

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut penelitian Tyagita, dkk (2016) tentang “Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW Plat Baja ST 37 Dengan Pendingin *Liquid*” nilai rata-rata tegangan tarik dengan menggunakan pendinginan oli dicelup sampai dingin memiliki nilai tegangan tertinggi yaitu sebesar 144,27 kgf/mm² mengalami kenaikan 5,64 kgf/mm² dari perlakuan pendinginan oli selama 5 detik yaitu 138,63 kgf/mm². Sedangkan pendinginan dengan menggunakan air radiator *Coolant* dicelup sampai dingin memiliki nilai tegangan rata-rata 142,03 kgf/mm² mengalami kenaikan 7,86 kgf/mm² dari perlakuan pendinginan RC 5 detik yaitu 134,17 kgf/mm². Sedangkan perlakuan pendinginan oli dicelup sampai dingin mengalami peningkatan sebesar 2,24 kgf/mm² dari perlakuan pendinginan RC dicelup sampai dingin yaitu 142,03 kgf/mm². Nilai tegangan rata-rata terendah didapat pada perlakuan pendinginan RC 5 detik yaitu 134,17 kgf/mm² mengalami penurunan sebesar 4,46 kgf/mm² dari perlakuan pendinginan oli 5 detik yaitu 138,63 kgf/mm².

Menurut penelitian Nukman, (2009) tentang “Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah Akibat Variasi Bentuk Kampuh Las dan Mendapat Perlakuan Panas *Annealing* dan *Normalizing*”, diperoleh kekuatan tarik pada spesimen tanpa dilakukan proses pengelasan dan perlakuan panas

sebesar 42,428 kgf/mm², terendah pada *anealling* sebesar 32,04 kgf/mm², sedangkan untuk spesimen yang dilakukan proses pengelasan tegangan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen dengan jenis V ganda (X) dilakukan proses perlakuan *normalizing* sebesar 52,85 kgf/mm² dan yang terendah pada persegi I dengan proses perlakuan *anealling* sebesar 40,10 kgf/mm².

Menurut penelitian Faidillah, dkk (2008) tentang “Pengaruh Pendinginan Radiator *Colant* (RC) AHM Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW Pada Plat Baja ST 37” didapatkan data hasil pengujian bahwa pendinginan Oli SAE 10W-40 dicelup sampai dingin memiliki nilai rata-rata tegangan, regangan yang tinggi, yaitu rata-rata memiliki tegangan 144,27 kgf/mm² dan regangannya 5,19 % kemudian disusul oleh radiator *coolant* (RC) dicelup sampai dingin memiliki tegangan 142,03 kgf/mm² dan regangan paling terendah diantara perlakuan pendinginan yang lain yaitu 3,65 %. Sedangkan pada perlakuan pendinginan Oli dicelup selama 5 detik memiliki nilai rata-rata tegangan 138,63 kgf/mm² dan regangan 5,13 % kemudian disusul oleh radiator *coolant* (RC) dicelup selama 5 detik memiliki tegangan 134,17 kgf/mm² dan regangan 4,03 %. Pada hasil pengelasan dengan perlakuan pendinginan RC dicelup sampai dingin memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi yaitu 38,93 kgf/mm² dibandingkan dengan pendinginan RC 5 detik 33,33 kgf/mm², Oli 5 detik 26,99 kgf/mm² dan Oli dicelup sampai dingin 27,83 kgf/mm².

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Klasifikasi baja

Baja adalah paduan yang mengandung unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta unsur-unsur lain seperti mangan (Mn), molybdenum (Mo), vanadium (V), silikon (Si), nikel (Ni), dan lain-lain dalam nilai presentasi yang kecil (Beumer, B.J.M., 1994., Ilmu Bahan Logam., hal:20).

