

**ANALISA VARIASI JARAK DAN JUMLAH NUGGET PADA
PENGELASAN *SPOT WELDING* TERHADAP TEGANGAN GESER
LEMBARAN LOGAM**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana
Pendidikan Strata Satu (S1) Di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



ROBBY VERNANDO

NIM. 1201969

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2016

PERSETUJUAN SKRIPSI

"ANALISA VARIASI JARAK DAN JUMLAH NUGGET PADA
PENGELASAN SPOT WELDING TERHADAP TEGANGAN GESER
LEMBARAN LOGAM"

Nama : Robby Vernando
NIM/BP : 1201969/2012
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Agustus 2016

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I



Drs. Purnawanono, M.Pd.

NIP. 19630804 198603 1 002

Dosen Pembimbing II



Drs. Syahrul, M.Si.

NIP. 19610829 198703 1 003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNP



Arwiset K. S.T., M.T.

NIP.19690920 199802 1 001

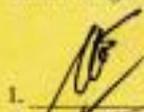
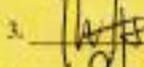
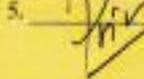
PERSETUJUAN PENGESAHAN SKRIPSI

"ANALISA VARIASI JARAK DAN JUMLAH NUGGET PADA
PENGELASAN *SPOT WELDING* TERHADAP TEGANGAN GESER
LEMBARAN LOGAM"

Judul : Analisa Variasi Jarak dan Jumlah Nugget pada
Pengelasan *Spot Welding* terhadap Tegangan Geser
Lembaran Logam
Nama : Robby Veruando
NIM/BP : 1201969/2012
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Agustus 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Purwantono, M.Pd.	1. 
2. Sekretaris	: Drs. Syahrul, M.Si.	2. 
3. Anggota	: Dr. Waskito, M.T.	3. 
4. Anggota	: Drs. Jasman, M.Kes.	4. 
5. Anggota	: Primawati, M.Si.	5. 

Bismillah...

Ya Rabbi...

Tanpa izin-Mu takkan hamba dapatkan gelar ini
Tanpa izin-Mu takkan mampu hamba melewati semua ujian ini
Tanpa cinta, kasih, dan sayang-Mu takkan bisa hamba bertahan hingga detik ini
Tanpa ilmu-Mu takkan bisa hamba menjadi seorang yang berilmu
Engkau Yang Maha Mengetahui

Ya Rabbi...

Jangan pernah Engkau padamkan semangat hamba untuk berjuang dalam
kebaikan
Jangan pernah Engkau sesatkan jalan hamba untuk menuntut ilmu dunia dan
akhirat
Jangan pernah Engkau jauhkan hamba dari cahayamu ketika dalam kegelapan
Jangan pernah Engkau lemahkan hamba ketika jatuh

Ya Rabbi...

Istiqmahkan hati hamba dalam pilihan yang baik
Berikanlah rahmat, kasih sayang, kemudahan rezeki, kesejahteraan Dunia &
Akhirat
Kepada orang-orang yang telah membantu, membimbing, mendidik hamba ke
jalan lurusmu

Sayangilah orang-orang yang menyayangi dan mengasihi hamba
Engkau Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang
Aamiin...

Tiada daya upaya dan Kekuatan melainkan dengan pertolongan-Mu
Yang Maha Tinggi lagi Maha Mulia.

Alhamdulillah

Sebuah langkah usai sudah
Satu cita telah ku gapai. Namun
Itu bukan akhir dari perjalanan
Melainkan awal dari satu perjuangan
mama

Do'a mu menjadikan ku bersemangat
Kasih sayang mu yang membuatku menjadi kuat
Hingga aku selalu bersabar
melalui ragam cobaan yang mengejar
Kini cita-cita dan harapan telah ku gapai
papa.....

Petuah mu bak pelita, menuntun ku dijalan-Nya
Peluh mu bagai air, menghilangkan haus dahaga
Hingga darah ku tak membeku
Dan raga ku belum berubah kaku
papa & mama tersayang

Kutata masa depan dengan Do'a mu
Kugapai cita dan impian dengan pengorbanan mu
Kini

Ku persembahkan karya tulis ini untuk mamaku tercinta Supik dan papa Arjoni, lewat doa restu dari beliau berdua anakmu ini dapat berjuang, diberikan kesehatan, dimudahkan rizeki dan segala urusan selama menempuh pendidikan. Terima Kasih...

Abangku Tommi Ramadhani Adekku M.Iqbal Nur Sidik yang mendoakan aku selama disini .

Terima kasih juga kepada seluruh keluarga besarku yang telah membimbingku selama ini dan mendoakan ku untuk bisa terus fokus belajar.

Terima kasih juga untuk Sahabat kawan cakak kawan dari tapanca sampai kini lah kuliah harri pranata, Arif Satria, Cebong, uda airman fen, nando kur, Hifnul Riski, Oki Darwis, Bro Iza, dedek zaki dafuq, yadi and the gengs pembuli den, Gito Aritama , warman bele hafis, dan yang selalu memberikan motivasi dan semangat untukku selalu (.....), Kisah saat kita berjuang bersama adalah kisah yang sangat mahal harganya, dan tak bisa tergantikan oleh apapun jua.

Sungguh kebersamaan yang kita bangun selama ini telah banyak merubah kehidupanku. Kemarahanmu telah menuntunku menuju kedewasaan, senyummu telah membuka cakrawala dunia dan melepaskan belenggu-belenggu ketakutanku, tetes air mata yang mengalir di pipimu telah mengajarku arti kepedulian yang sebenarnya, dan gelak tawamu telah membuatku bahagia. Sungguh aku bahagia bersamamu, bahagia memiliki kenangan indah dalam setiap bait pada paragraf kisah persahabatan kita. Bila Tuhan memberikanku umur panjang, akan aku bagi harta yang tak ternilai ini (persahabatan) dengan anak dan cucuku kelak.

Untuk mu Guru-guruku (Dosen Teknik Mesin Unp); semoga Allah selalu melindungimu dan meninggikan derajatmu di dunia dan di akhirat, terima kasih atas bimbingan dan arahan selama ini. Semoga ilmu yang telah diajarkan menuntunku menjadi manusia yang berharga di dunia dan bernilai di akhirat.

Alhamdulillah robbil 'aalamiin...

“Ya Allah, jadikanlah Iman, Ilmu dan Amal ku sebagai lentera jalan hidupku keluarga dan saudara seimanku”

. Bila Anda berpikir Anda bisa, maka Anda benar. Bila Anda berpikir Anda tidak bisa, Anda pun benar... karena itu ketika seseorang berpikir tidak bisa, maka sesungguhnya dia telah membuang kesempatan untuk menjadi bisa.

Salah satu penemuan terbesar umat manusia adalah bahwa mereka bisa melakukan hal-hal yang sebelumnya mereka sangka tidak bisa dilakukan.

