

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sambungan pengelasan, dengan penggunaan sudut *chamfer* satu sisi memiliki kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan sambungan pengelasan tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Dimana kekuatan tarik maksimum yang didapat untuk logam Al-Si-C dengan penggunaan sudut *chamfer* satu sisi mendapatkan nilai sebesar 215 MPa dan untuk spesimen logam Al-Si-C tanpa penggunaan sudut *chamfer* kekuatan Tarik maksimum yang didapat ialah sebesar 151.5 MPa, Lin, dkk (1999).

Eko Budi Santoso, (2012) meneliti Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si. Mendapatkan hasil kekuatan tarik pada paduan aluminium Al-Mg-Si akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekanan akhir. Porositas menurun dengan semakin bertambahnya sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir

Amirullah, (2014) melakukan penelitian Pengaruh Sudut *Chamfer* Satu Sisi Dan *Friction Time* Terhadap Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan puntir terbesar dari sambungan las gesek ini. Sudut *chamfer* yang digunakan adalah 11,5°, 15°, 30°, dan 45° dengan waktu yang divariasi sebesar 90 detik, 120 detik, 150 detik dan 180 detik. Dari penelitian ini ditemukan sudut *chamfer* dan lama waktu pengelasan ini mempengaruhi kekuatan puntir. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium Al-Mg-Si. Kekuatan puntir tertinggi terdapat pada sudut 11,5° pada waktu 90 detik sebesar 194,28 MPa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada sudut 15° waktu 120 detik yakni sebesar 100,31 MPa.

Imawan, (2014) melakukan penelitian dengan judul Tegangan *Bending* dan Perubahan Struktur Mikro Pada Baja ST45. Penelitian ini dilakukukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek dengan menggunakan material Al-Mg-Si. Dalam penelitian ini sudut *chamfer* yang digunakan adalah 0°, 15°, 30°, dan 45° dan variasi kekasaran permukaan kontak 1,06 µm, 0,9 µm, 0,69 µm. Putaran *chuck* yang digunakan pada pengelasan 1600 rpm dengan diberi tekanan awal sebesar 123 kgf selama 2 menit. Setelah mencapai waktu penekanan 2 menit kemudian putaran dihentikan dan diberi gaya tekan akhir sebesar 157

kgf selama 2 menit. Dari penelitian ini diperoleh kekuatan tarik tertinggi sebesar 173,489 N/mm² pada variasi sudut *chamfer* 15⁰ dengan kekasaran permukaan kontak 0,69µm, sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi sudut *chamfer* 0⁰ dengan kekasaran permukaan kontak 1,06 µm sebesar 83,459 N/mm².

2.2 Pengelasan

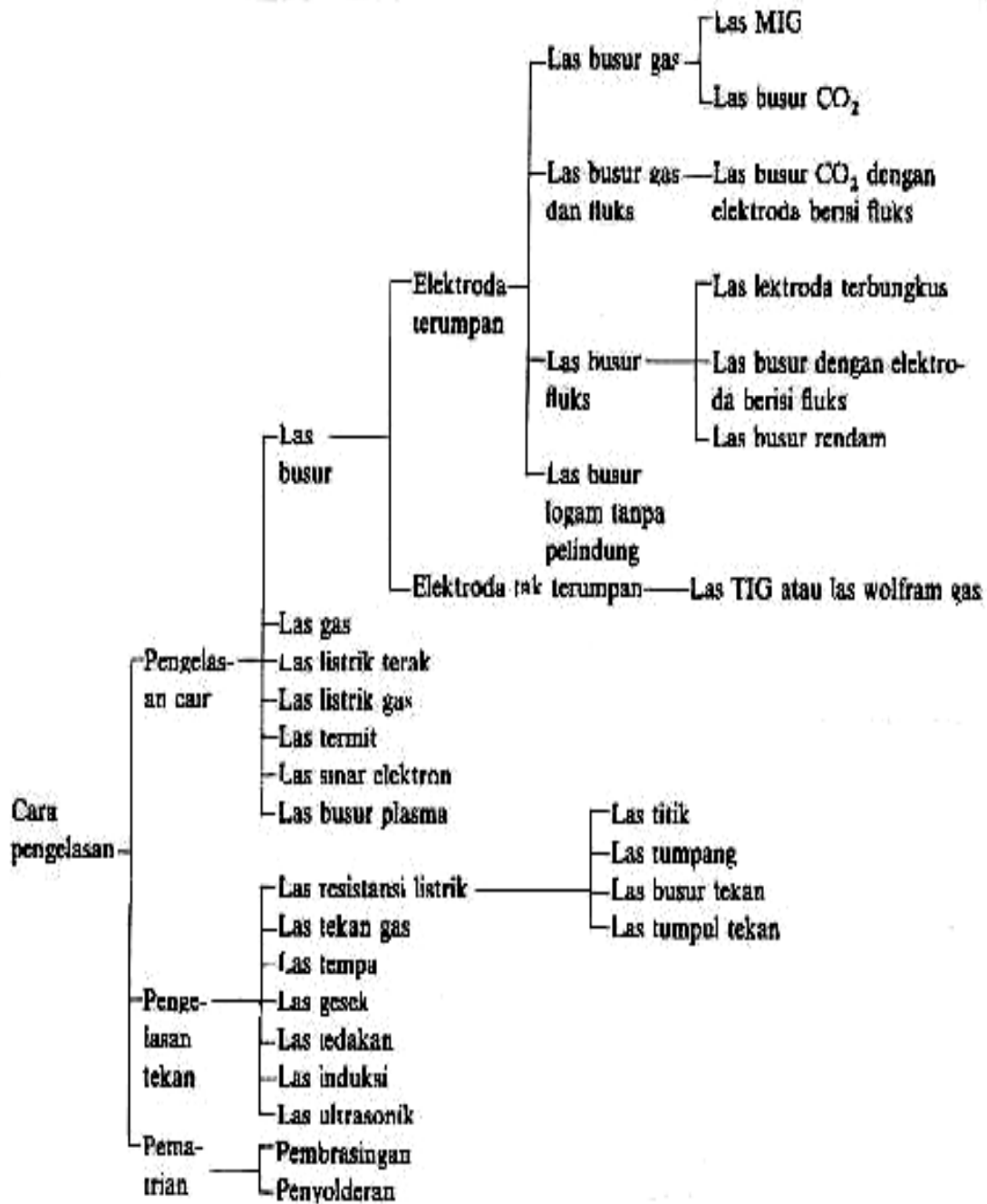
2.2.1 Definisi Pengelasan

Berdasarkan *American Welding Society* (AWS), Pengelasan adalah proses penyambungan material dengan menggunakan kumpuh las, sedangkan kumpuh las didefinisikan sebagai logam yang membeku dari logam yang sebelumnya berada dalam keadaan cair akibat pemanasan pada temperatur tertentu dengan atau tanpa penekanan, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Sedangkan definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan pada keadaan lumer atau cair. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan energi panas. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengelasan tersebut berasal dari pembakaran gas, sinar elektron, gesekan gelombang elektronik, tahanan listrik, ataupun busur listrik sehingga akan terjadi ikatan antar atom-atom atau molekul dari logam yang disambungkan.

2.2.2 Klasifikasi Pengelasan

Berdasarkan cara kerja, proses pengelasan bisa dibagi dalam 3 jenis yaitu :

1. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana pada bagian yang akan disambung dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menyatu, contohnya : Las tekan gas, las tempa, las gesek, dan las induksi
2. Pematrian merupakan cara pengelasan dimana proses penyambungannya dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah dan di lilitkan pada bidang yang akan di las, tetapi logam induk tidak turut mencair.
3. Pengelasan cair merupakan salah satu cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.



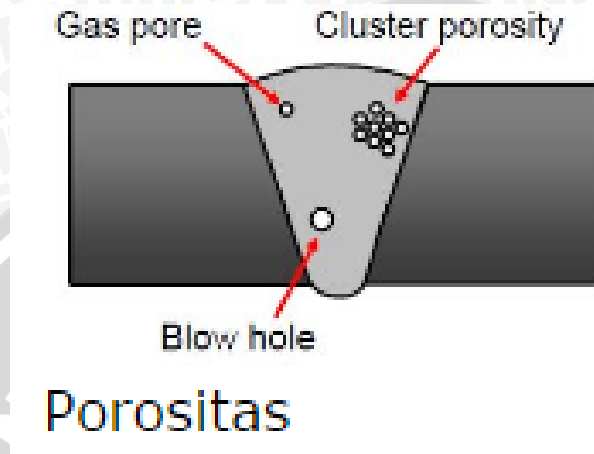
Gambar 2.1 Klasifikasi pengelasan
 Sumber : Wiryosumarto, 2000, 8

2.2.3 Cacat Pengelasan

Cacat pengelasan adalah suatu keadaan dimana terjadi penurunan kualitas hasil dari pengelasan. Kualitas tersebut yakni penurunan kekuatan dibandingkan dengan kekuatan bahan dasar, dan juga tidak baiknya performa/tampilan dari suatu hasil pengelasan. Cacat las akan mengakibatkan banyak hal yang tidak diinginkan dan pada bidang konstruksi hal ini mengarah pada turunnya tingkat keselamatan kerja. Macam-macam cacat pengelasan pada umumnya yang dapat terjadi antara lain sebagai berikut :

1. Porositas

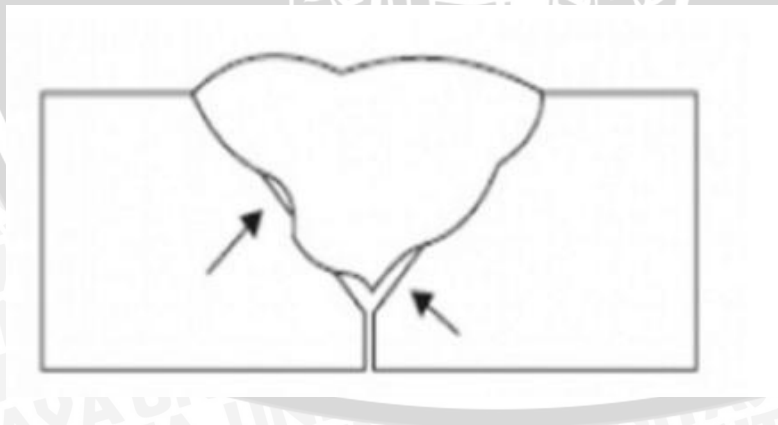
Merupakan cacat las yang diakibatkan karena terjebaknya gas *hydrogen* dan udara dalam logam las. *Hydrogen* dan udara akan mudah menyusup saat logam dalam fase cair. Pada saat logam mulai membeku dalam waktu yang relatif cepat, maka gas tersebut akan terjebak dan membentuk lubang-lubang kecil seperti pori.



