

**ANALISA PENGARUH PARAMETER PENGELASAN
TERHADAP *SIZE NUGGET* DAN KEKUTAN MEKANIK
SAMBUNGAN LAS TITIK BERBEDA JENIS *MILD STEEL*
DAN *GALVANIZED STEEL***

Oleh;

LA ODE AL MUSLIM

D022211007

(Material)



**PROGRAM STUDI MAGISTER (S2) TEKNIK MESIN
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PARAMETER PENGELASAN TERHADAP SIZE NUGGET DAN KEKUATAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS TITIK BERBEDA JENIS MILD STEEL DAN GALVANIZED STEEL

Disusun dan diajukan oleh

LA ODE AL MUSLIM

D022211007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 15 Agustus 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, MT
NIP. 19580921 198603 1 003

Pembimbing Pendamping



Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D
NIP. 19840126 201212 1 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,
ST.,MT.,IPM.,ASEAN. Eng
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP. 19791112 200812 2 002

PENGAJUAN TESIS

ANALISA PENGARUH PARAMETER PENGELASAN TERHADAP *SIZE NUGGET* DAN KEKUATAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS TITIK BEDA JENIS *MILD STEEL* DAN *GALVANIZED STEEL*

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

LA ODE AL MUSLIM

D022211007

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2023

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : La Ode Al Muslim
Nomor mahasiswa : D022211007
Program studi : Teknik Mesin

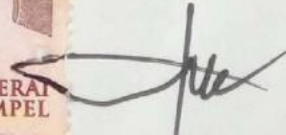
Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “ Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap *Size Nugget* dan Kekuatan Mekanik Sambungan Las Titik Beda Jenis *Mild steel* dan *Galvanized Steel*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, MT. sebagai Pembimbing Utama dan Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebut dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah disetujui dalam Jurnal “EPI International Journal of Engineering” (EPI-IJE), Vol 5 No 2, ISSN 2615-5109. Sebagai artikel dengan judul “ The Effect of Spot Welding Parameters for Dissimilar Material Mild Steel and Galvanized Steel on Nugget Size and Mechanical Strength”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin .

Gowa 21 Agustus 2023

Yang menyatakan




La Ode Al Muslim

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah hirobbil alamin, puji syukur yang sedalam dalamnya penulis panjatkan kehadiran Allah, Tuhan yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan.

Ucapan terimakasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, MT. selaku pembimbing utama dan Bapak Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing pendamping, yang penuh ketulusan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Penelitian ini juga tidak lepas dari bantuan dan kerja sama dari berbagai pihak, untuk itu izinkan penulis mengucapkan terimakasih kepada;

1. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT sebagai Penguji Pertama, Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT sebagai Penguji Kedua, dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT sebagai Penguji Ketiga atas masukan dan arahnya selama penelitian ini dilaksanakan.
2. Bapak Rektor Universitas Hasanuddin dan Bapak Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta jajarannya yang telah memfasilitasi penulis menempuh Program Magister serta para Dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
3. Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliah, ST., MT sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin beserta jajarannya yang telah memfasilitasi kami dengan baik sehingga penyelesaian tesis ini dapat terlaksana dengan tertib.

Melalui tesis ini perkenankan penulis menyampaikan rasa hormat kepada kedua orang tua saya yang telah mendidik dan membesarkan dengan penuh kasi sayang. Penghargaan dan termakasih yang sebesar-besarnya untuk Istri saya tercinta yang selama ini telah sabar, setia menemani dengan hati yang tulus serta motivasi dan dukungan secara moril dan materi selama penulis menuntut ilmu.

Akhir kata, penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua serta mengharap saran yang membangun agar dapat menyempurnakan penelitian ini, dan mendapat ridha dari Allah SWT.

Gowa2023

Penulis

La Ode Al Muslim

ABSTRAK

LA ODE AL MUSLIM. *Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Size Nugget dan Kekuatan Mekanik Sambungan Las Titik Beda Jenis Mild Steel dan Galvanized Steel* (dibimbing oleh **Ahmad Yusran Aminy, Azwar Hayat**)

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh parameter las titik terhadap *size weld nugget* dan kuat geser maksimum pada material beda jenis *mild steel* dan *galvanized steel*. Metode *Taguchi* dan *Anova* digunakan untuk menentukan kontribusi parameter pengelasan terhadap kualitas sambungan. Rancangan percobaan menggunakan *software minitab-19* metode *Taguchi* 3 level 3 factor dengan *runs* L27. Data rasio S/N *Taguchi* rata-rata untuk diameter *weld nugget* dengan tiga level arus yang digunakan, 4 kA, 6 kA, dan 8 kA, menunjukkan yang paling berpengaruh terhadap diameter *weld nugget* adalah pada 8 kA. Tiga tingkat waktu pengelasan yang digunakan yaitu 2 detik, 4 detik, dan 6 detik menunjukkan yang paling berpengaruh terhadap diameter *nugget* yaitu pada tingkat ketiga selama 6 detik. Ditemukan bahwa tidak ada perbedaan ukuran *nugget* yang signifikan pada tiga tingkat tekanan elektroda 30 Psi, 40 Psi, dan 50 Psi. Berdasarkan uji tarik dan analisis *Taguchi*, kuat geser terendah terdapat pada *size weld nugget* 3.15 mm pada arus las 4 kA, waktu las 2 detik, tekanan elektroda 30 Psi, dengan kuat tarik geser sebesar 300.19 N. Seiring dengan peningkatan *size weld nugget* berkorelasi dengan peningkatan kekuatan geser. Kekuatan tarik geser tertinggi terdapat pada *size nugget* 4.16 mm, dengan arus las 8 kA, waktu las 2 detik, tekanan elektroda 50 Psi, dengan kuat tarik geser 3383.43 N. Dari *Anova* didapatkan bahwa ketiga faktor parameter las titik yang digunakan, parameter yang paling berpengaruh dalam pembentukan *weld nugget* adalah arus las dengan kontribusi sebesar 84.86% kemudian diikuti dengan waktu pengelasan dengan kontribusi sebesar 14.86% dan gaya elektroda dengan kontribusi sebesar 0.13%. Kemudian dari ketiga faktor parameter las titik yang digunakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kuat tarik geser maksimum adalah arus las dengan kontribusi sebesar 95.86 % kemudian diikuti dengan waktu pengelasan dengan kontribusi sebesar 0.52 % dan gaya elektroda dengan kontribusi sebesar 0.05%.

Kata kunci: *spot welding* , *weld nugget diameter*, *tensile- shear*

ABSTRACT

LA ODE AL MUSLIM. Analysis of the Influence of Welding Parameters on Nugget Size and Mechanical Strength of Spot Welding Joints for Different Types of Mild Steel and Galvanized Steel (supervised by **Ahmad Yusran Aminy, Azwar Hayat**)

Objective of this research was to analyze the effect of spot welding parameters on the size of the weld nugget and the maximum shear strength on dissimilar material mild steel and galvanized steel. The Taguchi and ANOVA methods were used to determine the welding parameters contribution to joint quality. Experimental design using Minitab-19 software with Taguchi method of 3 level 3 factor with L27 runs. Specimen size and dimensions were made using ASTM D1002 standard, with a plate thickness of 0.8 mm. Taguchi analysis S/N ratio data mean for weld nugget diameter with three levels of current used, 4 kA, 6 kA and 8kA, shows the most influential on the diameter of the weld nugget was at 8 kA. The three levels of welding time used, 2s, 4s and 6s, shows the most influential on the diameter of the nugget the weld was at the third level for 6 seconds. It found that there was no significant difference on size nugget at the three electrode pressure levels of 30 Ppsi, 40 Psi and 50 Psi. Based on the tensile test and Taguchi analysis, the lowest shear strength was found in a weld nugget size of 3.15 mm at a welding current of 4 kA, a welding time of 2 seconds, an electrode pressure of 30 Psi, with a shear tensile strength of 300.19 N. Along with an increase in the size weld nugget correlated to increased of shear strength. The highest shear tensile strength was found in the nugget size of 4.16 mm, with a welding current of 8 kA, welding time of 2 seconds, electrode pressure of 50 Psi, with a shear tensile strength of 3383.43 N. From the ANOVA, it found that the three factors of spot welding parameters were used, the most influential parameter in the formation of weld nuggets was welding current with a contribution of 84.86% then followed by welding time with a contribution of 14.86% and electrodes force with a contribution of 0.13%. Then from the three factors of spot welding parameters that were used the most influential parameter on the maximum shear tensile strength was the welding current with a contribution of 95.86 % then followed by welding time with a contribution of 0.52% and electrodes force with a contribution of 0.05%.

Keywords: spot welding , weld nugget diameter, tensile- shear.

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	Error! Bookmark not defined.
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.	4
BAB II TEORI DASAR.....	5
2.1. Referensi Penelitian.....	5
2.2. Pengertian Sambungan Las.	7
2.3 Pengelasan Material Berbeda Jenis (<i>Dissimilar Metal Welding</i>).	23
2.4 Pengujian tarik.....	26
2.5. Struktur Mikro	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1. Tempat Penelitian.	33

3.2. Alat dan Bahan.	33
3.3. Proses Penelitian.....	38
3.4. Proses Pembuatan Spesimen.	38
3.5. Proses Pengelasan.....	39
3.6. Diagram Alur Penelitian.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. <i>Weld Nugget</i>	42
4.2. Pengujian Tarik Geser.	48
4.3. Pengujian Tarik Pengelasan Similar.....	53
4.4. Pengamatan Struktur Mikro	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
Lampiran	64

DAFTAR TABEL

Tabel.2.1.	Komposisi kimia baja galvanized steel.....	24
Tabel.2.2	Uji komposisi kimia baja SPCC.....	25
Tabel.2.3.	Komposisi kimia baja SPHC.	26
Tabel.2.4.	komposisi kimia palat baja SPHC-PO JIS G3131.....	26
Tabel.3.1.	Komposisi kimia plat besi <i>mild steel</i> SPCC.....	37
Tabel 3.2	komposisi kimia <i>plat galvanized steel</i>	38
Tabel 3.3	<i>Taguchi design</i> parameter pengelasan.....	39
Tabel.4.1.	hasil pengukuran diameter nugget lasan.	42
Tabel.4.2.	Analysis of Variance software minitab-19 weld nugget diameter.	47
Tabel.4.3.	Comparisons: welding curent	47
Tabel 4.4.	Comparisons: welding time.	47
Tabel.4.5.	Comparisons: electrodes force.....	48
Tabel.4.6.	Nilai rata-rata hasil uji tarik geser.	48
Tabel.4.7.	Analysis of Variance software minitab-19 tensile-shear maximum.....	49
Tabel.4.8.	Comparisons welding current.....	50
Tabel.4.9.	Comparisons welding time.....	50
Tabel.4.10	Comparisons: electrodes force.....	50
Tabel.4.11.	Nilai rata-rata hasil pengukuran diameter nugget dan pengujian tarik geser maxsimum.....	51
Tabel.4.12.	Nilai rata-rata hasil pengujian tarik pengelasan titik sejenis mild steel-mild steel dan galvanized steel-galvanized steel..	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar.2.1.	Resistance Spot Welding (RSW).....	8
Gambar.2.2.	Salah Satu Jenis RSW: Rocker Arm Spot Welding Machine.....	9
Gambar.2.3.	Tahapan proses RSW.....	9
Gambar.2.4.	Masalah yang mempengaruhi kekutan mekanik dan diameter nugget spot welding.....	10
Gambar.2.5.	Skema Pengelasan Thermit Welding (TW).....	11
Gambar.2.6	Skema pengelasan Laser beam welding (LBW)	11
Gambar.2.7.	Skema pengelasan Ultrasonic Welding (USW).....	12
Gambar.2.8.	Skema pengelasan Friction Stir Welding (FSW).....	13
Gambar.2.9.	Skema Proses Pengelasan SMAW.....	13
Gambar.2.10.	Skema Pengelasan <i>Oxygen Asetilen Welding</i> (OAW).....	14
Gambar.2.11.	Skema Pengelasan <i>spot welding</i>	14
Gambar.2.12.	Macam-Macam Kampuh Las <i>Butt Joint</i>	15
Gambar.2.13.	Macam-Macam kampuh las <i>tee joint</i>	15
Gambar.2.14.	Jenis sambungan <i>Corner Joint</i>	16
Gambar.2.15.	Jenis sambungan <i>lap joint</i>	17
Gambar.2.16.	Jenis- jenis sambungan las <i>paralel joint</i>	17
Gambar.2.17.	<i>Resistance Spot Welding</i> (RSW).....	18
Gambar.2.18.	Salah Satu Jenis RSW: <i>Rocker Arm Spot Welding Machine</i>	19
Gambar.2.19.	Tahapan proses <i>RSW</i>	19
Gambar.2.20.	Masalah yang mempengaruhi kekutan mekanik dan diameter.....	21
Gambar.2.21.	Parameter pengelasan.....	22
Gambar.2.22.	Kurva tegangan regangan (Beumer 1985).....	27
Gambar.2.23.	Jenis Mode kegagalan hasil uji tarik geser.....	28
Gambar 2.24.	Struktur mikro pearlite yang terdiri dari lapisan tipis cementit warna hitam dan ferrit warna putih.....	28
Gambar 2.25	Mikrostruktire bainit: butir kristal bainit terdiri dari cementit dalam bentuk panjang dan tipis didalam fasa ferrit yang dikelilingi oleh mikrostruktire martensit.....	29
Gambar 2.26	Mikrostruktire martensit : lembaran tipis warna hitam adalah martensit, sedangkan yang berwarna putih adalah austenite sisa.....	30
Gambar 2.27	Struktur mikro hasil las titik logam dissimilar.....	31
Gambar 2.28	Struktur mikro hasil las titik arus 60 A.....	31
Gambar 2.29	Struktur mikro hasil las titik arus 70 A.....	31
Gambar 2.30	Struktur mikro hasil las titik arus 80 A.....	32

