubungan antara kekuatan geser dengan kuat arus pengelasan yang digunakan.



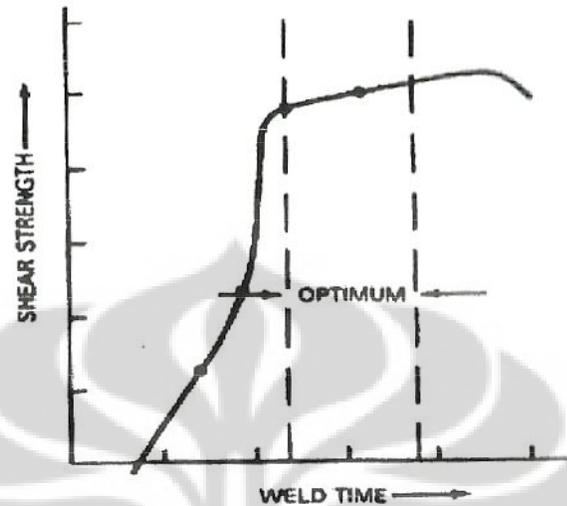
Gambar 2.4 Pengaruh arus las titik^[2]

Gambar diatas memperlihatkan munculnya awal *spattering* yang terjadi ketika kuat arus yang hampir mencapai maksimal dengan kekuatan gesernya. Secara umum tegangan yang dibutuhkan untuk pengelasan titik berkisar antara 1 sampai 25 Volt dengan besar arus listrik yang dihasilkan antara 1 sampai dengan 100 kilo Ampere (kA)^[3]

2.2.2 Waktu Pengelasan

Waktu pengelasan yang optimal juga akan menentukan kekuatan sambungan las titik karena semakin lama waktu yang diberikan, maka akan semakin besar nugget yang akan terbentuk sesuai dengan persamaan 2.1 pada subbab sebelumnya. Waktu yang terlalu singkat akan membuat kekuatan sambungan menjadi rendah, begitupun jika waktu yang diberikan jika terlalu lama. Dengan kata lain, terdapat waktu pengelasan yang optimal untuk

mendapatkan kekuatan geser yang maksimal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Pengaruh waktu pengelasan^[2]

Selain itu, pemberian waktu yang terlalu lama juga akan berakibat pemanasan yang terlalu tinggi dan berlebihan terhadap elektroda yang digunakan. Gambar diatas menunjukkan bahwa terdapat waktu yang optimal dalam waktu pengelasan agar hasil sambungan memiliki kualitas yang baik.

2.2.3 Resistansi Listrik

Panas yang timbul saat proses pengelasan berlangsung berbanding lurus dengan besarnya tahanan listrik. Semakin besar resistansi/tahanan pada logam, maka panas yang diberikan akan semakin besar dan lembaran logam akan semakin cepat mencair. Tahanan ini dipengaruhi oleh jarak ke dua elektroda dan luas penampang dari aliran, seperti pada persamaan berikut^[3].

$$R = \rho \cdot L / A \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

ρ = Hambatan jenis (ohm mm)

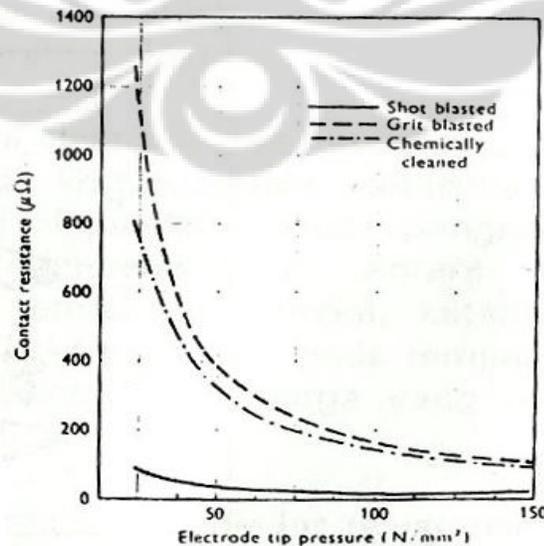
L = Jarak ke dua elektroda (mm)

A = Luas penampang dari aliran arus (mm^2)

2.2.4 Gaya Tekan Elektroda

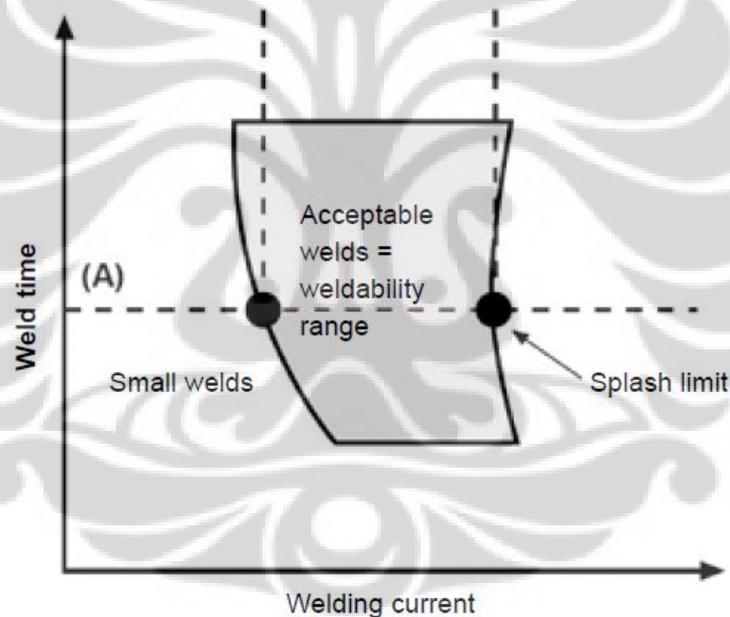
Gaya penekanan elektroda ini diberikan pada saat sebelum, saat berlangsung dan sesudah arus listrik dialirkan. Pemberian tekanan yang tidak maksimal akan menimbulkan sputtering, yaitu loncatan logam cair yang terpercik karena adanya nyala busur listrik yang terjadi akibat penekanan yang kurang^[3]. Fungsi elektroda sebagai pendistribusi arus harus dimaksimalkan dengan penekanan yang sesuai sehingga tidak menimbulkan percikan nyala busur listrik.

Terjadinya retak las dan *sputtering* dapat dilihat pada saat waktu penekanan (*squeeze time*). Bila tekanan elektrodanya kurang akan menimbulkan percikan-percikan logam. Hal tersebut disebabkan oleh loncatan arus listrik kemudian terjadi nyala busur listrik. Sedangkan gejala yang dapat dilihat pada waktu pengelasan (*hold time*) yaitu terjadinya gerakan balik (*spring back*) sehingga hasil lasan retak akibat terjadinya peregangan dan pengkerutan logam ketika siklus termal pengelasan berlangsung (pemanasan yang diikuti oleh pendinginan cepat)^[3]. Gambar 2.6 dibawah ini memperlihatkan hubungan tekanan elektroda yang diberikan dengan resistansi yang dihasilkan antara elektroda dengan material yang akan dilas.



Gambar 2.6 Pengaruh tekanan elektroda terhadap resistansi kontak^[2]

Parameter pengelasan yang telah dijelaskan diatas memiliki kontribusi terhadap ukuran nugget sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik dan kekuatan sambungan las-lasan. Dalam menentukan arus dan waktu yang dipakai dalam pengelasan titik, terdapat area dimana besaran arus dan waktu tidak boleh kurang ataupun melebihi daerah tersebut yang disebut sebagai area rentang kemampuan atau *weldability range(lobe)* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 dibawah. *Weldability range/lobe* merupakan area dimana kampuh lasan bisa dihasilkan dengan mengkombinasikan besar arus dan waktu secara spesifik. *Welding range* ini dibatasi oleh ukuran minimal nugget yang dihasilkan serta batas percikan (*splash limit*)^[8].



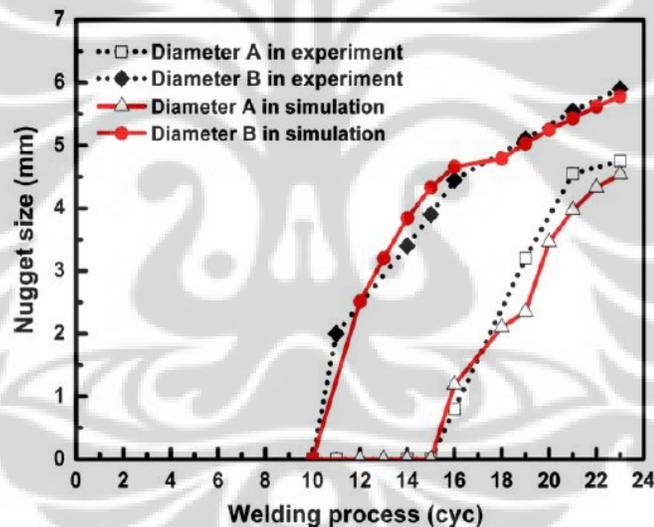
Gambar 2.7 *Weldability range*^[8]

Penentuan *weldability range* ini dipengaruhi oleh tekanan elektroda, kebersihan dan ukuran elektroda serta konsistensi dan ketebalan material. Material yang dengan sifat *weldability* yang baik akan memiliki area *weldability range* yang lebih besar, yang berarti bahwa parameter pengelasan ini dapat di pilih dari sekian banyak kombinasi material yang berbeda^[8]. Sejauh ini belum banyak

publikasi-publikasi ilmiah mengenai *resistance spot weld* dengan *multiple stacks* ini, terutama *lap joint* dengan susunan 3 *stacks*.

Namun dalam penelitiannya, Byoung-Ho, et al^[10] menjelaskan bahwa nugget yang terbentuk pada pengelasan *triple stacks spot weld* pada baja karbon rendah memiliki struktur yang lebih padat dibanding dengan *base* metalnya. Lebih jauh penelitian ini mengungkapkan bahwa hasil kekerasan microvickers pada daerah nugget lebih tinggi (~300 HV) jika dibandingkan dengan *base* metalnya (~110 HV).

Jie Shen, et al^[11] dalam penelitiannya yang mencocokkan eksperimen dengan simulasi pengelasan titik baja karbon rendah SAE 1004 dengan DP600 menunjukkan grafik hubungan antara waktu pengelasan dengan ukuran nugget yang dihasilkan seperti pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Grafik hubungan welding time dengan nugget size^[11]

Grafik tersebut menggambarkan bahwa semakin lama waktu pengelasan, maka ukuran nugget yang terbentuk akan semakin besar. Hal ini terjadi baik dalam eksperimen, maupun simulasi dengan hasil yang hampir sama.

2.3 Metalurgi Las

Proses pengelasan melibatkan pemanasan dan pendinginan yang akan mempengaruhi sifat mekanis logam. Daerah manik las (*nugget*) merupakan temperatur yang paling tinggi, semakin jauh jarak dari manik las, temperatur

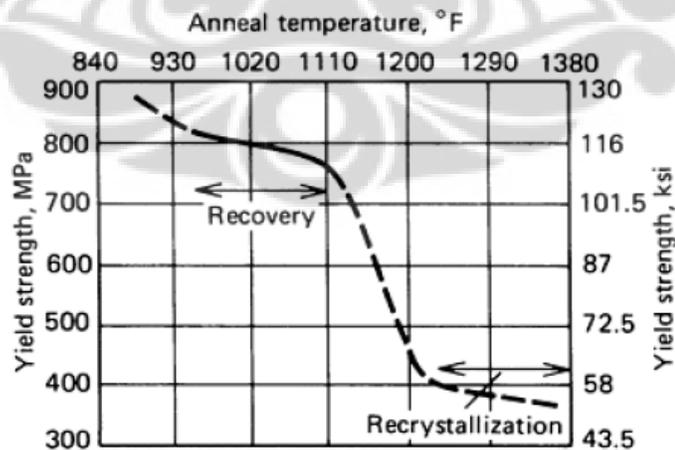
semakin rendah. Saat dilakukan pengelasan titik, terjadi suatu siklus termal yang cepat, yaitu siklus pemanasan dan pendinginan.

Proses pengelasan titik yang terjadi hanya beberapa detik menyebabkan adanya siklus termal yang merubah struktur mikro. Masing-masing titik lokasi dari daerah yang ditinjau mengalami perubahan fasa sesuai temperatur dan laju pemanasan maupun pendinginannya^[14].

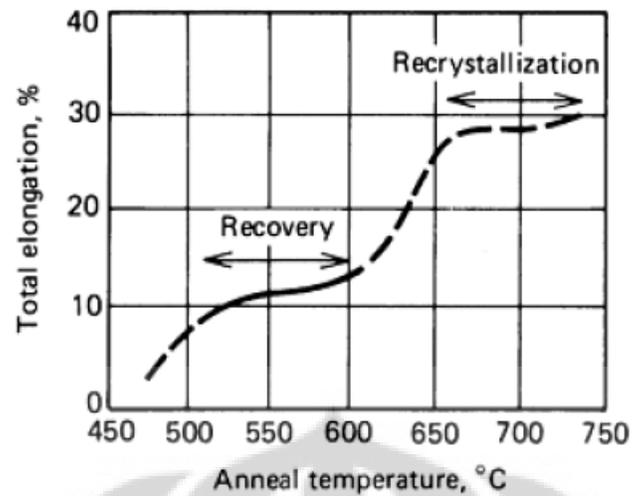
2.3.1 Siklus Pemanasan

Logam yang telah mengalami pengerjaan dingin akan mengalami distorsi pada struktur kristalnya akibat adanya proses deformasi yang dilakukan sehingga apabila dilakukan pengerjaan panas kembali, maka energi panas yang diberikan akan digunakan untuk membentuk sejumlah kristal yang tidak memiliki tegangan dalam/sisa. Perubahan mikrostruktur yang terjadi dalam proses pemanasan dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu pemulihan (*recovery*), pembentukan kristal baru (*recrystallization*) dan pertumbuhan butir (*grain growth*)^[15].

Proses *recovery* merupakan proses yang terjadi pada awal pemanasan kembali pada temperatur rendah dan perubahan yang terjadi tidak diikuti dengan perubahan struktur, namun hanya perubahan tegangan dalam/sisa^[3]. Suhu yang dipakai biasanya sekitar 565°C^[15].



(a)

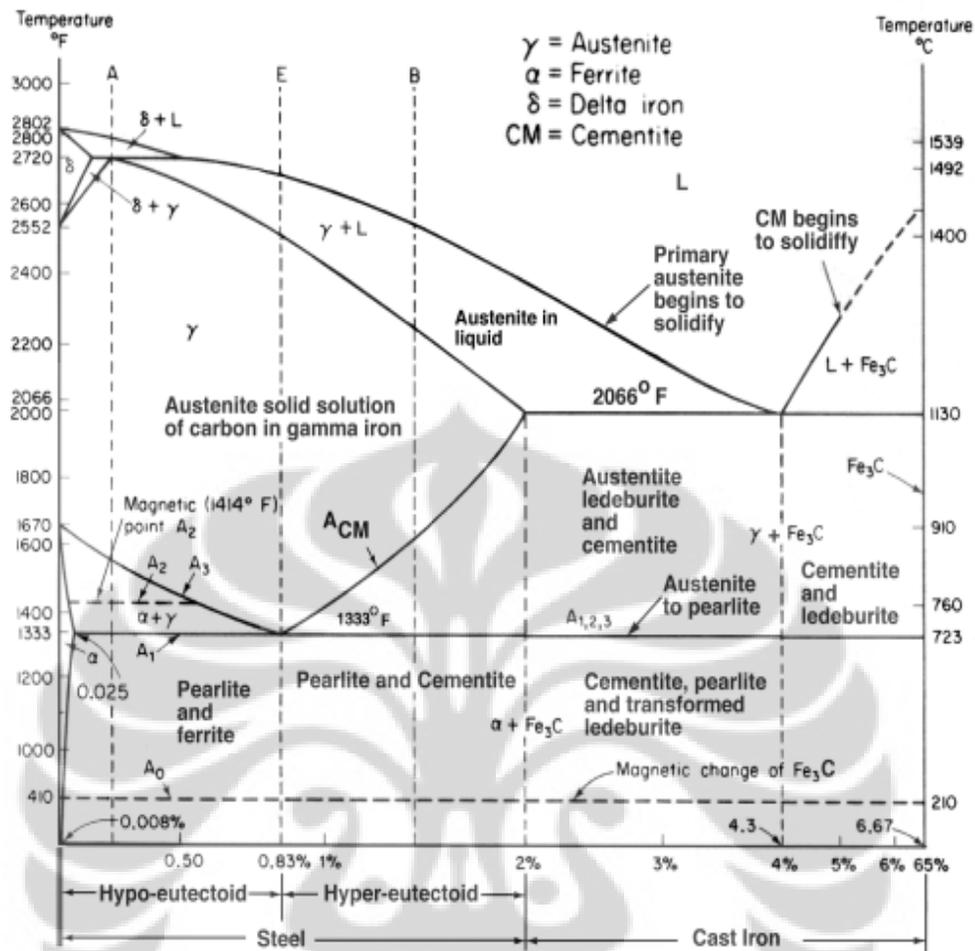


(b)

Gambar 2.9 Hubungan kekuatan tarik (a) dan elongasi (b) dengan temperatur anil baja 0,06% P, 0,5% Si yang direduksi 70%^[15].

