

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sahin, dkk (2010) dalam penelitian yang dilakukannya menggunakan metode pengelasan *continuous friction welding*. Mendapatkan hasil bahwa ukuran diameter spesimen memiliki pengaruh terhadap laju aliran panas yang terjadi. Dimana laju aliran panas yang terjadi pada spesimen dengan diameter lebih kecil, lebih tinggi dibandingkan laju aliran panas yang terjadi pada spesimen dengan diameter lebih besar.

Haryanto, (2011) melakukan penelitian dengan judul pengaruh gaya tekan, kecepatan putar, dan waktu kontak pada pengelasan gesek baja St 60 terhadap kualitas sambungan las. Penelitian ini membuktikan bahwa hasil pengujian tarik dimana terjadi patahan diluar sambungan las, dan kekerasan pada sambungan las meningkat. Pada daerah las tidak terjadi porositas setelah di uji secara visual, sehingga dapat disimpulkan kualitas sambungan sangat baik karena kedua material yang disambungkan meleleh dengan baik.

Audinandra, (2011) melakukan penelitian dengan judul Analisa pengaruh waktu gesekan terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik pada pipa baja ASTM A106 dengan metode *direct-drive friction welding*. Proses pengelasan dilakukan dengan kecepatan putar 4125 Rpm, variasi waktu 50, 60, 70, 80, dan 90 detik, lalu tekanan gesek 15 kg/cm^2 , dengan tekanan tempa sebesar 70 kg/cm^2 . Hasil yang diperoleh dari penelitian ini ialah semakin lama waktu gesekan maka semakin besar kekuatan sambungan yang dihasilkan, sedangkan dimensi akurasi semakin menurun dengan tekanan tempa yang sama.

Sanyoto, (2012) melakukan penelitian dengan judul penerapan teknologi las gesek (*friction welding*) dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah. Penelitian tersebut memvariasikan waktu gesek sebesar 15, 20, 25, 30, 35 detik. Proses lain yang dianggap konstan yaitu kecepatan putar 4125 rpm, tekanan gesek sebesar 15 kg/cm^2 , dan tekanan tempa 70 kg/cm^2 . Penelitian ini mendapatkan hasil dari waktu 15, 20, 25, 30, 35 detik ialah 402°C , 418°C , 437°C , 470°C , 490°C . Hasil yang diperoleh ialah waktu gesek 35 detik yang paling baik karena semakin lama waktu gesek temperatur yang terjadi semakin meningkat dan logam yang melebur lebih sempurna sehingga membuat kekuatan tariknya meningkat.

2.2 Pengelasan

Pengelasan ialah salah satu metode penyambungan dua buah logam atau lebih. Menurut Deutsche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk melumerkan atau mencairkan logam yang akan dilas. Berdasarkan cara kerja pengelasan pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Pengelasan cair ialah metode pengelasan dimana ketika proses pengelasan, kedua material yang akan disambungkan akan memasuki tahap mencair agar dapat melumer dan menghasilkan ikatan saat pendinginan. Berikut ini jenis –jenis Pengelasan cair :

