

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, pengelasan adalah penyambungan besi dengan cara membakar. Dalam referensi-referensi teknis, terdapat beberapa definisi dari *Las*. Yaitu berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)*, mendefinisikan bahwa “Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair”. Pengelasan adalah “Salah satu cara menyambung dua bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas”. Dari beberapa pendapat tersebut, dapat kita simpulkan bahwa “Pengelasan adalah suatu proses penggabungan antara dua logam atau lebih yang menggunakan energi panas (*heat*) atau dengan tekanan (*pressure*) atau keduanya”[8].

Teknologi pengelasan tidak hanya digunakan untuk membuat suatu produk, tetapi pengelasan juga berfungsi sebagai reparasi/perbaikan dari semua produk yang terbuat dari logam yang terbuat dengan proses las. Misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada material coran, menyambung logam yang retak, membuat lapisan las pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam-macam perbaikan lainnya. Dengan semakin berkembangnya teknologi pengelasan, semakin banyak pula metode pengelasan. Salah satu metode pengelasan yang ada dalam perusahaan manufaktur adalah las titik atau resistansi titik [9].

Teknologi pengelasan titik (*spot welding*) mula-mula dikembangkan oleh Prof. Elihu Thompson pada awal abad ke-19. Sedangkan menurut Asosiasi Pengelasan Indonesia (API) las titik digunakan pertama kali pada tahun 1920 dengan elektroda lasnya adalah paduan (*alloy*) tembaga-wolfram. Kini proses las titik telah berkembang pesat dan menjadi salah satu sebuah teknologi pengelasan yang populer dalam perindustrian [10].

Las titik (*spot welding*) merupakan cara pengelasan yang menggunakan tahanan listrik (*resistance*), dimana dua permukaan pelat yang akan disambung ditekan satu sama lain oleh dua buah elektroda yang terbuat dari tembaga. Pada saat yang bersamaan, arus listrik yang besar dialirkan melalui kedua elektroda melewati dua buah pelat yang dijepit elektroda. Sehingga diantara permukaan kedua pelat yang bersentuhan menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik. Pada permukaan pelat yang menempel pada elektroda sebenarnya timbul panas akibat adanya resistansi listrik, tetapi hal itu tidak akan membuat pelat dapat mencair [11]. Karena resistansi di permukaan pelat lebih kecil dibandingkan yang ada di antara kedua pelat. Hal ini menjadi dasar banyak peneliti untuk melakukan riset terkait fenomena yang terjadi pada pengelasan titik dengan tujuan untuk mempelajari, mengetahui, dan menentukan parameter yang mempengaruhi proses penyambungan dua logam atau lebih.

Las titik adalah suatu bentuk pengelasan tahanan, dimana suatu las dihasilkan di suatu titik pada benda kerja diantara elektroda pembawa arus [12]. Las akan mempunyai luas permukaan yang kira-kira sama dengan ujung elektroda atau sekecil ujung elektroda dari ukuran yang berbeda-beda. Gaya yang dikenakan terhadap las titik melalui elektroda, secara kontinu diseluruh poros (tidak ada busur api yang dibentuk). Pengelasan titik merupakan pengelasan tahanan listrik yang paling banyak digunakan dalam produksi masal otomotif, konstruksi perkapalan, kereta api, alat rumah tangga, perangkat logam, dan produk lain yang terbuat dari lembaran logam [13].

Las resistansi titik merupakan pengelasan atau penyambungan material logam (*ferrous* atau *non-ferrous*) yang biasanya berbentuk lembaran. Penyambungan dengan cara ini relatif lebih mudah, praktis dan pengaruh terhadap area terpengaruh panas (HAZ) yang ditimbulkan relatif kecil. Pengelasan resistansi titik membutuhkan masukan panas yang cukup untuk meleburkan daerah kontak. Proses pengelasan titik ini terjadi dengan waktu yang relatif lebih cepat. Oleh karena itu, untuk menghasilkan panas yang besar dibutuhkan arus yang besar pula. Material lembaran yang ingin dilas biasanya disusun saling tumpang tindih (*lap joint*) ditekan dengan elektroda lalu diberikan arus pada

daerah yang dilas (*area overlap*) hingga kedua material yang tumpang tindih tersebut membentuk sambungan.

2.2. Jenis – Jenis Mesin Las

Proses pengelasan logam secara makro diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu : (1) *Liquid State Welding* (LSW), dan (2) *Solid State Welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam yang dilakukan dalam keadaan cair, sedangkan SSW merupakan proses las dimana pada saat pengelasan, logam dalam keadaan padat. Pengelasan logam secara LSW maupun SSW mempunyai beberapa teknik/metode pengelasan yaitu :

A. Las Kondisi Cair (*Liquid State Welding*)

1. Las Busur Listrik (*Arc Welding*)

a) Las *Flash Butt* (*Flash Butt Welding*)

Flash butt merupakan metode pengelasan yang dilakukan dengan menggabungkan antara loncatan electron dengan tekanan, dimana benda kerja yang dilas dipanasi dengan energi loncatan electron kemudian ditekan dengan alat sehingga bahan yang dilas menyatu dengan baik.

b) Las Elektroda Terumpan (*Consumable Electrode*)

Consumable electrode (elektroda terumpan) adalah pengelasan dimana elektroda las juga berfungsi sebagai bahan tambah. Las elektroda terumpan terdiri dari :

- Las MIG (*Metal Inert Gas*) dan Las MAG (*Metal Active Gas*)

Pengelasan ini juga termasuk las busur listrik dimana panas yang ditimbulkan oleh busur listrik antara ujung elektroda dan bahan dasar karena adanya arus listrik dan menggunakan elektroda yang berupa gulungan kawat berbentuk rol, dan gerakannya diatur

oleh pasangan roda gigi yang digerakkan oleh motor listrik yang kecepatan gerakan elektrodanya dapat diatur sesuai dengan keperluan. Tangkai las dilengkapi dengan nosal logam untuk menyemburkan gas pelindung yang dialirkan dari tabung gas melalui selang gas.