Pembentukan kristal baru terjadi saat pemanasan kembali hingga temperatur yang lebih tinggi akan membuat munculnya inisiasi kristal-kristal baru yang memiliki struktur kisi serta komposisi yang sama. Kristal ini muncul pertama kali pada batas butir dan bidang slip yang ditandai dengan munculnya kelompok atom (*cluster*) yang kemudian akan membentuk inti/nukleasi. Inti tersebut akan bertambah besar karena menyerap atom-atom disekitarnya yang akhirnya akan tumbuh menjadi kristal baru yang lebih besar.

Pertumbuhan butir (*grain growth*) merupakan proses pertumbuhan sebuah butir kristal yang mencapai energi bebas (*free energy*) yang lebih kecil/stabil. Butir tersebut akan bertambah besar untuk mencapai ukuran yang seimbang seiring dengan pertambahan suhu.



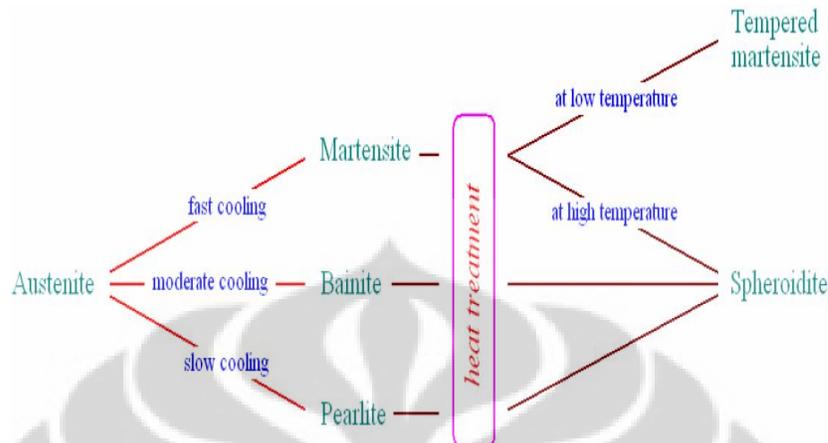
Gambar 2.10 Diagram Fasa Fe-Fe₃C^[19].

Dari diagram fasa 2.10 diatas, dapat dilihat bahwa baja dengan kandungan karbon sekitar 0,8% akan mengalami transformasi eutektoid pada suhu sekitar 723°C. Lamel-lamel ferit dan sementit dari struktur perlit akan bertransformasi menjadi austenit. Transformasi fasa ini terjadi pada suhu yang konstan hingga semua lamel-lamel ferit dan sementit tersebut berubah menjadi fasa austenit seluruhnya. Setelah semua fasa menjadi austenit, suhu akan kembali naik, sehingga terjadi perubahan dari ferit BCC menjadi austenit FCC.

2.3.2 Siklus Pendinginan

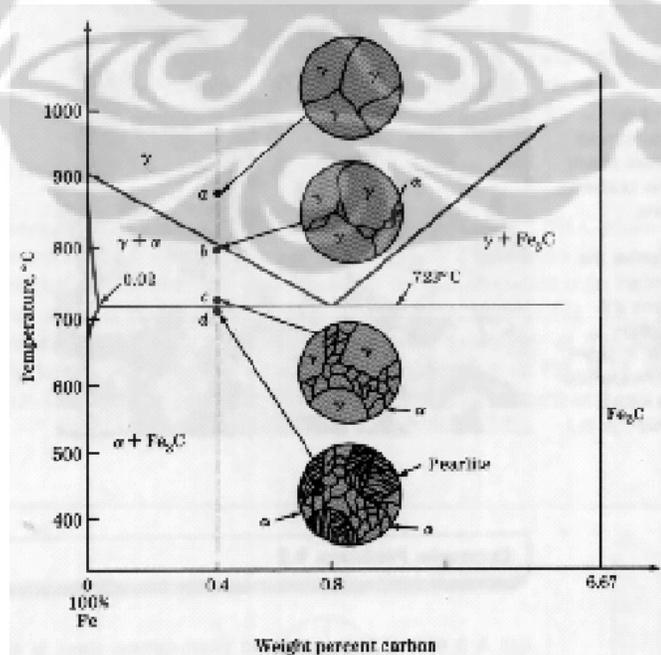
Pada proses pendinginan akan terjadi dekomposisi austenit menjadi perlit, bainit maupun martensit. Pada pendinginan lambat, austenit akan bertransformasi

menjadi perlit (ferit + Fe_3C), sedangkan pada pendinginan sedang, fasa bainit akan terbentuk sementara fasa martensit akan terbentuk jika pendinginan terjadi secara cepat seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 Dekomposisi dari struktur austenit^[16].

Pada baja dengan kadar karbon yang rendah atau baja hypoeutektoid, seperti yang digunakan pada penelitian ini, akan terjadi transformasi fasa austenit menjadi fasa ferit dan perlit, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.

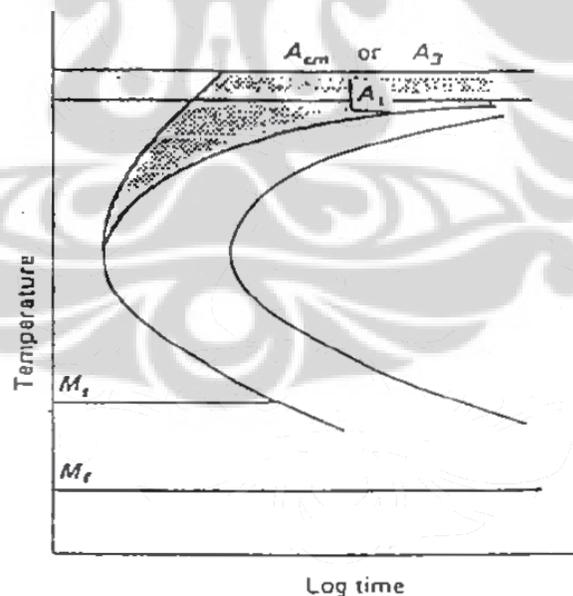


Gambar 2.12 Dekomposisi pada baja hypoeutektoid^[19].

Pada suhu diatas A_3 (titik a), struktur yang terdapat pada baja ialah austenit. Setelah melewati suhu kritis A_3 (titik b), sebagian fasa austenit mulai berubah menjadi ferit sehingga menghasilkan struktur austenit + ferit. Struktur ferit dalam baja terus bertambah hingga mendekati titik A_1 (723°C). Ketika telah melewati titik A_1 , fasa austenit yang tersisa bertransformasi menjadi ferit + Fe_3C atau perlit.

Struktur perlit yang terbentuk akan mempengaruhi kekerasan dari material. Dalam penelitiannya, Subowo^[3] menjelaskan bahwa variasi kekerasan dari hasil proses pengelasan titik merupakan akibat dari tebal tipisnya lamel perlit dan jenis bainit sebagai akibat perbedaan laju pengintian N serta pertumbuhan butir G.

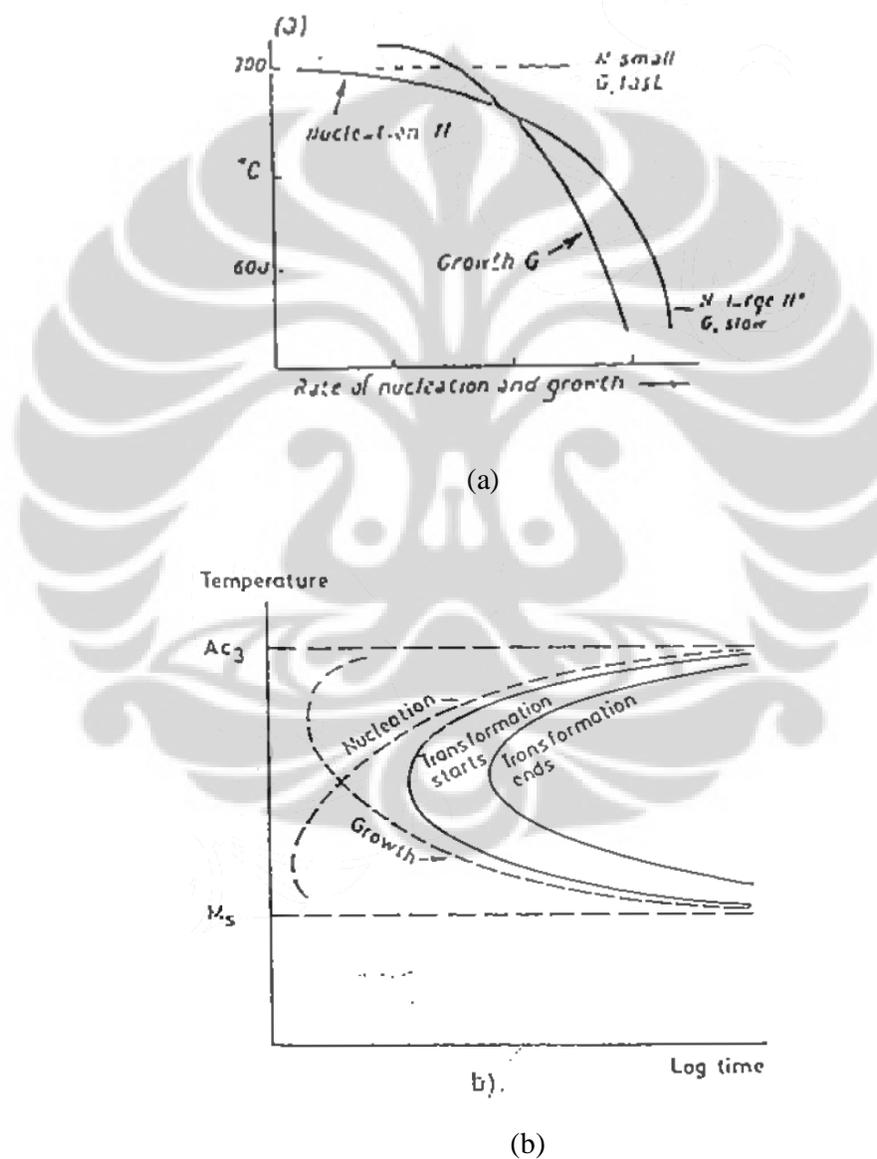
Pada diagram TTT (Time Temperature Transformation) seluruh baja, kecuali baja eutektoid akan memiliki dua kurva awal transformasi pada daerah diatas hidungnya. Kurva pertama menunjukkan awal transformasi dari austenit menjadi ferit (baja hypoeutektoid) atau menjadi sementit (baja hypereutektoid) seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13 Kurva kedua menunjukkan tranformasi dari austenit menjadi perlit^[3].



Gambar 2.13 Bentuk diagram TTT untuk baja karbon non-eutektoid^[3].

Dekomposisi austenit menjadi perlit dan bainit dari diagram TTT melibatkan laju pengintian dan pertumbuhan butir. Perlit kasar terbentuk karena laju pengintian lebih kecil jika dibandingkan dengan laju pertumbuhan butir,

sedangkan perlit halus terbentuk karena laju pengintian lebih besar dibandingkan laju pertumbuhan butir. Gambar 2.14 dibawah ini menjelaskan tentang hubungan antara proses nukleasi dan pertumbuhan butir. Pada suhu yang lebih tinggi, laju pertumbuhan butir lebih cepat dibandingkan dengan laju nukleasi, namun seiring dengan turunnya suhu dan proses pendinginan yang terjadi, laju pertumbuhan butir melambat dan proses nukleasi semakin cepat.

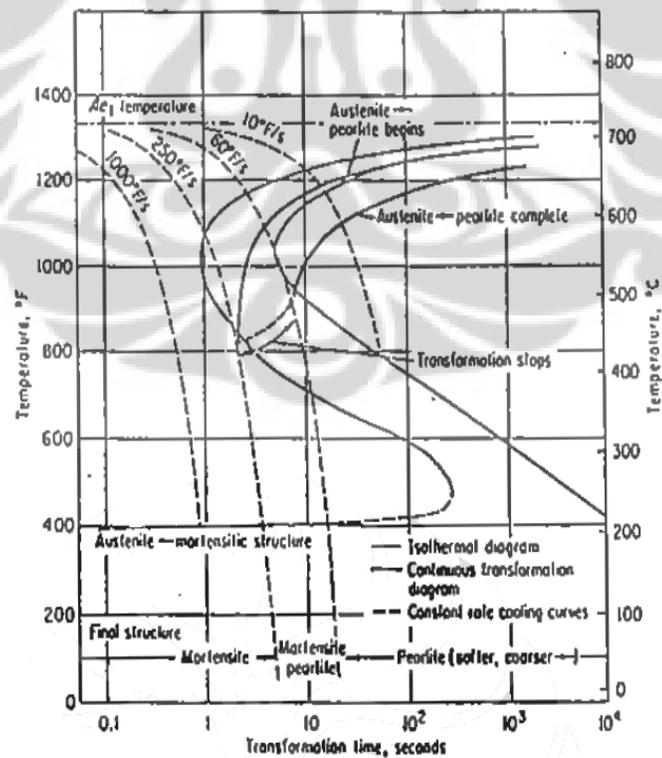


Gambar 2.14 Pengaruh suhu pada proses nukleasi dan pertumbuhan butir (a) dan hubungan diagram TTT baja karbon eutektoid dengan laju pengintian dan pertumbuhan butir (b)^[3].

Sedangkan bainit atas terbentuk karena laju pendinginan lebih kecil dibandingkan dengan laju pertumbuhan butir dan bainit bawah terbentuk karena laju pendinginan lebih besar dibandingkan laju pertumbuhan butir.

Dalam hubungannya dengan proses pengelasan titik, penggunaan diagram TTT kurang menginterpretasikan perubahan mikrostruktur yang terjadi selama siklus termal yang terjadi. Hal ini dikarenakan diagram TTT hanya menggambarkan suatu transformasi yang berlangsung pada suhu yang konstan, padahal pendinginan yang terjadi berlangsung pada kondisi yang tidak konstan atau menurun secara kontinyu.

Dengan pendinginan yang kontinyu seperti yang terjadi pada proses pengelasan titik, bentuk diagram akan mengalami beberapa perubahan sebagai akibat dari pendinginan itu sendiri. Untuk pendinginan yang kontinyu ini dapat menggunakan diagram CCT (Continuous Cooling Curve Transformation) diagram.



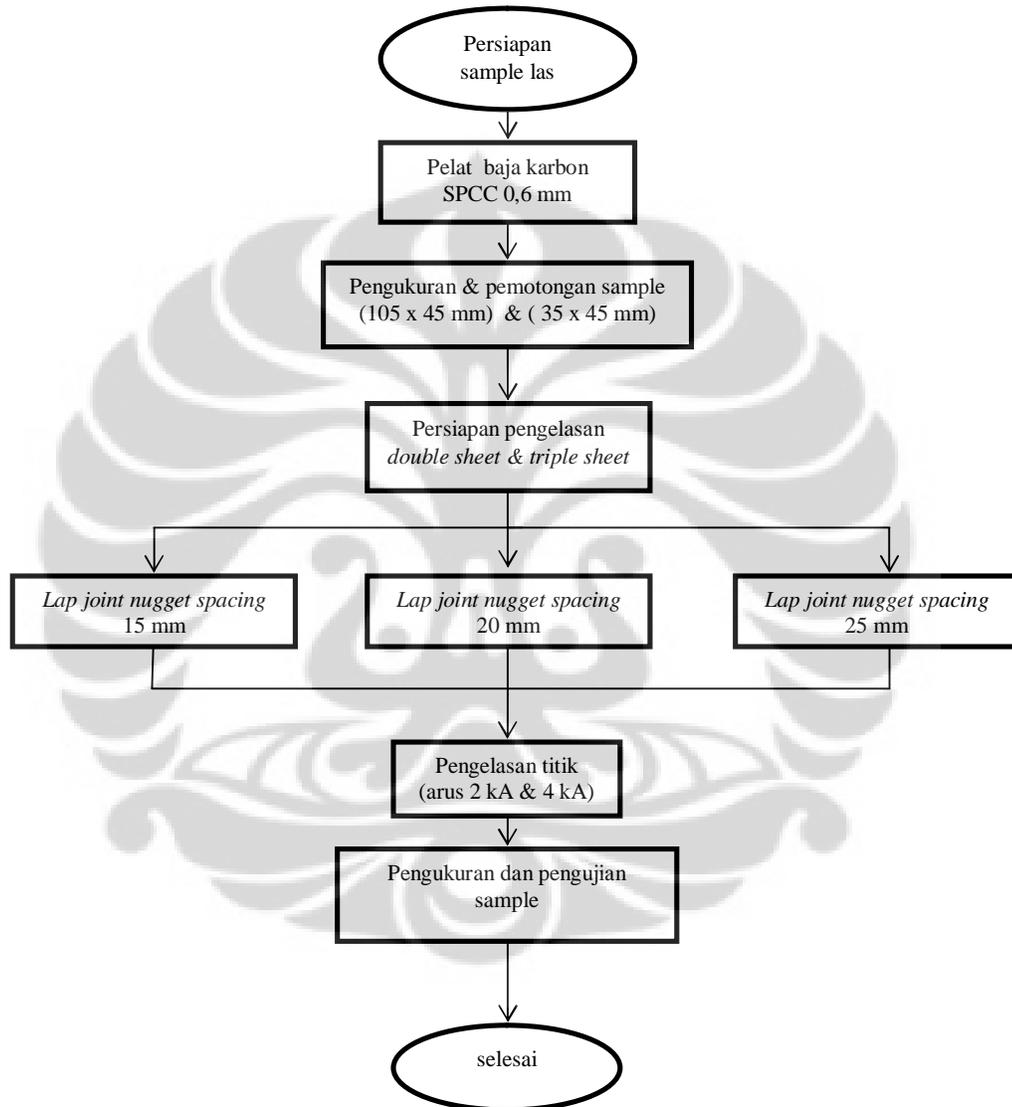
Gambar 2.15 Diagram CCT yang diturunkan dari diagram TTT baja eutektoid^[3].