Gambar 2.2 Cacat las porositas
Sumber : Bina Aji, 2013

2. *Lock of Fusion*

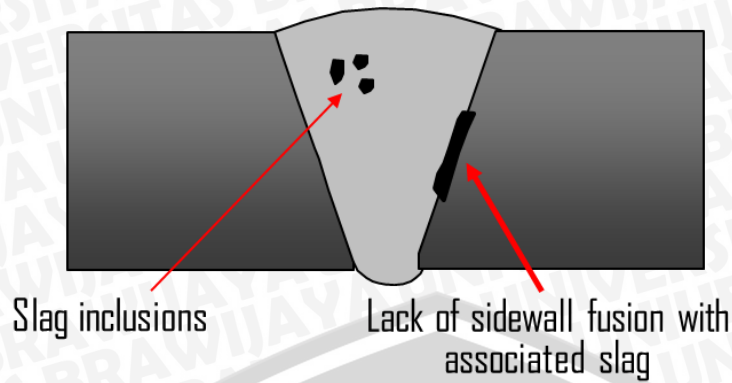
Merupakan cacat las yang disebabkan akibat panas yang masuk ke dalam spesimen tidak terdistribusi sempurna yang akan menyebabkan sebagian logam tidak melebur dan berakibat pada adanya luasan permukaan yang tidak tersambung.



Gambar 2.3 Cacat las *Lock of Fusion*
Sumber : Hidayatullah Syarif, 2012

3. Inklusi

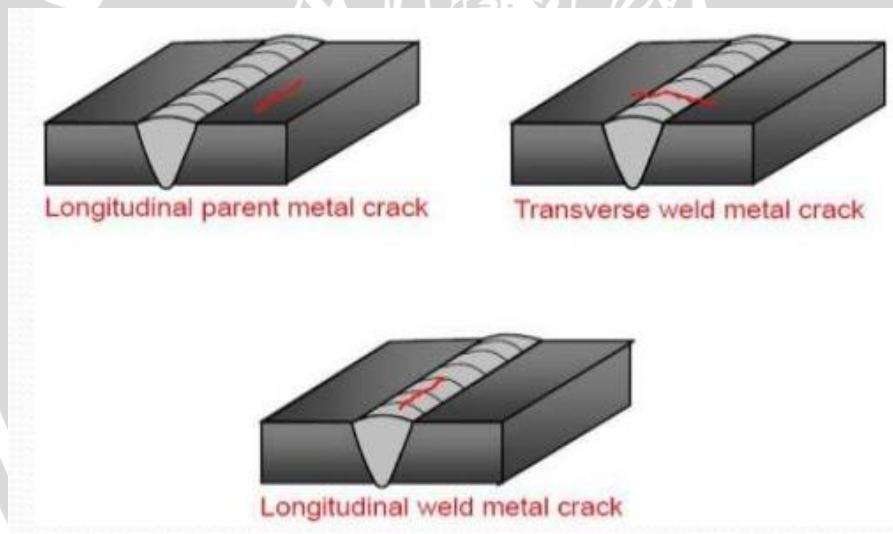
Merupakan cacat pengelasan yang terjadi akibat adanya *slug* yang terjebak dalam hasil lasan. Cacat ini biasa terjadi pada pengelasan *TIG* (*tungsten inert gas*).



Gambar 2.4 cacat las Inklusi
Sumber : Bina Aji, 2013

4. Retak/*Cracking*

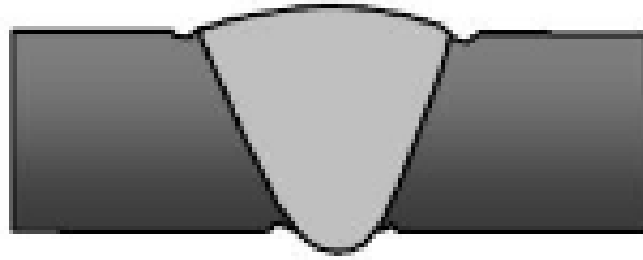
Merupakan cacat pengelasan akibat kecepatan pendinginan dan jenis logam yang disambungkan yang dapat mengakibatkan putusnya sambungan las. Retakan dibagi menjadi 3 jenis yaitu retakan panas, retakan dingin, dan *macrofissure*.



Gambar 2.5 Cacat las Retak
Sumber : Bina Aji, 2013

5. Undercut

Yakni cacat las yang disebabkan karena pemakanan salah satu dari kedua sisi lasan. Cacat ini dapat disebabkan karena kurangnya peleburan pada bagian sisi las.



Undercut

Gambar 2.6 cacat las under cut

Sumber : Bina Aji, 2013

2.2.4 Friction Welding

Friction welding adalah cara pengelasan dimana dengan memutar salah satu material dan material yang lainnya tidak berputar hanya maju untuk memberikan tekanan pada material yang berputar hingga menimbulkan panas dan mengakibatkan ke dua material tersebut melebur menjadi satu pada ujung yang digesekan. (Asm Handbook, 2009).

Beberapa keuntungan las gesek, yaitu :

- Hasil dari sambungan las gesek tidak menghasilkan terak.
- Biaya yang murah.
- Tidak memerlukan logam pengisi, Pelindung *flux*, gas pelindung selama proses pengelasan.
- Lebih menghemat material.
- Dapat menyambung benda berbentuk silinder maupun tidak
- Dapat menyambung material yang sejenis maupun menyambung material yang berbeda jenisnya.

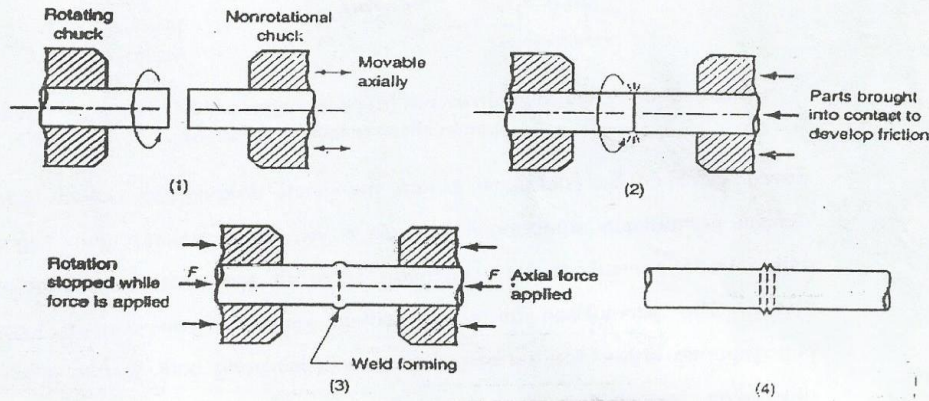
Disamping itu las gesek juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu :

- Benda yang akan dilas harus simetris.
- Ketika akan menyambung dua material yang berbeda kita harus mengetahui spesifikasi dari ke dua material tersebut.

Berdasarkan cara penggesekannya *friction welding* dibagi menjadi dua yaitu :

1. *Linear Friction Welding*

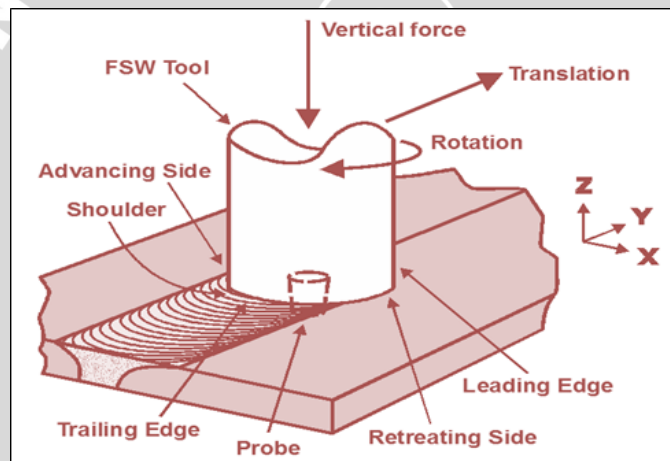
Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri.