Menurut (Saito, 2000), baja karbon menurut kandungan kimianya dibedakan yaitu antara lain:

- a. Baja karbon rendah memiliki kadar karbon 0,05-0,3% (*low carbon steel*) sifatnya mudah ditempa dan mudah dimesin, biasanya digunakan untuk body mobil, bus dan lain sebagainya.
- b. Baja karbon sedang memiliki kadar karbon 0,3-0,5% (*medium carbon steel*), kekuatannya lebih besar dari pada baja karbon rendah sifatnya sulit dibengkokkan, dipotong dan dilas. Penggunaannya untuk konstruksi bangunan, konstruksi jembatan, bahan pada komponen mesin, golok, dan lain sebagainya.
- c. Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon 0,5-1,5% (*hight carbon steel*). Sifatnya sulit dibengkokkan, dipotong, dan dilas. pengaplikasiannya seperti pada baja kawat, kabel tarik dan angkat, kikir, pahat bubut, dan gergaji.

d. Baja yang memiliki kadar karbonnya sangat rendah yaitu kurang dari 0,025% disebut baja feritik dan yang mengandung 0,8% disebut baja pearlitik. Baja feritik hampir sama dengan besi murni atau hanya sedikit mengandung karbon. Karbon member bersifat kuat dan keras. Ferrit sifatnya lemah akan tetapi mempunyai sifat ulet hanya terbentuk pada temperatur yang rendah dan bersifat magnetik. Sementit yaitu senyawa antara besi dan karbon yang dikenal dengan besi karbida (Fe_3C) memiliki karbon 6,67% bersifat kuat dan keras serta magnetik. Perlit yaitu baja yang fasanya terdiri dari campuran ferrit dan sementit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$), bersifat keras dan magnetik (Saito, 2000).

Sifat-sifat mekanik baja dapat dipengaruhi dengan cara mengadakan ikatan karbon dan besi. Schonmrtz (1985) mempunyai tiga penyusun utama kristal pada saat karbon mengadakan ikatan dengan besi yaitu:

- a. Ferrit adalah besi murni (Fe), terletak rapat saling berdekatan dan tidak teratur baik bentuknya maupun dimensinya. Ferrit adalah salah satu bagian dari baja yang lunak, ferrit murni tidak dapat aplikasikan sebagai material untuk benda kerja yang menerima beban karena kekuatan dari ferrit lebih kecil.
- b. Karbid besi (Fe_3C) yaitu merupakan senyawa kimia antara besi dengan karbon. Peningkatan kandungan karbon akan

menahan kadar sementit, sementit dalam baja merupakan unsur yang paling keras.

- c. Perlit yaitu merupakan campuran antara ferrit dan sementit memiliki kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis seperti lamel.

1. Sifat mekanik baja

Sifat mekanik dari bahan yaitu kekuatan atau kemampuan bahan untuk menerima beban yang dikenakan padanya. Beban tersebut dapat berupa beban tarik, beban tekan, beban geser, beban puntir, bengkok, atau beban yang dikombinasikan. Sifat-sifat mekanik bahan yang terpenting yaitu sebagai berikut (Murtiono, 2012):

- a. Kekuatan (*strength*) yaitu kemampuan dari suatu bahan menerima tegangan, tanpa mengakibatkan material atau bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa jenis dan tergantung dari beban yang dikenainya antara lain dapat ditunjukkan dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan puntir, kekuatan tekan, dan kekuatan bengkok.
- b. Kekerasan (*hardness*) yaitu sebagai kemampuan dari suatu bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini sangat berhubungan dengan sifat keausan

- (*wear resistance*), dimana dari kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- c. Kekenyalan (*elasticity*) yaitu kemampuan dari suatu bahan untuk menahan tegangan tanpa menyebabkan adanya perubahan bentuk yang menetap setelah tegangan tersebut diiadakan. Kekenyalan menyatakan bahwa seberapa banyak perubahan bentuk yang secara menetap mulai terjadi, dengan sebutan lain kekenyalan juga menyatakan kemampuan dari suatu bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran awal setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
 - d. Kekuatan (*stiffness*) yaitu kemampuan dari suatu bahan untuk menerima dan menahan tegangan atau beban yang diberikan tanpa menyebabkan adanya perubahan bentuk (*deformasi*) atau defleksi.
 - e. Plastisitas (*plasticity*) yaitu kemampuan dari suatu bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang menetap tanpa menyebabkan adanya kerusakan. Dari sifat ini sangat dibutuhkan untuk bahan yang akan dilakukan proses pembentukkan seperti, *extruding, rolling, forging*, dan lain-lain. Sifat ini sering juga dikenal sebagai kekenyalan atau keuletan (*ductility*).
 - f. Ketangguhan (*toughness*) yaitu kemampuan dari suatu bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa menyebabkan adanya kerusakan, juga dapat dikatakan salah satu ukuran banyaknya

energi yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu benda uji atau benda kerja pada kondisi yang tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak aspek, sehingga sifat ini sulit untuk ditentukan dan diukur.