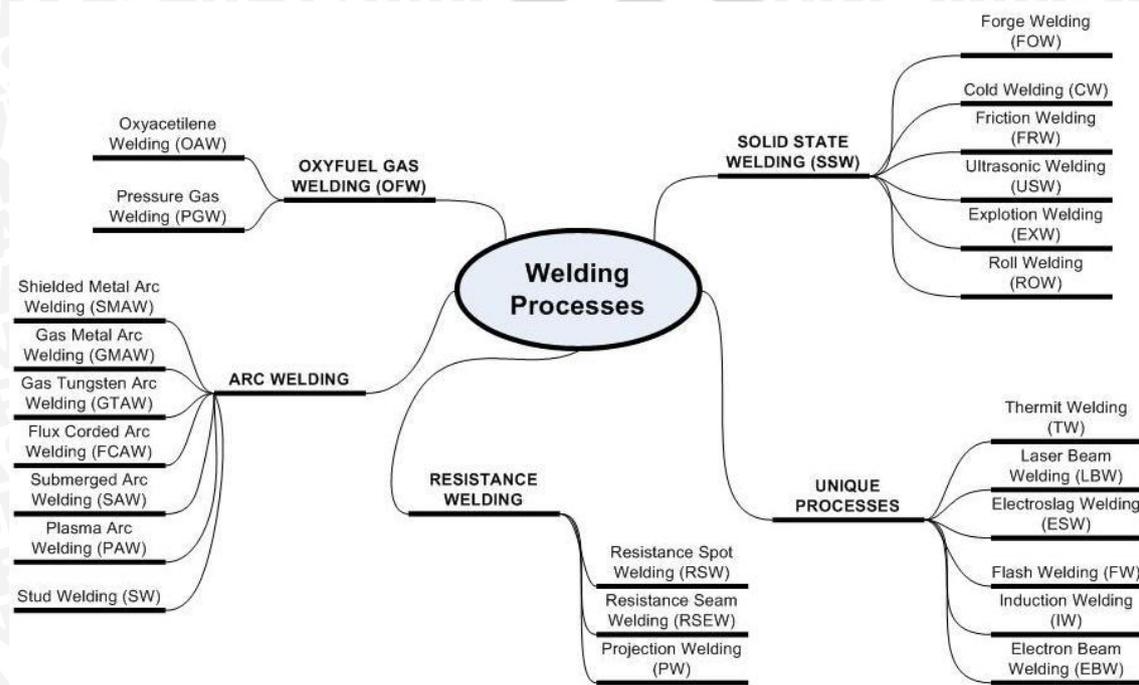
- Las gas
- Las listrik terak
- Las listrik gas
- Las listrik termis
- Las listrik elektron
- Las busur plasma

2. Pengelasan tekan ialah, pengelasan yang dilakukan untuk menyambungkan material dengan proses pemberian panas terlebih dahulu untuk meleburkan logam (muzzy /nugget) kemudian diberikan penekanan untuk menghasilkan sambungan pada logam. Berikut ini jenis –jenis Pengelasan Tekan :

- Las resistensi listrik
- Las titik
- Las penampang
- Las busur tekan
- Las tekan
- Las tumpul tekan
- Las tekan gas
- Las tempa
- Las gesek
- Las ledakan
- Las induksi
- Las ultrasonik

3. Pematirian ialah proses menyambungkan material dengan menggunakan logam dengan titik cair rendah, logam induk yang digabungkan dalam proses ini tidak memasuki tahap mencair, hanya logam pengisinya yang cair dan saat dingin menggabungkan dua logam tersebut.

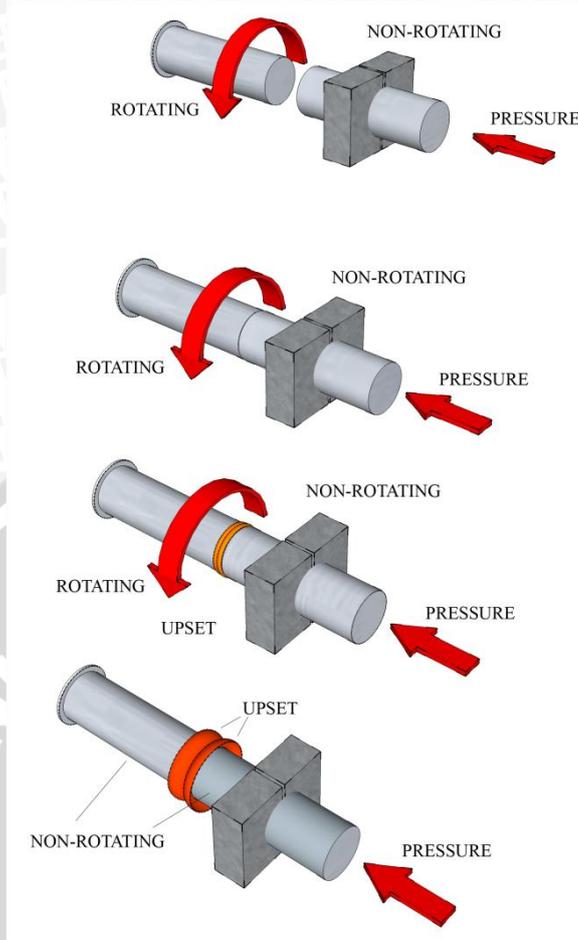
Pada gambar dibawah ini terlihat bahwa ada beberapa macam klasifikasi pengelasan selain klasifikasi pada umumnya.