Gambar 2.7 Mekanisme *Linear Friction Welding*
 Sumber : *Modern Welding*, 1980 : 37

2. *Friction Stir Welding*

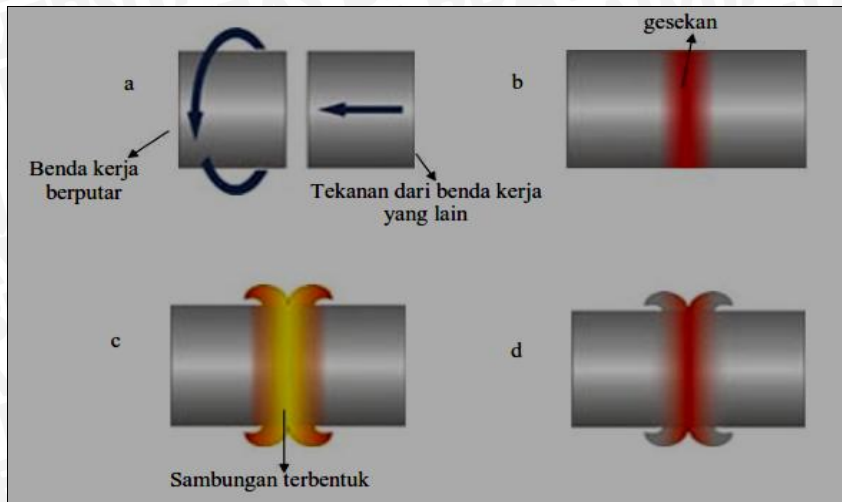
Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan antara benda kerja dan pahat (*tools*).



Gambar 2.8 Mekanisme *Friction Stir Welding*
 Sumber : *Modern Welding*, 1980 : 37

2.2.5 *Linear Friction Welding*

Linear friction welding merupakan metode pengelasan yang memanfaatkan sumber panas/kalor yang berasal dari hasil gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, dimana salah satu benda kerja berputar dan satu benda lainnya tidak berputar namun menekan.

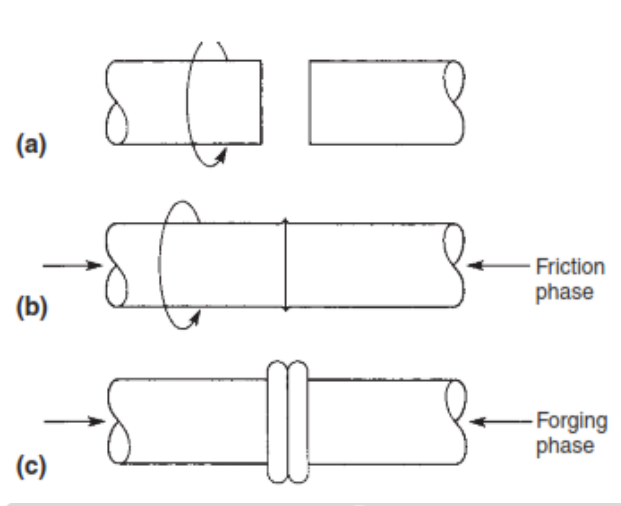


Gambar 2.9 Simulasi *Linier Friction Welding*
 Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

Mekanisme pengelasan ini menggunakan dua buah benda kerja (logam), dimana salah satu benda kerja berputar dengan kecepatan tertentu dan relatif tinggi dan salah satu benda kerja yang lain tidak ikut berputar tetapi memberikan tekanan terhadap benda kerja yang berputar, dari penekanan benda kerja yang tidak berputar tadi menghasilkan panas yang dapat melelehkan kedua permukaan logam yang bersentuhan tersebut dimana partikel dari kedua logam dapat berikatan yang disebabkan dari berputarnya salah satu benda kerja maka partikel dari kedua logam tersebut tercampur aduk, sedangkan penekanan yang diberikan akan menyebabkan partikel terdorong dan saling mengisi celah-celah kosong yang sekaligus dapat mengeluarkan udara yang terjebak, hal ini memberi keuntungan dari penggunaan las gesek yaitu minimnya cacat porositas pada sambungan las. Dan proses ini akan menghasilkan penyambungan kedua benda kerja (logam) tanpa proses pencairan atau yang disebut dengan *solid state process*.

Pada pegelasan las gesek ini terdapat parameter - parameter utama yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan dengan metode las ini, parameter-parameter tersebut yaitu :

- *Rotation speed* (kecepatan putaran)
- *Friction pressure* (tekanan penggesekan)
- *Friction time* (waktu penggesekan)
- *Upset pressure* (tekanan akhir/tekanan tempa)
- *Upset time* (waktu penekanan tempa)



Gambar : 2.10 Proses *Friction Welding*
 Sumber : Stanley, 2011: 179

Gambar 2.5 menunjukkan proses pengelasan dengan metode pengelasan gesek, dimana (a) menunjukkan ketika spesimen berputar, (b) menunjukkan spesimen bergesekkan, dan (c) menunjukkan proses tempa.

2.2.6 Aplikasi Las Gesek

Penyambungan dengan menggunakan metode *friction welding* ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif dan industri perkapalan. Contoh aplikasi penyambungan dengan menggunakan metode *linier friction welding* ini ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.11 Aplikasi Las Gesek
 Sumber : *Manufacturing Tecnology INC*



2.3 Parameter *Friction Welding*

Parameter pada pengelasan gesek dapat mempengaruhi kekuatan tarik pada spesimen, sehingga parameter yang digunakan harus diperhatikan agar dapat terfokuskan pada kekuatan tarik yang diinginkan. Sehingga pada saat melakukan pengelasan gesek harus memperhatikan parameter yang ada. Berikut parameter pengelasan gesek :

1. Friction time

Friction time merupakan lama waktu pengelasan yang mempengaruhi meleburnya logam serta kekuatan pada hasil pengelasan

2. Sudut Chamfer

Sudut Chamfer merupakan variasi yang digunakan saat pengelasan untuk memperluas permukaan penampang sehingga luasan dari suatu penampang dapat mempengaruhi kekuatan tarik suatu pengelasan

3. Penekanan Gesek

Penekanan pada pengelasan gesek merupakan variasi yang digunakan saat material gesek diputar sehingga dari penekanan tersebut dapat menimbulkan panas, serta panas yang dihasilkan dapat meleburkan material untuk meleburkan logam dan terjadinya pengelasan

4. Burn of Length

Burn of length merupakan seberapa banyak material yang hilang atau tak terpakai karena diakibatkan dari gesekan serta penekanan yang membuat material melebur serta terdeformasi keluar membentuk flash seperti jamur

5. Revolution per Minute

Rpm merupakan variasi yang digunakan untuk menentukan kecepatan gesekan yang dihasilkan sehingga rpm yang divariasikan dapat mempengaruhi cepat atau lambatnya panas yang akan dihasilkan

6. Penekanan Akhir

Penekanan akhir merupakan penekanan yang digunakan terakhir kali setelah melakukan penekanan gesek dan setelah putaran dihentikan untuk lebih memperkuat ikatan mekanis pada hasil pengelasan

7. Holding Time

Holding time merupakan waktu tahan untuk menurunkan temperatur dengan penekanan akhir agar hasil pengelasan lebih baik

8. Kerataan Permukaan gesek

Kerataan permukaan merupakan parameter yang sangat berkaitan dengan bidang gesek yang akan bergesekan, sehingga kerataan mempengaruhi bidang gesek untuk memaksimalkan panas yang terbentuk akibat gesekan.

2.4 Pengelasan Baja St 41 dengan Tembaga

2.4.1 Definisi Baja St 41



Gambar 2.12 Baja St 41

Sumber : Steelindo persada, 2014

Baja merupakan paduan antara besi dengan karbon dengan unsur lainnya dimana kadar karbonnya tidak melebihi 2%. Pengaruh karbon pada baja memberikan sifat keras pada baja, sehingga untuk kebutuhan dibidang teknik pemilihan baja bisa disesuaikan dengan kadar karbonnya.

Sebagian besar dari produksi logam yaitu besi dan paduannya. Untuk memperoleh logam-logam yang mempunyai sifat yang diinginkan, ketahanan aus, kekerasan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, keuletan, dan sebagainya maka diperlukan penambahan bahan-bahan lain ke dalam besi. Penambahan ini akan memberikan keuntungan-keuntungan yang besar terhadap sifat-sifat mekanik dan kimiawi.(Tata Surdia, 1999:77)

2.4.2 Proses Pembuatan Baja

Pada era yang modern ini, besi kasar diproduksi dengan menggunakan dapur bijih besi yang berisi kokas pada lapisan paling bawah, kemudian batu kapur dan bijih besi,. Kokas yang terbakar menghasilkan gas CO yang naik ke atas sambil mereduksi oksida besi. Besi yang telah tereduksi melebur dan terkumpul dibawah tanur menjadi besi kasar yang biasanya mengandung karbon (C), mangan (Mn), silicon (Si), nikel (Ni), fosfor (P), dan belerang (S), kemudian leburan besi dipindahkan ke tungku lain dengan bantuan

converter serta dihembuskan gas oksigen yang bertujuan untuk mengurangi kandungan karbon.

Untuk menghilangkan Kembali kandungan oksigen dalam baja cair, ditambahkan Al, Si, Mn. Proses ini disebut dioksidasi. Setelah dioksidasi, baja cair dialirkan dalam mesin cetakan *continue* berupa slab atau dicor dalam cetakan berupa ingot. Slab dan ingot itu diproses dengan penempaan panas, rolling panas, penempaan dingin, perlakuan panas, pengerasan permukaan dan lain-lain, untuk dibentuk menjadi sebuah produk atau kerangka dari sebuah produk.

Baja merupakan paduan besi (Fe) dengan karbon (C), dimana kandungan karbon tidak lebih dari 2%.