Gambar.3.1.	Las titik.....	33
Gambar.3.2.	Mesin gerinda tangan	34
Gambar.3.3.	Alat uji Tarik.....	34
Gambar.3.4.	Alat pengukuran <i>size weld nugget</i>	35
Gambar.3.5.	Alat foto mikro.....	35
Gambar.3.6.	Mesin potong sampel metalografi.....	36
Gambar.3.7.	Plat besi <i>mild steel</i>	36
Gambar 3.8	Plat <i>galvanized steel</i>	37
Gambar 3.9	Ukuran spesimen berdasarkan ASTM D1002.....	39
Gambar 3.10	Skema tahapan proses pengelasan.....	40
Gambar.4.1.	(a) Proses las titik (b) daerah pengukuran diameter nugget.	42
Gambar.4.2.	Grafik diameter nugget versus spesimen.....	44
Gambar.4.3.	Grafik diameter nugget versus arus pengelasan (kA).....	44
Gambar 4.4	Grafik diameter nugget versus waktu pengelasan (detik)....	45
Gambar 4.5	Grafik diameter nugget versus tekanan elektroda (Psi).....	45
Gambar 4.6	Taguchi analysis s/n ratio data <i>meant for weld nugget</i> diameter.....	46
Gambar 4.7	Taguchi analysis S/N ratio data <i>meant for tensile- shear</i> <i>maximum</i>	49
Gambar 4.8	<i>Mean tensile-shear maximum versus mean weld nugget</i> diameter	51
Gambar 4.9	Jenis kegagalan hasil uji tarik geser.....	52
Gambar 4.10	Grafik perbandingan hasil pengujian tarik pengelasan titik logam sejenis <i>mild steel-mild steel</i> dan <i>galvanized steel-</i> <i>galvanized steel</i>	53
Gambar 4.11	Grafik perbandingan hasil uji tarik pengelasan titik logam sejenis <i>mild steel-mild steel</i> , <i>galvanized steel-galvanized</i> <i>steel</i> , dan logam tak sejenis <i>mild steel-galvanized</i> <i>steel</i>	53
Gambar 4.12	Daerah pengamatan struktur mikro.....	54
Gambar 4.13	Struktur mikro <i>base metal</i> (a) <i>galvanized steel</i> dan (b) <i>mild steel</i> terlihat struktur mikro pearlite yang terdiri dari lapisan cementit warna hitam dan ferrit warna putih.....	54
Gambar 4.14	Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> parameter pengelasan (a) 4 kA, 2 Detik, 30 Psi, (b) 4 kA, 4 Detik, 40 Psi, dan (c) 4 kA, 6 Detik, 50 Psi.	55
Gambar 4.15	Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> parameter pengelasan (a) 6 kA, 2 Detik, 40 Psi, (b) 6 kA, 4 Detik, 50 Psi, dan (c) 6 kA, 6 detik, 30 Psi.....	55
Gambar 4.16	Struktur mikro daerah <i>HAZ</i> parameter pengelasan (a) 8 kA, 2 Detik, 50 Psi, (b) 8 kA, 4 Detik, 30 Psi, dan (c) 8	

	kA, 6 Detik, 40 Psi.....	55
Gambar 4.17	Struktur mikro <i>nugget</i> las parameter pengelasan (a) 4 kA, 2 Detik, 30 Psi, (b) 4 kA, 4 Detik, 40 Psi, dan (c) 4 kA, 6 Detik, 50 Psi.....	56
Gambar 4.18	Struktur mikro <i>nugget</i> las parameter pengelasan (a) 6 kA, 2 detik, 40 Psi, (b) 6 kA, 4 detik, 50 Psi, dan (c) 6 kA, 6 detik, 30 Psi.....	56
Gambar 4.19	Struktur mikro <i>nugget</i> las parameter pengelasan (a) 8 kA, 2 detik, 50 Psi, (b) 8 kA, 4 detik, 30 Psi, dan (c) 8 kA, 6 detik, 40 Psi. mikro struktur bainit terdiri dari cementit di dalam fasa ferrit yang di kelilingi oleh mikrostruktur martensit. Terlihat warna putih fasa austenite sisa yaitu austenite yang tidak sempat bertransformasi menjadi martensit.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.

Las titik adalah metode atau proses pengelasan yang sering digunakan pada industri otomotif atau transportasi. Las titik digunakan dalam industri otomotif untuk pengerjaan body atau kerangka mobil. Terdapat sekitar 2000-5000 las titik di kendaraan modern (Pouranvari 2011). Las titik merupakan metode mutakhir penyambungan yang umumnya digunakan untuk menyambung lembaran logam (Ishak 2014). Penyambungan dilakukan dengan cara permukaan pelat yang disambung ditekan diantara elektroda dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan logam menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik (Wiyono 2012). Dengan demikian, suatu sambungan las dibentuk antara lembaran logam melalui peleburan dan mengakibatkan terikat kuat antara lembaran tanpa zat tambahan (Charde 2012). Metode pengelasan titik digunakan karena memiliki kelebihan mudah dioperasikan, waktu lebih singkat meningkatkan kecepatan produksi masal, suplai panas yang diberikan cukup.

Proses las titik dipilih karena sebagian besar bahan yang dipakai dalam proses perakitan bodi mobil adalah plat lembaran, sehingga apabila menggunakan proses las biasa seperti *submerged arc welding* (SAW) dan *shielded metal arc welding* (SMAW), maka material tersebut akan mengalami penurunan sifat mekanik karena ketebalan material yang rendah (Haikal dkk 2021).

Salah satu teknik pengelasan yang dikembangkan saat ini adalah teknik penyambungan dua jenis logam tidak sejenis atau *dissimilar metal*. Sambungan logam tak sejenis merupakan penyambungan dua jenis logam yang berbeda sifatnya dengan cara dilas. Penyambungan logam tidak sejenis mild steel dan gavanis bertujuan untuk membuat baja kurang rentang terhadap korosi untuk membuat struktur yang lebih aman (Rakhi Mazumdar 2018) meringankan bobot kendaraan sehingga dapat mengefisiensikan pemakaian bahan bakar pada suatu kendaraan (Hendrawan 2014). Pengelasan dengan logam tidak sejenis dapat lebih rumit dari pada pengelasan logam sejenis karena siklus termal yang berbeda dialami masing-masing logam (Subrammanian 2013). Dan juga daya lasan

menurun dikarenakan adanya lapisan *zinc* pada permukaan logam (Sukarman dkk 2020).

Galvanizing adalah proses pelapisan *zinc* yang diterapkan untuk melindungi produk besi sehingga tahan terhadap korosi (Wahyudi, dkk 2016). Kebutuhan *galvanis* Industri otomotif di Indonesia mencapai sekitar 1 juta ton per tahun dan 700.000 sampai 800.000 ton digunakan untuk kebutuhan produksi mobil (Wibisono 2016).

Pengontrolan parameter pengelasan sangat mempengaruhi karakteristik hasil pengelasan karena hal ini mempengaruhi kualitas sifat mekanik hasil las, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Arus listrik pengelasan yang digunakan harus optimal jika terlalu rendah, maka panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan material, sehingga menghasilkan daerah logam las yang kecil serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus pengelasan terlalu tinggi, maka pencairan logam induk terlalu cepat dan menghasilkan daerah logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan (Arifin 1997).

Variasi tegangan listrik (V) dan waktu penekanan (dt) berpengaruh pada kekuatan geser hasil pengelasan. Semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka semakin tinggi juga nilai kekuatan tegangan geser. Waktu penekan atau waktu pengelasan yang lama maka nilai kekuatan tegangan geser semakin tinggi dan jika waktu pengelasan tidak tetap maka hasil pengelasan akan mengalami kerusakan (Silaban, dkk 2016). Dibutuhkan masukan panas yang optimal untuk membentuk struktur nugget yang baik sehingga dapat menghasilkan kekuatan sambungan yang maksimal (Ahmadil Amin 2017). Waktu penekanan las harus disesuaikan agar mendapatkan hasil sambungan las dan kekuatan tarik yang baik.

Ukuran diameter nugget membesar seiring meningkatnya tegangan yang menyebabkan mode kegagalan *pullout*. Ukuran diameter *nugget* menurun setelah pre-regangan diaplikasikan pada spesimen uji dan membuat mode kegagalan *interfacial* (Kuntoro, dkk 2017). Penyambungan logam tidak sejenis antara stainless steel AISI 304 dengan baja karbon rendah St 41 dengan tebal 1 mm dan waktu pengelasan selama 1 detik dan pengujian kekuatan geser menggunakan

standar AWS D8.9-97, dengan hasil paling baik 76,89 kg/mm² dan nilai kekerasan yang baik pada arus 1000 A (Fachruddin,dkk 2016).

Berdasarkan uraian diatas, penelitian pada sambungan las titik atau *Resistance Spot Welding* (RSW) sangat menarik untuk dilakukan, dan masih banyak yang perlu diteliti dari penggunaan material yang berbeda menggunakan variasi parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik sifat mekanik, demi meningkatkan kualitas sambungan las. Penelitian pada las titik dengan variasi parameter tegangan listrik (V), kuat arus (A), dan waktu penekanan (dt) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik.

1.2. Rumusan Masalah.

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap *size weld nugget* pada sambungan las titik berbeda jenis galvanis steel dan mild steel ?.
2. Bagaimana pengaruh *size weld nugget* pada kekuatan tarik geser sambungan las titik berbeda jenis galvanis steel dan mild steel ?.
3. Menganalisa variasi parameter pengelasan yang paling berpengaruh terhadap *size weld nugget* dan kekuatan tarik geser pada pengelasan titik bahan berbeda jenis galvanis steel dan mild steel ?.
4. Menganalisa bagaimana pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap struktur mikro sambungan las titik berbeda jenis galvanis steel dan mild steel ?.

1.3. Tujuan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Untuk menganalisa bagaimana pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap *size weld nugget* pada sambungan las titik berbeda jenis galvanis steel dan mild steel.
2. Untuk menganalisa bagaimana pengaruh *size weld nugget* pada kekuatan tarik geser sambungan las titik berbeda jenis galvanis steel dan mild steel.

3. Menganalisa variasi parameter pengelasan yang paling berpengaruh terhadap *size weld nugget* dan kekuatan tarik geser pada pengelasan titik bahan berbeda jenis galvanis steel dan mild steel.
4. Untuk menganalisa dan mengetahui bagaimana perubahan struktur mikro sambungan las titik berbeda galvanis steel dan mild steel.