Perbedaan yang terjadi pada diagram CCT tampak terlihat bahwa garis-garis transformasi bergeser ke kanan bawah sebagai akibat pendinginan kontinyu. Pada diagram CCT tidak terdapat daerah transformasi austenit-bainit karena pada pendinginan kontinyu transformasi ini terhalang oleh hidung diagram sehingga didalam baja ini tidak dapat diperoleh bainit dengan pendinginan kontinyu.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Rangkaian penelitian ini dibagi atas beberapa tahapan sesuai dengan Gambar 6.1, yaitu : (i) Persiapan Sample, (ii) Pengelasan Titik, (iii) Pengukuran diameter jejak elektroda, (iv) Pengujian tarik-geser, (v) pengujian metalografi, dan (vi) Pengujian kekerasan mikro hasil lasan.

3.1 Persiapan Spesimen Uji

Sampel merupakan baja karbon rendah SPCC yang berasal dari salah satu perusahaan produsen mobil yang dipotong berdasarkan standar dari International Institut of Welding (IIW)^[17]. Sample dipotong dengan ukuran 105 x 45 mm dan 35 x 45 mm sesuai dengan ukuran *lap joint* dan disusun saling tumpang tindih dari dua lapis lembaran hingga tiga lapis lembaran baja SPCC.

Komposisi kimia dari material dasar, yaitu baja karbon rendah baja SPCC dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3.1 Komposisi kimia spesimen uji

Unsur	C	Si	Mn	Al	P	S
Kadar (%)	0,005	0,01	0,133	0,0362	0,01	0,01

Spesimen uji dipotong sesuai dengan standar IIW dan dibuat sebanyak tiga spesimen berdasarkan variasi jarak *nugget* yang digunakan, yaitu :

- a) Jarak antar titik (L_1) = 15 mm
- b) Jarak antar titik (L_2) = 20 mm
- c) Jarak antar titik (L_3) = 25 mm

3.2 Pengelasan Titik

Pengelesan titik menggunakan mesin WIM PMC 25 dengan variasi arus dan jarak nugget. Tahapan pengelasan titik ialah sebagai berikut.

1. Menetapkan parameter las yang digunakan.

Parameter las yang digunakan adalah:

- a. Arus konstan 2 kA

- Waktu (*welding time*) yang digunakan 2 detik
- Besar tekanan yang diberikan 150 kgf

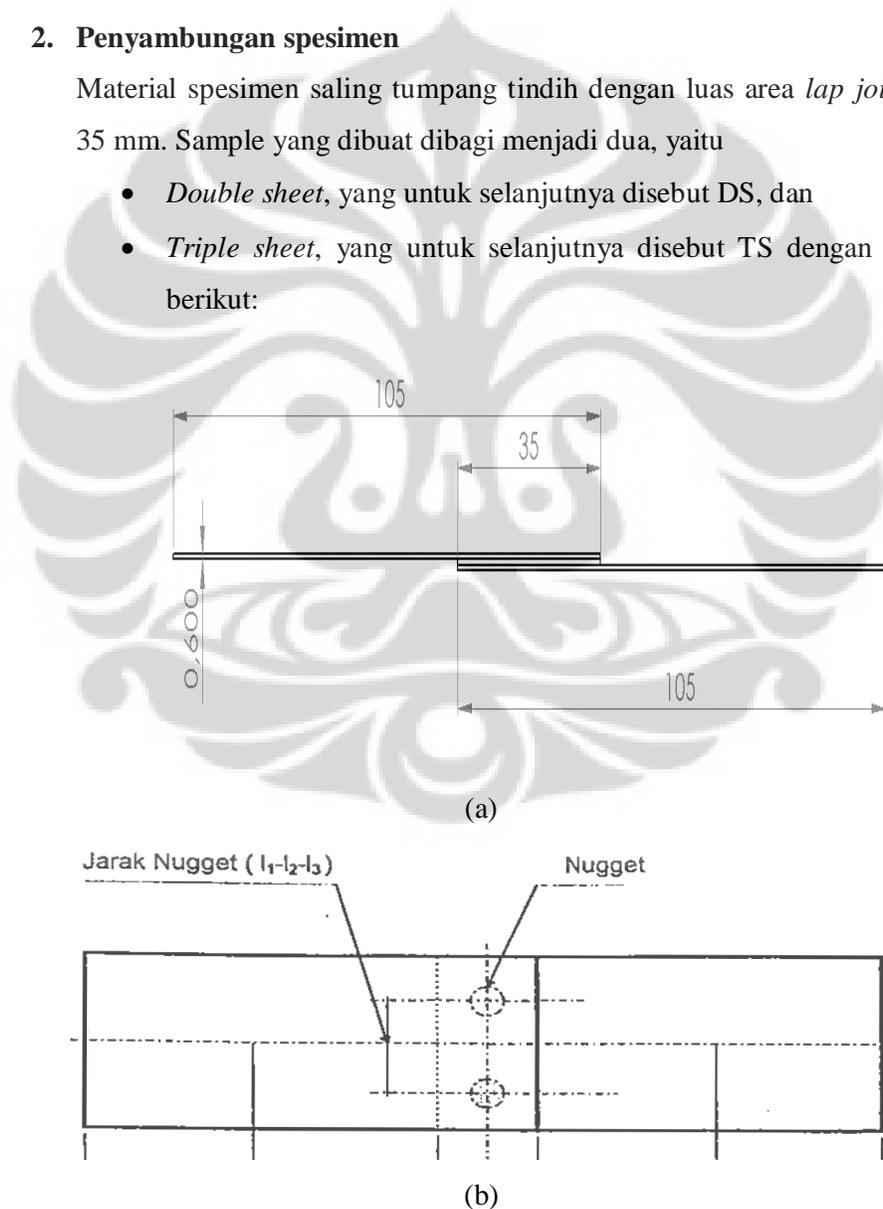
b. Arus konstan: 4 kA

- Waktu (*welding time*) yang digunakan 2 detik
- Besar tekanan yang diberikan 150 kgf

2. Penyambungan spesimen

Material spesimen saling tumpang tindih dengan luas area *lap joint* 45 x 35 mm. Sample yang dibuat dibagi menjadi dua, yaitu

- *Double sheet*, yang untuk selanjutnya disebut DS, dan
- *Triple sheet*, yang untuk selanjutnya disebut TS dengan sebagai berikut:



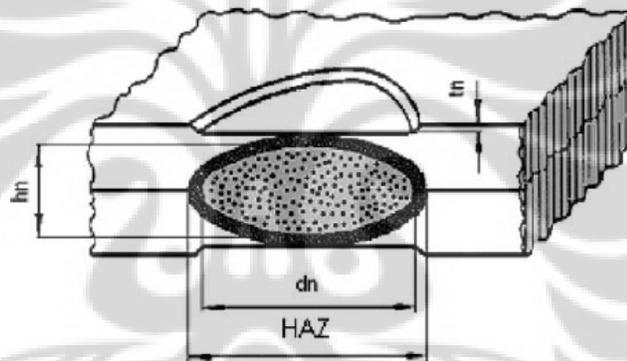
Gambar 3.2 Susunan *lap joint* dan dimensinya (a) tampak samping (b) tampak atas

Dimana :

- Panjang spesimen 105 mm
- Panjang overlap 35 mm
- Lebar spesimen 45 mm

3.3 Pengukuran Diameter Jejak Elektroda

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besar dimensi hasil las yang terbentuk setelah proses pengelasan dilakukan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *caliper* atau jangka sorong. Pengukuran diameter dilakukan sebanyak dua kali atau lebih untuk setiap sampel dan kemudian dirata-rata untuk memperoleh dimensi diameter jejak yang terbentuk.



Gambar 3.3 Struktur geometri manik las^[18]

Gambar 3.3 diatas memperlihatkan struktur geometri dari sebuah *nugget* hasil penjeakan elektroda yang terbentuk dimana pengambilan panjang diameter dapat ditentukan dengan mengukur panjang daerah yang lebih terang (d_n), sedangkan daerah yang lebih gelap merupakan daerah HAZ.

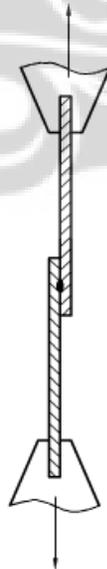
3.4 Pengujian Tarik-Geser

Pada pengujian ini akan diketahui kekuatan sambungan las terhadap beban yang diberikan. Pengujian dilakukan di Departemen Teknik Metalurgi dan Material dengan menggunakan mesin *Universal testing machine*, Servopulser Shimadzu berkapasitas 30 ton.



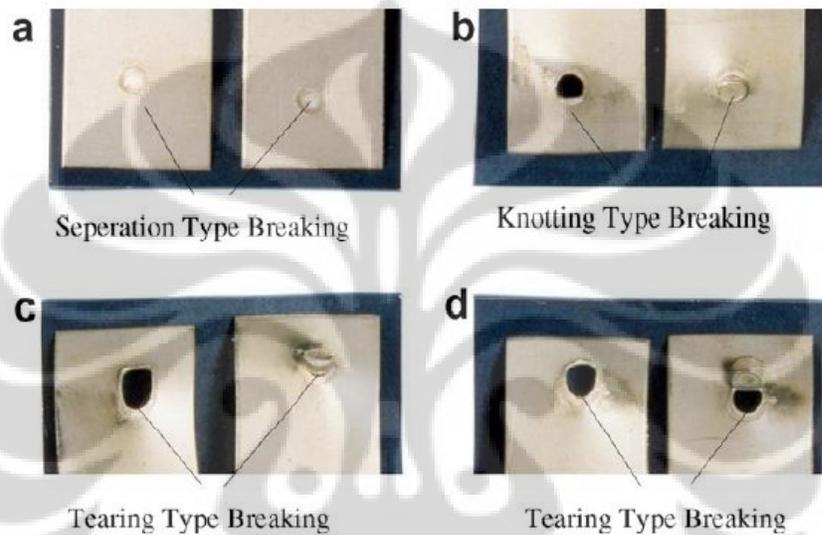
Gambar 3.4 Mesin Uji Tarik-geser Shimadzu DTMM

Adapun beban tarik yang diberikan adalah 100 Kg. Dari hasil pengujian diperoleh grafik beban-perubahan panjang (P vs dL). Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan (*stress-strain curve*).



Gambar 3.5 Skematis pengujian tarik

Pada pengujian tarik-geser proses pengelasan titik biasanya diperoleh tiga tipe perobekan, yaitu perobekan *separation*, *knotting* dan *tearing*^[1]. Perobekan tipe *separation* merupakan tipe perobekan yang mengindikasikan proses pengelasan yang tidak maksimal atau menghasilkan ikatan yang getas antar material. Sebenarnya proses perobekan akibat tegangan tarik yang diterima tidak terjadi pada tipe ini, sehingga kurang tepat jika disebut perobekan.



Gambar 3.6 Tipe perobekan pada pengujian tarik-geser^[1].

Perobekan tipe *knotting* terjadi karena kurang kuatnya ikatan yang terjadi antar material sehingga deformasi yang terjadi sangat sedikit atau hampir tidak ada. Sedangkan pada tipe *tearing* merupakan tipe perobekan yang menunjukkan bahwa *nugget* yang terbentuk cukup kuat sehingga perobekan yang terjadi bukan berada pada daerah *nugget*, namun terjadi di daerah HAZ atau material dasar yang memiliki struktur dan kekuatan yang lebih rendah daripada daerah *nugget*. Pada tipe ini terjadi deformasi yang cukup besar sebelum terjadinya perobekan.

3.5 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada spesimen uji yang telah mengalami siklus termal akibat proses pengelasan titik. Tahap-tahap persiapan dan pengamatan perbedaan struktur mikro dilakukan dengan cara sebagai berikut :

a) Pemotongan spesimen uji

Pemotongan dilakukan dengan menggunakan alat potong/gunting yang berada di Laboratorium Mekanik DTMM. Pemotongan dilakukan melintang pada sumbu manik las/*nugget*.

b) Proses *mounting*

Proses *mounting* diperlukan untuk mempermudah dalam pemegangan spesimen saat proses grinding dan pemolesan mengingat ukuran spesimen yang relatif kecil dan tipis.

c) Proses *grinding*

Proses *grinding* atau pengamplasan dilakukan pada kertas amplas dengan tingkat kekasaran yang berbeda mulai dari #260, #400, #600, #800, #1000 dan #1200. Proses grinding dilakukan dengan pemberian air secara terus menerus yang berfungsi sebagai pendingin.

d) *Polishing*

Pemolesan dilakukan diatas kain poles yang berputar yang disertai dengan penambahan larutan alumina dan air. Proses pemolesan dilakukan untuk menghilangkan goresan-goresan tipis dari proses grinding dan membuat permukaan spesimen mengkilat seperti cermin.

e) *Etching*

Proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan Nital 2% hingga 3%, yaitu dengan mencampur HNO₃ 2-3 ml dan alkohol 95% sebanyak 97-98 ml dengan waktu pencelupan 5 hingga 10 detik. Kemudian dilakukan

pemotretan pada daerah material dasar, HAZ, dan daerah *nugget* dengan pembesaran 50 hingga 500 kali.

3.6 Pengujian kekerasan mikro

Metode yang digunakan dalam pengujian kekerasan ialah metode kekerasan mikro Vickers yang menggunakan standar ASTM E384 yang di uji disepanjang daerah las-lasan. Metode ini menggunakan beban sebesar 200 gram dan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136° . Penjejakan yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh:

$$HV = \frac{1854.4 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana:

P = beban (gram)

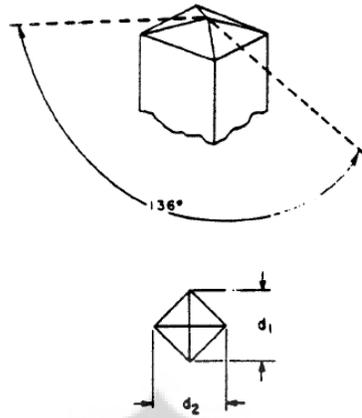
d = panjang diagonal rata-rata dari jejak berbentuk bujur sangkar (μm).

HV = Kekerasan Vickers (HV)

Prosedur pembuatan spesimen untuk uji kekerasan sama seperti yang dilakukan pada pengujian metalografi, yaitu :

- Pemotongan
- Proses mounting
- Proses grinding
- Proses polishing
- Etsa

Setelah preparasi dilakukan, penekanan dimulai pada daerah yang diinginkan. Proses etsa yang telah dilakukan akan mempermudah untuk mendapatkan daerah kekerasan yang kita inginkan. Proses indentasi dimulai dari daerah *nugget* dan dilakukan setiap jarak 0,5 mm sampai pada material dasar.



Gambar 3.7 Skematis pengujian kekerasan mikro Vickers^[20].

Setelah itu dilakukan pengukuran diagonal indentasi, yaitu d_1 dan d_2 seperti yang terlihat pada gambar diatas. Dari pengukuran diagonal diatas akan didapatkan distribusi nilai kekerasan dari spesimen uji.