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan
Sumber : Kusuma Wardany, 2010

2.3 Friction Welding

Friction welding adalah proses penyambungan dimana panas yang dihasilkan dari proses gerakan relatif dari dua permukaan benda yang akan disambungkan. Proses ini bergantung pada konversi dari energi mekanik menjadi energi termal untuk proses pengelasan tanpa adanya sumber termal dari media lain, Stanley (2011). Menurut Tyagita, dkk (2014), *Friction welding* memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan *fusion welding* yaitu: lebih menghemat material, dapat menyambung benda bulat maupun tidak bulat, dapat menyambung material yang serupa maupun menyambung material yang berbeda jenisnya (dissimilar). Menurut Astrom (2006) Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan, sehingga panas dari gesekan mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan.



Gambar : 2.2 Proses *Friction Welding*
 Sumber : Gatwick Technologies, 2013

Pada pengelasan gesek mengalami empat perubahan *phase* yaitu, *phase solid*, *phase transisi (muzzy/nugget)*, *phase steady*, dan *phase pendinginan*. Gesekan mulai terjadi pada *phase solid* dimana panas akan mulai timbul akibat gesekan kedua material menuju *phase transisi*, dimana fase tersebut logam mulai melunak (*muzzy/nugget*) dan mengalami peningkatan panas sejalan dengan kecepatan putar dan tekanan yang diberikan, lalu *phase steady* saat gesekan berhenti saat penekanan akhir dan panas mulai menurun serta mulai terjadi ikatan mekanis pada sambungan. *Phase pendinginan* dimana saat logam sudah terjadi ikatan pada sambungan serta suhu sudah menurun. (Santoso, et. al. 2012). Tidak hanya aluminium, logam-logam lain seperti stainless steel atau bahkan tembaga dan baja terbukti dapat dilas dengan metode *friction welding*. Selain itu pengelesan gesek dibagi menjadi 2 yaitu:

1. *Linear Friction Welding*

Linear friction welding merupakan metode pengelasan dengan mendapatkan panas dari dua buah material yang bergesekan. Mekanisme pengelasan ini yaitu, dimana salah satu logam berputar relatif terhadap logam lainnya dan logam

lainnya tidak berputar namun memberi tekanan pada logam yang berputar untuk mendapatkan panas akibat gesekan. Panas yang terjadi akibat gesekan membuat kedua logam tersebut melunak (*muzzy/nugget*), lalu pada suhu 0,8 Tm sudah cukup untuk membuat kedua partikel logam tersebut tercampur dan saling berikatan sehingga terjadilah proses pengelasan

2. *Friction Stir Welding*

Friction Stir Welding merupakan metode pengelasan dengan menggunakan pahat (*tools*) untuk mendapatkan panas. Mekanisme pengelasan ini yaitu dengan menempatkan kedua logam yang akan dilas secara berdampingan, lalu pahat (*tools*) di putar dan di gesek kan di antara kedua logam yang berdampingan tersebut untuk mendapatkan panas. Sehingga panas dari putaran pahat (*tools*) yang bergesekan dengan benda kerja dapat membuat kedua partikel logam tersebut tercampur dan saling berikatan.

2.4 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.