1.4. Batasan Masalah.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin las titik yang di gunakan adalah mesin las titik merek Krisbow DN-16 *Spot welding machine* dengan kapasitas arus listrik 1 sampai 8 kA dan kapasitas penekanan 10 sampai 50 Psi.
2. Bahan yang digunakan adalah plat galvanis steel dan mild steel.
3. Pengujian mekanik yang di lakukan adalah pengujian tarik geser.
4. Pengamatan foto makro untuk mengetahui diameter *size weld nugget*.
5. Pengamatan foto mikro untuk mengetahui mikro struktur yang terjadi akibat pengelasan.
6. Spesimen tidak mengandung oli dalam keadaan kering (dry).
7. Pemilihan parameter pengelasan yang dilakukan berdasarkan kemampuan mesin las titik yang digunakan dan dari beberapa penelitian-penelitian terdahulu tentang las titik.
8. Arus yang digunakan mulai dari 4 kA di karenakan arus 1,2,dan 3 kA belum mampu menyambung spesimen.
9. Proses pengelasan dilakukan pada saat kondisi elektroda keadaan dingin.
10. Elektroda berbentuk bulat dengan diameter 16 mm.

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Referensi Penelitian.

Sifat mekanik las titik berbeda jenis AISI 1003 dengan AISI 1025, hasil nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar $27,03 \text{ kg/mm}^2$ pada tegangan 58 A dan waktu 26 *cycle* dan hasil uji kekerasan tertinggi pada arus 52 A waktu 23 *cycle* sebesar 237,7 VHN (Mustakim, dkk 2017). Pengelasan titik baja karbon rendah ST41 dengan baja tahan karat AISI 304, penelitian menunjukkan hasil paling optimal adalah waktu penekanan 1 detik dengan kekuatan tarik $24,6 \text{ kg/mm}^2$ pada arus 120 A dan kekerasan yang optimum pada daerah *heat effected zone* (HAZ) dengan waktu penekanan 1,5 detik sebesar 74 HRB (Firmansyah W, dkk 2016).

Sambungan las titik berbeda jenis baja tahan karat tipe ferit seri 430 aluminium seri 6019 dan filler (ZN). Hasil sambungan las tanpa filler kecenderungan sama dimana daerah *nugget* memiliki kekerasan paling tinggi. Untuk hasil kekerasan paling optimal menggunakan filler pada arus 8000 A dengan waktu pengelasan 0,4 detik memiliki kekuatan sambungan las yang paling optimal sebesar 1235,17 N. Nilai kekerasan spesimen tanpa menggunakan *filler* maupun menggunakan *filler* pada semua parameter pengelasan di daerah logam induk relatif sama. Sedangkan nilai kekerasan pada daerah *heat effected zone* (HAZ) dan logam las (*nugget*) cenderung berbeda karena input panas yang diterima setiap spesimen berbeda pula. Tingginya nilai kekerasan pada daerah logam las disebabkan karena pada daerah ini merupakan daerah yang paling besar menerima masukan panas kemudian disusul daerah *heat effected zone* (HAZ) dan daerah induk logam yang tidak menerima panas sama sekali. Daerah yang menerima panas tinggi dan pendinginan cepat akan mengalami perubahan fasa dan struktur mikro (Hendrawan, dkk 2017).

Pengaruh *pre-strain* dan tegangan listrik terhadap sifat fisik mekanik dan korosi sambungan las titik (RSW) logam beda jenis antara AISI 430 dan JSL AUS (J1). Hasil penelitian menunjukkan ukuran diameter *nugget* membesar seiring meningkatnya tegangan yang menyebabkan mode kegagalan *pullout*. Ukuran diameter *nugget* menurun setelah *pre-strain* diaplikasikan pada spesimen uji dan

membuat mode kegagalan *interfacial*. Variasi *pre-strain* pada 1% dan tegangan pada 2,30V memiliki laju korosi tertinggi 0,0497 mm / y (Kuntoro, dkk 2017).

Hasil pengujian pada las titik stainless steel tebal 1,2 mm dan baja karbon rendah tebal 0,9 mm dengan waktu penekanan 4 detik menunjukkan kekuatan terbaik pada arus 70 A sebesar 190,920 kN/mm². Pengamatan struktur mikro memiliki *fusion zone* yang tidak simetris. Terjadi karena adanya perbedaan konduktivitas thermal bahan logam yang digunakan. Las titik dengan variasi arus listrik 70 A menghasilkan daerah *heat effected zone* (HAZ) yang didominasi oleh struktur perlit dengan butiran yang lebih halus dan homogen dibandingkan spesimen lainnya (Ahmadil Amin 2017).

Penelitian tentang pengaruh variasi diameter elektroda pengelasan titik (resistance spot welding) terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan *dissimilar metal stainless steel aisi 304* dengan baja karbon rendah *SPHC JIS G3131*. Dari hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan semakin meningkat seiring dengan besar diameter elektroda yang digunakan. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 434,5 HV terdapat pada daerah *weld metal* pada variasi diameter elektroda 15 mm, dan nilai kapasitas beban tarik rata-rata tertinggi diperoleh sebesar 4529,44 N pada variasi diameter 15 mm dan nilai kekuatan geser rata-rata tertinggi terdapat pada variasi diameter 10 mm sebesar 183,66 N/mm² (Aab Mujtaba S, dkk 2019).

Pengaruh waktu penahanan pada pengelasan titik resistansi yang berbeda dari *stainless steel 316L* dan paduan *titanium Ti6Al4V* dengan aluminium *interlayer*. Parameter pengelasan, arus 12 kA, waktu 10 *cycle*, dan 30 *cycle* tekanan elektroda 4 kN dengan uji Mekanik dan sifat fisik ditentukan dengan menggunakan uji tarik-geser analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik, dan kekerasan uji distribusi menggunakan kekerasan mikro Vickers. Hasil *joint SS316L/Ti6Al4V* menunjukkan bahwa tarik-geser beban adalah 895 N dan nilai kekerasan maksimum adalah 367,3 HV dibawah arus las 12 kA, pengelasan waktu dan waktu penahanan 10 *cycle* dan gaya elektroda 4 kN. Hasil struktur mikro menunjukkan bahwa lapisan reaksi yang sangat tipis terbentuk pada senyawa intermetalik antarmuka SS316L/AA5754 (Taufiqurrahman, dkk 2020).

Hasil penelitian pengelasan titik baja karbon rendah ST41 dengan variasi ketebalan dan lama tekan pada pengujian tarik mesin UMT (*Ultimate Testing Machin*) adalah untuk spesimen dengan ketebalan 0,6 mm, nilai kekuatan tarik tertinggi pada waktu tekan 3 detik dengan nilai 67,69 N/mm² dan nilai kekuatan tarik terendah pada waktu tekan 1 detik dengan nilai 28,36 N/mm². Untuk spesimen dengan ketebalan 0,8 mm, nilai kekuatan tarik tertinggi pada waktu tekan 3 detik dengan nilai 38,78 N/mm² dan nilai kekuatan tarik terendah pada waktu tekan 1 detik dengan nilai 28 N/mm². Untuk spesimen dengan ketebalan 1 mm, nilai kekuatan tarik tertinggi pada waktu tekan 1 detik dengan nilai 13,79 N/mm² dan nilai kekuatan tarik terendah pada waktu tekan 3 detik dengan nilai 11,25 N/mm² (Eko Nugroho,dkk 2018).

Hasil penelitian spesimen plat *galvaniz* tebal 0,8 mm dengan variasi arus pengelasan 45, 55, 65, dan 75 A pada waktu tekan pengelasan 5 detik terdapat nilai pengujian tarik tertinggi pada arus 65 A dengan waktu penekanan 5 detik yaitu 20 N/mm², dan nilai terendah terdapat pada pengelasan arus 75 A dengan waktu tekan 5 detik yaitu 12 N/mm² (Syahrul bukhori 2021).

2.2. Pengertian Sambungan Las.

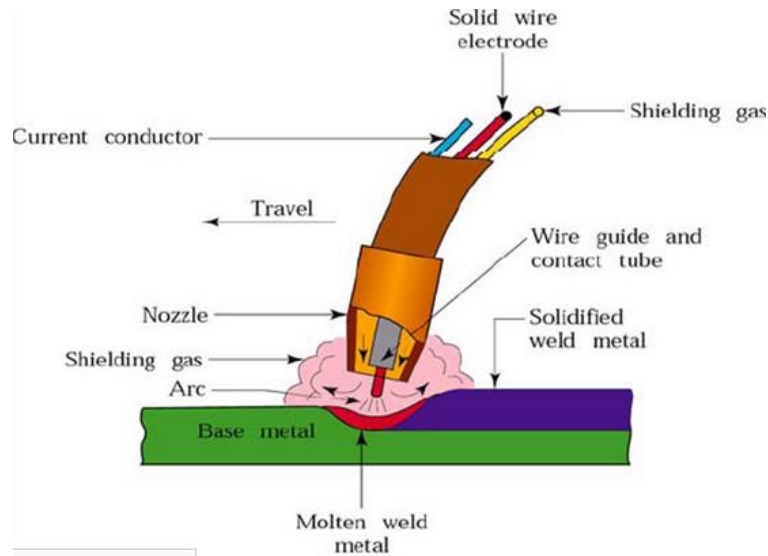
Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan dengan memanaskan benda kerja tersebut sampai titik cair dan menyatu, sehingga membentuk suatu sambungan atau kampuh las. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, mudah pelaksanaannya, dapat menahan kekuatan yang tinggi, dan cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

2.2.1. Jenis- Jenis Las.

a. Gas Metal Arc Welding (GMAW).

Pengelasan ini biasa di kenal dengan nama *metal inet gas* (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus-menerus. Daerah lasan terlindung dari *atmosphere* melalui gas yang dihasilkan dari alat las (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan adalah gas *argon*,

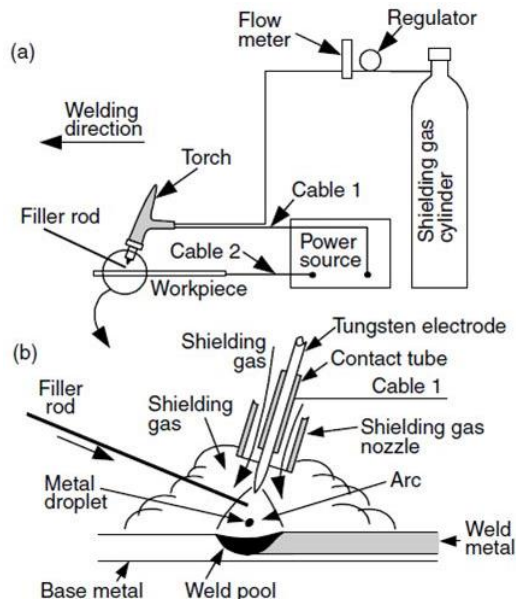
helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O_2 antara 2 sampai 5% atau CO_2 antara 5 sampai 20% (Wiryosumarto 1996) seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skematika pengelasan *gas metal arc welding*. (Wiryosumarto 1996).

a. *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW).

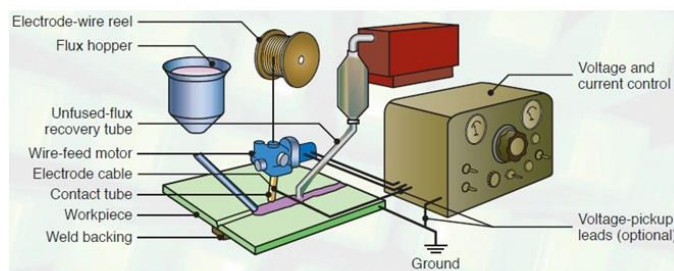
Pengelasan *GTAW* (*gas tungsten arc welding*) adalah sebuah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan *elektroda* tak terumpan atau tidak ikut mencair. Pada pengelasan *GTAW* ini *elektroda* atau *tungsten* ini hanya berfungsi sebagai penghasil busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, sedangkan untuk logam pengisi adalah *filler rod*. Pengelasan *GTAW* ini juga sering disebut dengan *las argon*, hal tersebut dikarenakan gas pelindung yang digunakan adalah gas *argon*. Las *GTAW* ini juga disebut dengan las *TIG* yang mempunyai kepanjangan *tungsten inert gas*, perbedaan ini hanya penyebutannya saja. Kalau *GTAW* itu lebih sering untuk istilah Amerika sedangkan *TIG* adalah untuk daerah Eropa. Fungsi las *GTAW* ini biasanya digunakan untuk melakukan pengelasan aluminium atau *stainless steel* yang memang banyak membutuhkan perlakuan khusus (Wiryosumarto 1996).