Baja merupakan material yang paling sering dan banyak di gunakan dalam kehidupan sehari-hari, dikarenakan banyak memiliki sifat mekanis yang lebih baik dari pada besi, yaitu :

- Tangguh dan ulet
- Mudah di proses
- Sifatnya dapat diubaha dengan perlakuan panas
- Mudah ditempa
- Sifatnya dapat diubah dengan menggunakan karbon

Meskipun baja sering digunakan, namun baja memiliki kekurangan yaitu tidak tahan terhadap korosi.

2.4.2 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu (Wiryosumarto, 1985: 89). Sifat dari baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon. Berdasarkan kadar karbonnya, baja dibedakan menjadi tiga :

- a. Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon antara 0.01% - 0,3%, dalam dunia perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip, dan baja profil atau batangan, Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat dijadikan sebagai berikut :

- Baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0.04% - 0,10% C, dijadikan sebagai baja plat atau strip.
- Baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0.05% C digunakan untuk keperluan bodi kendaraan.

- Baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0.15% - 0,30% C, banyak digunakan sebagai konstruksi jembatan, bangunan, baja konstruksi, dan dibuat baut.
- b. Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon antara 0,3% - 0,45% , banyak digunakan sebagai alat-alat perkakas bagian mesin. Dengan nilai kadar karbon 0,3% - 0,45% baja karbon ini banyak digunakan sebagai keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas, dan sebagainya.
 - c. Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45% - 1,70% , Baja ini memiliki tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satunya yaitu digunakan dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja, berdasarkan kadar karbon yang terkandung didalam baja karbon tinggi, banyak digunakan pula pada pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, atau pahat potong, selain itu juga digunakan senagai kikir, pisau cukur, dan sebagainya.

Pada baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila perisapannya sempurna dan persyaratan yang diperlukan terpenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.(Wirosumarto, 2000)

Jenis	Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell
Baja karbon rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145
Baja karbon sedang	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170
Baja karbon tinggi	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235

Gambar 2.13 Klasifikasi Baja
Sumber: Wiryosumarto, (2010 : 4)

2.4.3 Definisi Tembaga



Gambar 2.14 Tembaga murni
Sumber : Cara cetak, 2015

Tembaga merupakan salah satu logam non-ferrous yang paling penting dan banyak dipakai mulai dari sederhana hingga industri berteknologi tinggi. Tembaga banyak digunakan baik tembaga murni maupun paduan dengan logam lain. Secara fisi tembaga berwarna coklat kemerahan, lunak sehingga mudah di bentuk maupun di tempa, serta merupakan konduktor listrik dan konduktor panas yang baik. Tembaga merupakan material yang sangat diperlukan dalam banyak aplikasi karena fisik dan mekanis, termasuk konduktivitas listrik dan panas luar biasa tinggi, ketahanan terhadap korosi yang tinggi, sehingga kemudahan dalam pengelohan, dan mampu las yang baik. (Arman Sagala, 2012:14) Pada jenis tertentu tembaga dipadukan dengan seng sehingga tegangannya menjadi kuat, paduan Tembaga Seng ini yang dikenal dengan nama Kuningan (Brass), atau dicampur Timah (Tin) untuk menjadi Bronze. Brass diekstrusi kedalam berbagai bentuk komponen peralatan listrik atau peralatan lain yang memerlukan ketahanan korosi. Produk Brass yang berbentuk lembaran (sheet) sangat liat, dibentuk melalui pressing dan deep-drawing. Bronze yang diproduksi dalam bentuk lembaran memiliki tegangan yang cukup baik dan sering ditambahkan unsur Phosphorus yang dikenal dengan Phosphor-Bronze. Bahan ini sering digunakan sebagai bantalan dan dibuat dalam bentuk tuangan dimana bahan ini memiliki tegangan dan ketahanan korosi yang baik. Tembaga ialah salah satu logam penting sebagai bahan Teknik yang pemakaiannya sangat luas baik digunakan dalam keadaan murni maupun dalam bentuk paduan. Tembaga memiliki kekuatan Tarik 221 N/mm², lalu dapat ditingkatkan kekuatan tariknya hingga 455 N/mm². (ASM Metals

Handbook Volume 2, 1990). Tembaga juga memiliki angka kekerasan yaitu 45 HB dan dapat ditingkatkan hingga 90 HB tanpa melalui proses perlakuan panas, dengan demikian juga akan diperoleh sifat tembaga yang ulet serta tangguh, dapat juga dilakukan proses perlakuan panas misalnya dengan *tempering*. Sifat tembaga sendiri ialah sebagai penghantar listrik dan penghantar panas yang baik (*Electrical and Thermal Conductor*). Tembaga menduduki urutan kedua setelah *silver* namun untuk ini Tembaga dipersyaratkan memiliki kemurnian hingga 99,9 %. Salah satu sifat yang baik dari tembaga ini juga adalah ketahanannya terhadap korosi.

Alloy number (and name)	Nominal composition, %	Commercial forms ^(a)	Mechanical properties ^(b)				Elongation in 50 mm (2 in.), % ^(b)	Machinability rating, % ^(c)
			Tensile strength		Yield strength			
			MPa	ksi	MPa	ksi		
C10100 (oxygen-free electronic copper)	99.99 Cu	F, R, W, T, P, S	221-455	32-66	69-365	10-53	55-4	20
C10200 (oxygen-free copper)	99.95 Cu	F, R, W, T, P, S	221-455	32-66	69-365	10-53	55-4	20
C10300 (oxygen-free extra-low-phosphorus copper)	99.95 Cu, 0.003 P	F, R, T, P, S	221-379	32-55	69-345	10-50	50-6	20
C10400, C10500, C10700 (oxygen-free silver-bearing copper)	99.95 Cu ^(d)	F, R, W, S	221-455	32-66	69-365	10-53	55-4	20
C10800 (oxygen-free low-phosphorus copper)	99.95 Cu, 0.009 P	F, R, T, P	221-379	32-55	69-345	10-50	50-4	20
C11000 (electrolytic tough pitch copper)	99.90 Cu, 0.04 O	F, R, W, T, P, S	221-455	32-66	69-365	10-53	55-4	20

Gambar 2.15 Tabel *properties* tembaga

Sumber : *ASM Metal Handbook Properties and selection*

2.4.4 Pemrosesan Tembaga

Tembaga diperoleh dari bijih tembaga yang disebut Chalcopirit. Besi yang ada larut dalam terak dan tembaga yang tersisa / matte dituangkan kedalam konverter. Udara dihembuskan kedalamnya selama 4 atau 5 jam, kotoran teroksidasi, dan besi membentuk terak yang dibuang pada waktu tertentu. Bila udara dihentikan, oksida kupro bereaksi dengan sulfida kupro maka akan membentuk Tembaga blister dan Dioksida

belerang. Tembaga blister ini dilebur dan dicor menjadi slab, kemudian diolah secara elektrolitik menjadi tembaga murni.

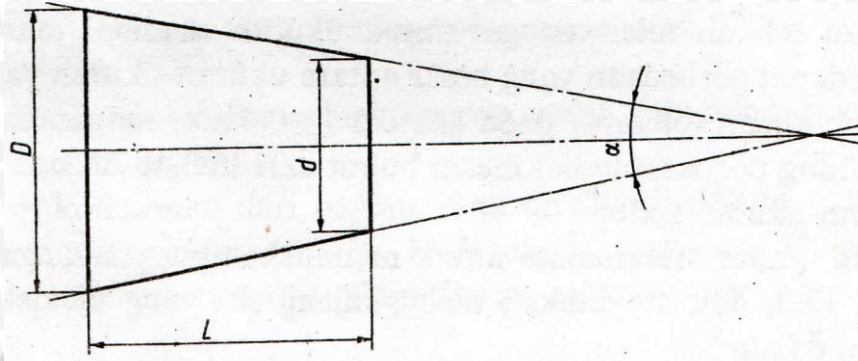
Pembuatan tembaga dilakukan dalam beberapa tahap. Tembaga terikat secara kimia di dalam bijih pada bahan yang disebut batu gang. Untuk mengumpulkan bijih-bijih itu biasanya dilakukan dengan membersihkannya dalam cairan berbuih, dimana disitu ditiupkan udara. Ikatan tembaga dari bijih yang digiling sampai halus dicampur dengan air dan zat-zat kimia sehingga menjadi *pulp* (bubur) pada suatu bejana silinder. Zat-zat kimia (yang disebut *Reagens*) berfungsi untuk mempercepat terpisahnya tembaga. Pada bubur tersebut ditiupkan udara atau gas sehingga timbul buih yang banyak. Bagian-bagian logam yang kecil sekali melekat pada gelembung udara atau gas tersebut. Di situ terdapat semacam kincir yang berputar dengan kecepatan sedemikian rupa sehingga gaya sentrifugal melemparkan buih tersebut dengan mineral keluar tepi bejana sehingga terpisah dari batu gang. Setelah proses tersebut logam dihilangkan airnya. Proses selanjutnya adalah pencarian di dalam suatu dapur mantel dengan jalan membakarnya dengan arang debu. Di sini dapat dipisahkan zat asam dan batubatu silicon dan besinya dioksidasikan menjadi terak yang mengapung pada copper sulfida. Pengolahan tembaga selanjutnya adalah dengan membawa isi dapur (yang disebut *matte*) ke converter mendatar. Disini belerang akan terbakar oleh arus udara yang kuat. Kemudian tembaga yang disebut blister sekali lagi dicairkan di dalam sebuah dapur anode. Dalam proses ini (yang disebut *polen*) terjadi proses pengurangan zat asam. Proses selanjutnya adalah pencarian di dalam suatu dapur mantel dengan jalan membakarnya dengan arang debu. Di sini dapat dipisahkan zat asam dan batu-batu silikon dan besinya dioksidasikan menjadi terak yang mengapung pada copper sulfida.