Robby Vernando

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Agustus 2016

Yang menyatakan



Robby Vernando

NIM 1201969/2012

Abstrak

Robby Vernando : Analisa Variasi Jarak dan Jumlah *Nugget* pada Pengelasan *Spot Welding* Terhadap Tegangan Geser Lembaran Logam

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah *Nugget* (2, 3, 4, 5) dan jarak *Nugget* (3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm, 11 mm) terhadap tegangan geser maksimum. Mengetahui kekuatan geser sambungan hasil pengelasan titik (*spot welding*), dan mengetahui jumlah dan jarak *Nugget* yang paling baik pada pengelasan titik (*spot welding*).

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen, material plat eizer ketebalan 0,8 mm mesin *spot welding* yang digunakan adalah proline tipe PDN-16-1 dengan sambungan tumpang (*lap joint*), dengan variasi jumlah *Nugget* 2 titik, 3 titik, 4 titik, 5 titik Sedangkan Variasi jarak *Nugget* 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm, 11 mm Pengujian yang dilakukan menggunakan mesin uji geser Galdabini.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi jumlah *Nugget* (*Nugget Number*) dengan jarak *Nugget* (*Nugget Space*) sangat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan/tegangan geser. Adapun Kekuatan/tegangan geser tertinggi berada pada jumlah 2 titik dengan jarak 3 mm yaitu sebesar: $46,284 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ sedangkan kekuatan/tegangan geser terendah berada pada jumlah 5 titik dengan jarak 11 mm yaitu sebesar: $25,179 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, Artinya semakin sedikit jumlah *nugget* dan semakin rapat jumlah *Nugget* maka kekuatan/tegangan geser semakin besar pula.

Kata kunci : *Spot Welding, Uji Geser, Plat Eizer, Nugget*

KATA PENGANTAR



Syukur alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, serta Shalawat dan salam semoga dilimpahkan Allah Subhanahu Wa Ta'ala kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad Sallallahu Alaihi Wassallam yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya ilmu pengetahuan, aqidah dan berakhlak baik. Berkat rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisa Variasi Jarak Dan Jumlah Nugget pada Pengelasan Spot Welding terhadap Tegangan Geser Lembaran Logam**”. Penyusunan Tugas akhir ini bertujuan untuk melengkapi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana strata satu (S1) program studi Pendidikan Teknik Mesin pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan petunjuk dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Purwantono, M.Pd. Selaku Dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Syahrul, M.Si. Selaku Dosen pembimbing II sekaligus sekretaris jurusan yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.

3. Bapak Dr. Waskito, MT. Selaku dosen penguji I
4. Bapak Drs. Jasman, M.Kes. Selaku dosen penguji II
5. Ibu Primawati, M.Si Selaku dosen penguji III
6. Bapak Arwizet, ST, MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
7. Bapak/Ibu Staf Pengajar dan Administrasi Kepegawaian Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
8. Teristimewa untuk kedua orang tuaku serta seluruh keluarga besar yang telah banyak memberikan dukungan dan doa yang tulus dalam menyelesaikan penulisan laporan penelitian ini.
9. Seluruh rekan-rekan seperjuangan Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2012 Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin, namun demikian penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal tersebut disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis sendiri. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan skripsi ini dimasa yang akan datang.

Padang, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN.....	
SURAT PERNYATAAN	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Landasan Teori	7
1. Pengelasan	7
2. Klasifikasi Sambungan Las	8

C. Las Titik (<i>Spot Welding</i>)	9
1. Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan <i>Spot Welding</i>	11
2. Tahapan Proses Pengelasan <i>Spot Weding</i>	12
3. <i>Plug</i> dan Slot Pengelasan <i>Spot Welding</i>	14
D. Baja Karbon Rendah (<i>Low Carbon Steel</i>)	20
1. Klasifikasi Baja Karbon Rendah.....	21
E. Pengelasan Baja Karbon.....	21
F. Pengujian Geser	22
1. Pengujian Geser Pada Pengelasan	23
G. Kerangka Konseptual	28

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	29
B. Bahan dan Alat Penelitian	29
C. Metode pelaksanaan	30
1. Pengukuran bahan	30
2. Pemotongan bahan	30
3. Pembuatan spesimen	30
4. Proses pengelasan	30
5. Pengujian kekuatan geser	31
D. Prosedur Penelitian	33
E. Jenis dan Sumber Data	36
1. Jenis Data	36
2. Sumber Data	36

F. Jadwal dan Tempat Penelitian	36
1. Jadwal Penelitian.....	36
2. Tempat Penelitian.....	37
G. Teknik Pengumpulan Data	37
H. Tabulasi Data.....	38
I. Teknik analisa data	38
 BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Objek penelitian	41
B. Data Hasil Penelitian	41
C. Pembahasan.....	46
1. Jumlah <i>Nugget (Nugget Number)</i>	46
2. Jarak <i>Nugget (Nugget Space)</i>	46
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. KESIMPULAN.....	47
B. SARAN	48
 DAFTAR PUSTAKA	 49
 LAMPIRAN	 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pengelasan Titik Pada Kerangka <i>Frame</i> Kendaraan	2
2. <i>Rocker Arm Spot Welding Machine</i>	11
3. Skema Proses <i>Spot Welding</i>	12
4. Skema Pengelasan <i>Spot Welding</i>	13
5. Pengaruh Arus Pengelasan	15
6. Pengaruh Waktu Pengelasan	16
7. Pengaruh Tekanan Terhadap Resistansi Listrik	18
8. <i>Weldability Range</i>	19
9. Kurva Tegangan Regangan	24
10. Kerangka Konseptual.....	28
11. Mesin Las <i>Spot Welding</i>	31
12. Mesin Uji Geser Galdabini	32
13. Diagram Alir Prosedur Penelitian	33
14. Pengelasan Titik Lap Joint 2, 3, 4, 5 titik	36
15. Grafik Kekuatan Tegangan Geser Dengan Variasi Jarak <i>Nugget</i> (<i>Nugget Space</i>) 3, 5, 7, 9, 11 Dengan Jumlah <i>Nugget</i> 2 Titik	42
16. Grafik Kekuatan Tegangan Geser Dengan Variasi Jarak <i>Nugget</i> (<i>Nugget Space</i>) 3, 5, 7, 9, 11 Dengan Jumlah <i>Nugget</i> 3 Titik	43
17. Grafik Kekuatan Tegangan Geser Dengan Variasi Jarak <i>Nugget</i> (<i>Nugget Space</i>) 3, 5, 7, 9, 11 Dengan Jumlah <i>Nugget</i> 4 Titik	44

18. Grafik Kekuatan Tegangan Geser Dengan Variasi Jarak <i>Nugget</i> (<i>Nugget Space</i>) 3, 5, 7, 9, 11 Dengan Jumlah <i>Nugget</i> 5 Titik	45
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Baja Karbon.....	21
2. Jadwal Penelitian	37
3. Tabulasi data hasil pengujian geser dengan jarak <i>nugget</i>	38

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pesatnya perkembangan dunia industri pengelasan telah mendorong timbulnya berbagai inovasi dan gagasan yang baru guna menghasilkan berbagai macam produk yang lebih unggul dan memiliki kualitas yang lebih baik. Pada industri mesin dan 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 plat yang tipis banyak ditemukan dalam industri otomotif seperti pada *body* dan mesin mobil ataupun motor. Salah satu metode yang digunakan dalam penyambungan lembaran-lembaran tersebut ialah dengan menggunakan metode *Resistance Spot Welding*. *Resistance Spot Welding (Las titik)* merupakan cara pengelasan dimana permukaan plat yang akan disambung ditekan dengan dialiri arus listrik menggunakan elektroda tembaga.