Gambar 2.2 Peralatan pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW). (Wiryo Sumarto 1996).

b. *Submerged Arc Welding* (SAW).

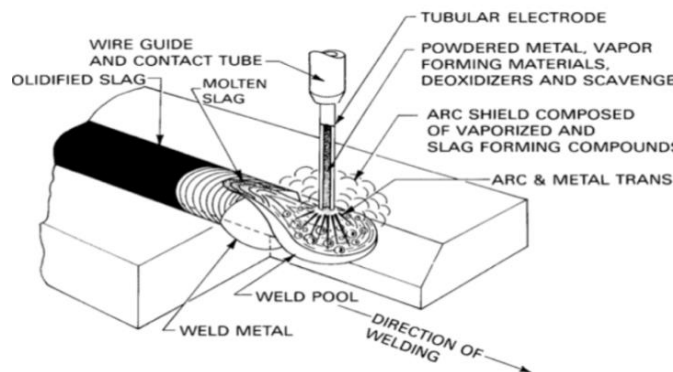
Submerged arc welding (SAW) adalah sebuah proses las busur listrik terumpun yang bekerja secara otomatis. Proses las ini dipatenkan pada tahun 1935 oleh Jones, Kennedy, dan Rothermund. Menjadikan proses las SAW proses pengelasan otomatis pertama yang berkembang di industri. Memiliki mekanisme kerja yang mirip dengan pengelasan semi – otomatis seperti FCAW dan GMAW. Arus listrik yang disuplai dari trafo las digunakan untuk menyalakan busur listrik dan menghasilkan panas. Lalu kawat las diumpankan secara terus menerus ke dalam kawah las oleh *wire feeder*. Proses tersebut terjadi di bawah rendaman pasir silika yang berfungsi sebagai *flux*. Seluruhnya berjalan secara otomatis melalui pengaturan yang terdapat pada trafo las yang secara umum mengatur tentang arus listrik (Ampere), tegangan listrik (Voltage), dan laju pengelasan (Travel speed) (Wiryo Sumarto 1996).



Gambar 2.3 Skema mesin las *Submerged arc welding*. (Wiryo Sumarto 1996).

c. *Flux-Cored Arc Welding (FCAW)* .

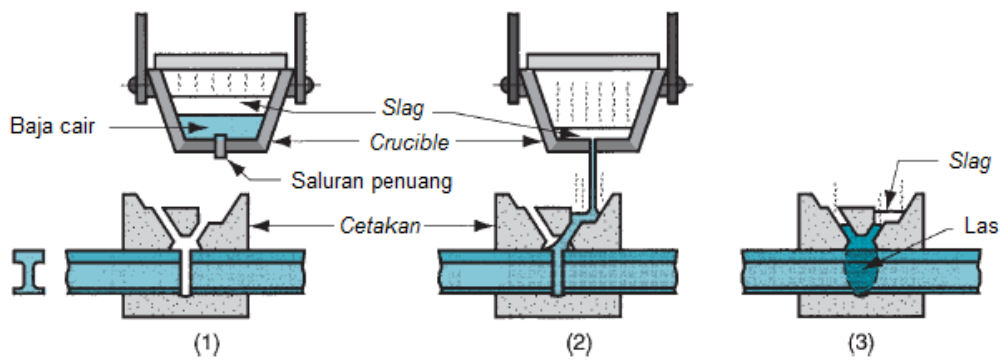
Pengertian proses pengelasan (*FCAW*) *flux cored arc welding* Adalah sebuah proses pengelasan yang menggunakan sumber panas yang berasal dari energi listrik yang dikonversi menjadi sumber panas pada busur listrik. Pada pengelasan *FCAW* ini jenis pelindung yang digunakan adalah *flux* atau serbuk yang berada di inti kawat las (kawat las digulung dalam sebuah roll). Selain *flux*, *FCAW* juga menggunakan gas pelindung untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Pengelasan *FCAW* (*flux core arc welding*) mempunyai dua tipe yang dibedakan menurut jenis perlindungan yang digunakan yaitu *self shielding* dan *gas shielding*. *Self shielding FCAW* adalah proses pengelasan *FCAW* yang menggunakan *flux* yang berada di inti kawat las untuk melindungi logam las saat mencair. Sedangkan *gas shielding FCAW* adalah proses pengelasan *FCAW* yang menggunakan *flux* dan tambahan gas yang berasal dari luar sistem atau gas dari tabung (Wiryosumarto 1996).



Gambar 2.4 Skema proses pengelasan *FCAW* (Wiryosumarto 1996).

d. *Thermit Welding (TW)* .

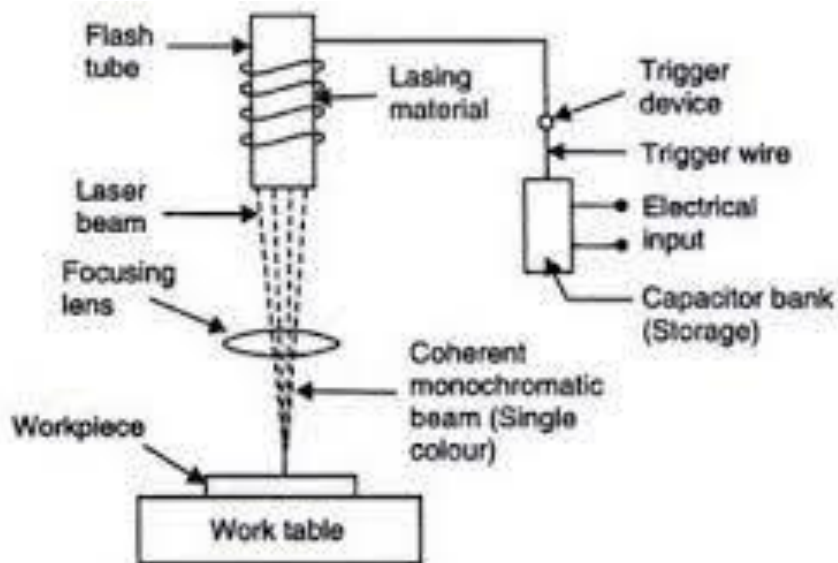
Thermit welding (TW) adalah proses pengelasan di mana panas untuk penggabungan dihasilkan dari logam cair yang berasal dari reaksi kimia *thermit*. *Thermit* merupakan merk dagang dari *thermite*, yakni sebuah campuran serbuk aluminium dan besi oksida yang bisa menghasilkan reaksi *exothermic* ketika dibakar. Bahan tambah atau filler pada pengelasan ini berupa logam cair. Logam cair tersebut dituang pada sambungan yang telah dilengkapi dengan cetakan. Proses penggabungan ini lebih mirip dengan pengecoran (Wiryosumarto 1996).



Gambar 2.5 Skema pengelasan *thermit welding* (TW).
(Wiryosumarto 1996).

e. *Laser Beam Welding* (LBW).

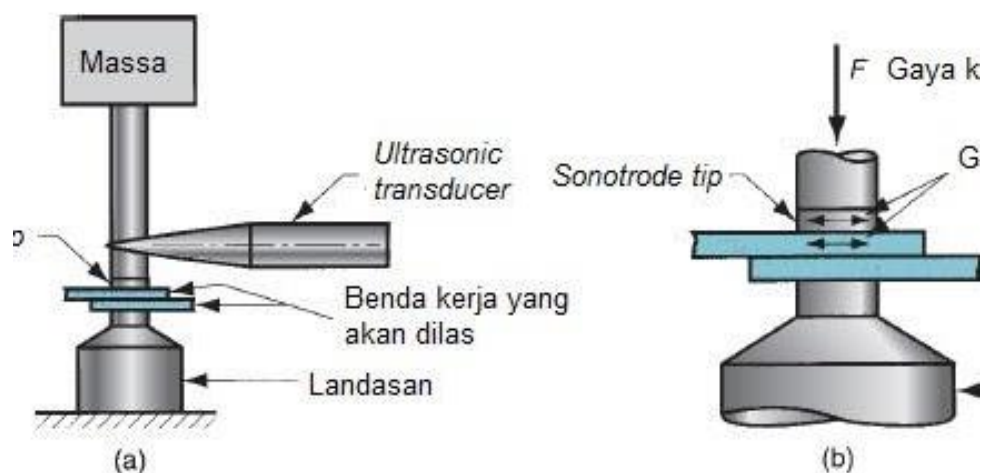
Laser beam welding (LBW) adalah proses pengelasan di mana penggabungan diperoleh dari energi yang terkonsentrasi tinggi, sorotan cahaya sederhana difokuskan pada sambungan benda kerja. Istilah laser merupakan akronim dari *light amplification by stimulated emission of radiation*. *Laser beam welding* umumnya dioperasikan dengan gas pelindung untuk mencegah oksidasi. Gas pelindung yang digunakan contohnya adalah *helium*, *argon*, *nitrogen*, dan karbon *dioksida*. Pada LBW bahan tambah atau *filler* biasanya tidak diberikan (Sayuti, M 2015).



Gambar 2.6 Skema pengelasan *laser beam welding* (LBW).
(Wiryosumarto 1996).

f. *Ultrasonic Welding (USW)*.

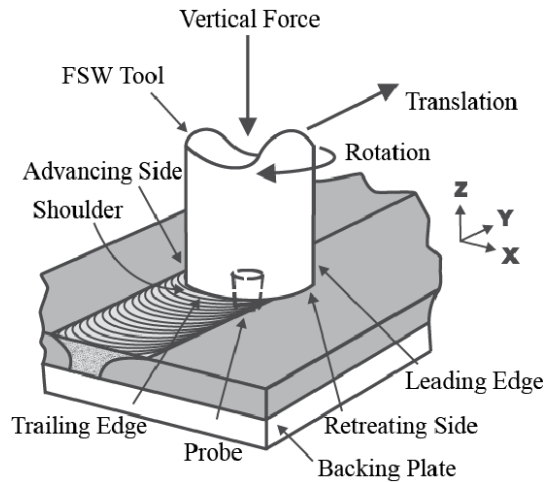
Pengertian *ultrasonic welding (USW)* adalah jenis pengelasan *solid-state* di mana dua benda kerja ditahan/dijepit bersamaan dan diberi getaran berfrekuensi *ultrasonic* supaya terjadi penggabungan. Gerak dari getaran melewati celah antara dua benda kerja yang dijepit secara *lap joint*. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya kontak dan ikatan metalurgi yang kuat antara kedua permukaan benda kerja. Panas pada proses USW dihasilkan dari gesekan antar permukaan benda kerja dan deformasi plastis. Suhu panas tersebut berada di bawah titik cair benda kerja (Wiryosumarto 1996).



Gambar 2.7 Skema pengelasan *ultrasonic welding (USW)* (Wiryosumarto 1996).

g. *Friction Stir Welding (FSW)*.