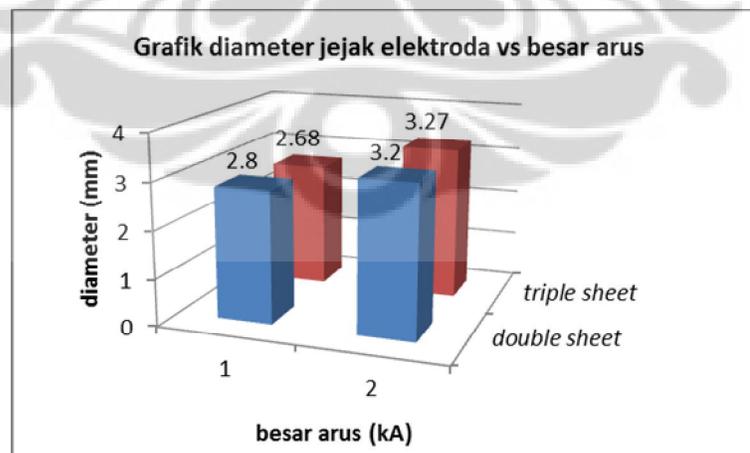
BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Diameter Jejak Elektroda.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran diameter jejak elektroda.

Sampel	Diameter	Titik 1	Titik 2	Titik 1	Titik 2	d rata-rata (mm)
DS, 2 kA	d1	2,70	2,90	3,05	2,50	2,80
	d2	2,20	2,85	3,45	2,75	
DS, 4 kA	d1	2,95	3,35	3,15	3,40	3,20
	d2	2,90	3,15	2,90	3,80	
TS, 2 kA	d1	2,75	2,65	2,75	2,75	2,68
	d2	2,40	2,95	2,45	2,80	
TS, 4 kA	d1	3,45	3,30	3,55	3,40	3,27
	d2	3,35	2,85	3,00	3,30	



Gambar 4.1 Hubungan diameter jejak elektroda dengan kuat arus.

Dari hasil pengukuran diameter diatas dapat diketahui bahwa besar diameter jejak elektroda akan berbanding lurus dengan arus yang digunakan. Semakin besar

arus yang digunakan maka diameter jejak yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Hal ini sesuai dengan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya (2.1) bahwa semakin besar arus yang digunakan, maka diameter jejak dan manik las yang dihasilkan juga semakin besar.

Sesuai dengan persamaan, panas yang dihasilkan untuk melelehkan dan menyatukan kedua logam akan semakin maksimal seiring dengan bertambahnya arus yang diberikan. Panas yang besar akan berdampak pada bertambahnya daerah penjejakan serta manik las yang terbentuk.

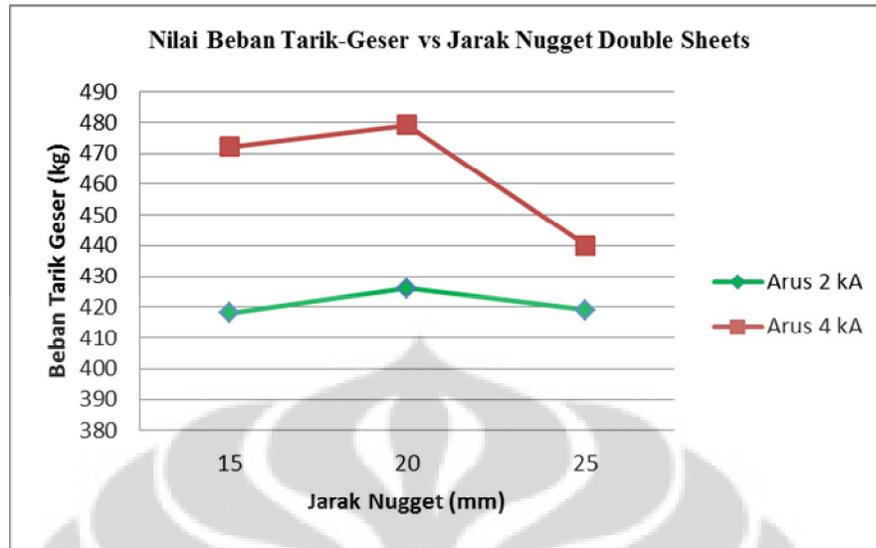
4.2 Hasil Pengujian Tarik-Geser

Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik-geser ialah sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik-Geser

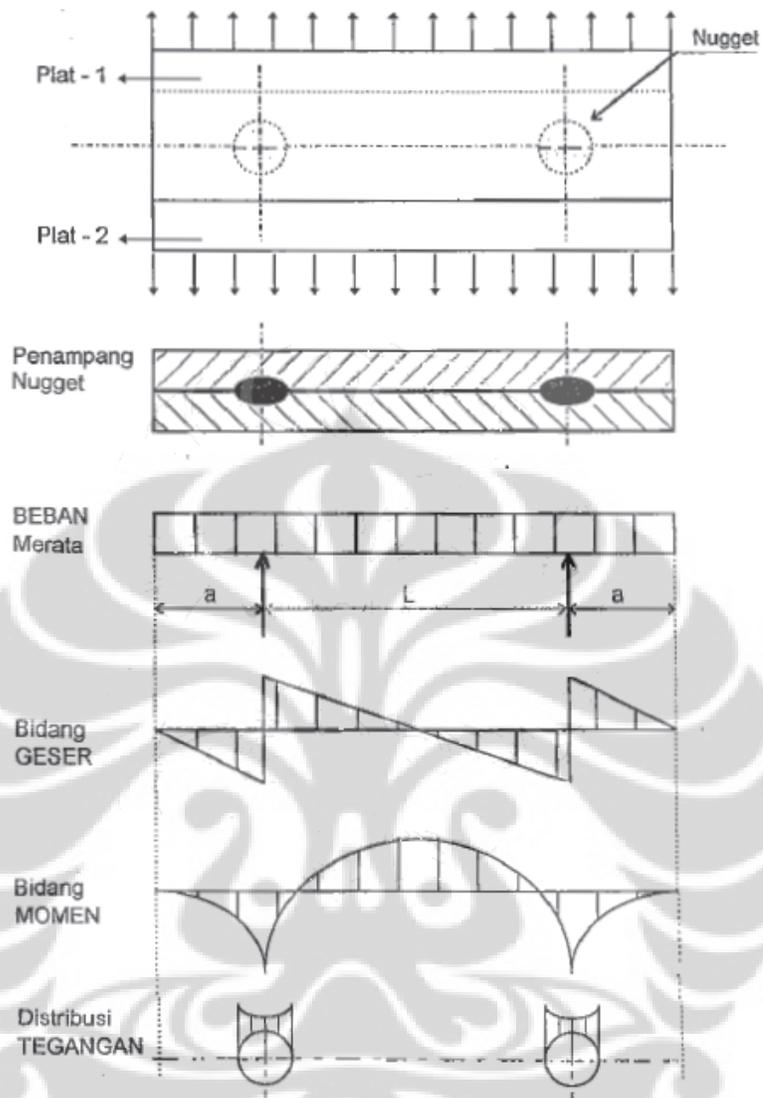
Sampel	Beban Tarik-Geser (kg)	Jarak Manik las (mm)
<i>DS, 2 kA</i>	418	15
	426	20
	419	25
<i>DS, 4 kA</i>	472	15
	479	20
	440	25
<i>TS, 2 kA</i>	399	15
	389	20
	378	25
<i>TS, 4 kA</i>	435	15
	425	20
	425	25

4.2.1 Pengaruh Jarak Manik las



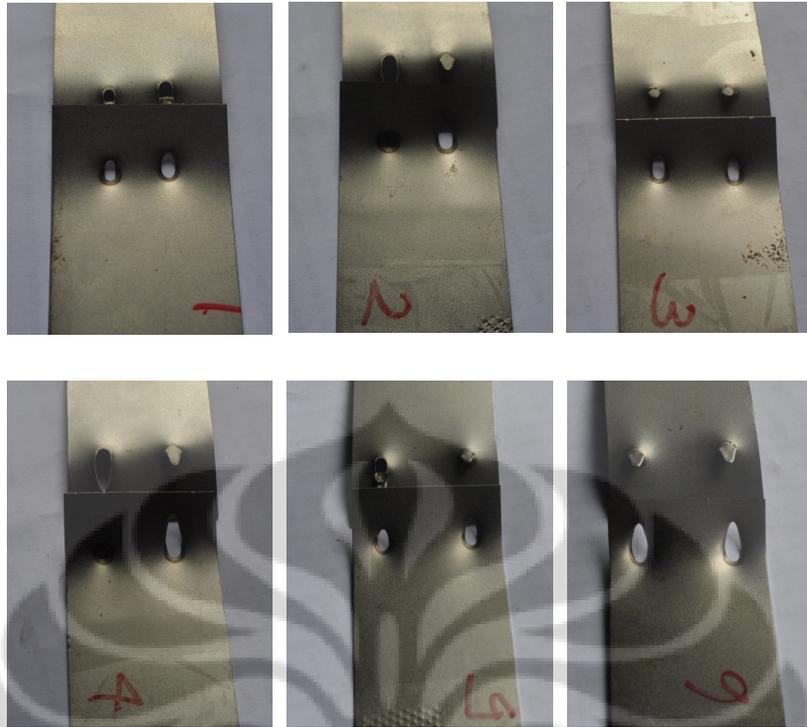
Gambar 4.2 Perbandingan beban tarik-geser versus jarak manik las DS

Dari hasil pengujian dan grafik diatas terlihat bahwa pada sampel dengan DS mengalami peningkatan beban yang digunakan dari jarak manik las 15 mm ke 20 mm namun mengalami penurunan beban dari pada jarak manik las 25 mm. Hal ini menunjukkan jarak manik las yang digunakan dapat mempengaruhi nilai beban yang dihasilkan. Peletakan tumpuan, dalam hal ini posisi dan jarak manik las yang tepat akan memberikan beban maksimal pada material yang dilas. Namun, jika peletakan tumpuan ini tidak tepat, maka beban yang dihasilkan akan kurang maksimal^[3]. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa beban maksimal sambungan DS ini berada pada jarak manik las 20 mm. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa jarak manik las yang digunakan akan mempengaruhi beban patah (*failure load*) pada sambungan las. Distribusi tegangan yang terdapat pada sambungan las akan berbeda pada jarak manik las yang bervariasi, termasuk juga pada jarak manik las ke tepi material. Gambar skematis dari distribusi bidang geser dan momen yang terjadi pada saat proses pengujian tarik-geser dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini^[3].



Gambar 4.3 Distribusi bidang geser dan momen^[3].

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa tegangan terbesar terdapat pada sambungan las, terutama bagian tepi antara manik las dengan HAZ. Namun dapat terlihat pada gambar 4.4 bahwa perobekan terjadi pada daerah HAZ. Hal ini dikarenakan kekuatan dan kekerasan pada daerah HAZ lebih rendah jika dibandingkan dengan manik las yang akan dibahas pada subbab berikutnya. Berikut merupakan gambar perpatahan hasil pengujian tarik.



Gambar 4.4 Spesimen DS hasil pengujian tarik-geser.

Gambar diatas memperlihatkan bahwa perpatahan yang terjadi merupakan tipe perpatahan *tearing* yang membuktikan bahwa manik las yang dihasilkan cukup kuat karena perobekan yang terjadi bukan pada daerah manik las, melainkan pada daerah sekitar HAZ maupun base metal^[1].

Sedangkan hasil pengujian yang didapatkan pada sampel TS menunjukkan bahwa beban tarik-geser yang diperoleh cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara manik las. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, jarak manik las akan mempengaruhi kekuatan dan beban yang dapat ditanggung oleh sambungan las. Momen yang diterima dapat dirumuskan sebagai berikut^[3].

$$M = W \cdot L^2 / 16 \dots \dots \dots (4.1)$$

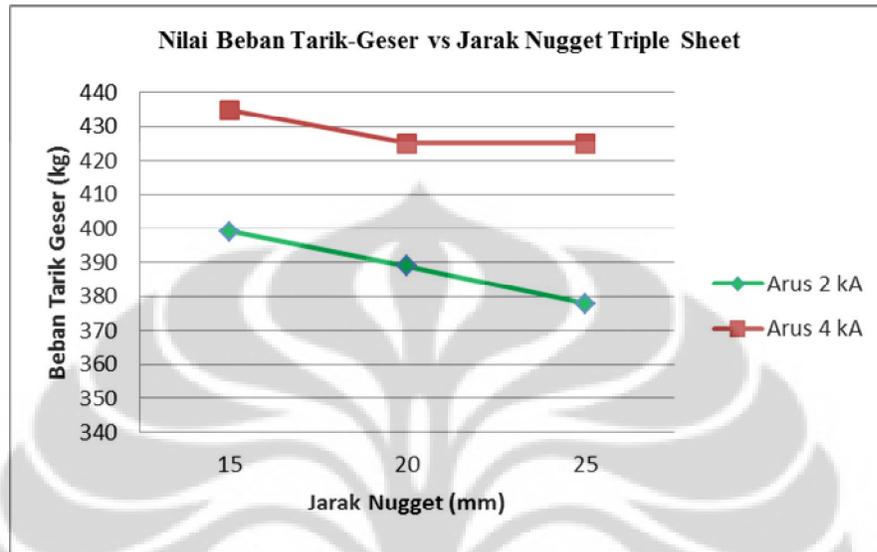
Dimana,

M : bidang momen

W : beban merata

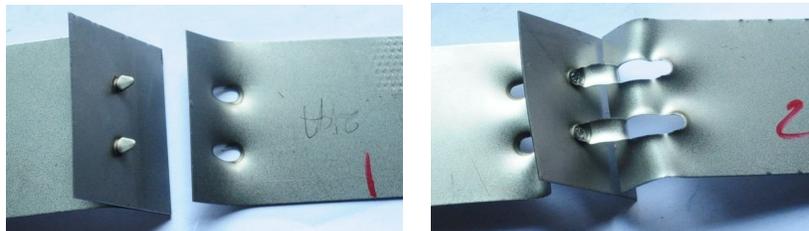
L : jarak antar *nugget*

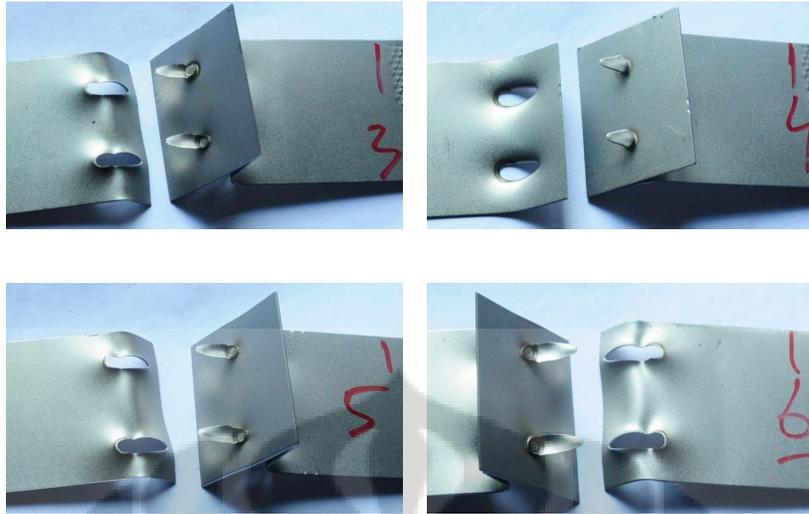
Dari persamaan 4.1 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antar manik las, maka bidang momen yang dihasilkan juga akan semakin besar sehingga akan semakin mudah suatu sambungan las untuk mengalami *failure load*.



Gambar 4.5 Perbandingan beban tarik-geser versus jarak manik las TS

Pada arus 2 kA, terjadi penurunan beban dari jarak manik las 15 mm ke 20 mm dan stabil hingga 25 mm. Sedangkan pada arus 4 kA terjadi penurunan beban yang cukup stabil. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, penentuan titik penumpuan akan mempengaruhi beban sambungan. Beban sambungan akan mencapai titik maksimal ketika jarak antara manik las yang digunakan mampu mendistribusikan tegangan tarik secara optimal. Hal ini dikarenakan gaya geser dan momen yang bekerja pada jarak manik las yang berbeda akan bervariasi^[3]. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa jarak manik las 15 mm memiliki beban yang paling maksimal.



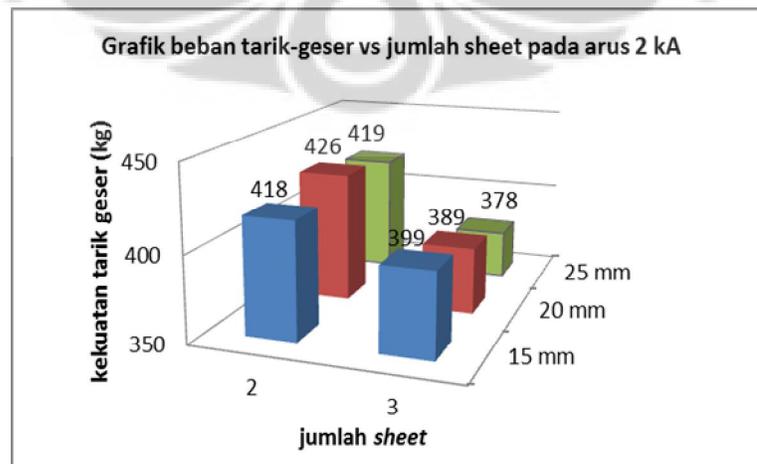


Gambar 4.6 Sampel TS hasil pengujian tarik-geser.