2.5 Keunggulan *Friction Welding*

Dalam dunia pengelasan sudah banyak dilakukan pengerjaan menggunakan *fusion welding*, namun masih ada kendala dalam *fusion welding*. Perkembangan *friction welding* sudah sangat pesat, maka dapat dipertimbangkan keunggulan menggunakan *friction welding* untuk menangani masalah yang ada pada *fusion welding*. Berikut keunggulan *friction welding*:

1. Proses pengelasannya tanpa adanya limbah asap, percikan api, dan terak
2. Meminimalkan porositas pada hasil pengelasan
3. Daerah HAZ yang dihasilkan sangat sempit.
4. Proses pengelasan yang terbilang cepat
5. Kekuatan yang dihasilkan cukup baik mendekati logam induk
6. Dapat digunakan untuk logam yang berbeda (dissimilar)
7. Dapat dilakukan pengelasan di temperatur rendah, dengan mempertahankan mikrostruktur dan sifat materialnya

2.6 Klasifikasi Baja dan Tembaga

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 :

- Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%
- Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon 0,3% - 0,45%
- Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45% - 1,70%

Pada baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila pengerjaannya baik. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.(Wiryosumarto, 1991)

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 2.3 Klasifikasi Baja Karbon
Sumber : Wiryosumarto, (2010 : 4)

2.6.1 Definisi Baja St 41

Baja merupakan paduan antara besi dengan karbon. 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)

Baja karbon St 41 merupakan baja karbon rendah sehingga kandungan karbon pada Baja St 41 sekitar 0,1 %, dan Tensile Strength baja karbon St 41 sekitar 410 kg/mm². Baja kadar karbon rendah biasanya digunakan pada konstruksi karena kekuatannya yang cukup baik (Suherman, Wahid. 1999)

2.6.2 Definisi Tembaga

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 2.4 Tabel *properties* tembaga

Sumber : *ASM Metal Handbook Properties and selection*

Tembaga dapat dijadikan paduan yang baik contohnya ialah :

1. Kuningan (Brasses)

Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng. Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan, dan kuningan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah untuk di bentuk ke dalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dari air garam. Karena sifat-sifat tersebut, kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, radiator, alat musik, aplikasi kapal laut, dan *casing cartridge* untuk senjata api.

2. Perunggu (Bronze)

Perunggu adalah campuran tembaga dengan unsur kimia lain, biasanya dengan timah, walaupun bisa juga dengan unsur-unsur lain seperti fosfor, mangan, aluminium, atau silikon. Perunggu bersifat keras dan digunakan secara luas dalam industri. Perunggu biasanya digunakan sebagai arca-arca, senjata tajam, dan sebagainya.

2.7 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 *linear friction welding* ini, ialah:

1. *Valve* / Katup pada mesin motor bakar
2. *Connecting rod*
3. *Crank Shaft*
4. *Tie rod*
5. *Machining tool*
6. *Steering*
7. *Gear*



Gambar 2.5 Aplikasi Las Gesek
Sumber : *Manufacturing Tecnology INC*

2.8 Cacat Pengelasan

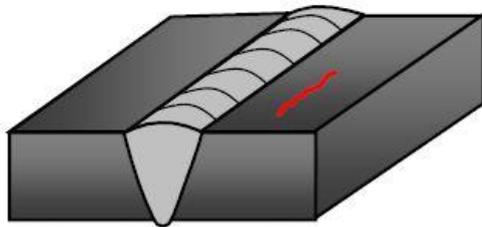
Dalam dunia pengelasan banyak faktor yang mempengaruhi proses pengelasan. Faktor-faktor pengelasan yang berdampak buruk pada pengelasan sangatlah merugikan pada perusahaan-perusahaan produksi, karena membuat hasil dari produk yang kurang maksimal sehingga membuat konsumen serta pengguna produk pengelasan akan beralih keprodusen yang lebih baik. Dunia pengelasan sangatlah penting dalam dunia konstruksi karena pengelasan merupakan sambungan vital yang sangat bergantung pada konstruksi ringan, berat, serta transportasi, jika hasil pengelasan kurang sempurna maka mengakibatkan kerusakan yang sangat merugikan konsumen, bahkan dapat membahayakan pada keselamatan konsumen.