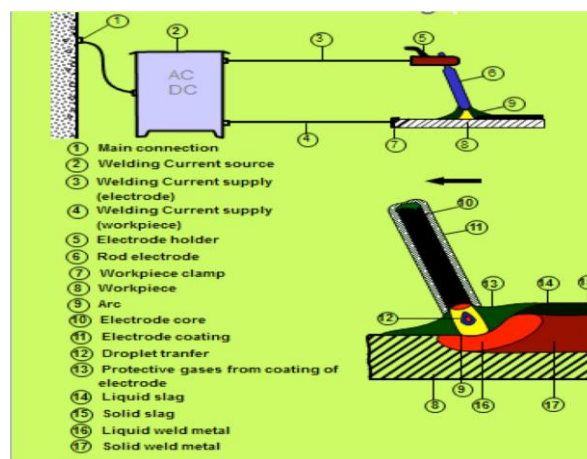
Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan baru yang ramah lingkungan dimana memiliki kualitas sambungan yang baik. *FSW* juga tidak memerlukan *filler metal* atau logam pengisi. Proses dari *FSW* cukup sederhana dengan memanfaatkan gesekan antara benda kerja yang diam dengan benda kerja yang bergerak. Gesekan kedua benda kerja dapat menghasilkan panas setempat yang bisa melunakkan bagian tersebut. Hal ini dilakukan dalam keadaan *solid state joining*. Aplikasi penggunaan *FSW* sering dijumpai pada logam aluminium paduan (Pompy Pratisna 2016).



Gambar 2.8 Skema pengelasan *friction stir welding* (FSW) (Wiryo Sumarto 1996).

h. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW).

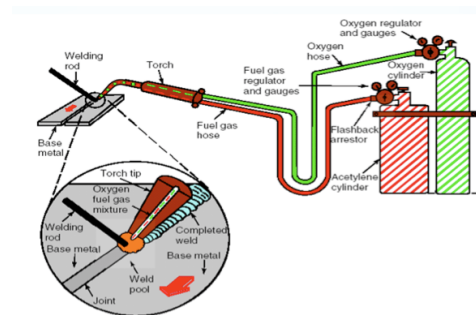
Pengertian las SMAW adalah sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya lompatan ion (*katoda dan anoda*) listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan adalah selaput *flux* yang terdapat pada elektroda. *Flux* pada elektroda SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. *Fluks* ini akan menjadi *slag* ketika sudah padat (Wiryo Sumarto 1996).



Gambar 2.9 Skema proses pengelasan SMAW (Wiryo Sumarto 1996).

i. *Oxygen Asetilen Welding (OAW)*.

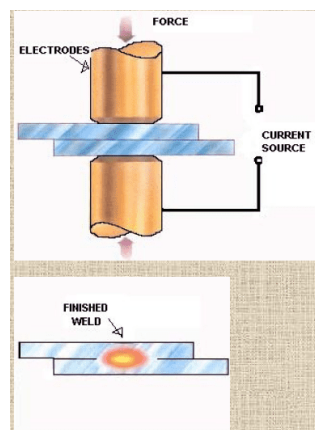
Pengertian las *OAW* (oksigen asetilen welding) adalah suatu proses pengelasan gas yang menggunakan sumber panas nyala api melalui pembakaran gas oksigen dan gas *asetilen* untuk mencairkan logam dan bahan tambah. Dalam pengelasan *OAW* ini biasanya digunakan hanya untuk plat plat tipis, hal ini dikarenakan sambungan las *Oxygen Acetyline* ini mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan las busur listrik. Las *OAW* ini juga dapat digunakan untuk pemanasan atau pemotongan, namun alat yang digunakan berbeda. Untuk pemotongan menggunakan *torch* yang ada katub gas potong, sedangkan untuk pengelasan atau pemanasan menggunakan *welding gun* tanpa katub gas potong (Wiriyosumarto 1996).



Gambar 2.10 Skema pengelasan *oxygen asetilen welding (OAW)* (Wiriyosumarto 1996).

j. Las titik.

Spot welding atau juga biasa dikenal sebagai las titik merupakan sebuah teknik las menggunakan metode resistansi listrik. Pada metode ini biasanya plat lembaran dijepit menggunakan dua elektrode aktif (Wiriyosumarto 1996).

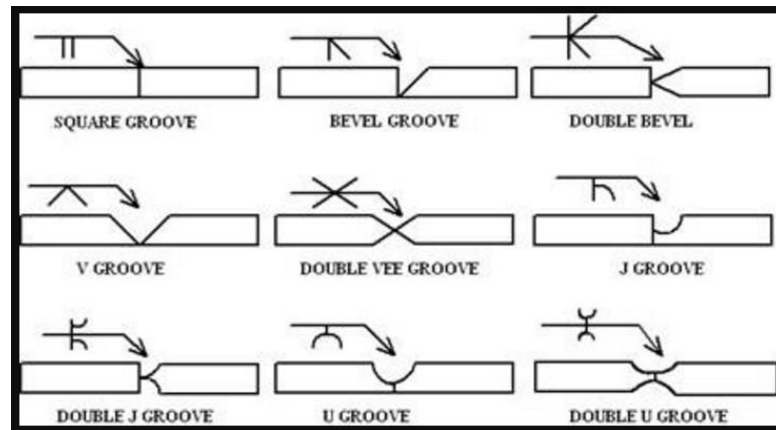


Gambar 2.11 Skema pengelasan *spot welding*. (Wiriyosumarto 1996).

2.2.2. Jenis-Jenis Sambungan Las.

a. *Butt Joint*.

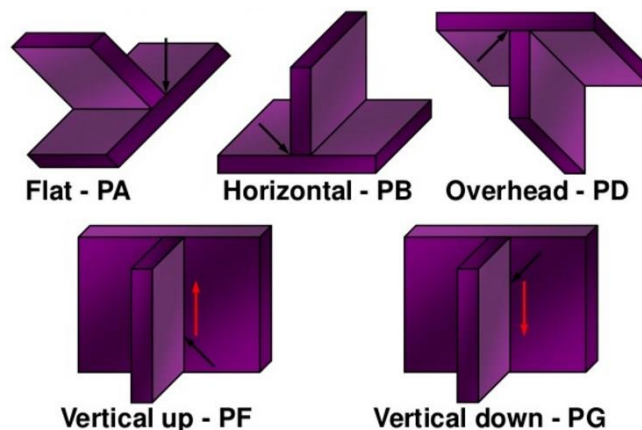
Sambungan *butt joint* adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau *groove* yaitu *V groove* (kampuh V), *single bevel*, *J groove*, *U Groove*, *Square Groove* untuk melihat macam macam kampuh las lebih detail dapat lihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Macam-macam kampuh las *butt joint* (Wiryosumarto 1996).

b. *Tee Joint* (Sambungan T).

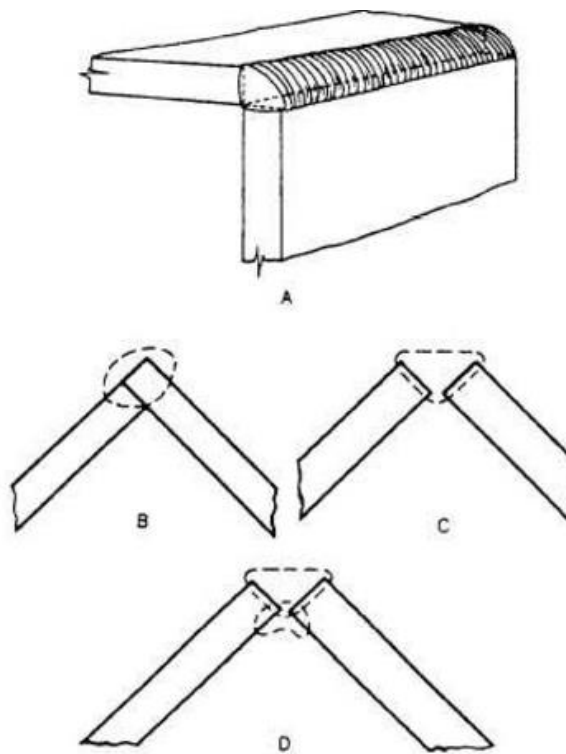
T joint adalah jenis sambungan yang berbentuk seperti huruf T, tipe sambungan ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan konstruksi atap, *konveyor* dan jenis konstruksi lainnya. Untuk tipe *groove* juga terkadang digunakan untuk sambungan *fillet* adalah *double bevel*, namun hal tersebut sangat jarang kecuali pelat atau materialnya sangat tebal. Dapat dilihat pada gambar 2.13 sambungan T pada pengelasan.



Gambar 2.13 Macam-macam kampuh las *tee joint* (Wiryosumarto 1996).

c. *Corner Joint*.

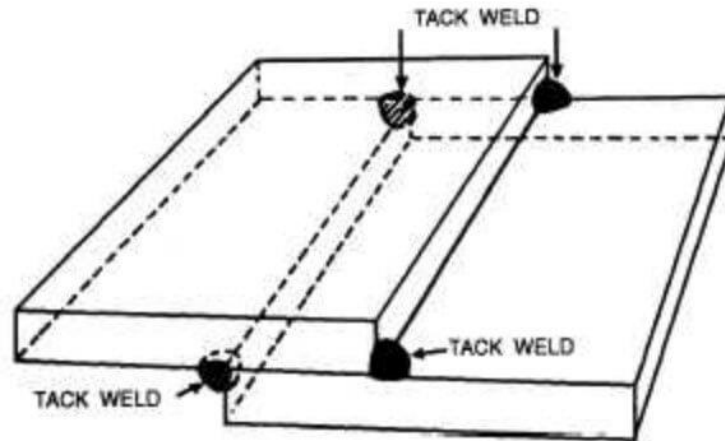
Corner joint mempunyai desain sambungan yang hampir sama dengan T joint, namun yang membedakannya adalah letak dari materialnya. Pada sambungan ini materialnya yang disambung adalah bagian ujung dengan ujung. Ada dua jenis *corner joint*, yaitu *close* dan *open*. Sambungan *Close corner* adalah jika material 1 ditumpuk pada atas material 2, sedangkan *open corner* adalah sambungan plat yang saling bertemu pada bagian ujung. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Jenis sambungan *corner joint* (Wiryosumarto 1996).

d. *Lap Joint* (Sambungan Tumpang).

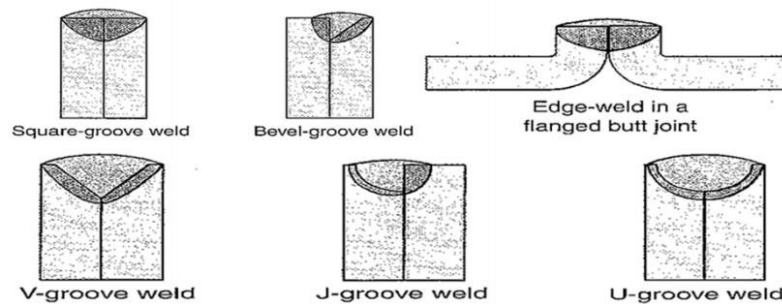
Tipe sambungan las yang sering digunakan untuk pengelasan *spot* atau *seam*. Karena materialnya ini ditumpuk atau disusun sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada bagian body kereta dan cenderung untuk plat plat tipis. Jika menggunakan proses las *SMAW*, *GMAW* atau *FCAW* pengelasannya sama dengan pengelasan *fillet*.



Gambar 2.15 Jenis sambungan *lap joint* (Wirjosumarto 1996).

e. *Paralel Joint*.

Paralel joint merupakan jenis sambungan pengelasan yang pada edisi sebelumnya disebut dengan *edge joint*. Namun, pada edisi yang terbaru berubah menjadi *parallel*. Untuk bagian yang dilas adalah bagian permukaan dari ketebalan material, bisa juga dibentuk *groove* atau *becel* disetiap bagian. Sambungan las *parallel join* dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Jenis- jenis sambungan las *parallel joint* (Wirjosumarto 1996).