- Las Listrik (*Shielded Metal Arc Welding / SMAW*)

Adalah proses pengelasan dengan cara mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik melalui ujung elektroda dengan pelindung berupa *flux* atau *slag* yang ikut mencair ketika pengelasan. Prinsip dari SMAW adalah menggunakan panas dari busur untuk mencairkan logam dasar dan ujung sebuah *consumable* elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23-45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 350 ampere yang umum digunakan berkisar antara 70-280 ampere, tergantung besaran elektroda dan tebal material yang akan di las.

- Las Busur Terpendam (*Submerged Arc Welding / SAW*)

Prinsip dasar pengelasan ini adalah menggunakan arus listrik untuk menghasilkan busur (*Arc*) sehingga dapat melelehkan kawat pengisi lasan (*filler wire*), dalam pengelasan SAW ini cairan logam lasan terendam dalam *flux* berbentuk butiran padat yang melindunginya dari kontaminasi udara, yang kemudian *flux* tersebut akan membentuk terak las (*slag*) untuk melindungi logam lasan dari partikel udara bebas yang bisa merusak hasil lasan.

c) Las Elektroda Tak Terumpan (*Non Consumable Electrode*)

Non consumable electrode adalah pengelasan dengan menggunakan elektroda, dimana elektroda tersebut tidak berfungsi sebagai bahan tambah. Elektroda hanya berfungsi sebagai

pembangkit nyala listrik, sedangkan bahan tambah digunakan *filler metal*. *Non Consumable Electrode* terdiri dari :

- Las TIG (*Tungsten Inert Gas*)

Las TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah proses pengelasan dimana busur nyala listrik ditimbulkan oleh elektroda *tungsten* (elektroda tak terumpan) dengan benda kerja logam. Daerah pengelasan dilindungi oleh gas lindung (gas tidak aktif) agar tidak terkontaminasi dengan udara luar. Kawat las dapat ditambahkan atau tidak tergantung dari bentuk sambungan, ketebalan benda kerja, dan material yang akan dilas.

- Las Busur Plasma (*Plasma Arc Welding / PAW*)

Plasma Arc Welding (PAW) sama dengan Las TIG menggunakan elektroda *wolfram* (tidak meleleh), *filler* diumpan secara manual. Perbedaannya pada PAW terdapat gas plasma yang mengandung ion positif dan negatif, sehingga hasil penetrasi dari PAW lebih dalam karena konsentrasi energi lebih besar, dan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) relatif lebih kecil karena ada plasma gas, stabilitas busur lebih baik dari TIG.

2. Las Gas atau Las Karbit (*Oxy-acetylene welding / OAW*)

Pengelasan dengan oksasi-asetilin adalah proses pengelasan secara manual dengan pemanasan permukaan logam yang akan dilas atau disambung sampai mencair oleh nyala gas asetilin melalui pembakaran C_2H_2 dengan gas O_2 dengan atau tanpa logam pengisi.

3. Las Tahanan (*Resistance Welding*)

a) Las Titik (*Spot Welding*)

Pengelasan dilakukan dengan mengaliri benda kerja dengan arus listrik melalui elektroda. Karena terjadi hambatan diantara kedua bahan yang disambung, maka timbul panas yang dapat melelehkan permukaan bahan dan dengan tekanan akan terjadi sambungan.

b) Las Kelim (*Seam Welding*)

Ditinjau dari prinsip kerjanya, las kelim sama dengan las titik, yang berbeda adalah bentuk elektrodanya berbentuk silinder dan proses pengelasan secara *continuous* atau terus menerus sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki.

c) *Resistance Projection Welding*

Lembaran logam yang akan dilas, ditekan terlebih dahulu dengan mesin *pons*, sehingga terjadinya proyeksi dari dalam logam. Proyeksi tersebut merupakan titik-titik dimana akan dilakukannya sambungan las sehingga cara ini dapat dilakukan beberapa sambungan las sekaligus. Kelebihannya penampilan bagus, umur elektroda panjang, pemeliharaan elektroda mudah, dan hemat biaya.

d) *Flash Welding*

Flash welding sering disebut *flash butt welding* (sambungan tumpu). Benda kerja dijepit dalam mesin dan bagian-bagian yang akan disambung disatukan dengan tekanan serendah mungkin sehingga masih terdapat celah di antara kedua permukaan kontakannya. Kemudian menggunakan tegangan listrik sehingga timbul loncatan api diantara permukaan kontakannya akibatnya temperatur menjadi naik hingga mencapai temperatur tempa.

e) *Stud Welding*

Hampir sama dengan *flash welding*, tetapi permukaan kontak yang akan satukan ditekan dengan tekanan yang lebih tinggi

sehingga tidak ada celah antar permukaan kontak tersebut. Dalam proses ini, benda kerja dijepit oleh mesin dan ditekan, kemudian dialiri arus listrik sehingga terjadi pemanasan.