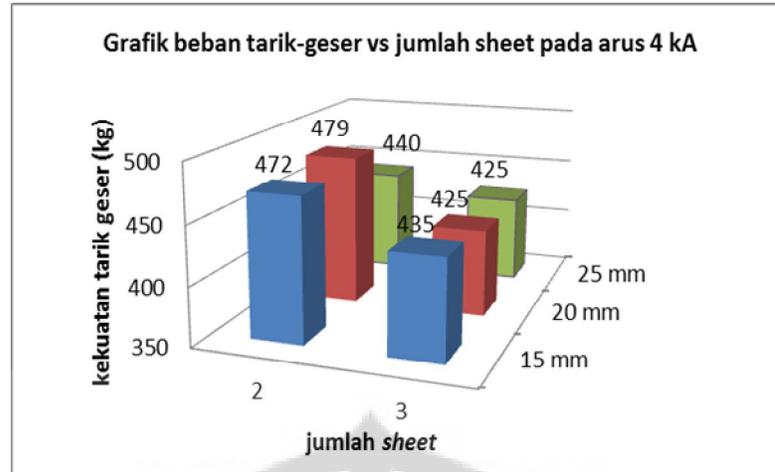
Perpatahan tipe *tearing* terlihat pada sample TS diatas yang menunjukkan bahwa manik las atau manik las yang terbentuk cukup kuat sehingga perobekan tidak terjadi diarea manik las tersebut.

4.2.2 Pengaruh Jumlah Lembaran.

Selain itu, jumlah lembaran yang digunakan dan ketebalan material juga akan mempengaruhi beban tarik-geser, seperti material TS yang digunakan pada penelitian ini.

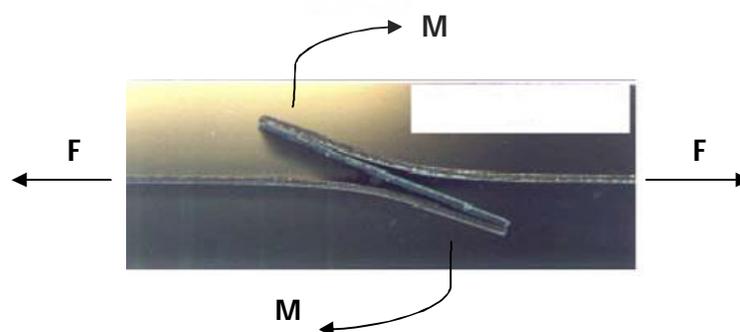


Gambar 4.7 Grafik beban tarik-geser vs jumlah lembaran pada arus 2 kA



Gambar 4.8 Grafik beban tarik-geser vs jumlah lembaran pada arus 4 kA.

Dari dua grafik diatas terlihat bahwa terjadi penurunan beban tarik-geser ketika jumlah lembaran yang digunakan bertambah. Hal ini terjadi baik pada arus 2 kA maupun pada arus 4 kA. Dengan demikian penambahan jumlah lembaran yang digunakan pada arus dan waktu yang sama akan menurunkan nilai beban sambungan/manik las. Pada sampel DS, total tebal dari material yang akan di las lebih sedikit jika dibandingkan dengan sampel TS. Selain itu, jumlah manik las yang terbentuk akan berbeda karena pada sample TS akan terbentuk manik las yang lebih tebal. Dengan demikian, *fusion process* pada DS akan lebih baik dan efektif jika dibandingkan dengan TS. Selain itu, disain sampel pengujian tarik pada material TS memudahkan terjadinya momen yang mengakibatkan pengaliran distribusi gaya ke arah yang tegak lurus dengan arah penarikan, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



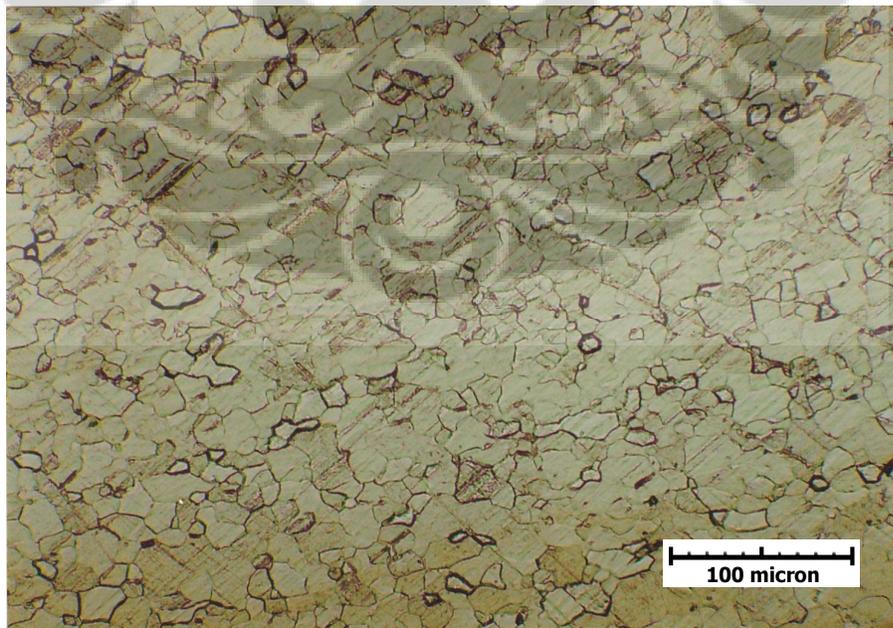
Gambar 4.9 Momen pada sampel TS^[10].

4.2.3 Pengaruh Besar Arus

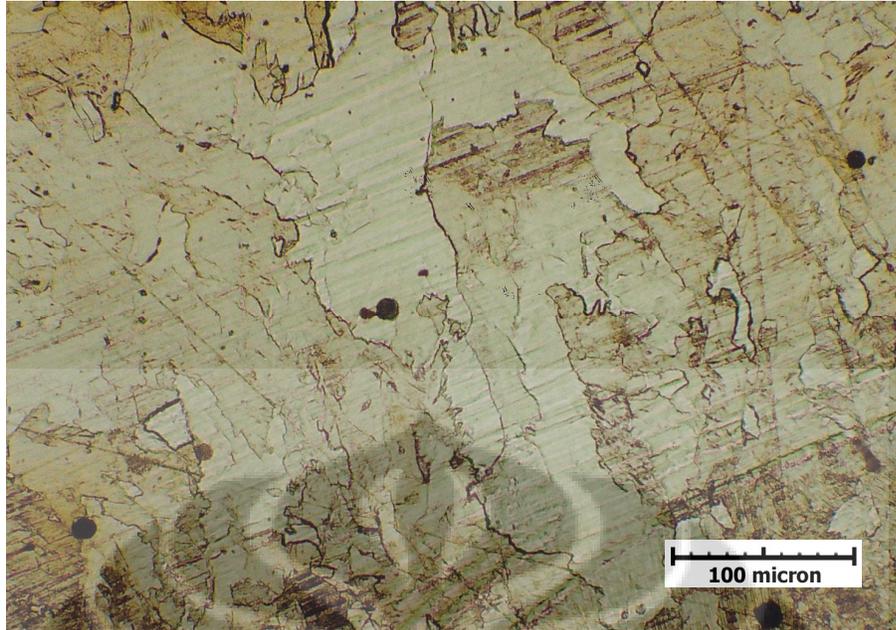
Seperti yang telah digambarkan pada grafik sebelumnya (gambar 4.2 dan 4.4) terlihat bahwa arus yang semakin besar akan meningkatkan beban tarik-geser dari sambungan las. Arus yang semakin besar akan memperbesar diameter manik las karena panas yang dihasilkan untuk *fusion process* pada pengelasan titik semakin besar. Seperti yang sudah dijelaskan, ukuran diameter manik las yang semakin besar akan meningkatkan beban sambungan.

4.3 Hasil Pengujian Mikrostruktur

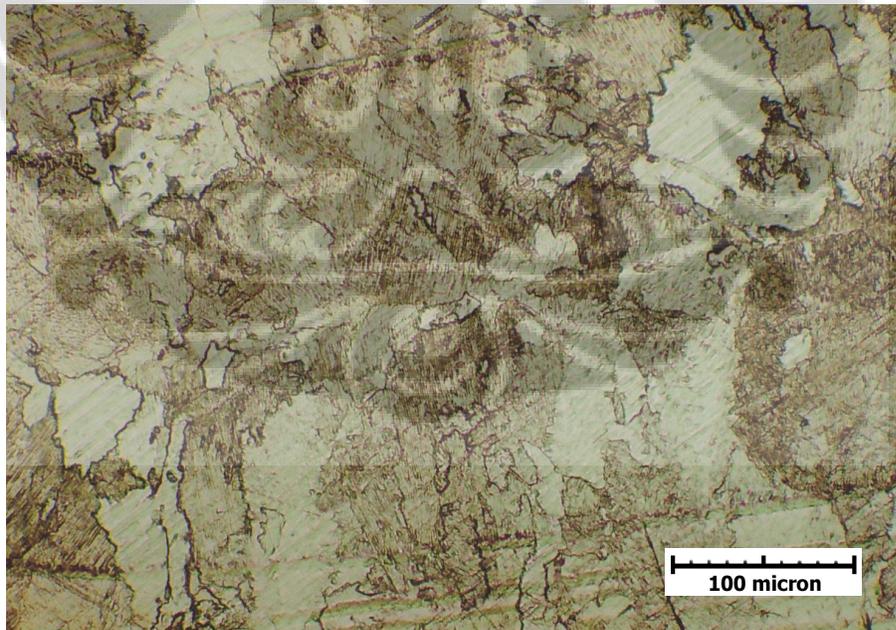
Manik las yang terbentuk pada sampel DS dan TS terlihat berbeda, meskipun memiliki fasa yang sama, yaitu adanya perlit dan bainit yang dapat meningkatkan kekerasan. Pada kuat arus yang lebih besar, yaitu 4 kA, manik las terlihat lebih jelas dan lebih tebal jika dibandingkan dengan kuat arus 2 kA. Bentuk ini mempengaruhi kekuatan dan kualitas sambungan las. Penampakan manik las yang lebih jelas dapat dilihat pada lampiran 1 dan 2. Berikut ini merupakan hasil pengamatan mikrostruktur base metal, HAZ dan manik las dari sampel DS dan TS.



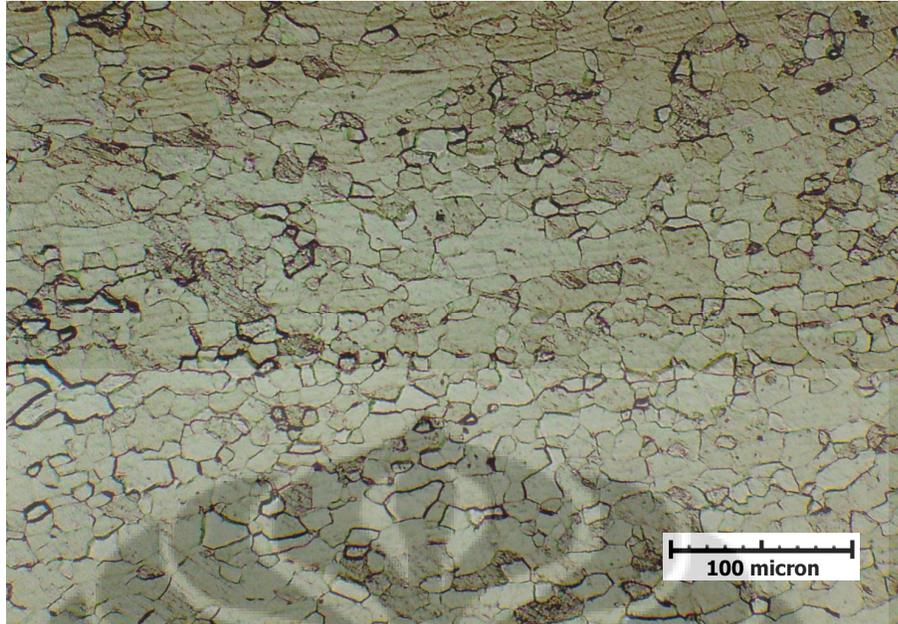
Gambar 4.10 Struktur *base metal* DS 2 kA. Nital 2-3%, 200x



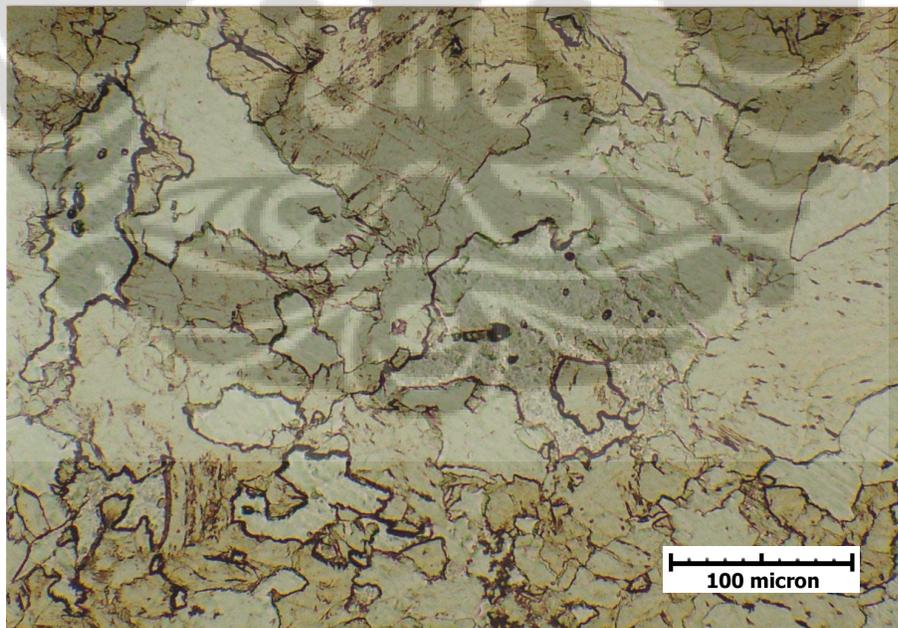
Gambar 4.11 Struktur HAZ DS 2 kA. Nital 2-3%, 200x



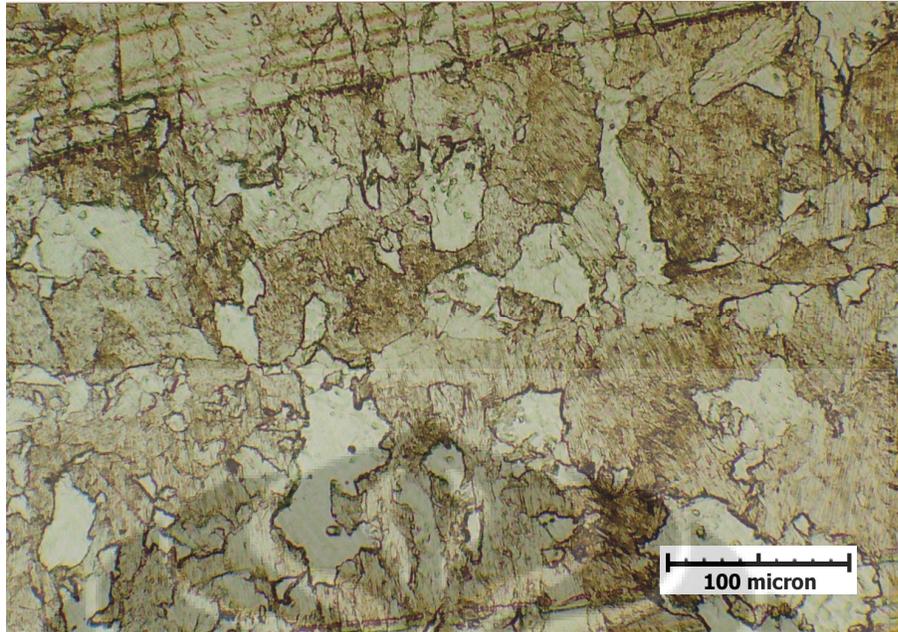
Gambar 4.12 Struktur *nugget* DS 2 kA. Nital 2-3%, 200x