Cacat pengelasan merupakan kegagalan pada saat proses pengelasan karena faktor-faktor tertentu yang mengakibatkan hasil pada pengelasan kurang sempurna, sehingga menyebabkan kekuatan pada hasil pengelasan juga buruk. Cacat pengelasan sendiri ada banyak tergantung dari factor-faktor yang mempengaruhi pada saat proses pengelasan.

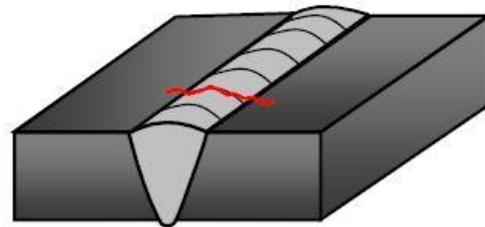
Berikut ini jenis-jenis cacat pada pengelasan yang dapat mempengaruhi tampilan serta kekuatan pada hasil pengelasan :

1. Cacat las Retakan (*cracked*)

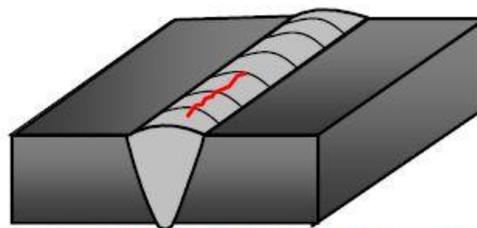
Cracks



Longitudinal parent metal crack



Transverse weld metal crack



Longitudinal weld metal crack

Gambar 2.6 Cacat las retakan
Sumber : Bina Aji, 2013

Cacat las retakan merupakan cacat pengelasan yang terlihat retakan pada hasil pengelasan karena pengaruh suhu, cacat las retakan dibagi menjadi dua yaitu, retak dingin dan retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi pada daerah las pada suhu kurang lebih 300°C . Sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu di atas 500°C . Retak dingin tidak hanya terjadi pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) atau sering disebut dengan daerah pengaruh panas tetapi biasanya terjadi pada logam las. Retak dingin ini dapat terjadi pada daerah panas yang sering terjadi. Dan retakan ini dapat dilihat dibawah manik Ias, retak akar dan kaki, serta retak melintang.

Retak dingin didaerah HAZ ini biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan. Retak dingin ini disebabkan oleh :

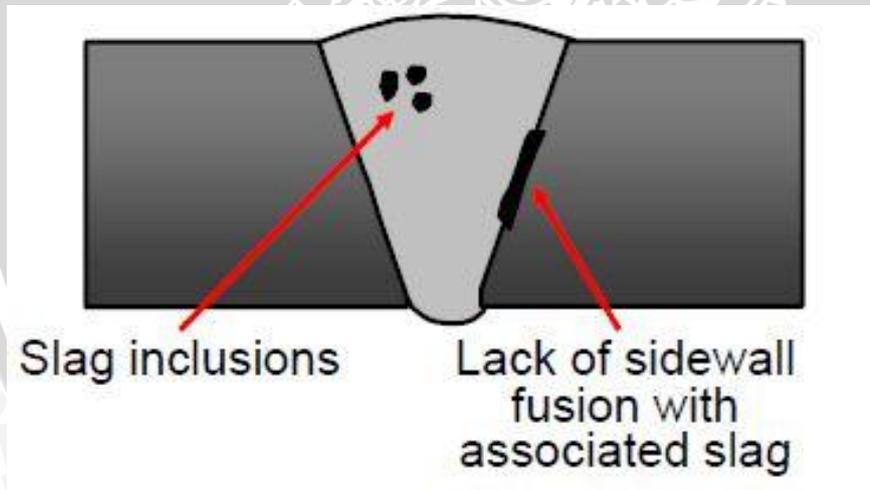
- Struktur daerah pangaruh Panas.
- Hidrogen difusi didaerah las, dan Tegangan.