f) *Laser Welding*

Pengelasan sinar laser adalah pengelasan yang memanfaatkan gelombang cahaya sinar laser yang dialirkan lurus kedepan tanpa penyebaran terhadap benda kerja sehingga menghasilkan panas dan melelehkan logam yang akan dilas.

g) *Electron Beam Welding*

Prinsip kerjanya adalah adanya energi panas didapat dari energi sebuah elektron yang ditumbukkan pada benda kerja, elektron yang dipancarkan oleh katoda ke anoda difokuskan oleh lensa elektrik ke sistim defleksi. Sistim defleksi meneruskan sinar elektron yang sudah fokus ke benda kerja. Sinar yang sudah fokus tersebut digunakan untuk melakukan pengelasan benda kerja.

B. Las Kondisi Padat (*Solid State Welding*)

1. *Friction Welding*

Friction welding atau las gesekan merupakan proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas yang diakibatkan karena adanya gaya gesekan dari dua material yang akan disambung.

2. *Cold Welding*

Pengelasan dingin (*Cold welding*) adalah pengelasan yang dilakukan dalam keadaan dingin. Yang dimaksud dingin disini, bukan berarti tidak ada panas, panas dapat saja terjadi dari proses tersebut, namun tidak melebihi temperatur rekristalisasi logam yang dilas. *Cold Welding* terdiri dari :

- Las Ultrasonik (*Ultrasonic Welding / UW*)

Las ultrasonik adalah proses penyambungan padat untuk logam-logam yang sejenis, maupun logam-logam berlainan jenis, dimana secara umum bentuk sambungannya adalah sambungan tindih. Energi getaran berfrekuensi tinggi mengenai daerah lasan dengan arah paralel dengan permukaan sambungan. Tegangan geser osilasi pada permukaan lasan yang terjadi akibat pengaplikasian gaya, akan merusak dan merobek lapisan oksida yang ada di kedua permukaan logam induk yang akan dilas.

- Las Ledakan (*Explosive Welding / EW*)

Las ledakan atau sering disebut las pembalutan (*cladding welding*), merupakan proses las dimana dua permukaan dijadikan satu dibawah pengaruh tumbukan (*impact force*) disertai tekanan tinggi yang berasal dari ledakan (*detonator*) yang ditempatkan dekat dengan logam induk.

3. Las Tempa

Penyambungan logam dengan cara ini dilakukan dengan memanasi ujung logam yang akan disambung kemudian ditempa, maka terjadilah sambungan. Panas yang dibutuhkan sedikit di atas temperatur rekristalisasi logam, sehingga logam masih dalam keadaan padat.

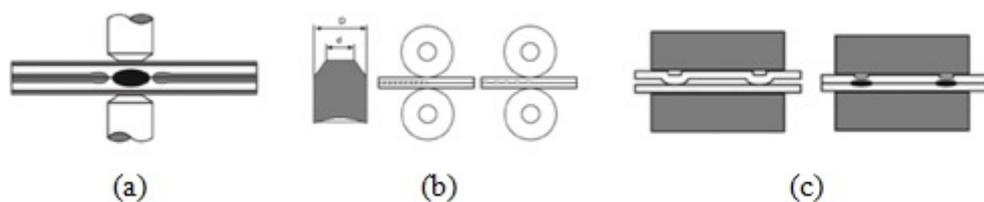
2.3. Resistance Spot Welding

Las titik tahanan listrik (*Resistance Spot Welding*) adalah penyambungan benda kerja yang berupa pelat logam sebagai akibat dari kombinasi tekanan dan panas terlokalisasi pada daerah kontak antar logam yang disambung. Daerah kontak tersebut memiliki tahanan terhadap arus listrik yang paling besar, sehingga akan menyebabkan peningkatan energi panas disekitarnya. Temperatur pada

daerah kontak yang terus meningkat hingga mencapai titik lebur dari logam akan mengakibatkan terjadinya peleburan material dan membentuk *weld nugget*. Kemudian diberikan gaya melalui penekanan elektroda setelah arus listrik dimatikan untuk menyatukan logam yang disambungkan dengan sempurna seiring dengan proses pendinginan [9].

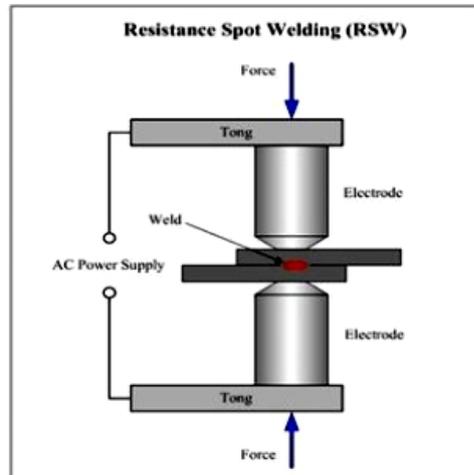
Untuk menghindari panas berlebih pada elektroda terdapat sistem pendingin dalam elektroda, yaitu air yang dialirkan ke dalam elektroda sehingga saat terjadi proses pengelasan panas yang dihasilkan tidak akan melelehkan elektroda. Bahan yang digunakan untuk elektroda harus memiliki sifat konduktor listrik yang baik artinya memiliki tahanan dalam yang rendah dan kuat, seperti tembaga dan paduannya.