Las titik ini memanfaatkan arus yang besar untuk menyatukan material yang berbentuk lembaran dengan ketebalan tertentu. Proses las titik ini digunakan untuk mempersingkat waktu penyambungan lembaran-lembaran logam sehingga dapat mempercepat dan meningkatkan hasil produksi. Las titik 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. 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.

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.



Gambar 1: Pengelasan Titik Pada Kerangka Frame Kendaraan
Sumber : Volkswagen AG 2016. "About Volkswagen" (Online)
www.vwgcareers.ie, Diakses 2 Agustus 2016

Pada proses perakitan bodi mobil proses pengelasan menggunakan metode *Spot Welding*, metode tersebut dipilih karena sebagian besar

bahan yang dipakai dalam proses perakitan bodi mobil adalah plat lembaran tipis, sehingga apabila menggunakan proses las yang biasa (SAW, SMAW, dan lain sebagainya), maka material tersebut akan mengalami penurunan sifat mekanik karena struktur material berubah akibat panas/pencairan pengelasan, selain itu juga karena alasan ekonomis. Pada proses *Spot Welding*, parameter yang sering diubah biasanya arus, tegangan, dan waktu pengelasan, namun perubahan tersebut tergantung dengan ketebalan dari material. Oleh karena itu harus ada parameter las yang baik untuk ketebalan tertentu sehingga didapatkan hasil yang baik.

Lembaran logam yang mencair membentuk kumpuh las/manik las atau disebut *nugget*. Kualitas *nugget* yang terbentuk selama proses pengelasan perlu diperhatikan karena memerlukan pengelasan titik yang banyak. Jumlah *nugget* akan mempengaruhi kekuatan mekanis dari sambungan las, sehingga perlu untuk mengetahui bagaimana cara menentukan jumlah *nugget* dengan kualitas baik agar saat penyatuan bodi mobil dengan rangka tidak terjadi bodi mobil robek, bolong, longgar, berjarak dan lepas disatu titik.

Hal ini yang membuat peneliti tertarik untuk menganalisis salah satu sifat mekanik pada lembaran plat tipis eizer yaitu menguji jumlah dan jarak *nugget* terhadap tegangan geser.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis ingin melaksanakan penelitian lebih lanjut mengenai **“Analisa Variasi Jarak dan Jumlah Nugget pada Pengelasan *Spot Welding* terhadap Tegangan Geser”**.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penulis dapat mengidentifikasi masalah-masalah yang ada yakni sebagai berikut:

1. Lembaran logam yang mencair membentuk kampuh las/manik las atau disebut *nugget* akan mengubah kemampuan mekanik dari logam.
2. Jumlah dan ukuran dari *nugget* akan mempengaruhi kekuatan dari hasil pengelasan.
3. Proses pengelasan titik menjadi proses penyambungan material yang efektif pada plat tipis tetapi memerlukan pengelasan titik yang banyak.

C. Batasan Masalah

Untuk lebih terarahnya penelitian ini, maka permasalahan yang ingin penulis teliti adalah : “Analisa Variasi Jarak dan Jumlah *Nugget* pada Pengelasan *Spot Welding* terhadap Tegangan Geser Lembaran Logam”

D. Rumusan Masalah

Bertolak dari latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jarak *nugget* pada pengelasan *spot welding* terhadap kekuatan/tegangan hasil kekuatan sambungan las *Spot Welding* lembaran logam ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah *nugget* pada pengelasan *spot welding* terhadap tegangan geser lembaran logam ?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jarak *nugget* pada pengelasan *spot welding* terhadap tegangan geser lembaran logam (plat eizer).
2. Mengetahui pengaruh jumlah *nugget* pada pengelasan *spot welding* terhadap tegangan geser lembaran logam (plat eizer).

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan peneliti setelah penelitian ini berlangsung adalah:

1. Untuk meningkatkan pengetahuan penulis tentang pengelasan dan sifat mekanik pada bahan.
2. Bagi dunia industri, khususnya industri pengelasan logam dapat digunakan sebagai acuan untuk dapat menjaga dan meningkatkan kualitas produk.
3. Sebagai referensi bagi Mahasiswa Teknik yang ingin mengembangkan penelitian tentang pengelasan khususnya bagian *Spot Welding*.
4. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program strata I (S1) Pendidikan Teknik Mesin FT UNP.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

Shamsul J.B dan Hisyam M,M, 2007, meneliti tentang hubungan diameter *nugget* dan arus pada pengelasan titik baja *stainless steel* *nugget* tipe 304, dan juga pengaruh besar arus pengelasan pada distribusi kekerasan mikro, pada penggunaan arus berbeda menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan maka diameter *nugget* juga akan semakin besar, dimana untuk arus 2,5 kA diameter *nugget* sebesar 3 mm, 3,375 kA sebesar 3 mm, 5 kA sebesar 6 mm namun pada daerah pengelasan, besar arus pengelasan sangat berpengaruh banyak pada distribusi kekerasan.

Kahrahman, N 2005, dalam penelitiannya tentang pengaruh parameter las pada *titanium* tebal *titanium* 1,5 mm dengan parameter pengelasan untuk arus kontan yaitu 10.000 A, gaya elektroda 2000 N, 4000 N, 6000 N dan waktu pengelasan 5 siklus, 15 siklus, 25 siklus serta suasana pengelasan pada udara terbuka dan penggunaan gas *argon*, pengujian mekanik yang dilakukan meliputi pengujian kekuatan sambungan dengan metode pengujian tarik dan pengujian kekekrasan dengan metode Vickers, dari hasil uji tarik didapat bahwa hasil dari kekuatan geser dengan menggunakan gas argon lebih tinggi dari pada di udara terbuka. Hasil uji kekerasan memperlihatkan bahwa daerah *nugget* adalah daerah yang paling keras diikuti dengan daerah HAZ dan logam las

B. Landasan Teori

1. Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Menurut *Deustche Industry Normen* (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Pengelasan 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 (Wiryosumarto, 1996).

Teknik pengelasan secara sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM, setelah energi listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan begitu pesatnya sehingga menjadi suatu teknik penyambungan yang muktahir. Hingga saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan pada tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, biasanya pengelasan hanya digunakan pada sambungan sambungan dari reparasi yang kurang penting tapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama maka sekarang penggunaan proses-proses pengelasan dan penggunaan konstruksi las merupakan hal yang umum disemua Negara di dunia, (Amstead B. H , 1995)

2. Klasifikasi Sambungan Las

Sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena perlu adanya kesepakatan dalam hal-hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasi tersebut pada waktu ini dapat dibagi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan.

Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lainnya. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya.

Berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu: pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

- a. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar.
- b. pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- c. pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak turut mencair. Pengelasan cair merupakan salah satu teknik pengelasan karena cara

pengelasan ini sangat praktis dan menghasilkan ikatan antara logam yang disambung sangat kuat.

C. Las Titik (*Spot Welding*)

Las titik (*Spot Welding*) merupakan cara pengelasan resistansi listrik di mana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara dua elektroda logam. kemudian arus yang kuat dialirkan melalui elektroda tembaga, sehingga titik diantara plat logam di bawah elektroda yang saling bersinggungan menjadi panas akibat resistensi listrik sehingga mencapai suhu pengelasan, sehingga mengakibatkan kedua plat pada bagian ini menyatu. Sedangkan pada bagian kontak antar elektroda tembaga dengan plat tidak mengalami cair karena ujung elektroda didinginkan dengan air (Harsono Wiryosumarto.,2008)

Las titik merupakan pengelasan resistensi listrik yang paling sederhana, salah satu syarat untuk memperoleh sambungan baik adalah permukaan plat yang bersih dan bebas dari karat atau kotoran lainnya. Lapisan permukaan yang kotor akan meningkatkan nilai tekan permukaan dan menimbulkan panas yang berlebihan pada las titik (*spot welding*). Dijumpai daerah di mana timbul panas:

1. Pada batas permukaan diantara kedua plat logam.
2. Pada batas permukaan antara plat dan masing masing elektroda.
3. Dalam plat logam masing masing.

Panas yang terjadi akan sangat berpengaruh pada hasil dari pengelasan (Amstead B, H. 1995).

$$H = I \cdot R \cdot T$$

Dimana: H : panas (*joule*)

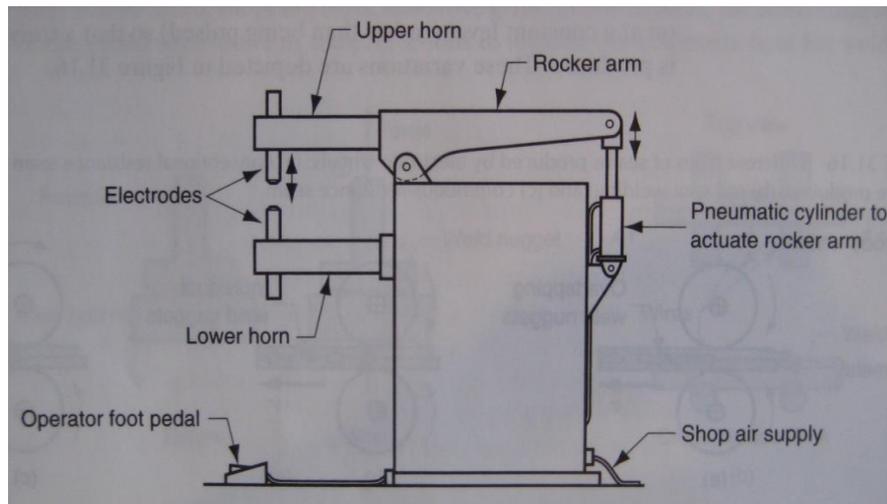
I: arus (*ampere*)

R: hambatan (*Ohm*)

T: waktu (detik)

Las titik (*Spot Welding*) pada umumnya digunakan untuk penyambungan logam tipis atau baja karbon rendah dengan sambungan *lap joint*. Pada pengelasan resistansi listrik ini ada tiga faktor yang perlu diperhatikan yaitu: arus pengelasan (dalam amper), tahanan listrik antar elektroda yang digunakan (dalam ohm), faktor - faktor tersebut akan berpengaruh pada pembentukan panas yang dihasilkan. Besar kecilnya arus listrik akan mempengaruhi ukuran *nugget* (manik las) dan panas yang ditimbulkan. Ketebalan plat yang dipakai akan mempengaruhi kecepatan rambatan panas yang terjadi, baik pada saat pengelasan maupun sesudah pengelasan (pendingin) hal ini akan berpengaruh pada pembentukan fasa akhir yang dibentuk sehingga akan menentukan kekuatan sambungan las. Selain itu waktu las dan jenis bahan dan banyaknya titik pengelasan juga mempengaruhi intensitas panas yang masuk. Pemilihan parameter las yang tepat akan berpengaruh pada kekuatan bahan dan perubahan sifat mekanisnya. (Harsono Wiryosumarto,2008).

Spot welding digunakan untuk menyambung benda kerja dengan ketebalan 3 mm atau lebih tipis lagi. *Resistance spot welding* sering dijumpai pada industri pembuatan mobil. Gambar Salah Satu Jenis Las *spot welding* *Rocker Arm Spot Welding Machine*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. *Rocker Arm Spot Welding Machine*

Sumber : Ketter, Justin 2016. "Value Mechanism The Blog of Justin Ketter"
 (Online) <https://justinketterer.com>, Diakses 20 April 2016.

1. Kelebihan dan kekurangan pengelasan *spot welding*

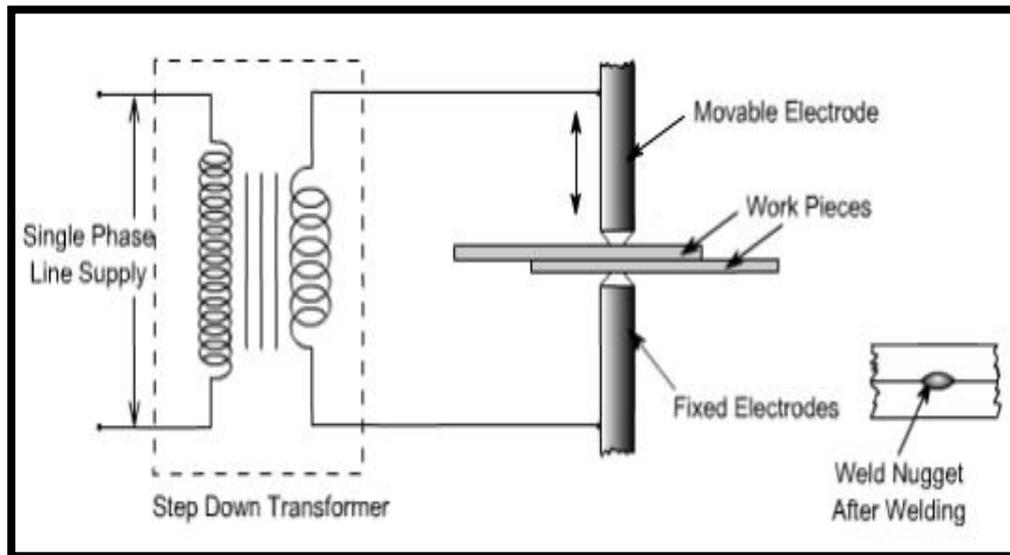
a. Adapun kelebihan dari pengelasan dari *spot welding* adalah

- 1) Tidak menggunakan logam pengisi.
- 2) Kecepatan produksi tinggi.
- 3) Tidak diperlukan operator dengan keterampilan tinggi karena mesin dijalankan secara otomatis.
- 4) Memiliki kemampuan ulang (repeatability) dan keandalan yang baik.

b. Kekurangan atau kelemahan pengelasan *spot welding*

Adapun kekurangan atau kelemahan dari pengelasan *spot welding* adalah:

- 1) Biaya investasi tinggi, karena harga peralatan mahal.
- 2) Hanya dapat mengerjakan sambungan tumpang (*lap joint*).