2.2.3. Las Titik.

Las titik (*spot welding*) adalah suatu metode penyambungan material logam dengan pengelasan, pada permukaan logam yang akan disambung dialirkan arus listrik sehingga permukaan material menjadi panas dan mencair dikarenakan adanya resistansi listrik. Masukan panas atau *heat input* sangat berpengaruh pada hasil pengelasan titik. *Heat input* sangat mempengaruhi hasil *fusion zone*. *Fusion zone* akan meningkat seiring dengan meningkatnya *heat input* proses pengelasan

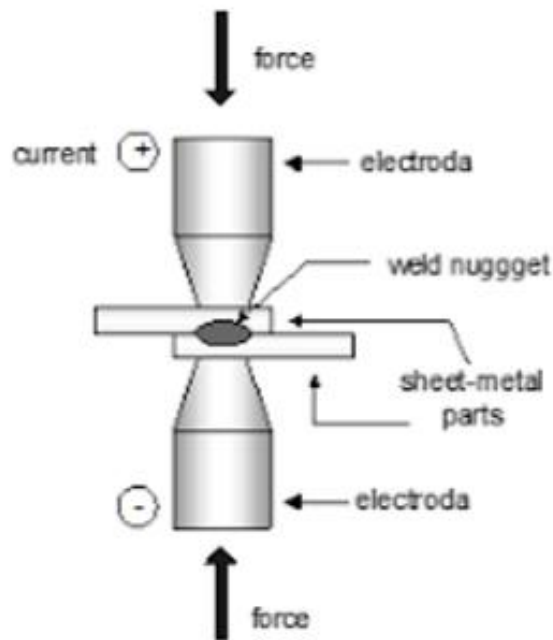
$$H_i = V \times I \times t \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : H_i = Heat input

V = Voltase (volt)

I = Arus (Amper)

T = Waktu (detik)

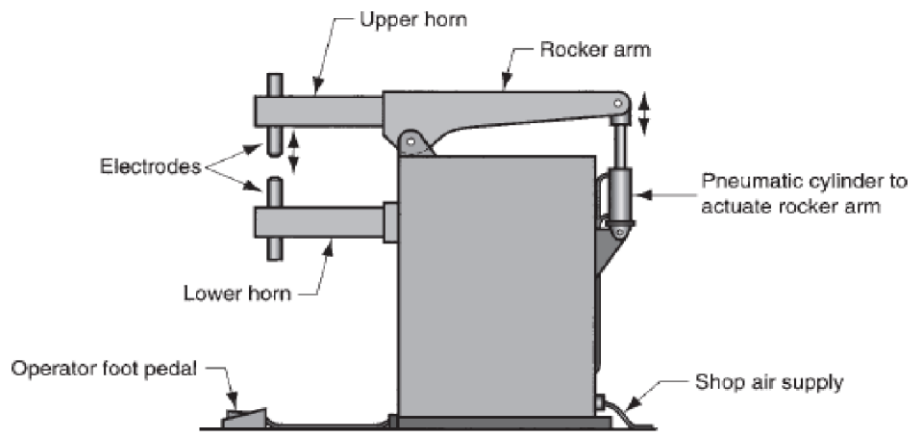


Gambar 2.17 *Resistance spot welding* (RSW) (Wiryo Sumarto 1996)

Gambar 2.17 Menunjukkan skema pengelasan *spot welding* dengan menunjukkan posisi spesimen las berada di tengah elektroda. *Weld metal* akan terbentuk setelah spesimen diberikan penekanan dari kedua ujung elektroda serta dialiri arus pengelasan.

2.2.4. Prinsip dasar *spot welding*.

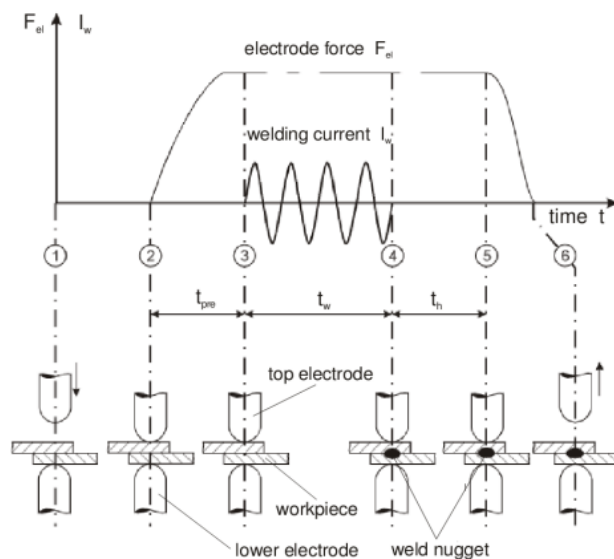
Prinsip dasar dari *spot welding* yaitu mengelas dengan menggunakan tekanan pada tumpuan logam dasar yang akan disambung dan dijepit antara dua elektroda. Besar arus listrik yang dipakai dan panas yang dihasilkan oleh listrik menyebabkan area-area sambungan melebur. Untuk mencairkan logam secara bersamaan, tekanan elektroda diperlukan untuk menahan logam tersebut.



Gambar 2.18 Salah satu jenis RSW *rocker arm spot welding machine* (Wirjosumarto 1996).

2.2.5. Tahapan proses *spot welding*.

Resistance spot welding (RSW) adalah proses *resistance welding* di mana penyambungan benda kerjanya menggunakan jenis sambungan *lap joint* dengan las berupa titik. Las berupa titik tersebut dihasilkan dari dua buah elektroda yang saling berlawanan. Ujung elektroda pada RSW mempengaruhi ukuran dan bentuk titik las. Bentuk elektroda yang paling sering dijumpai adalah lingkaran. Namun ada pula beberapa bentuk yang dapat digunakan seperti segi enam, segi empat, dll. Material elektroda yang digunakan pada RSW dibagi dalam dua kelompok yaitu: (1) paduan tembaga dan (2) kombinasi logam tahan panas seperti tembaga dengan *tungsten*.



Gambar 2.19 Tahapan proses RSW (Agustriyana L 2011).

Dimana ;

t_{pre} = waktu penekanan sebelum pengelasan

t_w = waktu pengelasan

t_h = waktu penahanan tekanan setelah pengelasan

Tahapan proses menurut gambar 2.19 yaitu sebagai berikut;

- a. Tahap 1 merupakan kondisi awal dimana kedua bahan belum dijepit oleh kedua elektroda.
- b. Tahap 2 merupakan tahap Squeezing terdiri dari penerapan gaya pengelasan untuk benda kerja sehingga mendapatkan jumlah tekanan yang sesuai, sebelum pengelasan.
- c. Tahap 3 dan 4 merupakan tahap pengelasan dimana selama tahap ini arus listrik mengalir melalui benda kerja, sedangkan gaya pengelasan dipertahankan, sehingga menghasilkan panas. Dalam tahap 5 yaitu holding time arus listrik sudah dimatikan dan gaya las dipertahankan, sehingga memungkinkan lasan tetap tertekan dan mengalami pendinginan di bawah tekanan.
- d. Tahap 6 merupakan tahap akhir ketika nugget las sudah terbentuk (Agustriyana L 2011).

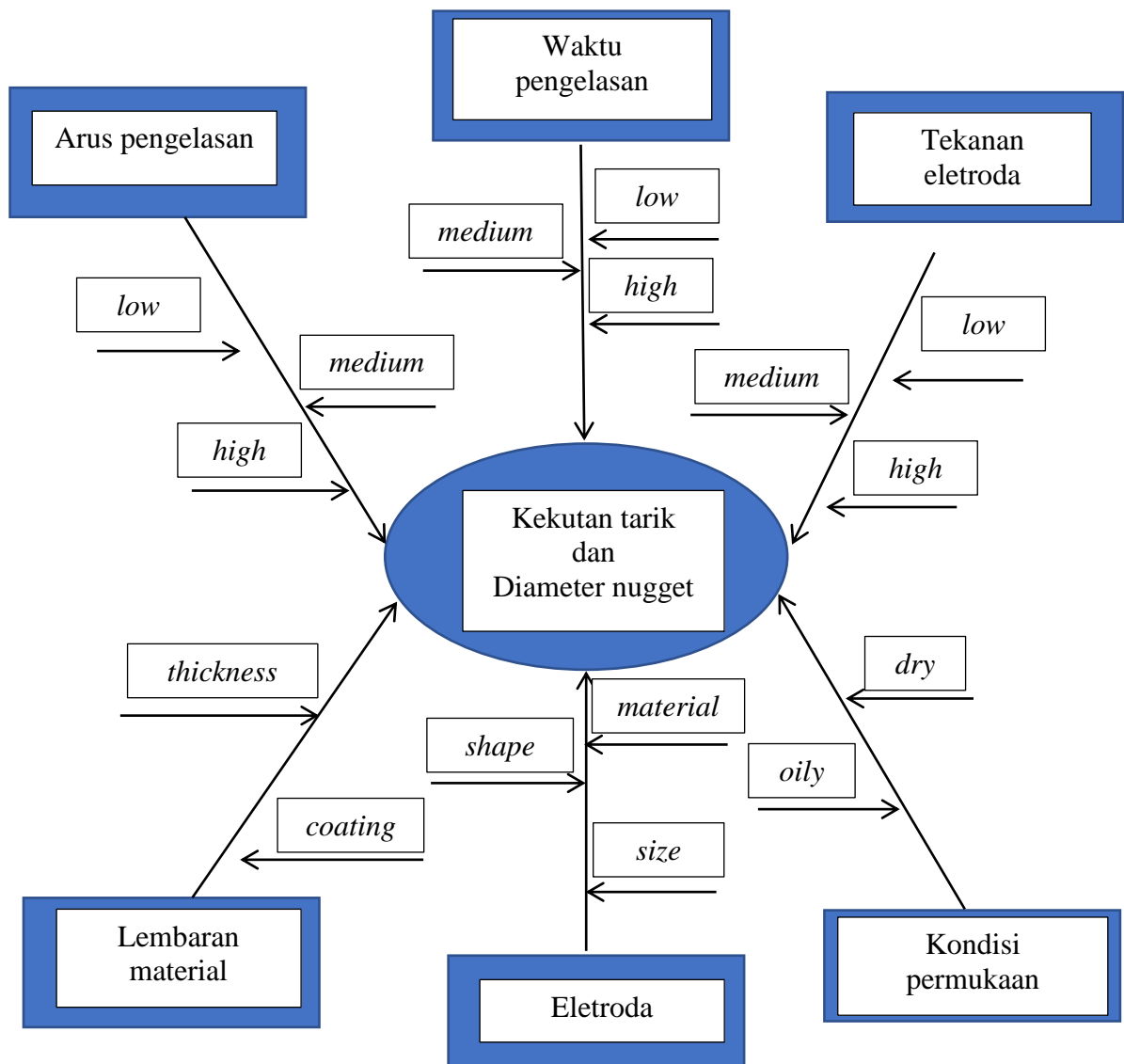
2.2.6. Parameter pengelasan.

Proses pengelasan *spot welding* ini mempunyai beberapa pengaturan yang harus dilakukan diantaranya yaitu pengaturan arus dan waktu penekanan. Untuk mendapatkan penetrasi hasil lasan yang diinginkan, maka pengaturan arus dan waktu di sesuaikan dengan variasi yang digunakan. Variasi waktu penekanan dengan tegangan berpengaruh terhadap nilai kekuatan mekanik (Silabang, dkk 2016). Struktur *nugget* dipengaruhi oleh tekanan elektroda, waktu tahan dan arus yang digunakan (Ahmadil Amin 2017).