Ada dua jenis sambungan dalam Las resistensi Listrik yaitu sambungan tumpang (*Lap Joint*) untuk pengelasan pelat (*sheet metal*) dan sambungan tumpul (*Butt Joint*) untuk pengelasan batang atau pipa. Sambungan tumpang (*Lap Joint*) dibagi menjadi tiga metode pengelasan, yaitu las titik (*Spot Welding*), las garis (*seam welding*) dan las timbul (*projection welding*).



Gambar 2.1. Jenis sambungan tumpang : (a) *Spot welding*, (b) *Seam welding* dan (c) *Projection welding* [13]

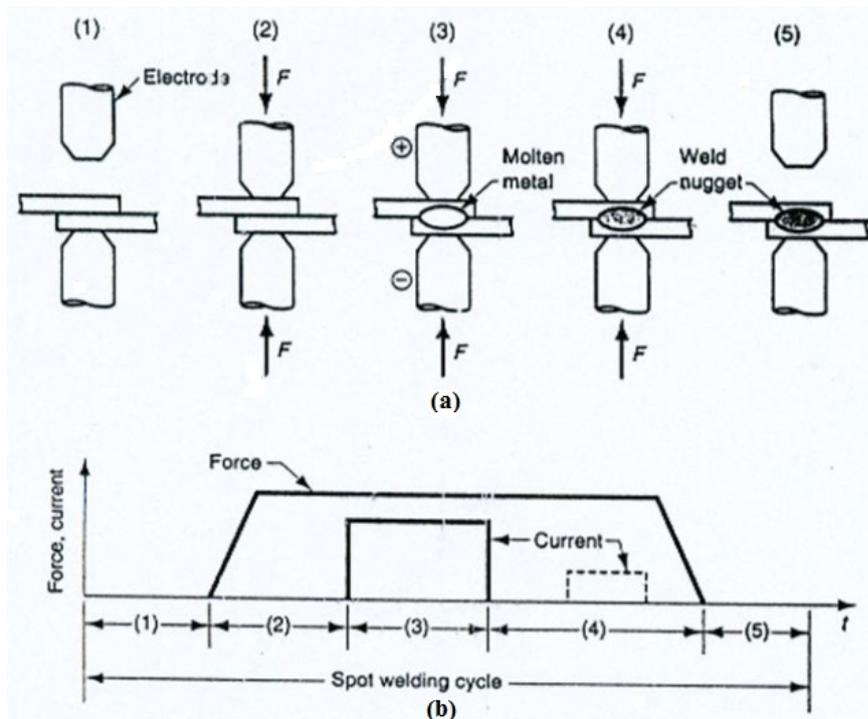
Keuntungan utama dari pengelasan titik adalah kecepatan proses yang tinggi serta kemampuannya untuk menyambung dua atau lebih material logam berbeda jenis maupun ketebalannya. Produk dengan penampilan yang baik dapat diproduksi dengan waktu yang relatif singkat dengan proses ini, sehingga tidak diperlukan proses selanjutnya dan jenis pengelasan ini sangat sesuai untuk produksi masal.



Gambar 2.2. Skema proses RSW [9]

Skema proses pengelasan titik tahanan listrik ditunjukkan pada gambar 2.2 sedangkan pembebanan gaya tekan maupun arus listrik ditunjukkan dalam gambar 2.3 dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Tahap 1 merupakan kondisi awal dimana kedua bahan belum dijepit oleh kedua elektroda.
- b. Tahap 2 merupakan tahap *squeezing time* terdiri dari penerapan gaya pengelasan untuk benda kerja, sehingga mendapatkan jumlah tekanan yang sesuai sebelum pengelasan [13].
- c. Tahap 3 merupakan tahap pengelasan (*welding time*) dimana selama tahap ini arus listrik mengalir melalui benda kerja, sedangkan gaya pengelasan dipertahankan sehingga menghasilkan panas.
- d. Dalam tahap 4 yaitu *holding time* arus listrik sudah dimatikan dan gaya las dipertahankan, sehingga memungkinkan lasan tetap tertekan dan mengalami pendinginan dibawah tekanan.
- e. Tahap 5 merupakan tahap akhir ketika *nugget* las sudah terbentuk.



Gambar 2.3. (a) Tahapan siklus pengelasan titik, (b) Gaya tekan dan arus listrik yang terkait selama siklus pengelasan menurut [9].

2.4. Parameter Pengelasan

Pada pengelasan resistensi listrik terdapat tiga faktor yang mempengaruhi besarnya energi panas/kalor untuk mencairkan logam. Ketiga faktor tersebut dapat ditinjau dari rumus total *heat input* yang dihasilkan [11], yaitu :

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

Dimana : Q = Panas yang dihasilkan (*Joule*)

I = Kuat arus listrik (*Ampere*)

R = Hambatan (*Ohm*)

t = Waktu pengelasan (*Detik*)