Gambar 3. Skema proses *spot welding*

Sumber : Gupta 2016. "Resistance Welding" (Online) <http://nptel.ac.in>, diakses 20 April 2016.

Panas yang dihasilkan pada dasarnya tergantung pada besarnya arus listrik dan waktu yang digunakan serta sifat tahanan listrik dari material diantara elektroda. Menurut hukum Joule's, yang dinyatakan oleh persamaan di bawah, dimana : Q = panas yang dihasilkan (joule)

I = Arus listrik yang diberikan (Ampere)

T = waktu (Detik)

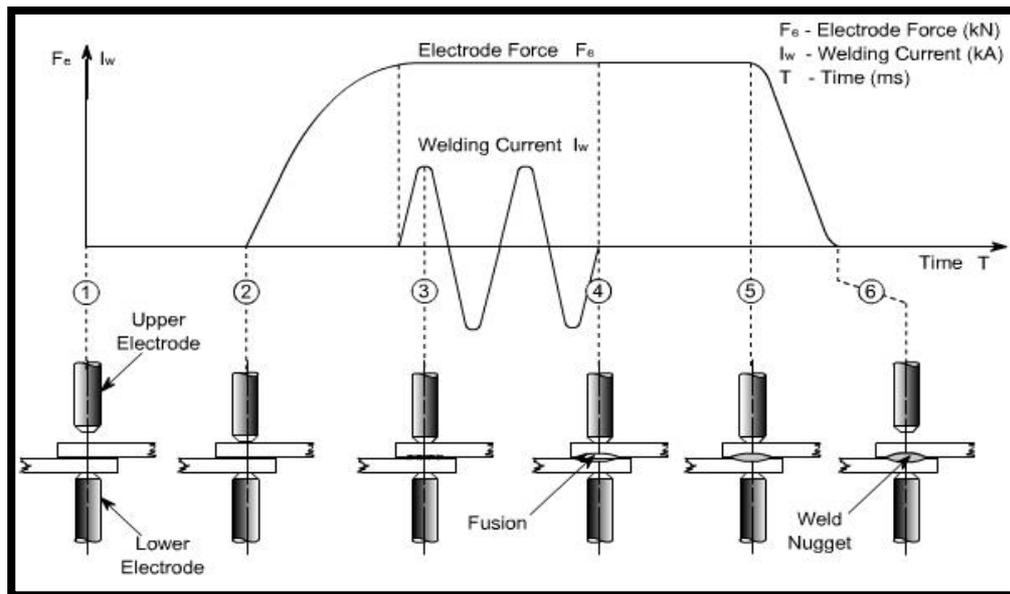
R = resistansi listrik dari benda kerja (Ohm)

$$Q = I^2 R t \dots \dots \dots (1)$$

2. Tahapan Proses pengelasan *Spot Welding*

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 benda kerja diletakkan waktu penekanan, waktu pengelasan, waktu penahanan dan waktu selesai seperti pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 4. Skema dari proses *spot welding*

Sumber : Gupta 2016. "Resistance Welding" (Online) <http://nptel.ac.in>, diakses 20 April 2016.

Tahapan proses menurut gambar di atas yaitu sebagai berikut:

- Tahap 1 merupakan kondisi awal dimana kedua bahan belum di jepit oleh kedua elektroda.
- Tahap 2 merupakan tahap squeezing terdiri dari penerapan gaya pengelasan untuk benda kerja sehingga mendapatkan jumlah tekanan yang sesuai, sebelum pengelasan.
- Tahap 3 dan 4 merupakan tahap pengelasan dimana selama tahap ini arus listrik mengalir melalui benda kerja sedangkan gaya pengelasan dipertahankan, sehingga menghasilkan panas.

- d. Dalam tahap 5 yaitu holding time arus listrik sudah dimatikan dan gaya las dipertahankan, sehingga memungkinkan pengelasan mengalami pendinginan dibawah tekanan.
 - e. Tahap 6 merupakan tahap akhir ketika nugget las sudah terbentuk.
3. *Plug dan slot pengelasan spot welding*

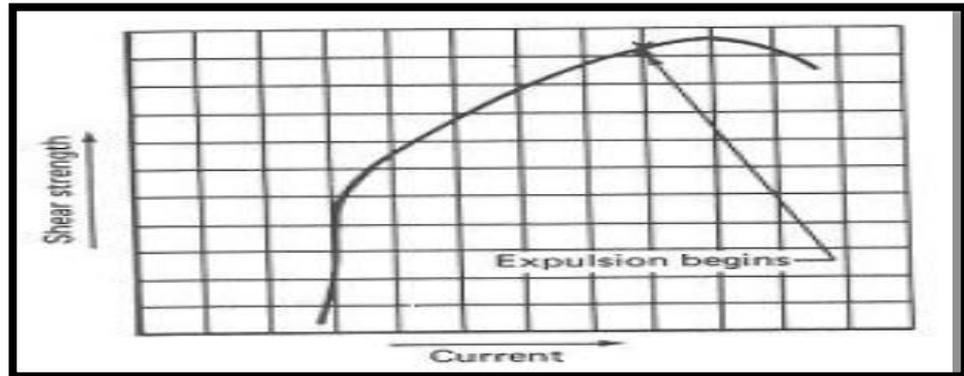
Plug dan slot pengelasan biasanya digunakan untuk pengelasan *lap joint*, dan tidak cocok untuk transfer kekuatan tinggi dan terutama tidak cocok untuk koneksi dimuat secara dinamis. Sambungan digunakan untuk menyambung pelat datar dengan membuat satu lubang atau lebih atau slot pada bagian pelat yang diletakkan paling atas, dan kemudian mengisi lubang tersebut dengan logam pengisi sehingga kedua bagian pelat melumer menjadi satu.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan sambungan las dari proses terbentuknya *nugget (nugget formation)*. Faktor-faktor tersebut adalah:

1. Pengaruh 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. Gambar 3 berikut ini memperlihatkan hubungan antara kekuatan geser dengan kuat arus pengelasan yang digunakan.