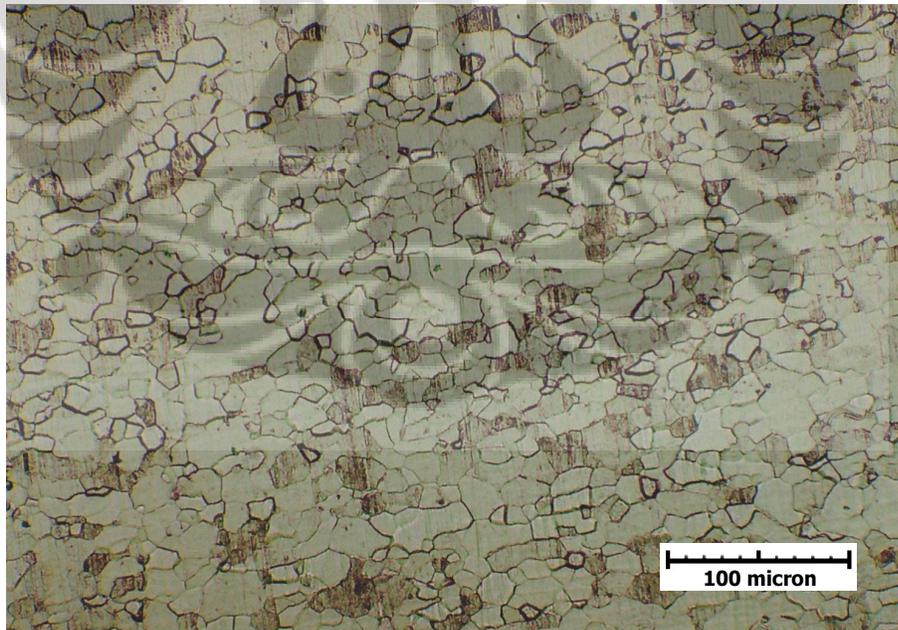
Gambar 4.13 Struktur *base metal* DS 4 kA. Nital 2-3%, 200x



Gambar 4.14 Struktur HAZ DS 4 kA. Nital 2-3%, 200x



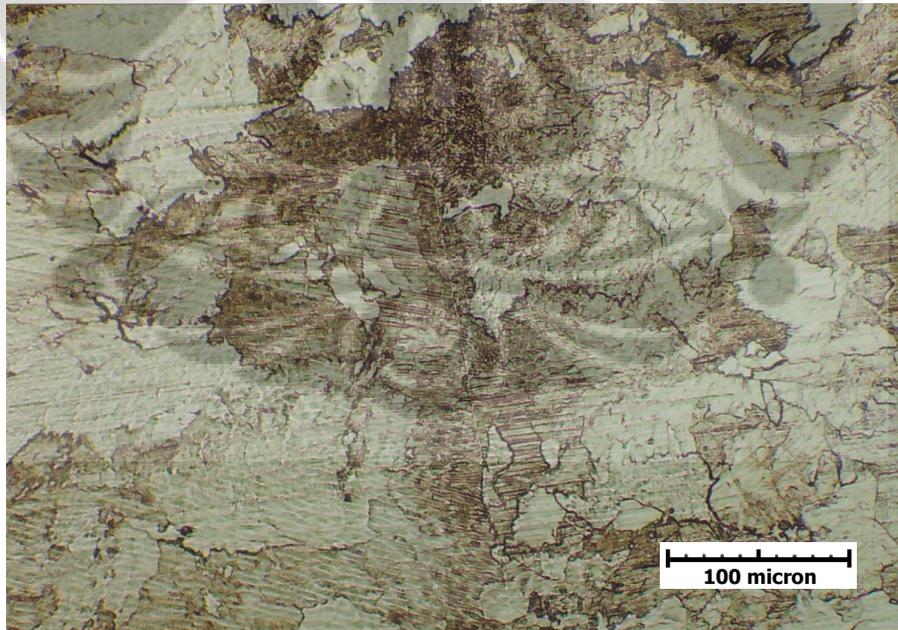
Gambar 4.15 Struktur *nugget* DS 4 kA. Nital 2-3%, 200x



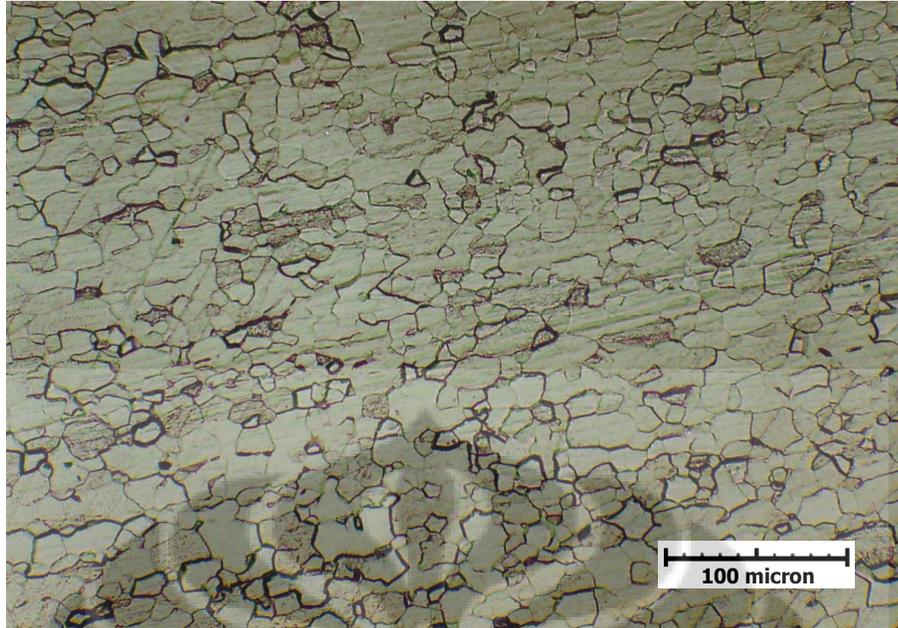
Gambar 4.16 Struktur *base metal* TS 2 kA. Nital 2-3%, 200x



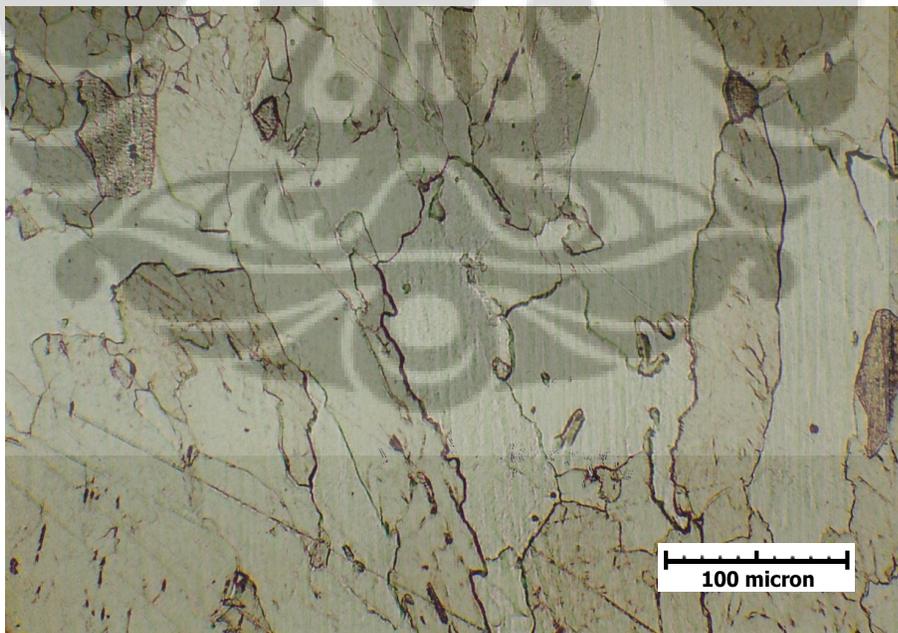
Gambar 4.17 Struktur HAZ TS 2 kA. Nital 2-3%, 200x



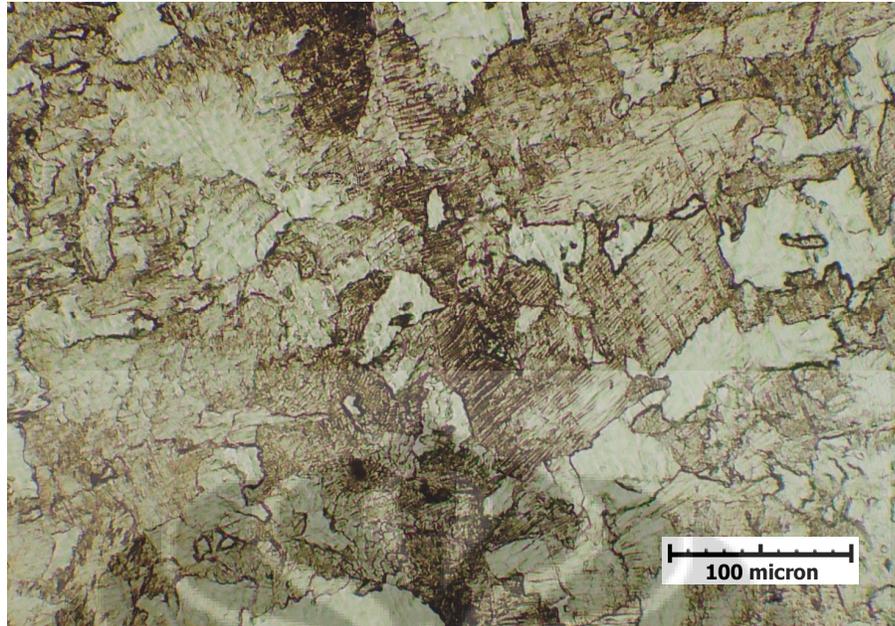
Gambar 4.18 Struktur *nugget* TS 2 kA. Nital 2-3%, 200x



Gambar 4.19 Struktur *base metal* TS 4 kA. Nital 2-3%, 200x



Gambar 4.20 Struktur HAZ TS 4 kA. Nital 2-3%, 200x



Gambar 4.21 Struktur *nugget* TS 4 kA. Nital 2-3%, 200x

Adanya siklus termal pada proses pengelasan titik mengakibatkan terjadinya perubahan mikrostruktur serta sifat metalurgi pada sambungan. Adanya daerah material dasar/base metal, HAZ serta daerah manik las membuktikan adanya perubahan mikrostruktur ini. Pada daerah HAZ dapat terlihat bahwa terjadi pembesaran butir sehingga merubah sifat mekanis akibat siklus termal tersebut. Daerah HAZ menjadi lebih lemah dan mudah patah akibat perubahan metalurgi ini. Suatu sambungan las bisa dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila tidak robek pada bagian manik las^[3].

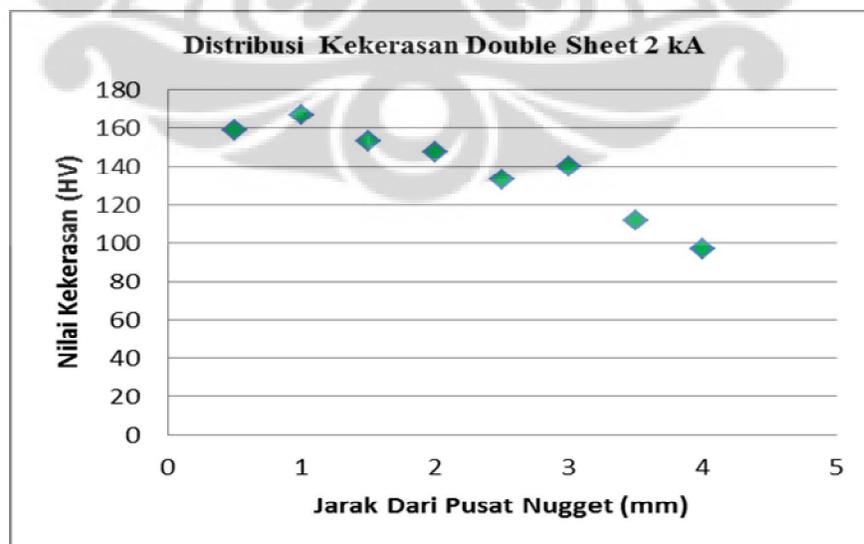
Pada bagian logam induk/*base metal*, baik pada sampel DS maupun TS terlihat adanya struktur ferrite. Butir dari struktur ferit ini semakin besar seiring dengan jaraknya yang semakin dekat dengan manik las. Dalam penelitiannya, F. Khodabakhshi, et. al.,^[12] yang meneliti sifat mekanis dan mikrostruktur baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,0527%, menjelaskan bahwa struktur pada material dasar ialah ferit dengan tambahan sekitar 6% perlit. Lebih lanjut penelitian ini menambahkan pada daerah HAZ terjadi perubahan mikrostruktur yang lebih heterogen yang dipengaruhi oleh jarak daerah ini pada manik las.

Sedangkan pada daerah manik las mikrostruktur yang terjadi ialah martensit dan ferit^[12].

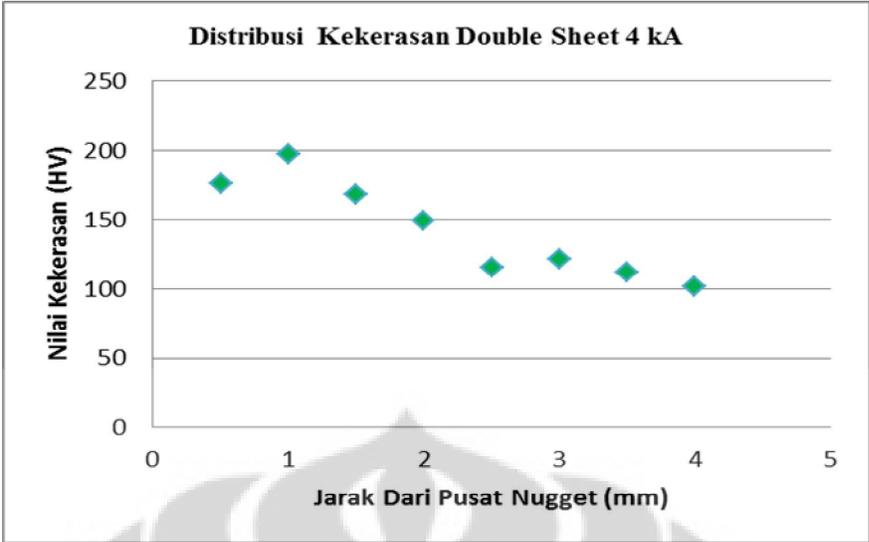
Namun struktur martensit tidak terlihat pada proses pengelasan titik ini, baik pada DS, maupun TS. Kadar karbon yang terlalu rendah (0,005%) dan distribusi beban yang tidak terlalu tinggi dapat dijadikan penyebab tidak adanya struktur ini. Pada gambar mikro DS dan TS diatas, struktur yang terdapat pada *base metal* ialah ferit, lalu pada daerah HAZ dan manik las terlihat adanya struktur perlit dan bainit (daerah gelap) dan struktur ferit yang berwarna lebih terang yang merupakan perubahan dari austenit saat proses peleburan terjadi. Komposisi perlit dan bainit pada daerah HAZ lebih kecil dari daerah manik las. Dari diagram fasa Fe-Fe₃C juga memperlihatkan bahwa kadar karbon yang rendah akan merubah/mentransformasikan austenit menjadi ferit proeutektoid dan perlit atau ferit proeutektoid dan bainit dimana kombinasi pemanasan dan pendinginan yang cepat pada proses pengelasan titik akan menentukan ketebalan lamel perlit (kasar/halus) serta jenis bainit (atas/bawah)^[3].

4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

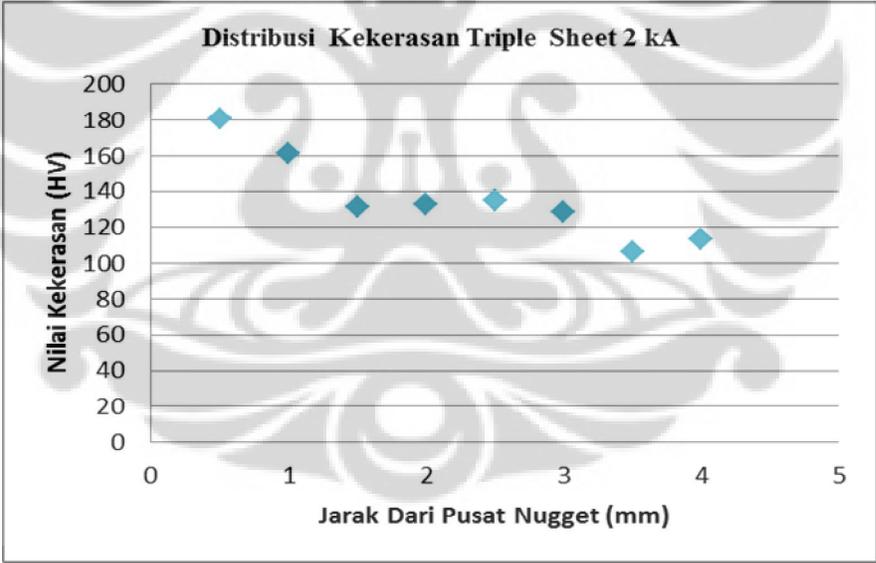
Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.16 sampai dengan gambar 4.19 berikut ini.