- g. Kelelahan (*fatigue*) yaitu kecenderungan dari suatu bahan untuk patah pada saat menerima tegangan yang berulang-ulang (*cyclic stress*), yang dimensinya jauh dari kemampuan kekuatan elastisitasnya. Banyak kerusakan yang terjadi pada komponen-komponen pada mesin diakibatkan oleh kelelahan, karena kelelahan merupakan salah satu sifat yang sangat penting tetapi dari sifat ini tidak mudah diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
- h. Keretakan (*creep*) yaitu kecenderungan dari suatu bahan yang mengakibatkan deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, dimana pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap.

2. Pengerasan baja (*Steel Surface Hardening*)

Pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan 2 proses yaitu seluruh bagian permukaan dikeraskan atau separuh dari permukaan tersebut yang dikeraskan. Manfaat utama dari pengerasan permukaan secara umum yaitu untuk memperbaiki ketahanan aus dan ketahanan korosi, pengerasan dari permukaan

baja meliputi *Induction Hardening* dan *Thermo Chemical Treatment*.

Proses kerja pada *Induction Hardening* yaitu dipanaskan permukaan baja sampai temperatur austenit yang sama dengan baja bersangkutan, kemudian disemprotkan pendingin sampai permukaan tersebut akan menjadi keras.

Proses kerja pada *Thermo Chemical Treatment* yaitu penambahan unsur karbon ke dalam baja dengan tujuan mengeraskan bagian dari permukaan baja bersangkutan. Penerapan pada prinsip *Thermo Chemical Treatment* yaitu *carburizing* (pengarbonan). *Thermo Chemical Treatment* dilakukan pada baja panduan yang memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%, pada kandungan karbon ini tidak dapat membentunya fasa martensit yang memiliki sifat keras.

Pengarbonan (*Carburising*) yaitu suatu proses dari penambahan kadar karbon pada permukaan baja agar mendapatkan sifat baja yang semakin keras tepatnya pada permukaan. Kondisi ini memang sangat dibutuhkan pada bagian komponen yang memiliki sifat tahan aus. Untuk pengarbonan yang padat menggunakan arang yang dipandukan dengan 10%-20% Na_2CO_3 / BaCO_3 . Baja dimasukkan ke dalam campuran tersebut dan ditempatkan pada suatu wadah, ditutup rapat dan kemudian

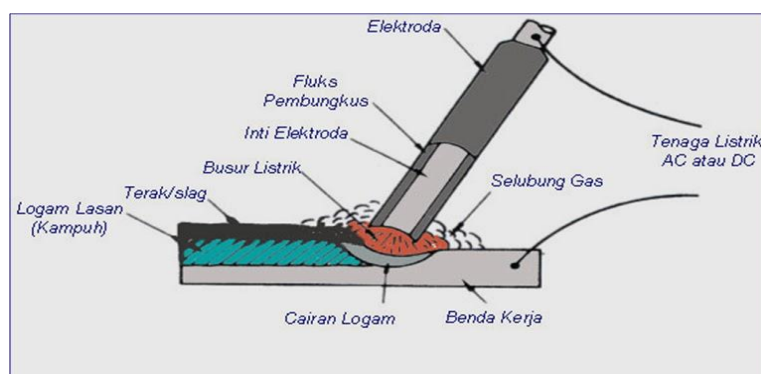
akhirnya dipanaskan. Dalam hal tersebut permukaan baja akan mempunyai kandungan karbon yang semakin tinggi dan kandungan dari karbon tersebut akan bervariasi dalam arah menuju inti. Sedangkan pada permukaan, kadar karbon tinggi akan berkurang dalam arah hingga menuju inti. Konsekuensinya, struktur mikro dapat berubah pada permukaan menuju inti.