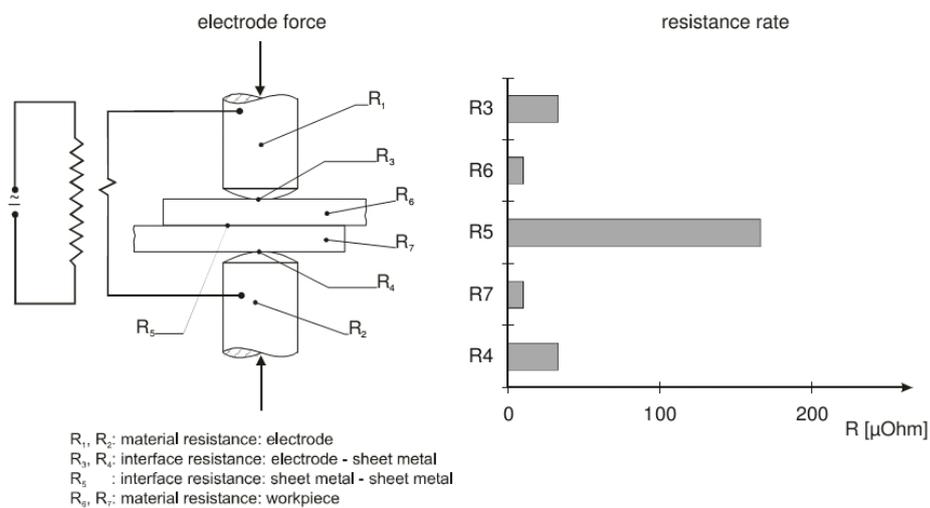
2.4.1. Arus Listrik Pengelasan

Ukuran *nugget* yang terbentuk saat pengelasan tergantung pada kecepatan panas internal yang timbul. Dalam hal ini arus listrik menjadi variabel yang sangat penting. Kontrol yang akurat pada aliran pengelasan penting untuk mendukung keberhasilan resistensi pengelasan. Untuk mengatur besarnya arus yang akan digunakan pada mesin pengelasan *resistance spot welding* biasanya terdapat kontrol arus *step-down*, besarnya arus diatur oleh banyaknya gulungan *coil* primer dan sekunder dengan mengubah besarnya tegangan keluaran. Besarnya arus yang digunakan pada pengelasan *spot welding* antara 4-20 kA. Besarnya arus yang digunakan tergantung pada jenis material yang akan dilas dan ketebalan pelat [13].

2.4.2. Tahanan Listrik (*Resistance*)

Tahanan listrik yang terdapat pada sirkuit sistem pengelasan *resistance spot welding* adalah jumlah keseluruhan dari :

1. resistensi material dari elektroda
2. resistensi *interface* (elektroda-*sheet metal*)
3. resistensi *interface* (*sheet metal-sheet metal*)
4. resistensi material dari benda kerja



Gambar 2.4. resistensi pada *spot welding* [14]

Tahanan listrik dari material benda kerja ditentukan berdasarkan jenis dari materialnya. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa resistensi paling besar adalah resistensi *interface* antara *sheet metal-sheet metal* kemudian secara berurutan resistensi *interface* antara *elektroda-sheet metal* kemudian resistensi material benda kerja. Untuk resistensi material elektroda sangat kecil hal ini karena material elektroda yang digunakan dipilih dari material yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik seperti tembaga dan paduannya [14].

2.4.3. Waktu Pengelasan

Waktu pengelasan adalah batas waktu dimana arus listrik diaplikasikan pada lempengan metal sebagai beban. Waktu pengelasan harus diatur sesingkat mungkin yang dinyatakan dalam satuan *cycle* dimana untuk sumber listrik dengan frekuensi 50 Hz, 1 detik = 50 *cycle* maka untuk 1 *cycle* = 0,02 detik. Waktu mesin las modern dilengkapi dengan *timer* elektronik, mekanikal, manual atau pneumatik untuk mengatur parameter waktu pengelasan. Parameter ini dapat diubah sebagai penyesuaian terhadap jenis dan ketebalan logam yang akan dilas untuk menghasilkan produk pengelasan titik yang baik. Waktu pengelasan dalam pengelasan resistensi listrik terdiri dari 3 waktu [13] yaitu :

a. *Set-Up Time (Pre-Welding Squeeze Time)*

Set-Up Time (Pre-Welding Squeeze Time) berfungsi untuk menekan benda kerja dan menyetel tahanan *interface (setting-up reproducible resistance)* sebelum pengelasan. Akan tetapi *set-up time* tidak memberikan efek terhadap propertis teknis (*technical properties*) dari hasil pengelasan, meski demikian harus diberikan cukup lama agar elektroda memberikan gaya penekanan yang cukup sebelum arus listrik dialirkan.

b. *Welding Time (Current Time)*

Welding Time (Current Time) atau waktu pengelasan adalah waktu dimana arus listrik dialirkan saat proses pengelasan. *Welding time* sangat singkat antara 4-50 *cycle* (0,1-1 detik). Pengaturan *welding time* tergantung dari mesin las *resistensi* listrik yang digunakan. Pada

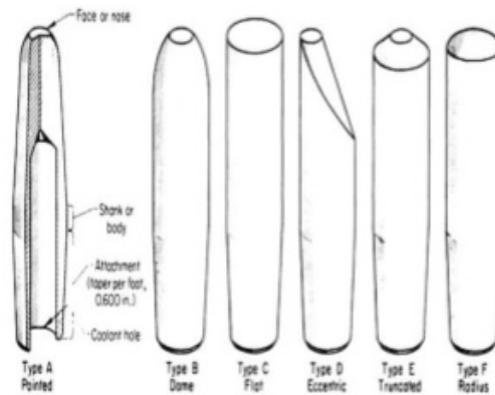
mesin las sudah tersedia panel pengaturan *welding time* yang ingin dikehendaki, besarnya *welding time* dipengaruhi oleh tebal pelat yang dilas dan berhubungan dengan kuat arus, artinya sangat memungkinkan jika arus yang diberikan besar maka *welding time* lebih singkat, jika arus yang diberikan kecil maka *welding time* bisa lebih lama.

c. *Holding Time*

Holding Time adalah waktu dimana setelah *nugget* terbentuk dan arus berhenti dialirkan gaya penekanan tetap diberikan untuk mencegah terbentuknya pori-pori dalam *nugget*. *Holding time* diberikan cukup lama saat proses pendinginan (logam cair mengeras kembali) agar mencapai kekuatan yang cukup pada daerah yang dilas. Oleh karena itu semakin tebal pelat yang akan dilas maka semakin lama *hold time* yang diberikan.