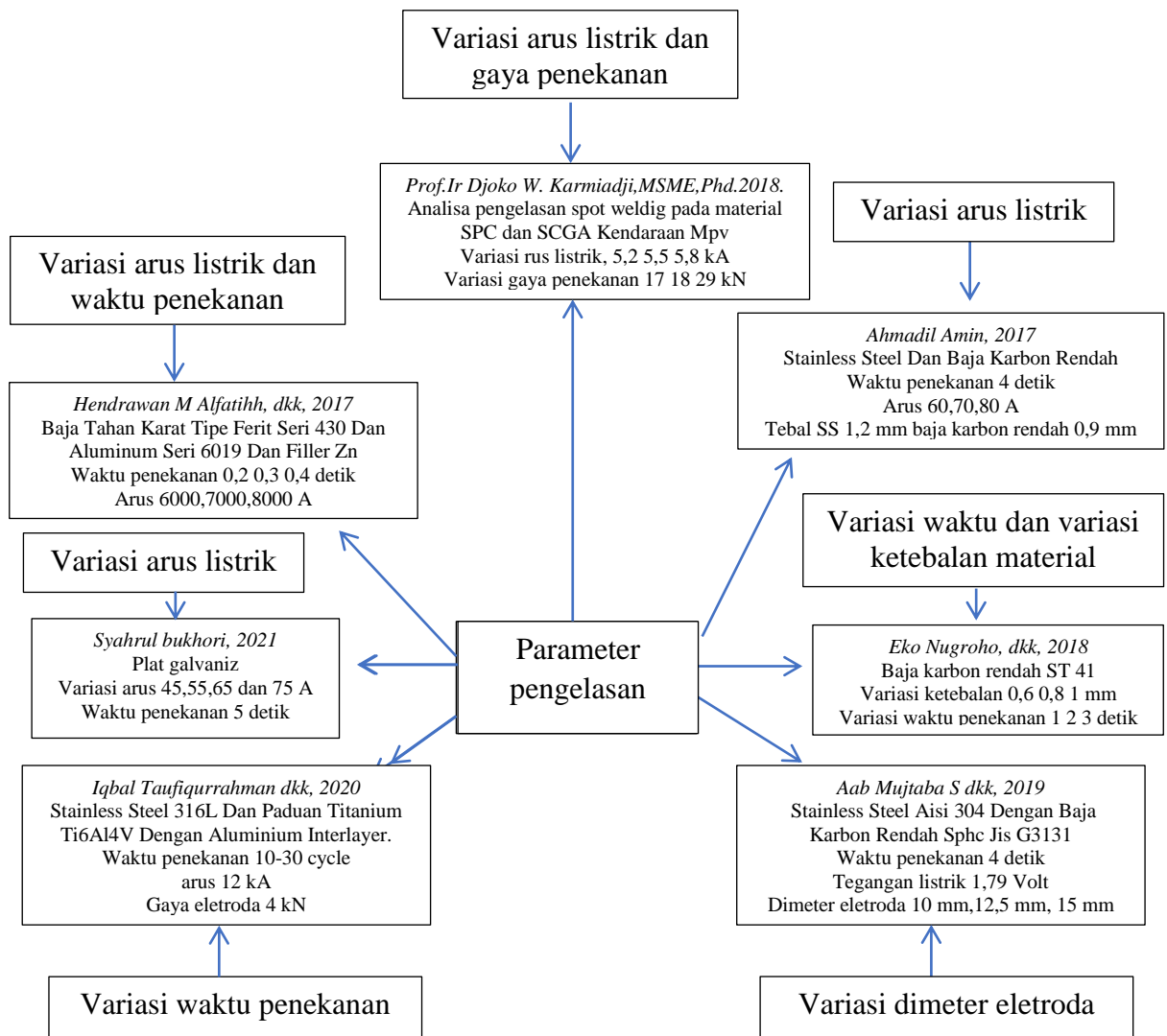
Resistance spot welding (RSW) merupakan proses pengabungan permukaan logam pada satu titik atau lebih melalui panas yang dihasilkan dari hambatan (*resistance*) aliran arus listrik melalui benda kerja yang disatukan di bawah gaya *electrode tip*. Permukaan kontak di area *nugget* dipanaskan oleh pulse dalam waktu pendek pada tegangan rendah. Arus listrik yang tinggi akan membentuk *nugget* agar menyatu dari logam las. Ketika aliran arus berhenti, gaya

penekan pada *electrode tip* dipertahankan sampai logam las mendingin dan mengeras dengan cepat (Olson, dkk 2019).

Penyambungan dua material dengan las titik 316L *austenitic stainless steel* dan 2205 *duplex stainless steel*. Parameter yang paling berpengaruh terhadap tensile shear strength adalah *welding current* diikuti dengan *heating cycle* dan *electrode tip diameter* (Vignesh, dkk 2017). Kemudian penelitian tentang 316L *austenitic stainless steel* parameter yang paling berpengaruh terhadap *tensile shear strength* adalah *Electrode diameter* ikut dengan *welding current* dan *heating cycle* (Muthu 2019).



Gambar 2.20 Masalah yang mempengaruhi kekutan tarik dan diameter *nugget spot welding* (Jeevan A Karande 2017).



Gambar 2.21 parameter pengelasan

2.2.6.1 Arus Pengelasan.

Besar arus pengelasan berhubungan dengan masukan panas yang digunakan untuk mencairkan material yang akan di las. Arifin (1997) mengatakan apabila arus pengelasan yang digunakan terlalu rendah maka panas yang terjadi tidak bisa untuk melelehkan plat logam. Arus pengelasan yang semakin besar akan menghasilkan daerah logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan. Arus yang akan digunakan diatur karena sangat penting dan akan berpengaruh terhadap karakteristik hasil pengelasan. Besar kuat arus diatur tergantung dari

jenis dan ukuran material spesimen lasan, geometri sambungan, jenis elektroda dan diameter inti elektroda.

2.2.6.2 Waktu Penekanan

Waktu penekanan merupakan parameter yang menentukan masukan panas yang digunakan untuk melelehkan *spesimen* plat logam. Waktu penekanan pada pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las, dibutuhkan masukan panas yang cukup untuk membentuk struktur *nugget* yang baik sehingga dapat menghasilkan kekuatan sambungan yang maksimal (Ahmadil Amin 2017). Waktu penekanan las harus disesuaikan agar mendapatkan hasil sambungan las dan kekuatan tarik yang baik.

2.2.6.3 Diameter Elektroda.

Diameter elektroda merupakan parameter yang sangat berpengaruh dalam proses las titik. Hal ini dikarenakan luas penampang ujung elektroda sangat berpengaruh terhadap masukan panas yang diberikan. Hasil dari suatu penelitian variasi diameter elektroda sangat berpengaruh terhadap kekerasan dan nilai kapasitas beban tarik geser (Aab Mujtaba S,dkk 2019).

2.3 Pengelasan Material Berbeda Jenis (*Dissimilar Metal Welding*).

Pengelasan material berbeda jenis metode ini sering mengalami kegagalan pada sambungan las karena adanya perbedaan sifat fisik, mekanik, *termal* dan *metalurgi*. Kendala yang terjadi diakibatkan oleh variasi arus listrik dan waktu penekanan yang belum sesuai karena arus listrik dan waktu penekanan yang dipilih terlalu kecil ataupun terlalu besar. Pemilihan metode pengelasan juga berpengaruh, karena tidak semua metode pengelasan tidak dapat digunakan untuk melakukan pengelasan dissimilar ini. Penelitian ini menggunakan penyambungan antara galvanized steel dan mild steel.

2.3.1 Galvanized steel.

Galvanized steel adalah baja yang diberikan pelapisan seng di atasnya untuk melindungi baja dari karat dengan membentuk penghalang antara baja dan lingkungan, juga memberikan perlindungan elektrokimia baja (*Sperko 1999*), karena seng secara elektrokimia lebih reaktif daripada baja, seng teroksidasi untuk

melindungi baja didekatnya, bahkan jika permukaan baja galvanis tergores lapisan galvanis akan mencegah baja berkarat. Pengelasan baja galvanis dilakukan dengan cara yang hampir sama persis dengan pengelasan baja, pada pengelasan spot welding diharapkan dengan mengurangi efek lapisan sengnya maka resistensi akan baik, sehingga menyebabkan besarnya diameter *nugget* (Valaee-Tale dkk 2020) yang akan membuat kualitas sambungan las optimal.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja galvanized steel.

No	Unsur	Berat (%)
1	Fe	99
2	C	0,13
3	Si	0,11
4	P	0,02
5	Mn	0,29
6	Ni	0,01
7	Cr	0,30
8	Cu	0,01
9	Ti	0,01

Sumber (Prifiharni, dkk 2017).

2.3.2. Beberapa jenis mild steel / carbon steel.

2.3.2.1 SPCC (*Steel Plate Cold Rolled Coiled*).

Plat baja SPCC adalah singkatan dari *steel plate cold rolled coiled*. Material SPCC mirip dengan baja karbon ASTM A1008 dan A1008M kualitas komersial. kualitas komersial, merujuk pada standar jepang JIS G3141(Sugeng 2020). Plat SPCC ini merupakan plat yang berwarna abu-abu terang hampir terlihat seperti plat berwarna putih. Plat SPCC mempunyai tingkat kelenturan yang tinggi sehingga sangat lunak untuk dibentuk. SPCC sendiri dapat didefinisikan sebagai baja lembaran canai dingin dengan kualitas komersial. Jenis baja SPCC paling cocok digunakan untuk pembuatan badan mobil, peralatan listrik, dan beberapa produk peralatan rumah tangga lainnya.

Tabel 2.2 Komposisi kimia baja SPCC.

Unsur	Nilai kandungan unsur(%)	Standar JIS SPCC (%)
Fe	99,3	98,69
C	0,124	0,15
Si	0,0215	0,6
Mn	0,187	0,251
Cr	0,0253	0,001
Ni	0,0207	0,21
Mo	0,0059	0,003
Cu	0,0286	0,02
Al	0,0387	0,037
V	0,0033	0,005
Ti	0,0030	0,001
Nb	0,0073	-
W	0,0052	-
Co	0,0016	-
S	0,0125	0,021
P	0,0175	0,07

Sumber (Sugeng 2020).

2.3.2.2 SPHC

Plat Baja SPHC adalah material baja plate komersial yang berkualitas. Material baja plate adalah material yang berbentuk lembaran carbon steel (Baja Karbon) baja canai panas (*Hot Rolled Steel*). SPHC merupakan material yang didefinisikan dalam standar JIS G 3131. Plat SPHC sendiri berwarna gelap atau hitam. JIS G 3131 adalah standar bahan Jepang untuk baja ringan atau baja carbon. Baja canai panas komersial berkualitas adalah jenis baja yang dapat digunakan secara komersial untuk tujuan pembentukan yang juga dapat mencakup pembagian lembaran logam.

Tabel 2.3 Komposisi kimia baja SPHC.

Unsur	Nilai kandungan unsur (%)	JIS G 3131 (%)
C	0,026	≤ 0,15
Si	0,0192	≤ 0,05
Mn	0,198	≤ 0,60
P	0,0125	≤ 0,035
S	0,0141	≤ 0,035

Sumber (Abdurahman 2021).

2.3.2.3 SPHC – PO

Plat baja SPHC PO adalah plat yang biasa digunakan di industri otomotif sebagai bahan pembuatan chasis dan rangka kendaraan seperti mobil dan motor. Penggunaan plat SPHC PO untuk membuat chasis dan rangka kendaraan adalah dikarenakan material ini mempunyai kelebihan yaitu tahan flek dibandingkan dengan material SPHC. Perbedaannya sudah terlihat dari namanya diakhiri dengan nama PO, yang adalah kepanjangan dari pickel oil yaitu mempunyai lapisan Oli. Plat SPHC PO berwarna abu-abu beda dengan SPHC biasa yang berwarna hitam. Plat SPHC PO dalam proses pengelasannya lebih mudah, karena hampir tidak perlu dibersihkan terlebih dahulu.

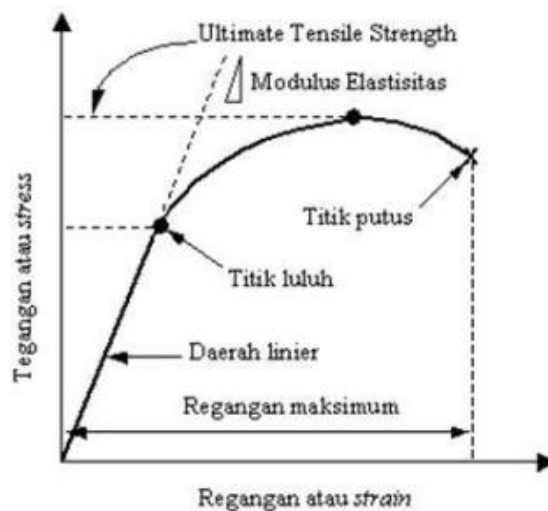
Tabel 2.4 komposisi kimia palat baja SPHC-PO JIS G3131.

No	Unsur	JIS 3131 (%)
1	Carbon	(max) 0,15
2	Mangan	(max) 0,60
3	Fosfor	(max) 0,050
4	Sulfur	(max) 0,050

Sumber (Bajaprima).

2.4 Pengujian tarik.

Pengujian tarik adalah salah satu pengujian untuk menentukan sifat mekanik dari material. Pengujian ini digunakan untuk menentukan karakteristik material bahkan juga bisa digunakan sebagai proses pendesainan sesuatu untuk menentukan bahan beserta kekuatannya.