Gambar 5. Pengaruh arus las titik

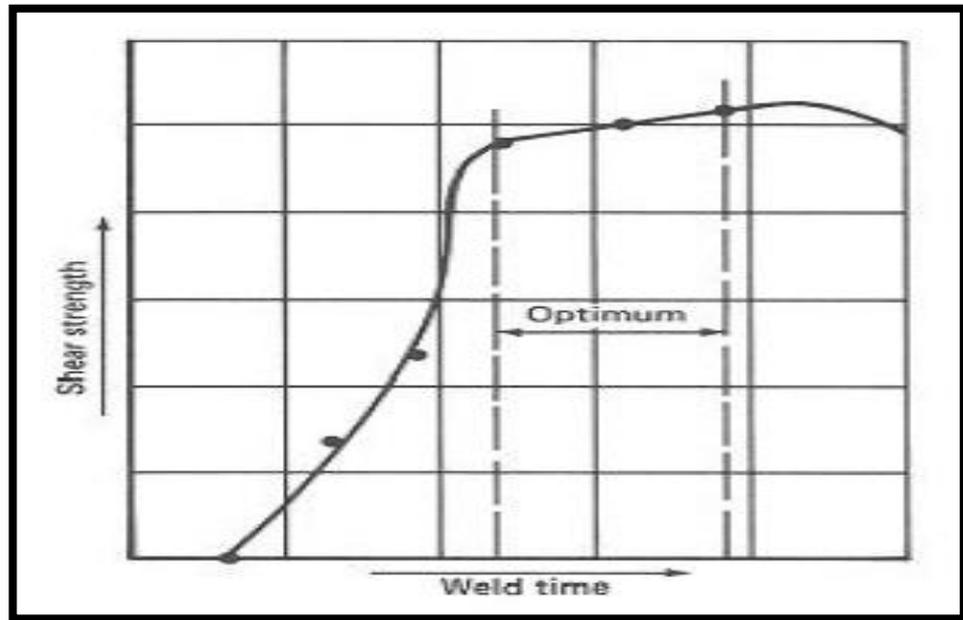
Sumber : M. I. Khan, A. K. Pandev 2013. "Investigation Of The Effect Of Current On Tensile Strength And Nugget Diameter Of Spot Welds" (Online) www.slideshare.net, diakses 2 Agustus 2016.

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 Amper (kA).

2. Waktu Pengelasan

Waktu pengelasan yang optimal juga akan menentukan kekuatan sambungan las titik karena semakin lama waktu yang diberikan, 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 4. di bawah ini.



Gambar 6. Pengaruh waktu pengelasan

Sumber : M. I. Khan, A. K. Pandev 2013. "Investigation Of The Effect Of Current On Tensile Strength And Nugget Diameter Of Spot Welds" (Online) www.slideshare.net, diakses 2 Agustus 2016.

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

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:

$$R = \Omega \cdot L / A$$

Dimana:

Ω = Hambatan jenis (ohm mm)

L = Jarak ke dua elektroda (mm)

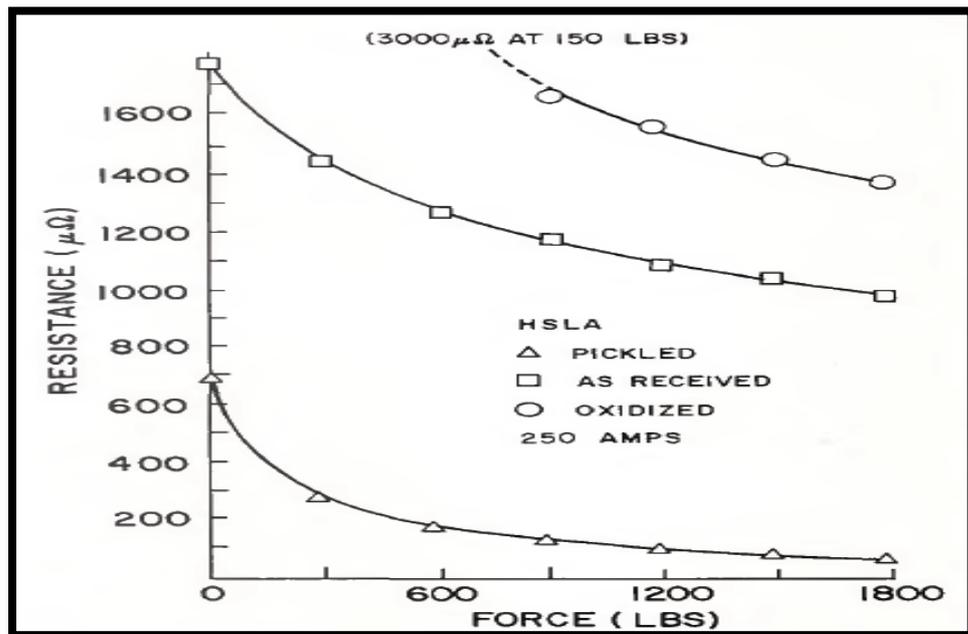
A = Luas penampang dari aliran arus (mm²)

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. 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). Gambar 7

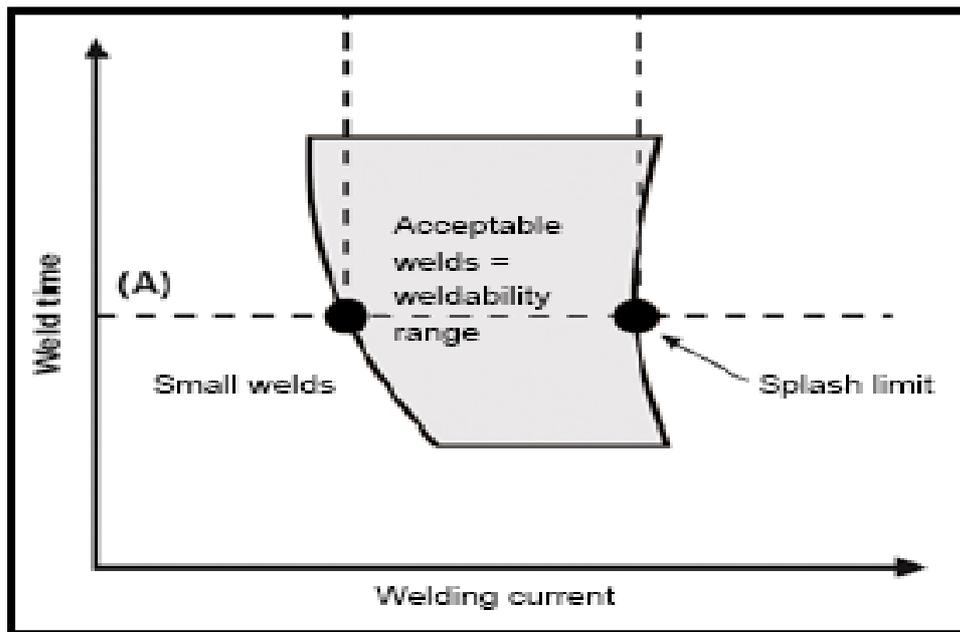
di bawah ini memperlihatkan hubungan tekanan elektroda yang diberikan dengan resistansi yang dihasilkan antara elektroda dengan material yang akan dilas.



Gambar 7. Pengaruh Tekanan Elektroda Terhadap Resistansi Kontak
 Sumber : Rashidi Asari 2013. "Spot Welding Parameter Basic Calculation" (Online) www.slideshare.net, diakses 2 Agustus 2016.