2.5. Karakteristik Elektroda

Bahan untuk elektroda RSW harus cukup tinggi konduktivitas termalnya dan cukup rendah *resistensinya* untuk mencegah pembakaran pada permukaan benda kerja yang tidak diinginkan ataupun merusak paduan pada ujung elektroda. Selain itu, elektroda harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan deformasi pada tekanan dan suhu operasi. Karena bagian elektroda yang kontak tersebut benda kerja menjadi panas pada suhu tinggi selama pengelasan, kekerasan dan annealing temperatur juga harus dipertimbangkan. Bahan elektroda untuk RSW telah diklasifikasikan oleh *Internasional Standart and Organisation* (ISO) standar ISO 5182.



Gambar 2.5. Tipe elektroda RSW sesuai standar ISO

2.5.1. Penekanan Elektroda

Tujuan utama dari pemberian tekanan elektroda adalah untuk menekan lempengan metal agar menyatu dengan sempurna. Kekuatan elektroda memiliki beberapa fungsi antara lain mendekatkan sisi benda kerja yang berupa pelat kepada kontak yang lebih dekat, mengurangi tahanan kontak awal antar permukaan dan menggabungkan metal yang sudah meleleh menjadi *nugget* dengan baik.

2.5.2. Fungsi Elektroda

Elektroda merupakan komponen utama dari mesin las tahanan listrik. Adapun fungsi elektroda adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengalirkan arus listrik ke benda kerja.
2. Untuk menahan serta meneruskan gaya tekan yang diperlukan ke benda kerja sebelum maupun sesudah arus listrik diaplikasikan.
3. Untuk memancarkan sebagian energi panas dari area kerja ke lingkungan untuk menghindari panas yang berlebih pada permukaan benda kerja.

2.5.3. Komposisi Material Elektroda

Tembaga dipilih sebagai material utama penyusun elektroda karena memiliki nilai konduktivitas termal dan elektrik yang baik. Namun tembaga murni sangat lunak dan sangat rentan terhadap perubahan bentuk apabila

menerima beban secara langsung. Oleh karena hal tersebut, diperlukan beberapa unsur paduan untuk memperbaiki sifat tersebut. Beberapa unsur logam yang biasa dipakai adalah tellurium dan nikel, sehingga dapat dihasilkan logam paduan yang lebih kuat terhadap beban, namun tidak mengurangi nilai konduktivitasnya.

Tabel 2.1. Komposisi material elektroda [9]

Elemen	Komposisi (%)
Copper	98,4
Tellurium	0,5
Nikel	1,1

Komposisi paduan yang telah disebutkan pada tabel 2.1 menghasilkan logam dengan sifat tahan aus yang tinggi, sehingga dapat digunakan secara luas untuk berbagai proses pengelasan titik. Namun elektroda akan senantiasa mengalami keausan secara bertahap seiring dengan frekuensi penggunaannya, sehingga sebagian besar elektroda didesain dengan saluran air pendingin untuk meminimalkan perubahan struktur logam penyusunnya. Hal tersebut bertujuan untuk mempertahankan sifat fisik maupun mekanik dari elektroda.

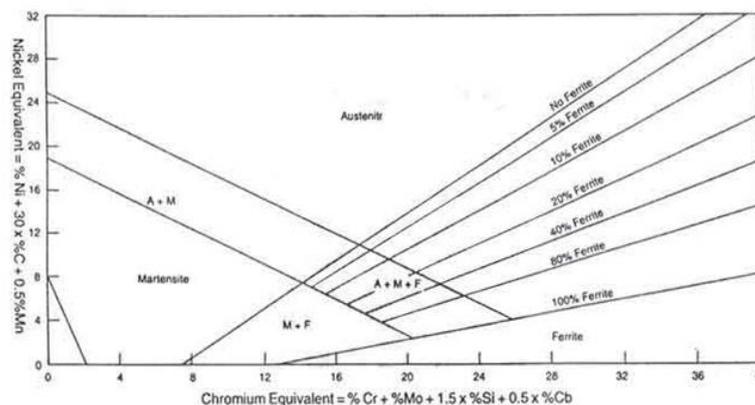
2.6. Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Karat adalah salah satu cacat pada penggunaan baja, yang pencegahannya biasa dilakukan dengan pelapisan dan pengecatan. Baja tahan karat adalah baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Disamping itu baja tahan karat mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup baik. Karena sifatnya, maka baja ini banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, kereta api, mobil, alat rumah tangga dan lain-lainnya [13].