Pendinginan cepat (*Quenching*) yaitu merupakan perlakuan panas dengan proses pendinginan cepat yang dilakukan pada suatu media pendingin salah satu contohnya pendinginan menggunakan oli atau air, tujuan dari proses ini agar mendapatkan sifat mekanik yang jauh lebih keras. Untuk baja panduan rendah dan baja panduan sedang dapat dilakukan pencelupan pendinginan dengan menggunakan air. Sedangkan untuk baja panduan tinggi dan baja panduan, dapat menggunakan minyak sebagai salah satu media pendinginan yang digunakan, pendinginannya menggunakan minyak tidak secepat pendinginan menggunakan air. Terdapat beberapa macam-macam jenis minyak yang digunakan sebagai media pendingin yaitu minyak mineral dengan laju pendinginan yang berlainan, sehingga dapat menghasilkan baja dengan beberapa tingkat kekerasan. Pada proses pendinginan yang lebih cepat dapat menggunakan media pendingin air tawar atau air laut dengan cara disemprotkan. Berbagai macam-macam dan jenis logam yang dapat dikeraskan dari proses pendinginan pada udara atau suhu ruang

dalam kata lain pendinginan lambat. Bahan dengan ukuran lebih besar, proses pendinginannya biasanya dicelup didalam minyak. Suhu dari media pendingin dapat dilakukan dengan merata, hal ini bertujuan untuk dapat mencapai perlakuan pendinginan yang merata. (Masyrukan, 2006).

2.2.2 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan busur nyala listrik dengan menggunakan batang elektroda atau pengelasan SMAW yaitu proses pengelasan yang menggunakan busur listrik sebagai salah satu sumber panas yang dihasilkan dan batang elektroda logam yang terbungkus dengan *fluks* sebagai pelindung. Busur listrik yang terbentuk diantara ujung elektroda dan logam induk, karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda terbungkus akan mencair dan kemudian membeku (Wiryo Sumarto, 1991)



Gambar 2.1 Pengelasan Elektroda Terbungkus
Sumber: (Pujo M, dkk 2008)

1. Arus pengelasan

Arus dari pengelasan yaitu besar kecilnya aliran listrik yang keluar dari mesin las. Pemakaian arus pengelasan yang akan digunakan dapat diatur pada alat mesin las. Arus pengelasan harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang digunakan dalam proses pengelasan. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan menyebabkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan menyebabkan terbentuknya manik las terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan (Saputra, dkk 2014).

Tabel 2.1. Hubungan diameter elektroda dengan arus listrik

Diameter Elektroda (mm)	Arus (Ampere)
2,5	60-90
2,6	60-90
3,2	80-130
4,0	150-190
5,0	180-250

Sumber: (Saputra, dkk 2014)

2. Elektroda las busur listrik SMAW

Pengelasan dengan memakai las busur listrik atau pengelasan SMAW menggunakan kawat pengisi (Elektroda) yang tersusun dari suatu inti, terbuat dari suatu logam dilapisi dengan lapisan yang dikombinasikan dengan campuran zat

kimia. Selain untuk pembangkit, untuk bahan tambah atau bahan pengisi.

Elektroda terdiri atas dua macam bagian penyusun adalah bagian yang terbungkus (*fluks*), dan bagian yang tidak terbungkus (*fluks*) yaitu berfungsi sebagai penjepit *holder* atau tang las. *Fluks* yang terdapat pada elektroda dalam melakukan proses pengelasan yaitu sebagai pelindung logam induk dari lingkungan udara bebas dan menghasilkan gas pelindung dan menstabilkan busur serta sebagai unsur panduan.

Pada umumnya dilihat dari material yang akan dilakukan proses pengelasan, elektroda dapat dibagi menjadi elektroda digunakan pada baja lunak, baja panduan tinggi, baja panduan, besi tuang, dan logam non ferro. Material elektroda harus memiliki sifat yang sama dengan material yang akan dilakukan proses pengelasan (Suharto, 1991). Pada baja panduan rendah, baja panduan medium, dan baja panduan tinggi penentuan elektroda pada proses pengelasan harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan dari pengelasan yang diinginkan harus sinkron dengan kekuatan bahan yang dilakukan proses pengelasan tersebut.

Pembuatan elektroda dilihat dari standart sistem AWS (*American Welding Society*), dan ASTM (*American Society*

Testing Material). Elektroda dengan jenis E6013 dapat digunakan pada semua posisi dari pengelasan dengan kode elektroda E6013 pada setiap angka dan setiap huruf memiliki arti tersendiri yaitu:

E = Elektroda digunakan pada las busur listrik.

60 = yaitu nilai tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan dikalikan dengan 1.000 Psi (60.000 Ib/in²)

1 = posisi pengelasan, 1 yaitu dapat aplikasikan pada semua posisi pengelasan.