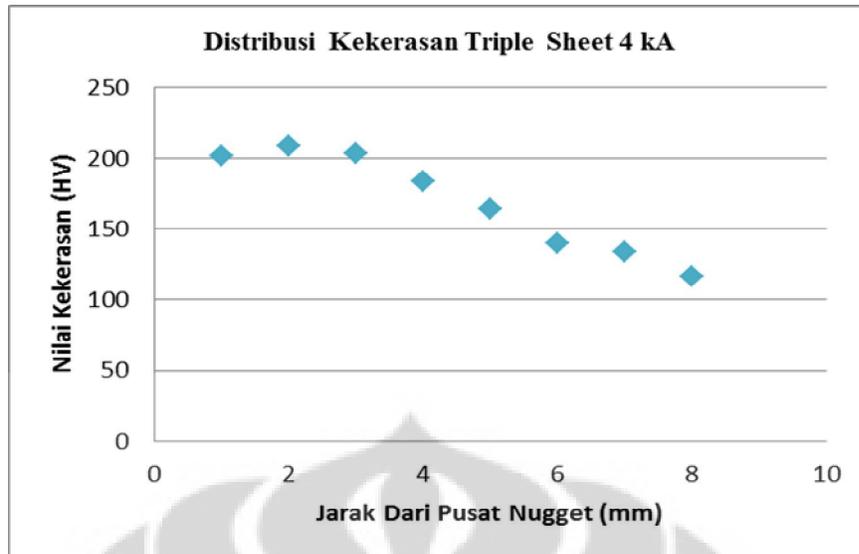
Gambar 4.22 Grafik distribusi kekerasan sampel DS 2 kA



Gambar 4.23 Grafik distribusi kekerasan sampel DS 4 kA



Gambar 4.24 Grafik distribusi kekerasan sampel TS 2 kA



Gambar 4.25 Grafik distribusi kekerasan sampel TS 4 kA

Dari grafik distribusi kekerasan diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kekerasan ke arah pusat manik las. Peningkatan kekerasan diakibatkan oleh perubahan struktur mikro dari siklus termal pengelasan. Dari distribusi kekerasan ini juga terlihat bahwa tidak terjadi tumpang tindih antara manik las yang ada yang dapat diindikasikan dengan berimpitnya daerah HAZ, sehingga jarak manik las yang diambil merupakan jarak yang telah memenuhi persyaratan.

Perbedaan kekerasan yang terjadi pada grafik diatas disebabkan oleh tebal tipisnya lamel pearlite yang terbentuk. Pembentukan lamel ini tergantung pada laju pengintian (N) dan pertumbuhan butir (G). Laju pendinginan yang lambat akan menyebabkan pertumbuhan butir lebih cepat dari laju pengintian, sehingga menghasilkan struktur *coarse pearlite* dengan lamel yang lebih lebar serta beban yang lebih rendah. Sedangkan jika laju pendinginan lebih cepat lagi, laju pengintian (N) akan relatif seimbang dengan pertumbuhan butir (G) sehingga lamel perlit yang dihasilkan lebih halus dan tipis (*fine pearlite*) serta memiliki beban yang lebih besar^[3].

Dari grafik diatas juga dapat diketahui bahwa arus yang digunakan akan mempengaruhi kekerasan dari daerah sambungan las. Distribusi kekerasan akan

meningkat dengan meningkatnya arus yang digunakan. Hal ini disebabkan bertambahnya masukan panas pada daerah sambungan las sehingga siklus termal yang dialami, yaitu laju pemanasan dan laju pendinginan akan semakin cepat terjadi. Dengan demikian laju pengintian (N) dan pertumbuhan butir (G) relatif lebih seimbang sehingga menghasilkan struktur lamel perlit yang lebih halus dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Dari hasil pengujian kekerasan tersebut diketahui bahwa distribusi kekerasan tertinggi berada pada daerah manik las *DS* (197 HV) dan *TS* (208 HV).



\

BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan arus akan mempengaruhi ukuran diameter jejak elektroda dan manik las yang terbentuk. Semakin besar arus yang digunakan, maka diameter jejak elektroda akan semakin besar.
2. Semakin dekat dengan daerah manik las, maka nilai kekerasan akan semakin tinggi. Begitupun dengan arus yang digunakan, semakin besar arus, maka kekerasan semakin meningkat. Kekerasan maksimal tercapai pada daerah manik las dengan nilai 208 HV (*triple sheet*) dan 197 HV (*double sheet*)
3. Perbedaan jarak manik las dapat mempengaruhi beban tarik-geser. Beban tarik-geser optimum pada spesimen *double sheet* terjadi pada jarak manik las 20 mm sedangkan pada spesimen *triple sheet* terjadi pada jarak manik las 15 mm.
4. Terjadi perubahan mikrostruktur selama proses pengelasan dilakukan, terutama pada daerah HAZ dan manik las yang menyebabkan sifat mekanis material berubah. Semakin besar manik las dan jejak elektroda yang terbentuk, maka kekerasan dan kekuatan tarik-geser akan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

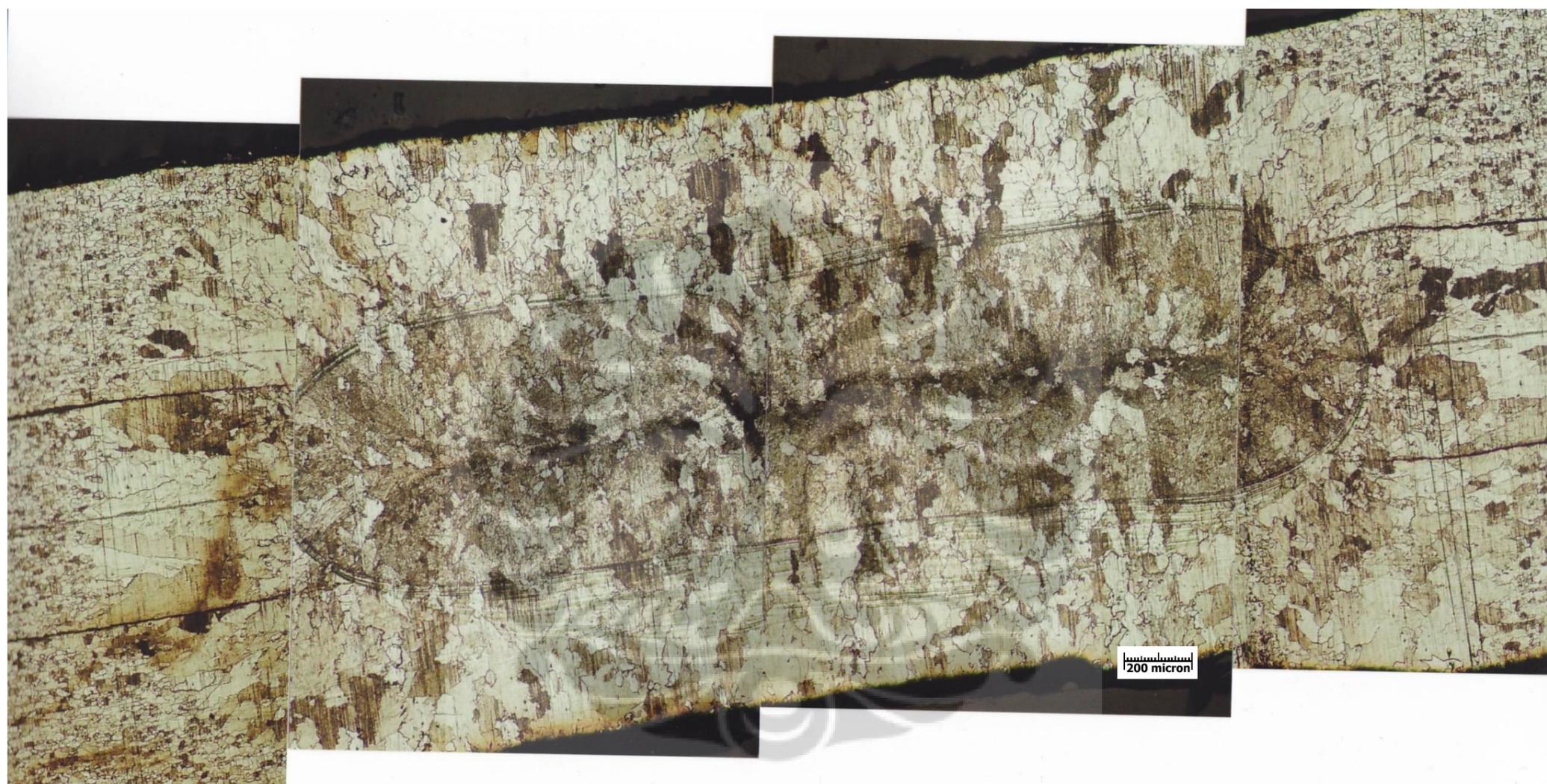
- [1] **Aslanlar, A., Ogur, A., Ozsarac, U., Ilhan, E.** (2008). *Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding*. *Materials and Design*, 29, 1427-1431.
- [2] **Anis, Muhammad.** *Teknologi Pengelasan Logam*. Diklat Kuliah Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Depok.
- [3] **Subowo.** (1997). *Pengaruh jarak nugget pada las titik terhadap kekuatan geser dan fatik baja karbon rendah SPCD*. Program Pascasarjana Universitas Indonesia. Depok
- [4] *The welding of aluminium and its alloys.* (1990). Chapter 9 – Resistance welding process. Page 167.
- [5] **Anis, Muhammad., Irsyadi, Aulia., Ferdian, Deni.** (2009). *Studi lapisan intermetalik Cu₃Sn Pada ujung elektroda dalam pengelasan titik baja galvanis*. *Makara, Teknologi*, 13, 91-95.
- [6] **Lei, Zhenzhen., Kang, HongTae., Liu, Yonggang.** (2011). *Finite element analysis for transient thermal characteristics of resistance spot welding process with three sheets assemblies*. *Procedia Engineering*, 16, 622-631.
- [7] **Anon.**(2005) *Handbook for Resistance Spot Welding*. Miller. Appleton. Wisconsin, p.6.
- [8] *Resistance Welding Manual.* (2009). Ruukki. Rautaruukki Corporation. Helsinki. Finland.
- [9] **Weman, Klas.** (2003). *Welding Processes Handbook*. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd. ISBN 1 85573 689 6.
- [10] **Choi, Byuong-Ho., Joo, Dong-Ho., Song, Sam-Hong.** (2007). *Observation and prediction of fatigue behavior of spot welded joints with triple thin steel plates under tensile-shear loading*. *International Journal of Fatigue*, 29, 620-627.
- [11] **Shen, Jie., Zhang, Yansong., Lai, Xinmin., Wang, P.C.** (2011). *Modeling of resistance spot welding of multiple stacks of steel sheets*. *Material and Design*, 32, 550-560.
- [12] **Khodabakhshi, F., Kazeminezhad, M., Kokabi, A.H.** (2011). *Mechanical properties and microstructure of resistance spot welded*

severely deformed low carbon steel. Material Science and Engineering A 529, 237-245

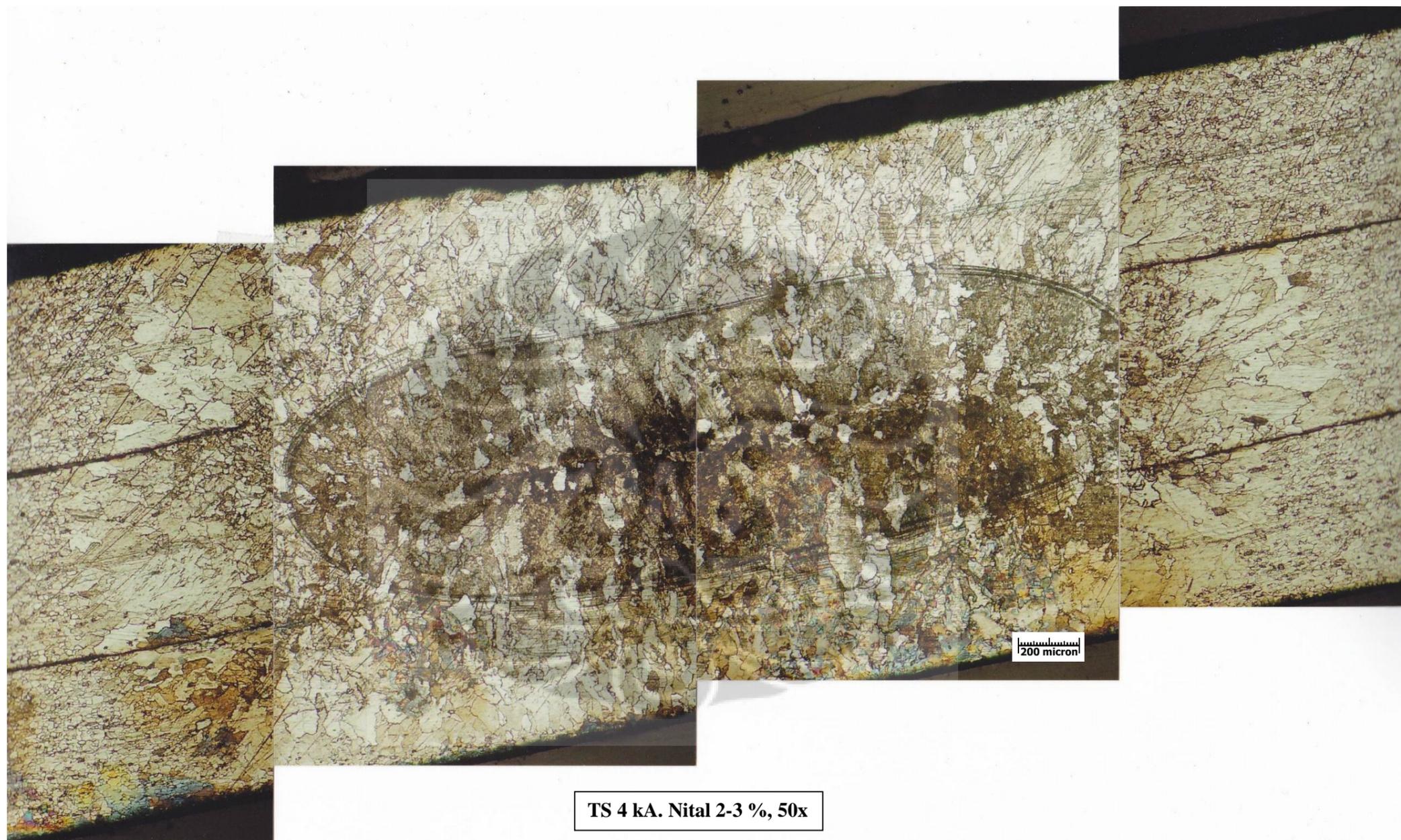
- [13] **Donders, Stjin., Brughmans, Marc., Hermans, Luc., Tzannetakis, Nick.** *The Effect of Spot Weld Failure on Dynamic Vehicle Performance*. LMS International & Noesis Solutions, Interleuvenlaan 68, 3001 Leuven, Belgium.
- [14] **Alcini, W.V.** (1992). *Experimental Measurement of Liquid Nugget Heat Convection in Spot Welding*. Welding Research Suplemen, pp 363s-390s.
- [15] ASM Handbook. (1991). *Heat Treating*. The Materials Information Company. Vol. 04
- [16] **Kailas, Satish V.** *Material Science, Ch.6 Phase Diagram*. Indian Institute of Science. India.
- [17] The Welding Institute. (1990). *Research Bulletin*. Vol. 22.
- [18] **Aslanlar, S.** (2006). *The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry*. Material and Design 27, 125-131.
- [19] **Callister, William D.** (2006). *Material Science and Engineering An Introduction*. John wiley & Sons, Inc. Utah. Page 290.
- [20] ASTM E384. (2002). *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Material*. ASTM Internatioal. Page 2.