Baja tahan karat adalah baja paduan tinggi. Berdasarkan unsur paduan dasar baja tahan karat dibedakan menjadi : besi-krom, besi-krom-karbon, dan besi-krom-nikel. Untuk mengontrol struktur mikro dan sifat-sifat yang dimiliki, beberapa unsur paduan dimasukkan pada sistem unsur paduan dasar tersebut

dimana unsur paduannya terdiri dari mangan, silikon, molybdenum, niobium, titanium, dan nitrogen [15].

Salah satu cara yang digunakan untuk menggambarkan pengaruh dari variasi unsur dalam struktur dasar pada baja tahan karat khrom-nikel adalah diagram *Scaeffler*. Diagram ini merencanakan batas komposisi temperatur ruang dari austenit, ferit, dan martensit berdasarkan hubungan dari khrom dan nikel. Karena semua baja tahan karat akan mengalami penggetasan dan peretakan, maka harus dijaga agar logam las selalu terletak pada daerah aman.



Gambar 2.6. Diagram *schaffler*.

Berdasarkan fasanya, baja tahan karat dapat diklasifikasikan menjadi baja tahan karat martensit, baja tahan karat ferit, baja tahan karat austenit, baja tahan karat berfasa ganda (*duplex*), dan baja tahan karat dengan pengerasan presipitasi. Beberapa ilmuwan menguraikan jenis baja tahan karat sebagai berikut :

1. Baja tahan karat austenit

Baja jenis ini secara umum mengandung khrom, nikel, dan mangan yang terdapat dalam besi. Mereka mempunyai sifat tidak bermagnet dan mempunyai ketahanan terhadap korosi yang sangat bagus, akan tetapi rentan terhadap retak akibat tegangan korosi. Baja austenit dikeraskan dengan cara pendinginan. Baja ini merupakan baja paling liat diantara semua jenis baja tahan karat yang lain dan dapat dibentuk dengan mudah.

Baja jenis ini digunakan secara luas dalam berbagai kegunaan seperti : peralatan dapur, perabot, konstruksi las, peralatan transportasi yang ringan, tungku pembakaran dan bagian dari alat penukar panas.

2. Baja tahan karat ferit

Baja ini memiliki kandungan khrom yang tinggi yaitu lebih dari 27%. Mereka bersifat *magnetic* dan memiliki ketahanan korosi yang baik, akan tetapi memiliki tingkat keliatan bahan yang lebih rendah dibandingkan dengan baja tahan karat austenit. Baja tahan karat ferit dikeraskan dengan cara pengerjaan dingin dan tidak dapat menerima perlakuan panas. Secara umum digunakan untuk sesuatu yang bersifat tidak struktural seperti : peralatan dapur dan hiasan otomotif.

3. Baja tahan karat martensit

Kebanyakan baja tahan karat martensit tidak mengandung nikel dan dapat dikeraskan dengan cara perlakuan panas. Kandungan khrom sekitar 15%. Baja ini bersifat *magnetic* dan memiliki kekuatan yang tinggi, keras, ketahanan lelah yang baik, keliatan bahan yang baik, dan memiliki ketahanan terhadap korosi yang sedang. Baja tahan karat martensit biasanya digunakan untuk alat pemotong seperti : pisau, gunting, alat-alat bedah, instrumen, katup dan pegas.

4. Baja tahan karat *duplex* (berfasa ganda)

Baja ini merupakan campuran dari austenit dan ferit. Mereka mempunyai kekuatan yang baik, memiliki ketahanan korosi yang tinggi (dalam banyak kondisi lingkungan), dan ketahanan terhadap retak tegangan korosi yang lebih baik daripada baja tahan karat austenit. Penggunaan baja tipe ini yaitu pada komponen alat penukar panas.

5. Baja tahan karat pengerasan presipitasi

Baja ini mengandung khrom dan nikel, bersama dengan tembaga, Aluminium, titanium, atau molybdenum. Mereka memiliki ketahanan

korosi dan keliatan bahan yang baik, serta memiliki kekuatan yang tinggi pada temperatur tinggi. Penggunaan yang paling utama baja ini yaitu pada industri pesawat terbang dan komponen struktural pesawat ruang angkasa [15].

Penelitian ini menggunakan bahan baja tahan karat SUS 301 (*JIS G 4304*) yang termasuk baja tahan karat austenite, dan DIN 1.4003 yang termasuk ke dalam jenis baja tahan karat ferit. Baja tahan karat austenit mempunyai kelebihan-kelebihan dibandingkan dengan baja tahan karat lainnya dan dikenal secara luas dengan nama 18-8 (Cr-Ni) steel. Baja tahan karat austenit mempunyai sifat tahan korosi dan mampu las yang lebih baik dibandingkan baja tahan karat lainnya. Temperatur servis dapat mencapai 760°C bahkan lebih, tetapi ketahanan oksidasinya terbatas pada temperatur tinggi. Sedangkan baja tahan karat ferit mempunyai sifat tahan korosi cukup baik dan mampu las yang cukup baik pula. Mempunyai kelebihan lebih keras dibanding baja austenit, akan tetapi mempunyai kekurangan mampu bentuk yang rendah. Temperatur servis dapat mencapai 720°C.