2.4.5 Sifat-Sifat Tembaga

Produksi tembaga sebagian besar dipergunakan dalam industri kelistrikan, karena tembaga mempunyai daya hantar listrik yang tinggi. Kotoran yang terdapat dalam tembaga akan memperkecil/mengurangi daya hantar listriknya. Selain mempunyai daya hantar listrik yang tinggi, daya hantar panasnya juga tinggi dan tahan karat. Oleh karena itu tembaga juga dipakai untuk kelengkapan bahan radiator, ketel, dan alat kelengkapan pemanasan. Tembaga mempunyai sifat dapat dirol, ditarik, ditekan, ditekan tarik dan dapat ditempa (*meleable*)

2.5 Chamfer

Chamfer adalah suatu bentuk geometri benda kerja yang dibuat dengan memotong tepi benda kerja secara simetris dengan sudut tertentu sampai dengan 90° . Geometri sudut *chamfer* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.16 Geometri *Chamfer*
Sumber : Sato, G (2008 : 140)

2.6 Sifat-sifat Material

Pengertian Definisi Sifat Material Bahan logam Secara umum sifat atau karakteristik bahan atau material dapat dikelompokkan menjadi empat, yaitu: Sifat Mekanik, Sifat Fisik, Sifat Teknologi, dan Sifat Kimia.

2.6.1 Sifat Mekanik Bahan Material Logam

Sifat Mekanik Menunjukkan kemampuan dan perilaku dari suatu bahan ketika menerima suatu pola pembebanan tertentu. Sifat material yang termasuk dalam kelompok sifat mekanik adalah :

- Kekuatan (strength) Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.
- Kekakuan (stiffness) Adalah kemampuan suatu material untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.
- Kekenyalan (elasticity) Didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan, atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami deformasi (perubahan bentuk).

- Plastisitas (plasticity) Adalah kemampuan material untuk mengalami deformasi plastik (perubahan bentuk secara permanen) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (ductile), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (brittle).
- Keuletan (ductility) Adalah suatu sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material ductile ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangannya. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll.
- Ketangguhan (toughness) Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.
- Kegetasan (brittleness) Adalah suatu sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kerapuhan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen. Material yang rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangannya yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.
- Kelelahan (fatigue) Merupakan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (dynamic load) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastiknya.
- Melar (creep) Merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.
- Kekerasan (hardness) Merupakan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi / penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

Dalam aplikasinya, sifat yang dimiliki oleh suatu bahan tidaklah harus unggul seluruhnya. Namun, cukup beberapa sifat saja, dan sifat tersebut memang relevan dengan persyaratan aplikasinya. Sifat yang harus dipenuhi tentu saja didasarkan pada optimasi sifat-sifat yang dimiliki dan kondisi aplikasinya.

Beberapa sifat mekanik bahan menunjukkan adanya kecenderungan dengan perilaku yang saling berlawanan. Ketika suatu bahan harus memiliki keuletan tinggi, maka bahan tersebut cenderung memiliki kekuatan yang relative rendah. Begitupun sebaliknya,

kekuatan bahan yang tinggi cenderung diikuti oleh keuletan yang relatif rendah. Dengan demikian, pemilihan suatu bahan akan menjadi optimasi antara beberapa sifat yang dimiliki dengan pola pembebanannya.

2.6.2 Sifat Fisik Material Bahan Logam

Sifat fisik merupakan sifat bahan yang terkait dengan fisik bahan itu sendiri. Yang termasuk dalam kelompok sifat fisik bahan adalah:

- Titik Didih dan Titik Leleh

Sifat fisik logam yang pertama yaitu logam-logam cenderung memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi karena atom-atom logam terikat oleh ikatan logam yang kuat. Untuk mengatasi ikatan tersebut, diperlukan energi dalam jumlah yang besar. Kekuatan ikatan berbeda antara logam yang satu dengan logam yang lain tergantung pada jumlah elektron yang terdelokalisasi pada lautan elektron, dan pada susunan atom-atomnya. Logam-logam golongan 1 seperti natrium dan kalium memiliki titik leleh dan titik didih yang relatif rendah karena tiap atomnya hanya memiliki satu elektron untuk dikontribusikan pada ikatan, tetapi ada hal lain yang menyebabkan hal ini terjadi yaitu unsur-unsur golongan 1 tersusun dengan tidak efektif (terkoordinasi 8), karena itu tidak terbentuk ikatan yang banyak seperti kebanyakan logam. Unsur-unsur golongan 1 memiliki ukuran atom yang relatif besar (berarti bahwa inti jauh dari elektron yang terdelokalisasi) yang juga menyebabkan lemahnya ikatan.

- Daya Hantar Listrik

Sifat fisik logam yang kedua yaitu memiliki daya hantar listrik yang baik, yang disebabkan oleh adanya elektron valensi yang bergerak bebas dalam kristal logam. Jika listrik dialirkan melalui logam, elektron-elektron valensi logam akan membawa muatan listrik ke seluruh logam dan bergerak menuju potensial yang lebih rendah sehingga terjadi aliran listrik dalam logam.

- Daya Hantar Panas

Sifat fisik logam yang ketiga yaitu memiliki daya hantar panas yang baik. Daya hantar panas disebabkan adanya elektron valensi yang dapat bergerak bebas. Bila bagian tertentu dari logam dipanaskan, maka elektron-elektron pada bagian logam tersebut menerima sejumlah energi sehingga energi kinetisnya bertambah dan gerakannya makin cepat. Elektron-elektron yang bergerak dengan cepat tersebut menyerahkan sebagian energi kinetisnya kepada elektron lain sehingga seluruh bagian logam menjadi panas dan naik suhunya.

- Dapat Ditempa, Dibengkokkan, Ditarik

Oleh karena elektron valensi logam mudah bergerak dalam Kristal logam, maka elektron-elektron tersebut mengelilingi ion logam yang bermuatan positif secara simetris, karena gaya tarik antar ion logam dan elektron-elektron valensi sama ke segala arah. Ikatan dalam kisi kristal logam tidak kaku seperti kristal senyawa kovalen, sebab dalam kisi kristal logam tidak terdapat ikatan terlokalisasi. Karena daya tarik setiap ion logam bermuatan positif terhadap elektron valensi sama besarnya, maka suatu lapisan ion logam bermuatan positif dalam kisi kristal mudah bergeser. Jika ikatan logam putus, maka akan segera terbentuk ikatan logam yang baru. Oleh karena itu, sifat fisik logam dapat ditempa menjadi lempeng yang sangat tipis, dapat ditarik menjadi kawat yang halus atau dibengkokkan.

- Sifat Mengkilap

Bila cahaya tampak jatuh pada permukaan logam, sebagian elektron valensi yang mudah bergerak tersebut tereksitasi (elektron berpindah dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi). Ketika elektron tereksitasi tersebut kembali pada keadaan dasarnya, maka energi cahaya dengan panjang gelombang tertentu (di daerah cahaya tampak) akan dipancarkan kembali. Peristiwa ini dapat menimbulkan sifat fisik logam yang khas yaitu mengkilap.

Bahan yang menunjukkan respon positif terhadap medan magnet, yaitu tertarik oleh medan magnet disebut bahan yang memiliki sifat magnetik. Sedangkan bahan yang tidak menunjukkan respon terhadap medan listrik disebut bahan yang tidak konduktif, atau non konduktor.

2.7 Sifat Teknologi Bahan Logam

Sifat teknologi merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan atau kemudahan suatu material dikerjakan dengan suatu metoda proses produksi tertentu. Yang termasuk dalam katagori sifat teknologi bahan adalah:

A. Sifat Mampu Bentuk Bahan Logam, *Formability*

Sifat mampu bentuk atau *formability* merupakan sifat yang dimiliki oleh bahan atau logam yang menunjukkan kemampuan untuk dibentuk dengan proses pembentukan. Proses pembentukan logam adalah suatu proses yang digunakan untuk berubah bentuk dengan memanfaatkan deformasi plastis yang diaplikasikan pada logam tanpa menghasilkan geram. Contoh pembentukan bahan atau logam adalah proses penempaan, proses *rolling*, proses ekstrusi, proses penarikan kawat, proses penarikan dalam, proses tekuk/bending dan sebagainya.

Bahan logam yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik ditunjukkan dengan produk jadi yang sesuai dengan dirancang atau diharapkan dan tidak terdapat atau terjadi cacat pada produk maupun selama proses berjalan.

Sifat mampu bentuk sangat dipengaruhi oleh besaran mekanik seperti keuletan, kekuatan bahan, koefisien penguatan bahan, temperatur pengerjaan dan tegangan alir bahan. Produk yang baik akan dihasilkan dari kombinasi besaran-besaran mekanik yang dimilikinya. Dalam aplikasi proses pembentukan, keuletan dan tegangan alir menentukan deformasi maksimum yang dapat dicapai oleh logam. Apabila deformasi yang diberikan lebih besar dari deformasi maksimum yang dimiliki oleh bahan, maka proses pembentukan harus dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi.

Bahan atau logam yang relatif keras, umumnya diproses pada temperatur yang relatif tinggi. Pada proses pengerjaannya dilakukan dengan pemanasan agar bahan menjadi lebih lunak. Proses pengerjaan pada temperatur tinggi biasa disebut hot working, atau proses pengerjaan panas. Proses-proses pembentukan seperti rolling, penempaan, ekstrusi, penarikan dan lainnya, umumnya menghasilkan perubahan bentuk atau perubahan penampang. Sedangkan beberapa proses lainnya seperti penekukan, *press*, *deep drawing* adalah proses pembentukan yang menggunakan bahan baku berupa plat logam yang dibentuk menjadi produk seperti mangkuk, body mobil, dan lainnya. Pada produk ini, tidak terjadi perubahan berarti pada ketebalan plat.