Sedangkan retak panas dibagi menjadi dua kelas yaitu retak karena pembebasan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada suhu 500°C - 700°C

dan retak yang terjadi pada suhu diatas 900°C yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las. Retak panas sering terjadi pada logam las karena pembekuan, biasanya berbentuk kawah dan retak memanjang. Retak panas ini terjadi karena pembebasan tegangan pada daerah kaki didalam daerah pengaruh panas. Retak ini biasanya terjadi pada waktu logam mendingin setelah pembekuan dan terjadi karena adanya tegangan yang timbul, yang disebabkan oleh penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu dibawah suhu pembekuan. Keretakan las yang lain adalah retak sepanjang rigi-rigi lasan retak disamping las dan retak memanjang diluar rigi-rigi lasan. Akan tetapi penyebab umum pada semua jenis keretakan las ini adalah:

- Pilihan jenis elektroda yang salah atau tidak tepat.
- Benda kerja terbuat dari baja karbon tinggi.
- Pendinginan setelah pengelasan yang terlalu cepat.
- Benda kerja yang dilas terlalu kaku.
- Penyebaran panas pada bagian-bagian yang di las tidak seimbang.

2. Cacat las inklusi

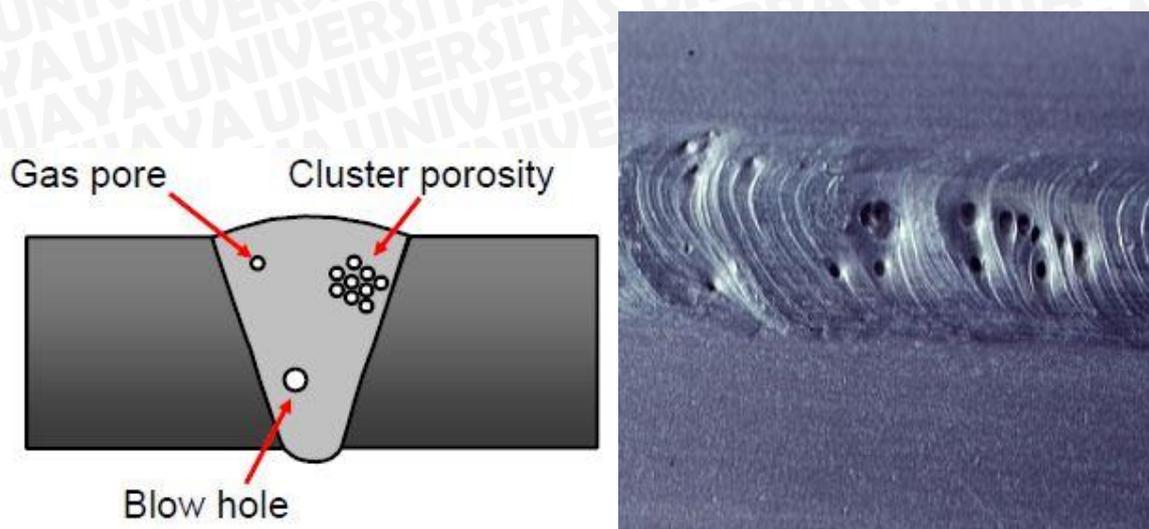


Gambar 2.7 Cacat las inklusi

Sumber :Bina Aji, 2013

Cacat las inklusi adalah Cacat ini disebabkan oleh pengotor (inklusi) baik pada produk logam sendiri karena reaksi gas atau berupa unsur-unsur dari luar, seperti: terak, oksida, logam *wolfram* atau lainnya. Cacat ini biasanya terjadi pada daerah bagian logam las (*weld metal*). Hal ini juga dapat diakibatkan penggunaan flux pada pengelasan yang berlapis.