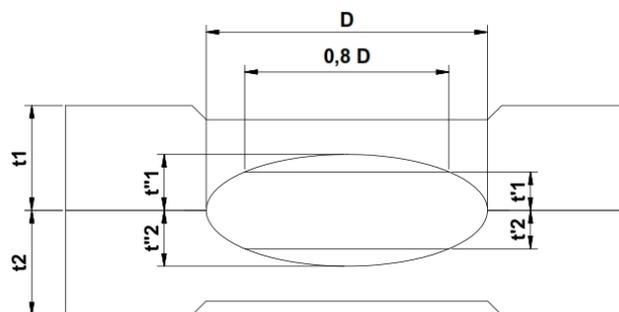
2.7. Pengujian Spesimen

2.7.1. *Macro Sectional Test Dan Micro Structure Test*

Uji makro atau pemeriksaan makro dan mikro struktur dilakukan pada penampang melintang, bagian memanjang sebagai uji independen untuk mengevaluasi kondisi permukaan atau sebagai langkah selanjutnya dari pengujian lain untuk mengevaluasi efek yang terjadi dan terbentuk pada permukaan hasil potongan. Umumnya tes atau pemeriksaan makro dilakukan dengan pembesaran kurang dari 10x. Sedangkan uji mikro struktur menggunakan SEM (*Scanning Electron Mycroscope*) Beberapa setengah jadi maupun sampel produk jadi dikenakan uji makro untuk menunjukkan diskontinuitas internal seperti kotoran, inklusi dalam produk yang digulung atau aliran biji-bijian dalam tempa setelah terpapar persiapan yang tepat dan paparan bahan kimia atau panas. Sedangkan uji mikro struktur untuk mengetahui fasa yang terjadi pada lelehan logam.

Uji makro dan mikro juga dilakukan pada spesimen uji yang terkena tes lain seperti uji ketahanan korosi, *passivasi*, uji semprot garam, pengukuran kedalaman kasus. Tes yang paling umum adalah pemeriksaan penampang las untuk mengungkapkan diskontinuitas internal, profil las, lasan dan urutan las, tingkat penetrasi dan kualitas lasan. Laboratorium *LMATS Melbourne and Sydney* melakukan pemeriksaan lasan makro untuk memenuhi persyaratan industri fabrikasi besar di Australia. *LMATS* melakukan pemeriksaan makro sesuai dengan AS 2205.5, ASME IX QW 183, QW 184, EN 1321, AS 1554, AS 3992, AS 2885.2 dan standar nasional dan internasional serupa.

Sedangkan pada pengujian ini menggunakan standar *JRS (Japanese Railways Standard)* yang mengacu pada hasil penelitian di PT. INKA (Persero). Uji makro sendiri digunakan untuk mengukur diameter *nugget* hasil las titik, tingkat penetrasi dan kualitas las titik yang dihasilkan.



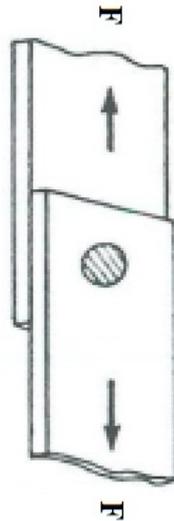
Gambar 2.7. Penetrasi dalam *macro sectional test*

Keterangan : D = Diameter *nugget* (mm)
 t_1, t_2 = Ketebalan pelat (mm)
 $t'1, t'2$ = Penetrasi ketebalan respektif (mm)
 $t''1, t''2$ = Penetrasi dalam jarak $0,8D$ (mm)

2.7.2. Tegangan Tarik

Tegangan tarik terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang dan tidak segaris dengan batang yang

diberikan. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi, misalnya : sambungan keling, gunting, dan sambungan baut.



Gambar 2.8. Uji tarik spesimen sambungan tumpang

Tegangan tarik terdistribusi merata kurang lebih sama seperti yang terjadi pada gaya tekan yang terdistribusi merata. Pada kasus ini, besarnya tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan rumus [17] :

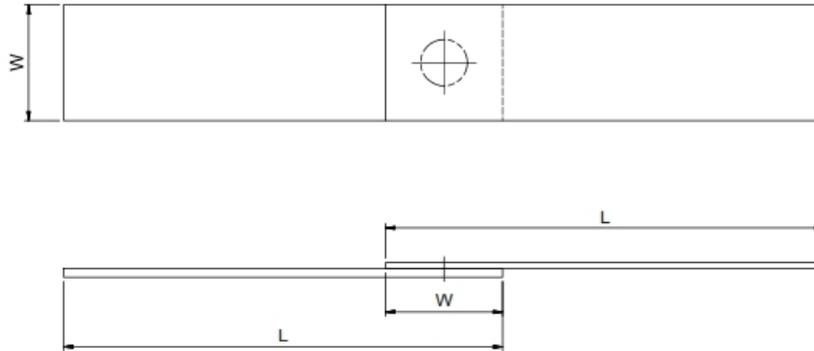
$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma = \frac{F}{0,5 \cdot \pi \cdot d \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (3)$$

- Dimana : σ = Tegangan tarik (N/mm²)
- F = Gaya Yang Terjadi (N)
- A = Luas penampang (mm²)
- d = Rata-rata diameter patahan nugget yang terbentuk
- Δt = Rata-rata tebal pelat yang digunakan

Pengujian tegangan tarik pada hasil pengelasan titik pada umumnya menggunakan skema pengujian dengan standart AWS, SAE, JIS, ataupun ASME.

Pengujian tegangan tarik pada penelitian ini menggunakan standar JRS dengan spesifikasi dimensi sebagai berikut :



Gambar 2.9. Dimensi spesimen uji tarik

Keterangan :

L = Panjang spesimen 150 mm

W = Lebar spesimen 40 mm