Parameter pengelasan yang telah dijelaskan diatas memiliki kontribusi terhadap ukuran nugget sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik dan kekuatan sambungan pengelasan. 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 *wettability range (lobe)* seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. di bawah. *Wettability range/lobe* merupakan area dimana kampuh lasan bisa dihasilkan dengan

mengkombinasikan besar arus dan waktu secara spesifik. *Wetting range* ini dibatasi oleh ukuran minimal nugget yang dihasilkan serta batas percikan (splash limit).



Gambar 8. *Weldability range*

Sumber : M. I. Khan, A. K. Pandev 2013. "State Of Art In Modern Resistance Spot Welding" (Online) www.slideshare.net, diakses 2 Agustus 2016.

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. Sejauh ini belum banyak publikasi-publikasi ilmiah mengenai *spot welding* dengan *multiple stacks* ini, terutama *lap joint* dengan susunan 3 *stacks*.

D. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)

Baja karbon adalah paduan antara besi dengan kadar karbon kurang dari 2 % disamping itu juga mengandung unsur paduan lainnya seperti Si, Mn, P, S, dan Cu (Harsono Wiryosumarto dan Thosie Okumura, 2008). Terdapat banyak paduan lain yang memiliki komposisi akibat perlakuan panas yang berbeda. Sifat-sifat mekanik baja sangat bergantung pada kandungan karbon yang terkandung di dalamnya.

Baja karbon rendah adalah salah satu jenis baja karbon, dimana presentase unsur karbonnya dibawah 0,25 %, untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada tabel 1, sedangkan unsur pembentuk lainnya seperti Mn tidak lebih dari 0,8 %, Si tidak lebih dari 0,5 %, demikian pula unsur Cu tidak lebih dari 0,6 %.

Baja karbon rendah yang ditunjuk sebagai baja ringan merupakan bahan yang sebagian besar digunakan untuk pembuatan yang umum. Baja ini sederhana karena memiliki hampir semua sifat-sifat pengerjaan yang diinginkan. Sifat-sifat tersebut diakibatkan oleh komposisi dari baja ini. Besi (Ferit) memberi keuletan, kemampuan tempa, plastisitas, kemagnetan, kelunakan dan sejumlah tertentu elastisitas, tapi dengan mudah membentuk oksida, yang mengakibatkan karat, dan pembentukan kerak yang tebal jika berada dalam keadaan berpijar. Karbon yang bukan merupakan unsure logam, jika ditambahkan pada besi, menghasilkan baja, dan bertanggung jawab terhadap bertambahnya kekerasan dan kekuatan tarik. Semakin banyak karbon yang ditambah, semakin tinggi kekuatan tarik dan kekerasan, tapi terdapat

pengurangan pada sifat-sifat pengerjaan yang diinginkan seperti keuletan, kemampuan tempa dan semakin besar resiko pada pengelasan dan peretakannya pada pembengkokan (penekukan) yang tajam.

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30 sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45% sampai 1,70% karbon. Bila kadar karbon naik kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam table 1 dibawah ini :

Tabel 1. Klasifikasi baja karbon (Harsono Wiryosumarto dan Thosie Okumura, 2008)

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja karbon rendah	0,08 – 0,30	18 – 36	32 – 55	40 – 22	80 – 145	Pelat tipis
Baja karbon sedang	0,30 – 0,40	30 – 40	50 – 60	30 – 17	140 – 170	Alat mesin
Baja karbon tinggi	0,4 – 0,8	30 – 47	58 – 100	30 – 11	160 – 235	Perkakas

E. Pengelasan Baja Karbon Rendah

Cara pengelasan baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hydrogen rendah.

Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi mampu las baja karbon rendah adalah kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan tarik baja karbon rendah dapat dipertinggi dan diturunkan dengan menurunkan atau menaikkan karbonnya (Harsono Wiryosumarto dan Thosie Okumura, 2008).

F. Pengujian Geser

Kekuatan geser merupakan sifat mekanik logam yang penting. Terutama untuk perencanaan konstruksi maupun pengerjaan logam tersebut. Kekutan geser suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik atau pengujian geser pada bahan yang bersangkutan. Perbedaan pengujian tarik dengan pengujian geser adalah pada gaya yang bekerja pada saat proses pengujian berlangsung, gaya yang terjadi pada saat pengujian pada saat pengujian tarik adalah gaya arah memanjang (longitudinal), sedangkan gaya yang terjadi pada saat pengujian geser adalah gaya arah vertikal. Pengujian geser biasanya digunakan pada suatu sambungan (sambungan las), dari hasil pengujian geser tersebut dapat diketahui juga sifat-sifat yang lain seperti:

perpanjangan, reduksi, penampang, dan sebagainya, selama pergeseran setiap saat dicatat dengan grafik yang tersedia pada mesin geser besarnya gaya geser yang bekerja dan besarnya pertambahan panjang yang terjadi akibat gaya geser tersebut. Tegangan geser merupakan tegangan yang bekerja sejajar atau menyinggung permukaan.

1. Pengujian geser pada pengelasan

Kekuatan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan gaya yang bekerja pada material tersebut. kekuatan material dapat diketahui dengan uji geser. Dari uji geser akan diperoleh sifat sifat material sebagai berikut (Harsono Wiryosumarto, 2008):

$$\tau = \frac{f}{A}$$

Dimana: τ = Kekuatan geser material (Kg/mm)

F = Beban (Kg)

A = Luas penampang (mm)

Selain dari persamaan di atas ada juga cara menghitung kekuatan geser dari pengelasan spot welding dengan menggunakan rumus berikut



$$\tau_g = \frac{F_g}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{d}$$

$$\tau_g = \frac{F_g}{A}$$

dimana: τ_g = tegangan geser (Tegangan (N/m²))

F_g = gaya geser (N)

A = luas penampang bagian melintang pengelasan

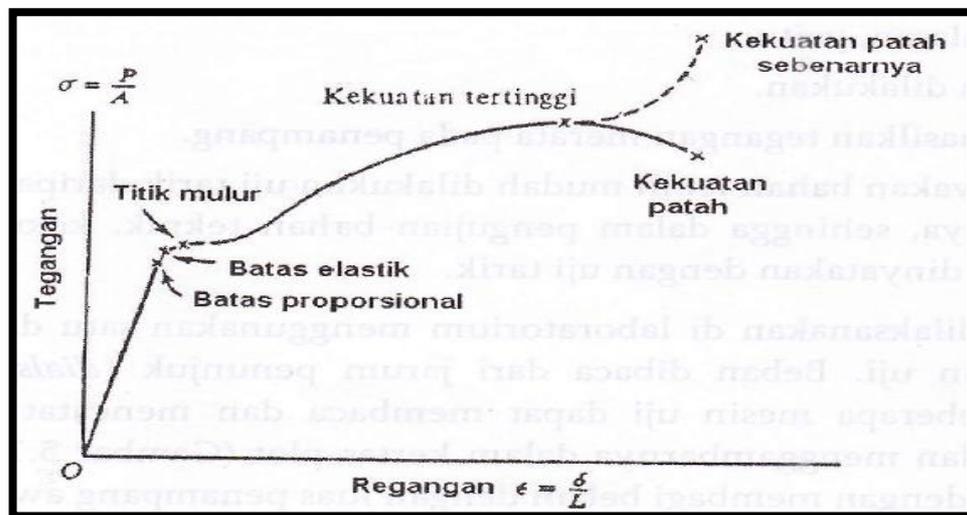
d = diameter pengelasan

Jika jumlah *nugget* (n) buah maka :

$A = n \times \text{diameter pengelasan}$

$$A = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$\tau = \frac{f}{A} = \frac{F}{n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4F}{n \cdot \pi \cdot d^2}$$



Gambar 9. Kurva Tegangan-Regangan.