Sifat mampu bentuk untuk proses-proses tersebut ditunjukkan dengan diperolehnya bentuk yang diinginkan tanpa terjadi penipisan setempat, atau *necking*, dan pengerutan atau *tearing*. Beberapa sifat yang digunakan dalam menilai kemampuan bahan untuk dapat dibentuk oleh beberapa proses adalah: Sifat mampu tekuk atau *bendability*, sifat mampu tarik atau *drawability*, sifat mampu tarik dalam atau *deep drawability*.

B. Sifat Mampu Cor Bahan Logam, *Castability*

Sifat mampu cor atau *castability* adalah sifat yang dimiliki oleh bahan yang menunjukkan kemampuan bahan logam untuk diolah dengan proses pengecoran menjadi suatu produk. Pada saat Proses pengecoran, logam yang sudah dicairkan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang mempunyai bentuk yang sesuai dengan bentuk benda atau produk yang dirancang. Penuangan dan pengisian logam cair ke dalam rongga cetakan dapat dilakukan dengan beberapa metode

seperti dengan cara gravitasi, yaitu logam cair dialirkan atau dituangkan ke dalam rongga cetakan hanya dengan bantuan gaya gravitasi. Logam cair dapat juga dituang untuk mengisi rongga cetakan dengan cara *injection*. Pada Metoda ini, Logam cair dipaksa masuk ke dalam rongga cetakan dengan suatu tekanan tertentu.

Kesempurnaan dari suatu produk hasil pengecoran dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti proses pembekuan, aliran logam cair ke dalam cetakan, proses perpindahan panas pada saat terjadi pembekuan dan pendinginan, serta tergantung pada jenis bahan cetakan yang digunakan. Hasil pengecoran akan sangat tergantung pada kombinasi dan optimasi dari semua faktor-faktor yang mempengaruhinya, Yaitu : Temperatur Logam Cair, Viskositas Logam Cair, Fluiditas Logam Cair, Bentuk Cetakan, Material Cetakan

C. Sifat Mampu Mesin Bahan Logam, *Machinability*

Sifat mampu mesin adalah sifat yang dimiliki oleh bahan logam yang menunjukkan kemampuan untuk dibentuk dengan proses pemesinan. Proses pemesinan merupakan proses untuk membentuk suatu produk dengan cara melakukan pemotongan-pemotongan. Contoh Proses pemesinan adalah pengerjaan pembubutan, bor, frais atau *milling*, penggerindaan, skrap dan lainnya. Pada proses pemesinan selalu ada bagian bahan yang terbuat yang berbentuk geram atau serpihan atau butiran-butiran yang berukuran relatif kecil. Secara singkat dapat dijelaskan bahwa sifat mampu mesin adalah suatu sifat yang menunjukkan kemudahan suatu bahan logam untuk dikerjakan dengan pemesinan. Adapun faktor-faktor yang menjadi ukuran dari sifat mampu mesin adalah umur pahat, gaya atau energi yang dipakai, biaya operasi, dan kondisi permukaan hasil pemesinan.

Jika suatu produk yang dihasilkan memiliki permukaan yang sangat halus, dengan biaya murah, dan selama pemesinan menggunakan energi yang rendah, dan tingkat keausan dari pisau pahat sangat rendah, maka bahan logam tersebut dinyatakan memiliki sifat mampu bentuk yang baik. Baja dengan kandungan karbon rendah mempunyai sifat mampu mesin yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon tinggi. Karbon yang lebih tinggi menyebabkan bahan atau baja menjadi sangat keras, dan hal ini mengakibatkan sulit untuk dimesin jika bahan pahat yang digunakan adalah pahat umum seperti *High Speed Steel*, HSS. Namun demikian, baja karbon tinggi dapat dikerjakan dengan menggunakan pahat yang lebih tinggi kualitasnya. Misalnya, pahat menggunakan bahan dari karbida tungsten, maka kemampuan baja karbon tinggi untuk dimesin menjadi lebih baik.

Komposisi atau kandungan unsur merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi sifat mampu mesin suatu bahan logam. Dengan demikian sifat mampu mesin suatu bahan logam dapat diperbaiki dengan merubah atau menambah unsur-unsur tertentu. unsur-unsur seperti sulfur, fosfor, dan timah hitam merupakan unsur yang dapat memperbaiki mampu mesin bahan logam. Namun unsur-unsur ini hanya dapat ditambahkan dalam jumlah yang sangat terbatas. Hal ini disebabkan unsur-unsur tersebut dapat berpengaruh negatif terhadap sifat-sifat logam yang lainnya, seperti sifat mekanik, sifat mampu bentuk. Sifat mampu mesin pada umumnya diukur dari umur pahat yang digunakan. Pengukuran lainnya didasarkan pada proses pemotongan yang digunakan yaitu gaya yang digunakan untuk memotong.

Adapun beberapa pengujian yang menggunakan kondisi operasi yang standar adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan pahat tertentu untuk pembubutan dengan kedalaman dan kecepatan pemotongan tertentu. Kecepatan pemotongan yang menghasilkan umur pahat 60 menit adalah ukuran dari sifat mampu mesin.
2. Umur pahat dari pahat potong diukur dengan mempergunakan metoda radiokatif. Laju keausan yang kecil menunjukkan sifat mampu mesin yang baik.
3. Gaya pemotongan diukur dengan mempergunakan dinamometer. Pemotongan bahan yang menghasilkan kecepatan putar yang paling tinggi tanpa mengakibatkan gaya yang berlebihan pada dinamometr, menunjukkan sifat mampu mesin yang terbaik.
4. Ukuran mampu mesin ditentukan oleh umur pemakaian pahat. Indikasi bahwa umur pahat tersebut sudah dicapai adalah ketika kualitas permukaan yang dipotong kurang baik.

D. Sifat Mampu Las Logam Baja, *Weldability*

Secara sederhana sifat mampu las, atau *weldability* dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan, logam untuk dapat dilas, tanpa mengalami penurunan sifat-sifat yang dimilikinya secara berlebihan. Logam yang dilas dapat mengalami penurunan mutu akibat terjadinya penggetasan, cacat atau retakan. Mutu hasil lasan akan terkait langsung dengan sifat mampu las dari bahannya yang dilihat dari sensitifitas sambungan las terhadap kemungkinan terjadinya penggetasan, cacat

atau retak. Penggetasan, Cacat atau retak berdampak langsung terhadap penurunan sifat mekanik dari logam yang dilas.

- Parameter Mampu Las dari baja yang akan dilas dapat diperkirakan dari karbon ekuivalen. Sebenarnya nilai karbon ekuivalen menunjukkan hubungan antara kepekaan baja terhadap timbulnya retak dengan komposisi kimia baja. Jadi karbon ekuivalen pada dasarnya mengindikasikan pengaruh unsur-unsur yang terkandung dalam baja terhadap kemungkinan terjadinya retak. Pada kebanyakan baja, nilai karbon ekuivalen yang disarankan adalah kurang daripada 0,45. Nilai karbon ekuivalen berkorelasi positif dengan kesensitifan terjadinya retak. Artinya kepekaan baja terhadap retak akan turun, jika nilai karbon ekuivalen juga turun. Oleh karena itu, sedapat mungkin gunakan baja yang memiliki nilai karbon ekuivalen yang rendah. Paduan atau unsur yang ditambahkan selama pembuatan baja, pada prinsipnya merupakan usaha untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih tinggi. Jadi, ketika sifat mekanik harus lebih tinggi, dan unsur paduan ditambahkan, maka baja tersebut menjadi lebih sensitif terhadap munculnya retak.
- Penggetasan Pada Batas Las merupakan fenomena bahan yang ditunjukkan dengan adanya perubahan sifat bahan dari sifat yang ulet atau tangguh menjadi getas. Ketika logam berubah menjadi getas, maka logam tersebut menjadi mudah retak atau patah. Pada pengelasan, penggetasan dapat terjadi akibat terbentuknya struktur atau fasa yang memberikan efek getas, seperti martensit atau terjadinya pertumbuhan butir. Struktur martensit merupakan fasa yang sangat keras namun getas. Martensit memiliki banyak tegangan sisa yang dapat menginisiasi terjadinya retak pada baja. Butir-butir fasa ferit atau bainit yang tumbuh menjadi kasar atau besar merupakan faktor yang dapat menyebabkan baja menjadi lebih getas. Butiran yang besar akan memiliki ikatan antar atom yang lemah sehingga kekuatan pada batas butir menjadi turun.

Oleh karena itu disarankan untuk melakukan pengelasan dengan tanpa menghasilkan struktur martensit dan struktur berbutir kasar/besar. Daerah pengaruh panas atau HAZ memiliki struktur yang berbeda-beda mulai dari logam induk, base metal sampai ke struktur logam las. Perbedaan ini sesuai dengan siklus panas yang dialaminya. Perbedaan siklus panas,

menyebabkan perbedaan struktur, dan perbedaan struktur menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, struktur atau butir-butirnya tumbuh dengan cepat membentuk butiran yang kasar atau besar. Daerah ini disebut batas las. Pada daerah ini logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Selain itu, pada batas las juga mengandung konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki las, takik las, retak las dan lainnya.

Ketangguhan pada lasan dapat dicapai jika struktur ganda martensi dan bainit bawah terbentuk. Sedangkan jika selama pendinginan diperoleh struktur bainit atas dan ferit kasar, maka ketangguhan baja akan turun.