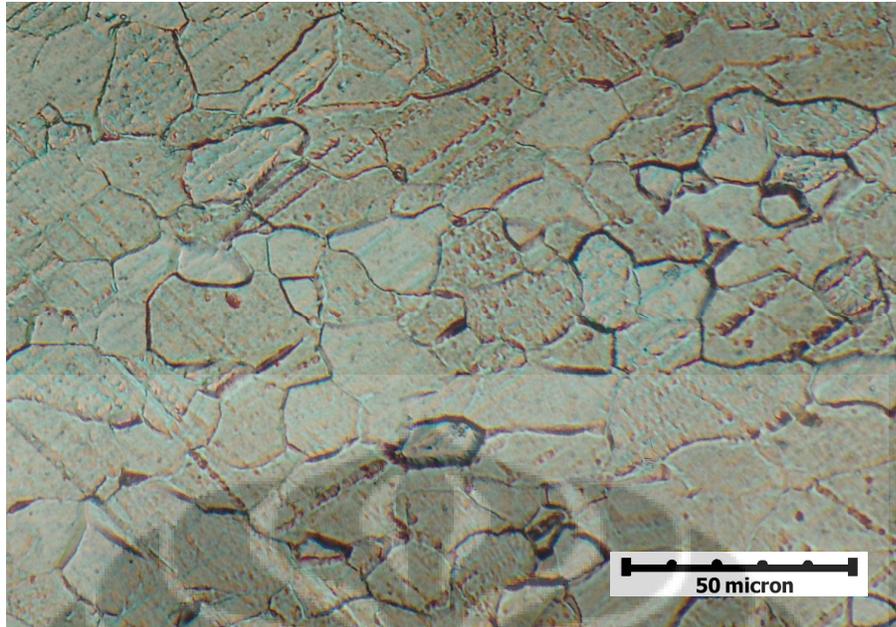




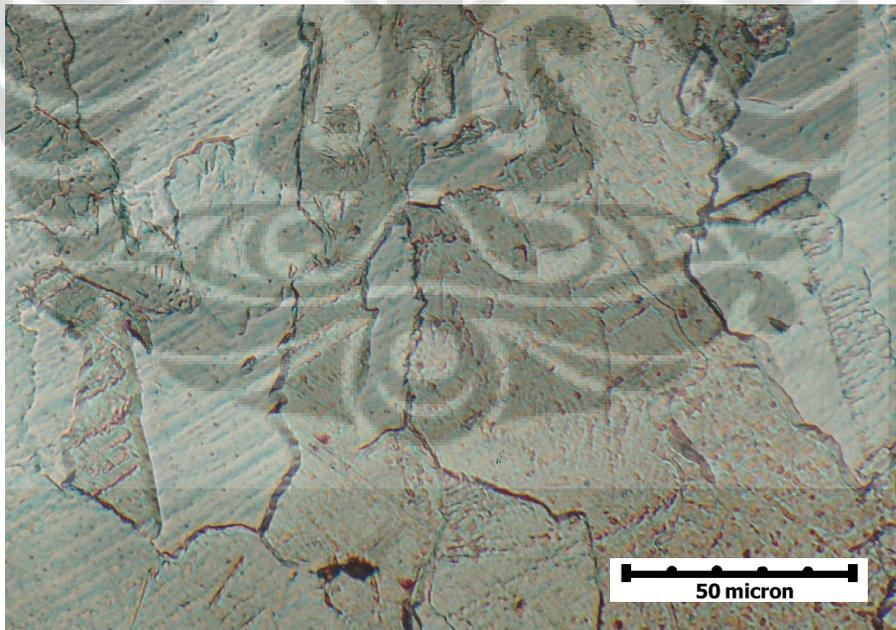


TS 2 kA. Nital 2-3 %, 50x

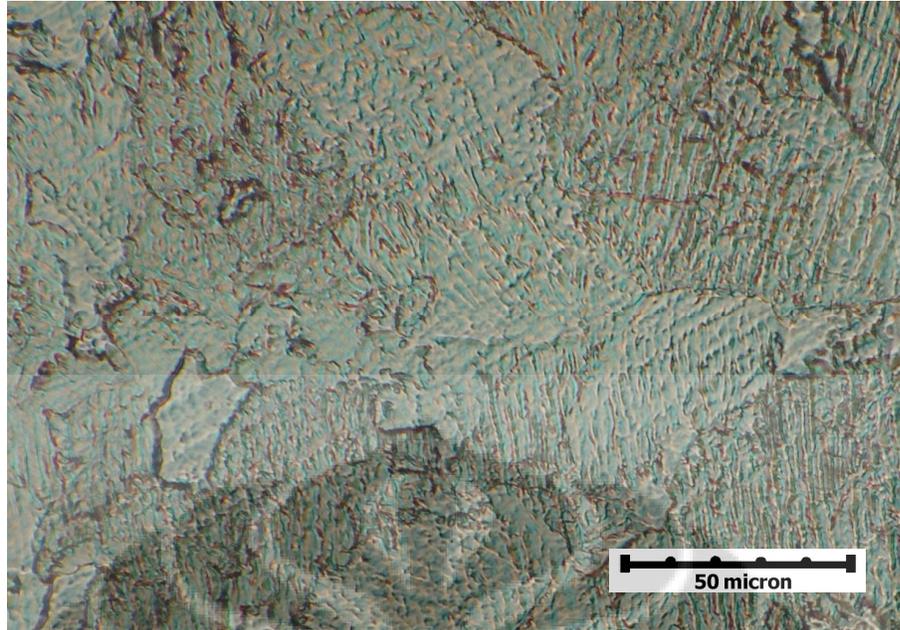




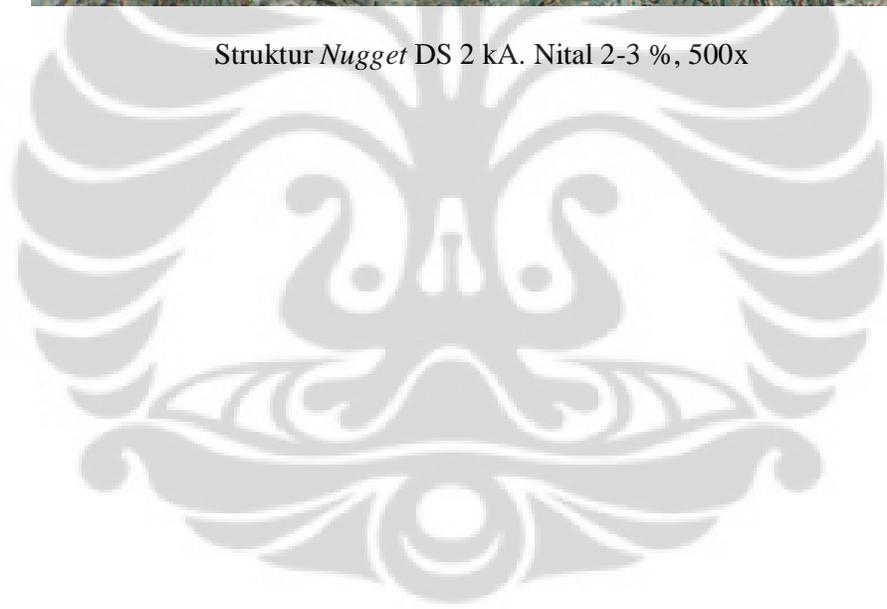
Struktur *base metal* DS 2 kA. Nital 2-3 %, 500x



Struktur HAZ DS 2 kA. Nital 2-3 %, 500x



Struktur *Nugget* DS 2 kA. Nital 2-3 %, 500x





Department of Metallurgy and Materials Engineering
UNIVERSITY OF INDONESIA

CHEMICAL COMPOSITION TEST REPORT

Contract No. / No. Kontrak : Pak Munir

Standards / Standar : ASTM A751

Customer / Pemberi Kerja :

Material / Material :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.784	< 0.0050	< 0.0100	0.145	< 0.0100	< 0.0100	0.0196	< 0.0100
2	99.806	< 0.0050	< 0.0100	0.129	< 0.0100	< 0.0100	0.0129	< 0.0100
3	99.812	< 0.0050	< 0.0100	0.127	< 0.0100	< 0.0100	0.0113	< 0.0100
4	99.803	< 0.0050	< 0.0100	0.132	< 0.0100	< 0.0100	0.0120	< 0.0100
Ave	99.801	< 0.0050	< 0.0100	0.133	< 0.0100	< 0.0100	0.0140	< 0.0100

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	< 0.0100	0.0356	< 0.0100	< 0.0050	< 0.0050	0.0111	< 0.0050	< 0.0250
2	< 0.0100	0.0355	< 0.0100	< 0.0050	< 0.0050	0.0117	< 0.0050	< 0.0250
3	< 0.0100	0.0372	< 0.0100	< 0.0050	< 0.0050	0.0092	< 0.0050	< 0.0250
4	< 0.0100	0.0364	< 0.0100	< 0.0050	< 0.0050	0.0112	< 0.0050	< 0.0250
Ave	< 0.0100	0.0362	< 0.0100	< 0.0050	< 0.0050	0.0108	< 0.0050	< 0.0250

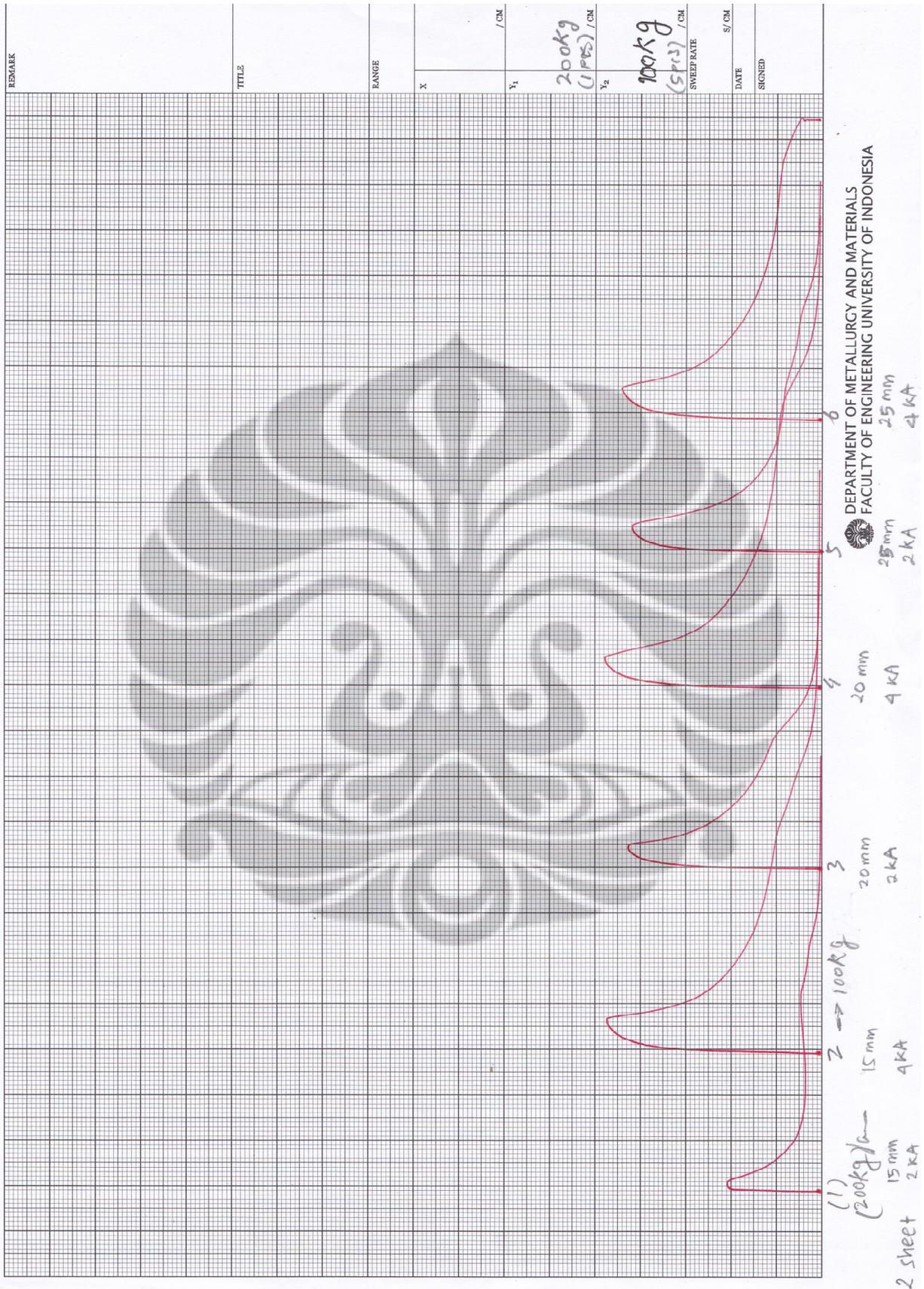
	Pb
1	< 0.0500
2	< 0.0500
3	< 0.0500
4	< 0.0500
Ave	< 0.0500

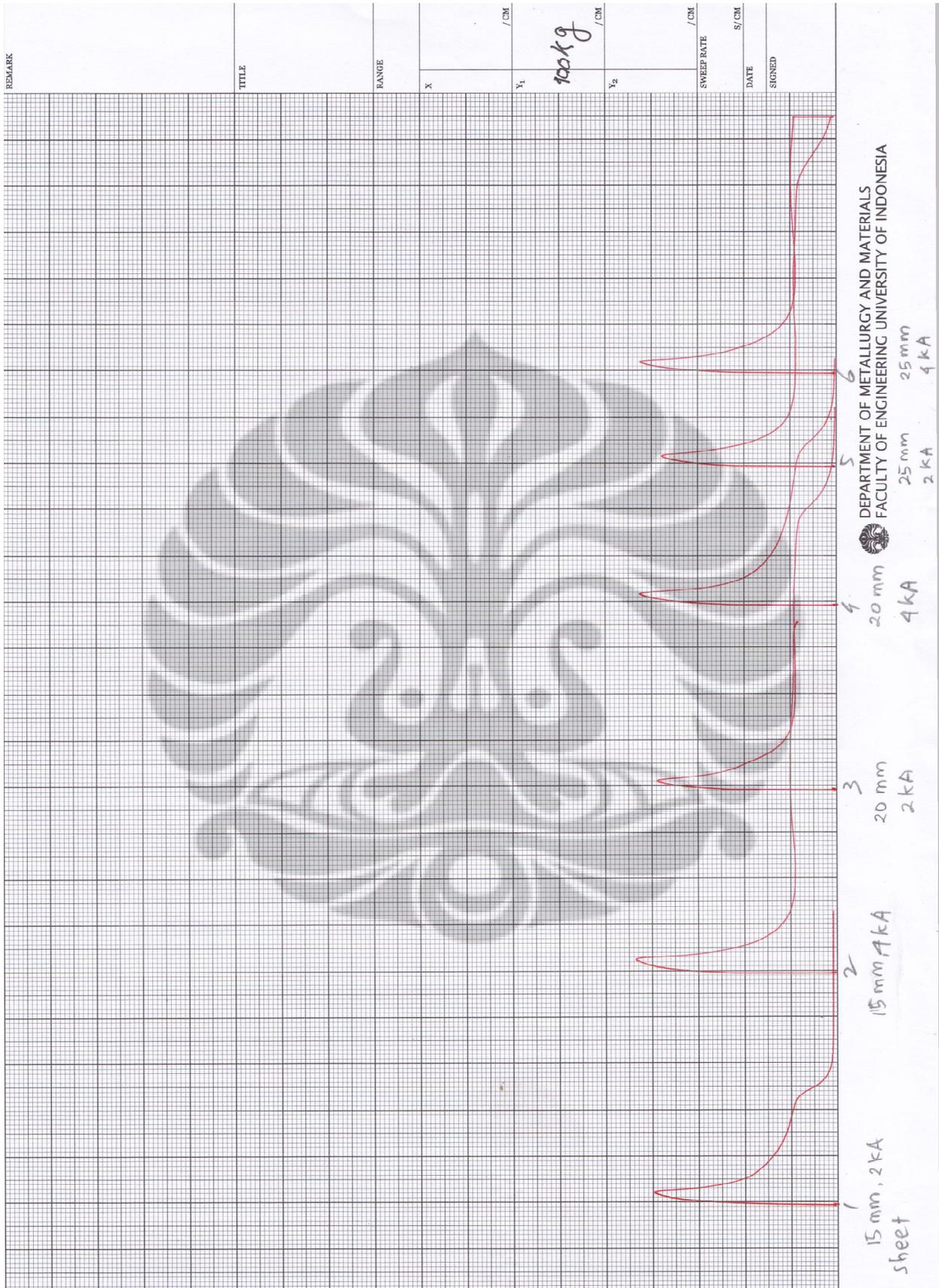
Datum / date
2/29/2012

Tested by / Diuji oleh :

Approved by / Disetujui oleh :

Center of Materials Processing and Failure Analysis
Dept. of Metallurgy and Material Engineering
Gedung Metalurgi dan Material FTUI
Kampus Baru Universitas Indonesia
Depok - West Java INDONESIA 16424
Tel. : +62 21 7863510 Fax: +62 21 7872350
Web: www.metal.ui.ac.id
e-mail: cmpfa@metal.ui.ac.id





Data Kekerasan

Double 2 kA	
HV	Jarak dari pusat nugget (mm)
158	0.5
167	1
153	1.5
147	2
133	2.5
139	3
112	3.5
96	4

Triple 2 kA	
HV	Jarak dari pusat nugget (mm)
180	0.5
161	1
131	1.5
132	2
134	2.5
129	3
106	3.5
113	4

Double 4 kA	
HV	Jarak dari pusat nugget (mm)
176	0.5
197	1
168	1.5
149	2
116	2.5
121	3
112	3.5
101	4

Triple 4 kA	
HV	Jarak dari pusat nugget (mm)
201	0.5
208	1
203	1.5
183	2
164	2.5
139	3
134	3,5
116	4

Ket :

- Merah : daerah *nugget*
- Cokelat : daerah HAZ
- Hijau : daerah *base metal*