3. Cacat las Porositas



Gambar 2.8 Cacat las porositas
Sumber : Bina Aji, 2013

Cacat Las Porositas adalah salah satu jenis cacat pengelasan yang disebabkan karena terkontaminasinya logam las dalam bentuk gas yang terperangkap sehingga di dalam logam las terdapat rongga-rongga. Porositas merupakan cacat las yang cukup umum, tetapi juga cukup mudah untuk memperbaikinya. Porositas terjadi dalam bentuk lubang bulat, yang disebut *spherical porosity*, Jika lubangnya memanjang disebut wormholes atau piping. Kemungkinan Penyebab terjadinya Porositas pada las-lasan :

- Mengelas dengan kondisi logam pengisi terkontaminasi dengan air, cat, lemak, minyak, dan lem yang dapat menyebabkan terbentuknya dan melepaskan gas bila terjadi pengelasan.
- Kampuh Las yang kotor oleh air, minyak, cat dan kotoran-kotoran yang lain yang dapat menyebabkan terbentuknya gas bila terjadi pengelasan.
- Selang gas yang terjepit atau rusak sehingga tidak memberikan suplay shielding gas yang cukup.
- Aliran gas terlalu tinggi. Aliran gas yang terbuka lebar yang menghasilkan kecepatan aliran gas yang tinggi menciptakan turbulensi dan dapat menarik udara luar ke zona lasan. Selain itu, itu adalah pemborosan gas dan menambah biaya yang tidak perlu untuk suatu proyek.
- Elektroda SMAW, elektroda FCAW, dan las busur terendam (SAW) fluks yang menyerap kelembaban dalam lingkungan yang tidak dilindungi. Untuk

mengatasi kelembaban dalam proses pengelasan, standard cukup jelas tentang penggunaan pengering dan oven untuk menyimpan bahan-bahan ini.

- Lapisan galvanisasi dapat membuat masalah. Zinc meleleh pada sekitar 420 derajat C dan titik didih sekitar 920 derajat celcius. Pada temperatur pengelasan jauh melebihi 2.000 derajat C terjadi perubahan seng (zink) dari solid menjadi gas dalam sepersekian detik.
- Kelembaban udara sekitar juga dapat menyebabkan masalah, seperti terjadinya embun pagi.
- Penyalahgunaan senyawa *antispatter*, semprotan, atau gel bisa menjadi penyumbang utama porositas. Bila digunakan secara berlebihan, bahan *antispatter* menjadi kontaminan, mendidih menjadi gas bila terkena suhu tinggi las busur.
- Hembusan angin/udara yang dapat mengganggu aliran shielding gas selama proses pengelasan. Aliran udara ini jika melebihi dari 4 sampai 5 mil per jam, dapat mempengaruhi proses pengelasan.

2.9 Energi panas *friction welding*

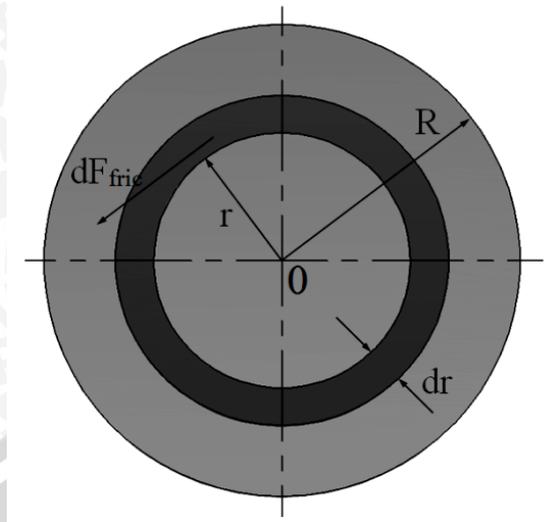
Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa tekanan gesek yang homogen akan menyebar pada benda kerja yang berputar. Energi panas yang dihasilkan oleh gesekan tersebut dapat dinyatakan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

$$dQ = \omega \cdot dM_t ; (\text{Watt}) \dots\dots\dots (2 - 1)$$

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

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

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 2.9 *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 :

$$d\dot{Q} = \omega \cdot (\mu \cdot p \cdot 2\pi r^2 \cdot dr)$$

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot r^2 \cdot \omega \cdot \mu \cdot P \cdot dr \dots\dots\dots (2 - 5)$$