Struktur akhir yang diperoleh tergantung pada komposisi kimia, masukan panas, atau *heat input*, kecepatan pendinginan, pemanasan mula, dan tebal plat. Semua faktor-faktor tersebut akan menentukan tingkat kegetasan pada batas las.

Unsur paduan yang mempunyai pengaruh kuat terhadap penggetasan batas las adalah karbon dan nikel. Peningkatan ketangguhan batas dapat diperoleh dengan penurunan kandungan karbon, dan peningkatan kandungan nikel.

- Cara Mengurangi Atau Menghilangkan Penggetasan

Penggetasan batas las pada dasarnya dapat diturunkan dengan memperbaiki struktur daerah las dengan beberapa metoda seperti: Penggunaan baja yang kurang peka terhadap penggetasan batas las. Memilih baja yang kandungan karbonnya rendah, dan memiliki kadar nikel relatif tinggi. Beberapa unsur yang dapat mengurangi kepekaan terhadap penggetasan adalah Ti, Nb, B, Ca, dan Ce. Penambahan Unsur-unsur tersebut dapat menghambat pertumbuhan butiran logam. Butir-butir logam yang halus akan dapat meningkatkan ketangguhan. Sedangkan unsur-unsur yang harus minimal dalam baja adalah Oksigen, Nitrogen, Fosfor, dan Sulfur. Unsur-unsur ini merupakan unsur-unsur pengotor dalam baja yang harus dihindari karena dapat meningkatkan kegetasan dan menimbulkan retak.

Membatasi masukan panas, atau *heat input*. Secara umum masukan panas yang lebih rendah akan menghasilkan ketangguhan yang lebih tinggi.

Masukan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan temperatur logam cair menjadi tinggi. Sehingga laju pendinginan menjadi lambat. Lambatnya pendinginan, menyebabkan pertumbuhan butir. Butir-butir logam menjadi kasar yang pada akhirnya menyebabkan penggetasan.

Penurunan penggetasan melalui metode pengelasan berlapis, atau *multipass weld joint*. Dengan merubah metode pengelasan dapat diperoleh hasil pengelasan dengan ketangguhan yang lebih tinggi. Memperbaiki struktur mikro dengan pemanasan kembali melalui panas dari logam cair lapisan di atasnya. Metode pengelasan berlapis ini secara tidak langsung telah melakukan usaha penurunan penggetasan.

sifat mampu las, sifat mampu bentuk, sifat mampu cor, sifat mampu bentuk, sifat mampu mesin, dan lain sebagainya. Bahan atau logam biasanya diproses menjadi barang setengah jadi maupun produk akhir dengan melalui salah satu atau gabungan dari beberapa proses seperti pengecoran, *rolling*, proses las, proses pengerjaan panas dan lainnya. Sifat yang menunjukkan kemudahan bahan untuk dapat dikerjakan dengan proses-proses tersebut dikatakan sebagai sifat teknologi. Sifat yang menunjukkan kemampuan bahan untuk dapat dikerjakan dengan proses pengecoran disebut dengan sifat mampu cor. Sifat yang dapat menjelaskan kemampuan bahan logam untuk dapat dilas disebut sifat mampu las. Sedangkan sifat yang dapat mengidentifikasi kemampuan suatu bahan logam untuk dapat dibentuk menjadi produk jadi disebut dengan sifat mampu bentuk.

2.8 Macam-macam Pengujian Metrial

2.8.1 Pengujian Tarik Bahan Logam.

Prinsip pengujian adalah dengan memberi gaya satu arah atau *uniaxial* pada sampel uji yang memiliki bentuk dan dimensi tertentu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin tarik. Sampel ditarik dengan gaya yang membesar secara kontinu. Akan terjadi perpanjangan bahan logam pada setiap penambahan gaya yang diberikan. Uji dilakukan sampai sampel putus.

Data gaya dan pertambahan panjang diplot dalam grafik. Dari pengujian tarik akan diperoleh data-data seperti: kuat tarik, kuat luluh, dan elongasi. Kurva tegangan regangan dibuat dengan memplot data tegangan dan regangan dari hasil perhitungan data pengujian. Tegangan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$S = P/A_0$$

P = gaya yang diberikan pada sampel uji

A₀ = luas penampang awal sampel uji

2.8.2 Pengujian Sifat Mekanik Bahan Logam

Pengujian bahan atau logam bertujuan untuk mendapatkan atau mengetahui beberapa sifat bahan logam dengan menggunakan alat uji. Pada prinsipnya sifat bahan logam terbagi dalam dua kelompok sifat yaitu: sifat fisik dan sifat mekanik. Walaupun dalam perkembangannya, selain dua sifat tersebut, masih ada sifat lain yang juga sangat penting dalam aplikasinya yaitu sifat kimia dan teknologi.

Sifat fisik meliputi temperatur lebur, konduktivitas listrik, kemagnetan, densitas, porositas, dan sebagainya. Sifat mekanik meliputi kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, elongasi, batas leleh, kekuatan lentur atau *flexural* dan sebagainya. Sifat teknologi meliputi sifat mampu bentuk, mampu las, mampu tarik, mampu tempa dan sebagainya. Sedangkan sifat kimia menunjukkan perilaku logam terhadap lingkungannya seperti ketahanan korosi.

2.8.3 Pengujian Kekerasan Bahan Logam

Kekerasan adalah ketahanan bahan atau logam terhadap deformasi yaitu deformasi tekan atau indentasi. Pada umumnya pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur tahanan dari bahan atau logam terhadap deformasi plastis. Prinsip pengukurannya adalah dengan memberi gaya tekan melalui sebuah indenter pada permukaan bahan atau logam. Kemudian luas atau dimensi atau diameter dari jejak penekanan/indentasi diukur.

Biasanya indenter atau alat tekan yang digunakan pada uji kekerasan adalah berbentuk bola, piramida atau konis, kerucut., Nilai kekerasannya dihitung dari jejak indentasinya dengan menggunakan formula tertentu sesuai metoda ujinya. Metode pengukuran kekerasan ada tiga yaitu : Metode *Rockwell*, *Vickers*, dan *Brinell*

3. Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pada metoda *Brinell*, indenter yang digunakan berbentuk bola yang terbuat dari baja yang telah dikeraskan. Beban atau gaya penekanan yang diberikan adalah antara 500 – 3000 kilogram. Nilai kekerasannya merupakan perbandingan antara beban penekanan terhadap luas indentasi.

4. Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*.

Pengujian kekerasan metoda *Rockwell* menggunakan indentor berupa bola baja yang dikeraskan atau dapat juga menggunakan indentor berupa kerucut intan. Beban atau gaya yang digunakan untuk penekanan adalah bervariasi tergantung pada logam yang diuji. Nilai kekerasannya didasarkan pada kedalaman indentasi yang terjadi.

Nilai kekerasan metoda *Rockwell* dibagi dalam Skala kekerasan yaitu: kekerasan *Rockwell* skala C, biasa ditulis dengan HRC. Kekerasan *Rockwell* skala B ditulis dengan HRB. Kekerasan *Rockwell* skala B digunakan untuk bahan atau logam yang relatif lunak, sedangkan *Rockwell* skala C digunakan untuk logam yang relatif keras.

Kekerasan *Rockwell* B menggunakan indentor bola baja berdiameter 1,6 mm dengan beban 100 kilogram. Sedangkan kekerasan *Rockwell* skala C menggunakan indentor kerucut intan dengan beban penekanan sebesar 150 kilogram.

5. Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*

Prinsip dari pengujian kekerasan metoda *Vickers* mirip dengan metoda *Brinell*. Sudut indentor piramida berlian *Vickers* adalah 136 derajat, Jejak indentasi yang dihasilkan oleh indentor *Vickers* lebih jelas, daripada jejak indentor dari pengujian metoda *Brinell*. Sehingga metoda ini memiliki akurasi yang lebih baik. Karena kelebihan ini, maka metoda *Vickers* lebih banyak digunakan dalam dunia penelitian dan pendidikan. Aplikasi dari metoda ini sangat luas, mulai untuk logam yang memiliki nilai *Vickers* rendah 5 HV pada logam yang lunak, sampai logam dengan nilai *Vicker* tinggi sekitar 1500 HV pada logam yang sangat keras.

Beban, yang digunakan sangat bervariasi mulai dari 1 kgf sampai 120 kgf, untuk uji kekerasan makro, dan 15 – 1000 gram untuk uji kekerasan mikro. Waktu yang digunakan untuk pembebanan indentasi biasanya adalah selama 30 detik.

2.8.4 Pengujian *Impact* Bahan Logam

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Dalam Pengujian Mekanik, terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan, dan uji punter adalah pengujian yang menggunakan beban statik. Sedangkan uji impak (*fatigue*) menggunakan jenis beban dinamik. Pada uji

impak, digunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Perbedaan dari pembebanan jenis ini dapat dilihat pada strain rate. Pada pembebanan cepat atau disebut dengan beban impak, terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen. Proses penyerapan energi ini, akan diubah dalam berbagai respon material seperti deformasi plastis, efek histerisis, gesekan, dan efek inersia.