Sumber: Ach. Muhib Zainuri, 2008

Menurut Ach. Muhib Zainuri (2008), jika suatu benda ditarik maka akan mulur (*extensions*), terdapat hubungan antara pertambahan

panjang dengan gaya yang diberikan. Jika gaya persatuan luas lasan disebut tegangan dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan (*stress-strain graph*).

Berdasarkan kurva tersebut terdapat beberapa pernyataan yang menyatakan keadaan logam pada saat mengalami pengujian geser, yaitu:

a. Batas Proporsional (*proportional limit*)

Dari titik O ke suatu titik yang disebut batas proporsional masih merupakan garis lurus. Pada daerah ini berlaku hukum *Hooke*, bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Kesebandingan ini tidak berlaku diseluruh diagram. Kesebandingan ini berakhir pada batas proporsional.

b. Batas Elastis (*elastic limit*)

Batas elastis merupakan batas tegangan dimana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi tetap yang disebut *permanent set*. Untuk banyak material, nilai batas proporsional dan batas elastis hampir sama. Untuk membedakannya, batas elastis selalu hampir lebih besar dari pada batas proporsional.

c. Titik Mulur (*yield point*)

Titik mulur adalah titik dimana bahan memanjang memulur tanpa pertambahan beban. Gejala mulur khususnya terjadi pada baja struktur (*medium carbon structural steel*).

d. Kekuatan Maksimum (*ultimate strength*)

Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.

e. Kekuatan Patah (*breaking strength*)

Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bahan bertambah kecil.

Kurva hasil pengujian belum memberikan informasi umum mengenai kekuatan geser bahan. Kurva hanya menjelaskan dimensi perubahan mengenai sifat bahan. data pengujian berupa kurva harus dikonversikan kedalam bentuk tegangan-regangan ($\sigma - \epsilon$) dengan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut:

a. Tegangan (σ)

Pembebanan yang diberikan pada pengujian tarik spesimen merupakan penerapan gaya-gaya aksial (*axial force*) pada ujung-ujung spesimen, yang menimbulkan suatu tarikan yang sama rata pada spesimen sehingga mengalami tarik (*tension*).

Nilai tegangan suatu material dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{Murdani, 2013})$$

Keterangan : σ = Tegangan (N/m^2)
 F = Gaya (N)

$A_0 =$ Luas Penampang Spesimen (m^2)

b. Modulus Elastisitas (E)

Menurut Murdani (2013), modulus elastisitas merupakan ukuran bagi kekakuan material. Kekakuan material diartikan sebagai ketahanan terhadap deformasi elastis. Modulus elastisitas (E) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Murdani, 2013})$$

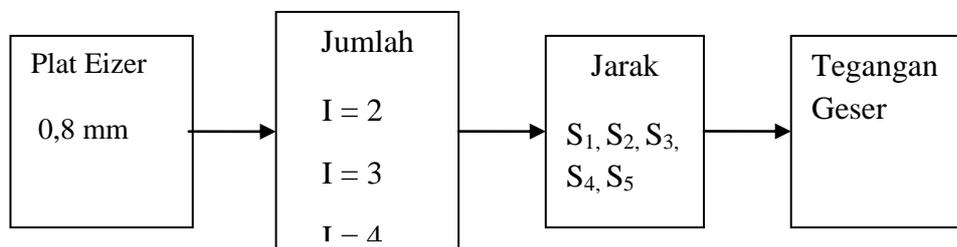
Keterangan: $E =$ Modulus Elastisitas (N/m^2)

$\sigma =$ Tegangan geser (N/m^2)

Pada uji geser, kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan ke perangkat peregang.

G. Kerangka Konseptual

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berapa besar pengaruh jumlah serta jarak *nugget* terhadap gaya geser pada sambungan las titik baja karbon rendah. Diperkirakan semakin banyak dan dekat jarak sambungan maka akan menghasilkan kekuatan pengelasan yang lebih baik. Pengujian terlebih dahulu pada spesimen tanpa perlakuan sebelumnya. Material yang digunakan adalah plat baja karbon rendah eizer dengan ketebalan 0,8 mm, Kemudian dilakukan sambungan tumpang (*lap joint*), dengan jumlah nugget (2,3,4,5) dan variasi jarak *nugget* (3, 5, 7, 9, 11 mm) kemudian dilakukan pengujian tegangan geser, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram berikut :



Gambar 10. Kerangka Konseptual

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian uraian pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Dengan melakukan penelitian ini penulis dapat mengetahui bahwa Variasi jumlah (n) *Nugget* berpengaruh terhadap kekuatan geser hasil pengelasan. Pengaruh Jumlah *Nugget* terhadap kekuatan/tegangan geser pada hasil pengelasan *spot welding* menunjukkan semakin banyak jumlah *Nugget* pengelasan titik maka nilai tegangan gesernya akan semakin rendah.
2. Pengaruh Jarak *Nugget* terhadap tegangan geser menunjukkan semakin rapat jarak *Nugget* yang digunakan dalam pengelasan titik maka kekuatan/tegangan geser semakin tinggi.
3. Kondisi yang paling optimal terjadi pada jumlah 2 *Nugget* dengan jarak 3 mm nilai kekuatan geser yaitu $46,284 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Artinya semakin sedikit jumlah *Nugget* dan semakin rapat jarak *Nugget* maka nilai kekuatan/tegangan geser semakin tinggi.

B. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Sebelum melakukan eksperimen hendaknya mempersiapkan segala sesuatunya secara matang mulai dari alat pengelasan sampai tempat melakukan pengujian agar dalam bereksperimen tidak membuang waktu.
2. Dalam melakukan eksperimen material pengelasan harus dalam keadaan benar-benar bersih.
3. Pada waktu pengelasan spesimen atau material pada mesin las *spot welding* yang perlu

diperhatikan adalah ketika mengganti tegangan arus mesin las harus dimatikan terlebih dahulu.

4. Sewaktu pembuatan ataupun pengujian, sebaiknya menerapkan keselamatan kerja, sehingga kecelakaan kerja dapat dihindari selama penelitian.
5. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan pengujian plat baja karbon rendah dengan pengelasan las titik *spot welding*.