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

$$\int_0^R d\dot{Q} = \int_0^R (2\pi \cdot r^2 \cdot \omega \cdot p \cdot dr)$$

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

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

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 :

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

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

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

Dengan :

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

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

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.

2.10 Sifat-sifat Material

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.

2.10. 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 satu 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 keregangan.

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 permanent. 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.

2.10.2 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:

A. 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.

B. 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.

C. 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.

D. 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.

E. 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.

2.10.3 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.

1. 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.

2. 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.

3. 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 butir 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.

2.10.4 Sifat Kimia Bahan Material Logam

Sifat kimia adalah sifat yang dimiliki oleh bahan yang berhubungan dengan tingkat reaktivitas terhadap zat lain. Yang termasuk dalam katagori sifat kimia bahan adalah: ketahanan terhadap korosi, aktivitas, daya larut, potensial elektrokimia dan sebagainya.

Bahan yang menunjukkan ketahanan terhadap serangan korosi disebut sebagai bahan tahap korosi. Dan Bahan yang dapat melarutkan bahan lain disebut sebagai bahan pelarut.

Pada prinsipnya Sifat-sifat yang dimiliki oleh suatu bahan logam dapat diketahui dan dinyatakan atau direpresentasikan secara kuantitatif dengan melakukan beberapa metoda pengujian.

2.11 Pengujian Sifat Material

A. 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.

B. 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 indentor pada permukaan bahan atau logam. Kemudian luas atau dimensi atau diameter dari jejak penekanan/indentasi diukur.

Biasanya indentor 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*

1. Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*

Pada metoda *Brinell*, indentor 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.

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

3. Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*

Prinsip dari pengujian kekerasan metode *Vickers* mirip dengan metode *Brinell*. Sudut indenter piramida berlian *Vickers* adalah 136 derajat, Jejak indentasi yang dihasilkan oleh indenter *Vickers* lebih jelas, daripada jejak indenter dari pengujian metoda *Brinell*. Sehingga metode 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.

C. 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

D. 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.

2.12 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik dimaksudkan untuk menentukan *unit tensile strength*, *ductility*, serta *hardness* 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 itu sendiri. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan kepada benda 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 kekuatan mekanik ataupun hidrolis hingga spesimen putus.

Tarikan adalah pemberian gaya atau beban terhadap suatu material atau spesimen dengan gaya sejajar (berbeda arah). Kekuatan tarik merupakan 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 pertambahan 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)

2.13 Hipotesis

Dugaan sementara berdasarkan teori mengenai variasi pengaruh *friction time* ialah semakin lama *friction time* maka semakin tinggi nilai kekuatan tariknya dikarenakan semakin sempurnanya kedua logam yang dilas untuk melebur dan saling mengikat.

Sebaliknya jika variasi *friction time* pada pengelasan gesek semakin cepat maka semakin rendah nilai kekuatan tariknya, karena salah satu dari kedua logam tersebut belum melebur sempurna karena perbedaan suhu lebur dari material yang akan dilas tidak sama, sehingga memungkinkan salah satu dari kedua logam tersebut belum melebur dengan baik, membuat hasil pengelasan terjadi porositas dan menurunkan kekuatan

Sehingga untuk mendapatkan hasil pengelasan yang baik ialah *friction time* yang paling lama, karena panas yang dihasilkan akan membuat kedua material tersebut melebur sempurna dan menghasilkan daerah sambungan yang baik.