2.9 Pengujian Tarik

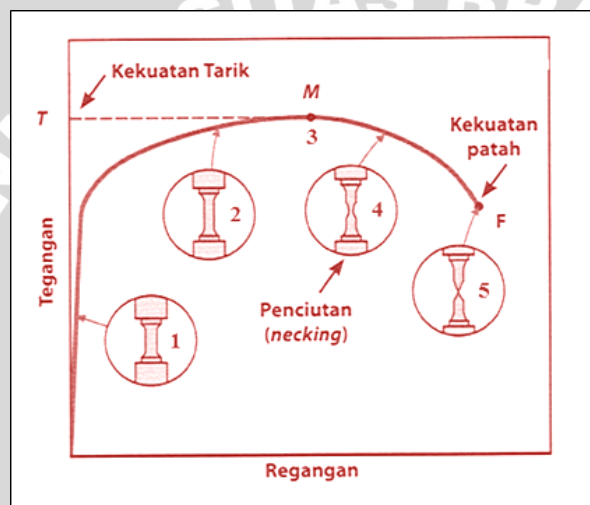
Prinsip pengujian adalah dengan memberikan gaya satu arah atau *uniaxial* pada sampel uji yang memiliki bentuk dan dimensi tertentu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik. Sampel uji tarik ditarik dengan gaya yang membesar secara berkelanjutan, dengan bertambahnya gaya tarik yang diterima oleh sampel uji tarik, maka akan terjadi perpanjangan sampel uji pada setiap penambahan gaya yang diberikan. Pengujian dilakukan hingga sampel uji putus.

Data gaya dan pertambahan panjang diplot dalam grafik. Dari pengujian tarik akan diperoleh data-data seperti: kuat tarik, kuat luluh, dan elongasi. Kurva tegangan regangan dibuat dengan memplot data tegangan dan regangan dari hasil perhitungan data pengujian. Pengujian tarik adalah suatu cara pengujian untuk mengetahui sifat mekanik suatu material ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik dimaksudkan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan ductility dari suatu material. Pengujian tarik pada hasil sambungan las perlu dilakukan untuk mengetahui apakah kekuatan tarik sambungan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik dari material induk atau material itu sendiri. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan kepada benda uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda uji tersebut.



Gambar 2.17 Grafik Pemb bebanan dan Pertambahan Panjang
Sumber : Sofyan, 2010 : 29

Pada pengujian tarik diberikan beban statik yang meningkat secara perlahan sampai spesimen mengalami patah. Selama pembebanan dilakukan alat perekam pertambahan beban dan perpanjangan yang terjadi pada spesimen ditampilkan dalam bentuk grafik seperti dicontohkan pada gambar 2.11. Grafik tersebut kemudian dikonversi ke dalam garfik tegangan dan regangan dengan menggunakan persamaan (2-1) untuk mencari nilai tegangan dan untuk mencari nilai regangan menggunakan rumus persamaan (2-2). Dari grafik tegangan-regangan pada gambar 2.12 kita dapat menganalisis sifat mekanik (tarik) material, yang dapat dibagi dalam (1) daerah deformasi elastis, (2) deformasi plastis, (3) tegangan tarik maksimum, (4) daerah *necking*, dan (5) tanganan patah. (Sofyan, 2010 : 28)



Gambar 2.18 Grafik Hubungan Tegangan – Regangan dan Fenomena Benda Kerja
Sumber : Sofyan, 2010 : 33

Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan ke spesimen uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujungnya. Dalam pengujian ini yaitu menguji spesimen yang dijepit kedua ujungnya kemudian diberikan pembebanan tarik yang makin lama makin besar oleh hydrolis hingga spesimen putus.

Tarikan adalah pemberian gaya terhadap suatu material, dengan gaya sejajar namun berbeda arah. Sedangkan kekuatan tarik adalah kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimal sebelum putus di anggap data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan-perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini. Kekuatan tarik pada baja akan naik seiring dengan naiknya kadar karbon dari paduan. (Material Testing

Book Universitas Brawijaya, 2014). Secara skematik tegangan tarik pada material dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (2-1)$$

dengan :

σ_{\max} = Tegangan tarik maksimum (N/m²)

F_{\max} = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (m²)

Sedangkan regangan (persentase penambahan panjang) pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (2-2)$$

dengan :

ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang batang uji mula (m)

L = Panjang batang uji akhir (m)

2.10 Energi panas *friction welding*

Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa tekanan gesek yang homogen akan menyebar pada benda kerja yang berputar. Energi panas yang dihasilkan oleh gesekan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan rumus berikut ini.

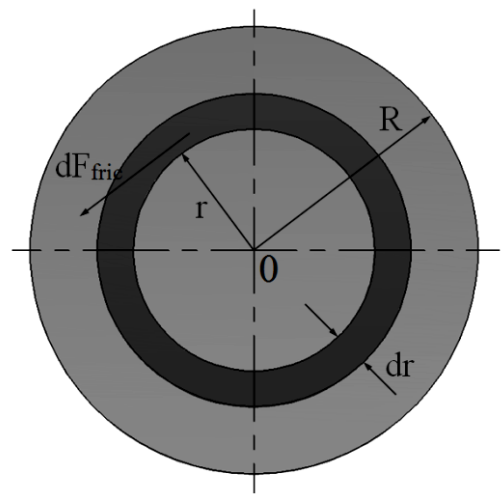
$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \ ; \ (\text{Watt}) \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut dan dM_t adalah nilai momen torsi pada tebal lingkaran (dr). Maka, nilai torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$dM_t = r \cdot dF_{\text{friction}} \ ; \ (\text{Nm}) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana nilai dF_{friction} adalah gaya gesek pada ketebalan lingkaran (dr) dan, (r) adalah jari-jari lingkaran. Kemudian, hal tersebut dapat dikatakan bahwa gaya gesek (dF_{friction}) setara dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya tekan aksial (p), hal ini karena gesekan ditimbulkan akibat adanya putaran dan gaya penekanan pada permukaan

benda. Karena gesekan terjadi pada pipa dengan tebal lingkaran (dr), maka gaya gesek dikalikan dengan luas ketebalan pipa.



Gambar 2.19 Friction Surface
 Sumber: Mumin Sahin, (2010)

$$dF_{friction} = \mu \cdot p \cdot 2\pi r \cdot dr \dots\dots\dots (2 - 3)$$

Substitusikan persamaan (2 - 3) ke dalam persamaan (2 - 2), maka :

$$dM_t = r \cdot (\mu \cdot p \cdot 2\pi r \cdot dr) \dots\dots\dots (2 - 4)$$

substitusikan persamaan (2 - 4) ke dalam persamaan (2 - 1), maka didapatkan :

$$dQ = \omega \cdot (\mu \cdot p \cdot 2\pi r^2 \cdot dr)$$

$$dQ = 2\pi \cdot r^2 \cdot \omega \cdot \mu \cdot P \cdot dr \dots\dots\dots (2 - 5)$$

Untuk mencari nilai kalor yang dihasilkan oleh gaya gesekan pada silinder pejal, maka rumus untuk mencari nilai kalor silinder pipa pada persamaan (2 - 5) diintegalkan dengan menggunakan nilai jari-jari (R), sebagai berikut :

$$\int_0^R dQ = \int_0^R (2\pi \cdot r^2 \cdot \omega \cdot p \cdot dr)$$

$$= \omega \cdot p \cdot \int_0^R (2\pi \cdot r^2 \cdot dr)$$

$$= \omega \cdot p \left[\left(\frac{1}{3} \cdot 2\pi \cdot r^3 \right)_0^R \right] \dots\dots\dots (2 - 6)$$



Dengan menjabarkan persamaan integral (2 – 6) di atas, maka didapatkan persamaan berikut :

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot R^3 \dots\dots\dots (2 - 7)$$

Persamaan (2 – 7) di atas merupakan persamaan hubungan antara gaya gesekan dengan energi panas yang dihasilkan oleh gesekan yang terjadi pada permukaan benda silinder pejal (permukaan lingkaran penuh). Hubungan tersebut dapat dibuktikan dengan penjabaran besaran satuan dari setiap variabel rumus persamaan di atas, sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot R^3$$

dengan :

\dot{Q} : (**Watt**), yakni jumlah energi mekanik per satuan waktu yang terjadi pada permukaan las gesek

p : (**N/m²**), yakni tekanan gesek

ω : (**rad/s**), yakni kecepatan sudut

R : (**m**), yakni jari-jari benda kerja/permukaan yang bergesekan

μ : Koefisien gesek

Substitusikan setiap variabel satuan di atas ke dalam masing-masing variabel pada persamaan rumus (2 – 7), sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \text{m}^3$$

$$\dot{Q} = \cancel{\text{rad}} \cdot \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q} = \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

Dengan :

$$1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{Joule}}{\text{s}} = 1 \text{ Watt}$$

Maka energi panas yang dihasilkan dari gaya gesekan permukaan benda pada pengelasan gesek dapat ditentukan dengan rumus persamaan (2–7) dengan hasil besaran satuan “ Joule/s” atau “watt”, dimana besaran satuan tersebut merupakan salah satu besaran energi panas.

2.11 Hipotesa

Berdasarkan teori dan beberapa penelitian mengenai pengelasan gesek yang sudah dilakukan semakin tinggi putaran spindle *chuck* serta pemberian tekanan yang tinggi maka gesekan dari dua buah material yang akan di las juga tinggi, sehingga mempercepat kenaikan suhu dari material yang bergesekan hingga kedua bidang material yang bergesekan tersebut melumer menjadi satu, dengan tingginya gesekan dari kedua material yang akan di sambung maka waktu yang di perlukan untuk menyambung dua material tadi bisa semakin cepat. Penggunaan sudut *chamfer* satu sisi akan memperluas permukaan yang bergesekan, dengan semakin luas permukaan yang bergesekan maka akan semakin kuat hasil dari sambungan pengelasannya, serta penggunaan variasi panjang *chamfer* pada baja St 41 mempengaruhi nilai kekuatan tarik, semakin luas permukaan yang bergesekan maka kekuatan tariknya semakin tinggi.