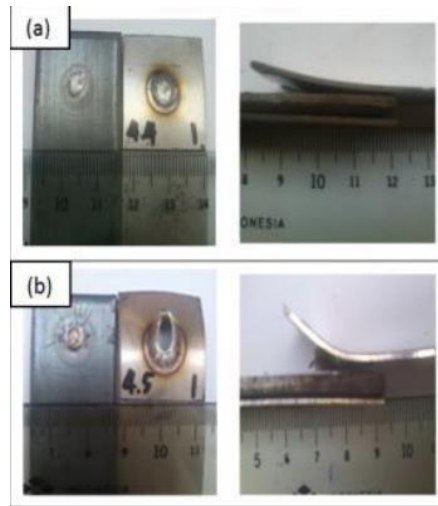
Gambar 2.22 Kurva tegangan regangan (Beumer 1985).

Gambar 2.22 Menunjukkan ada tiga parameter yang dapat dilihat yaitu titik luluh, tegangan maksimum dan titik putus. Titik luluh merupakan titik dimana material mengalami perubahan fase dari perilaku elastis ke awal perilaku plastis. Tegangan maksimum merupakan tegangan batas tegangan atau kekuatan material yang mampu ditahan sebelum mengalami patah. Titik putus merupakan titik dimana material uji mengalami perpatahan atau putus. Adapun untuk tegangan geser sendiri dapat dihitung dengan membagi nilai beban yang didapat dengan luas penampang, dimana pada penelitian ini luas penampangnya berupa lingkaran (nugget) yang terbentuk dari pengelasan.

Pengujian tarik geser dilakukan untuk mengetahui kemampuan sambungan las titik menahan beban. Parameter yang sangat berpengaruh terhadap hasil sambungan las titik terhadap beban tarik geser adalah tegangan listrik dan waktu pengelasan. Berdasarkan hasil penelitian sifat fisik dan mekanik hasil sambungan las titik 3 lapis 316L - SS 400 - J1 dapat disimpulkan kekuatan sambungan las titik (tensile shear load bearing capacity) tertinggi terdapat pada tegangan 2,67 V dan waktu pengelasan 7,5 detik sebesar 11,19 kN dengan tipe kerusakan berupa *pull out failure mode* (Haikal,dkk 2021).

Pull out failure mode merupakan jenis kegagalan hasil sambungan las titik titik yang memiliki *tensile load bearing capacity* tinggi dibandingkan dengan kegagalan *interfacial failure mode*. Peningkatan *tensile load bearing capacity*

(TLBC) terjadi dikarenakan meningkatnya tegangan listrik dan waktu pengelasan (Haikal,dkk 2021) seperti yang terlihat pada gambar 2.23.

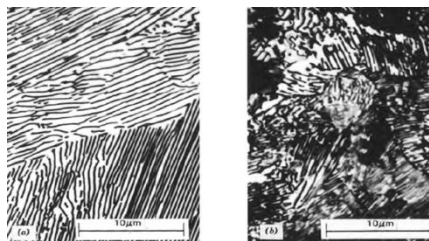


Gambar 2.23 Jenis mode kegagalan hasi uji tarik geser (a) *interfacial failure mode*, (b) *pull out failure mode* (Haikal, dkk 2021).

2.5. Struktur Mikro

2.5.1 Mikrostruktur Pearlite

Mikrostruktur pearlite tersusun dari fasa ferrit dan cementit dalam bentuk lapisan yang saling melapisi (lamellar) dengan ketebalan tertentu. Maka berdasarkan ketebalan lapisan tersebut, pearlit dibagi menjadi pearlit kasar dan pearlite halus seperti yang terlihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Struktur mikro pearlite yang terdiri dari lapisan tipis cementit warna hitam dan ferrit warna putih (William D, 7 e).

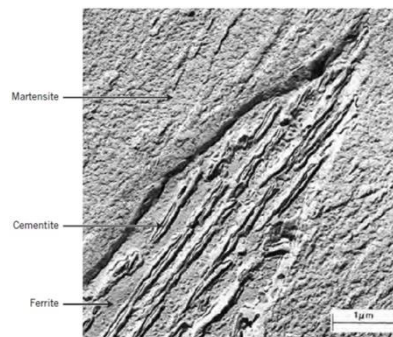
- Pearlite kasar (coarse pearlite)
- Pearlite halus (fine pearlite)

Baja dengan mikrostrukture pearlite halus memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi daripada pearlite kasar. Hal ini disebabkan oleh batas butir antara ferrit dan cementit yang lebih padat dan luas, sehingga cementit yang

lebih kuat dapat menghalangi perubahan bentuk (deformasi) fasa ferrit yang lebih lunak pada wilayah batas butir tersebut. Akibatnya deformasi sulit terjadi yang berarti kekuatan dan kekerasan bahan baja tersebut meningkat. Sebaliknya pada pearlite kasar dimana batas butir antara ferrit dan cementit lebih sempit dan sedikit, sehingga kemampuan cementit untuk menghalangi deformasi ferrit berkurang yang menyebabkan deformasi lebih mudah terjadi sehingga baja menjadi lebih ulet.

2.5.2 Mikrostruktire bainit

Mikrostruktire bainit juga tersusun dari fasa ferrit dan fasa cemetit secara berlapis-lapis (lamellar) halus. Fasa cementit berbentuk panjang dan tipis di dalam fasa ferrit, juga dikelilingi oleh fasa martensit yang paling keras dan getas, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2.25. Sehingga kekuatan dan kekerasannya lebih tinggi dari mikrostruktur pearlite halus dikombinasi dengan tingkat keuletan yang bagus dibanding mikrostruktire martensit,



Gambar 2.25 Mikrostruktire bainit: butir kristal bainit terdiri dari cementit dalam bentuk panjang dan tipis didalam fasa ferrit yang dikelilingi oleh mikrostruktire martensit (William D, 7 e).

Struktur bainit terbentuk melalui proses perlakuan panas baja yang dipanaskan hingga mencapai temperature austenite dan dinginkan dengan kecepatan sedang. Mikrostruktur bainit mulai terbentuk pada temperatur 540 °C dan berakhir pada temperatur 215 °C ketika masuk ke wilayah terbentuknya martensit.

2.5.3 Mikrostruktur martensit

Mikrostruktur martensit terbentuk melalui proses pendinginan cepat disebut quenching dari baja yang telah dirubah mikrostrukturnya menjadi austenit melalui pemanasan diatas temperatur austenit. Butir kristal mikrostruktur

martensit membentuk lembaran-lembaran tipis (plate/needle) yang dikelilingi oleh fasa austenite sisa yaitu austenite yang tidak sempat bertransformasi menjadi martensit. Mikrostruktura martensit diperlihatkan pada gambar 2.26.



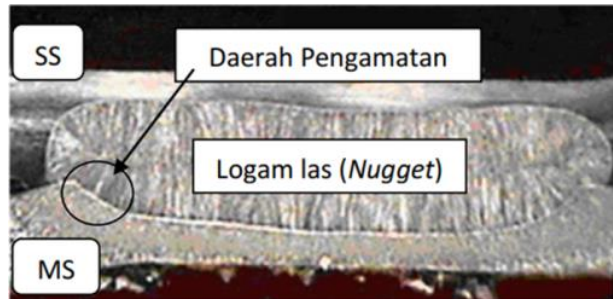
Gambar 2.26 Mikrostruktura martensit : lembaran tipis warna hitam adalah martensit, sedangkan yang berwarna putih adalah austenite sisa (William D, 7 e).

2.5.4 Pengamatan struktur mikro

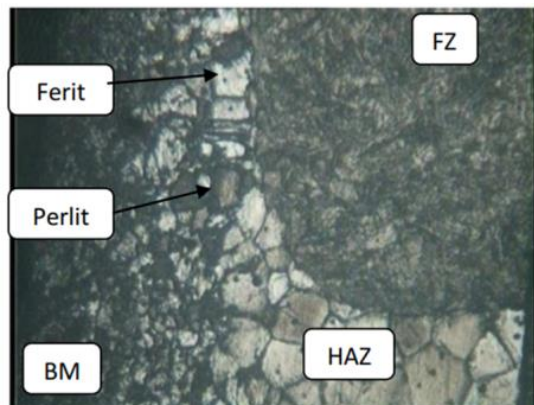
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat kumpulan fasa-fasa dari sebuah material logam dan paduannya melalui teknik metalografi sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material tersebut. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop dan spesimen diamati dengan perbesaran sekitar 20 hingga 3000 kali atau lebih. Pengamatan mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir, dan banyaknya bagian struktur yang berbeda. Langkah - langkah yang dilakukan sebelum pengamatan mikro adalah pemotongan spesimen, selanjutnya spesimen diletakan pada cetakan resin dan dilakukan pengamplasan agar spesimen dapat dengan mudah diamati. Pengamplasan dilakukan secara perlahan dari yang kasar hingga paling halus, dan pada sisi permukaan dipoles autosol agar spesimen mengkilat. Langkah terakhir adalah pemberian cairan etsa pada permukaan material agar struktur material logam terlihat dengan jelas.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengambil foto mikro pada daerah logam induk, HAZ, dan *nugget*. Logam induk merupakan daerah yang tidak terkena panas dan tidak mengalami perubahan struktur mikro . HAZ (Heat Effectted Zone) merupakan daerah terkena panas dan mengalami perubahan

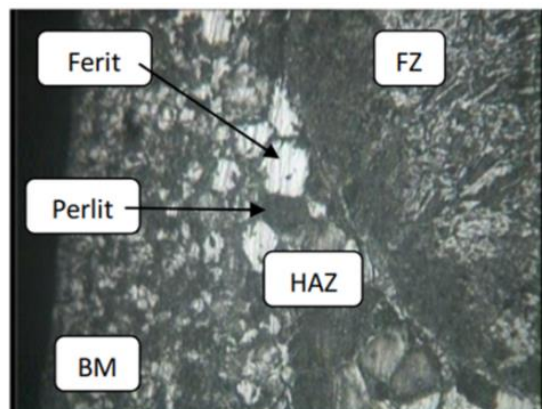
struktur mikro tetapi tidak sampai terjadi peleburan. *Nugget* merupakan daerah logam las yang mengalami peleburan dan kemudian membeku. (Haikal dkk 2021). Berikut beberapa gambar hasil penelitian pengamatan struktur mikro.



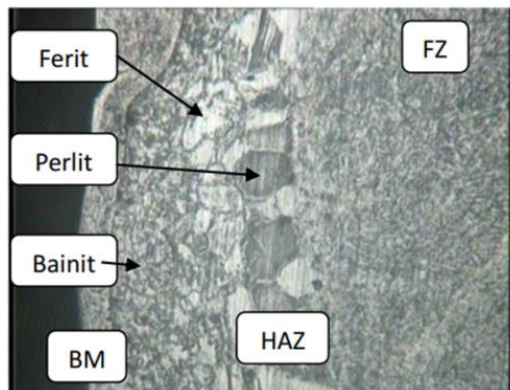
Gambar 2.27 Struktur mikro hasil las titik logam dissimilar. (Ahmadil Amin, 2017)



Gambar 2.28 Struktur mikro hasil las titik arus 60 A (Ahmadil Amin, 2017)



Gambar 2.29 Struktur mikro hasil las titik arus 70 A (Ahmadil Amin, 2017)



Gambar 2.30 Struktur mikro hasil las titik arus 80 A
(Ahmadil Amin, 2017)

Pada pengamatan struktur mikro kita dapat melihat bahwa variasi arus las titik dapat mempengaruhi dari pada struktur mikro material pada daerah HAZ. Dari hasil pengamatan terlihat struktur ferit dan perlit terlihat yang tersebar merata. Struktur ferit terlihat berwarna terang dan struktur perlit yang terlihat berwarna gelap. Sifat dari struktur ferit lebih lunak dibandingkan dengan perlit. Pada peningkatan arus 70 ke 80 A yang terjadi di daerah HAZ didominasi oleh struktur bainit. Hal ini terjadi akibat masukan panas yang berbeda dari setiap variasi arus listrik yang digunakan (Ahmadil Amin, 2017).