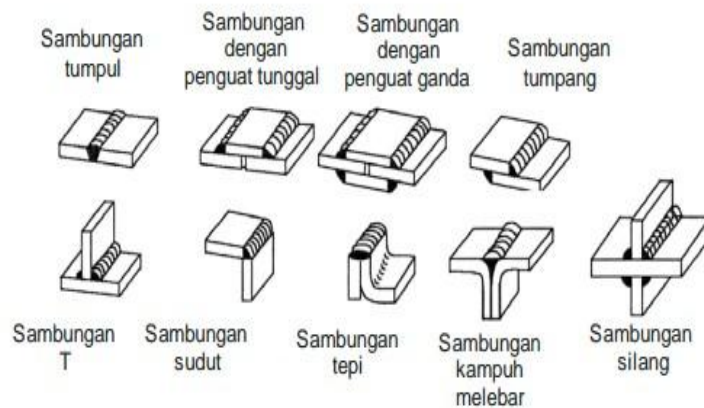
3 = Jenis dari selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan menggunakan arus lurus dan arus balik.

3. Sambungan Pengelasan

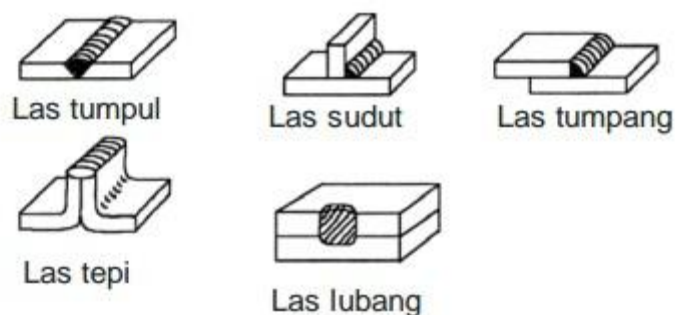
Dalam pembuatan alur pengelasan merupakan proses dari pemilihan bahan, pemotongan material yang sesuai dengan ukuran, melengkungkannya, serta menyambungkannya antara satu material dengan material lainnya. Dari setiap daerah yang telah dilakukan proses pengelasan dinamakan sambungan.

Ada beberapa jenis sambungan pengelasan yang ingin diterapkan yaitu berdasarkan dari dimensi dan kualitas material, alur pengelasan, bentuk struktur dan lain sebagainya. Sambungan pengelasan berdasarkan bentuknya dapat dibagi

menjadi sambungan tumpul, sambungan dengan penguat tunggal, sambungan dengan penguat ganda, sambungan tumpang, sambungan T, sambungan sudut, sambungan tepi, sambungan kampuh melebar. Sambungan pengelasan jenis kampuh dapat juga dibagi berdasarkan alur pengelasan, antara lain las tumpul, las sudut, las tepi, las lubang, las buildup (Sunaryo, 2008).



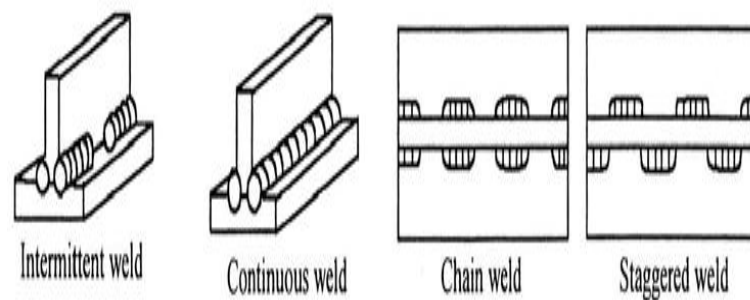
Gambar 2.2 Macam-macam sambungan las
Sumber: (Sunaryo, 2008)



Gambar 2.3 Macam-macam penerapan pengelasan
Sumber: (Sunaryo, 2008)

Pengelasan sudut dapat diaplikasikan sebagai pengelasan sudut dari bentuk sambungan T dan sambungan tumpang.

Pengelasan sudut pada sambungan T memerlukan persiapan kampuh alur ganda dan alur tunggal, jika diperlukan penetrasi yang lengkap. Las sudut dapat dibagi menurut cara pengelasan antara lain las terputus-putus, las menerus, las rantai dan las berselang-seling.



Gambar 2.4 Macam-macam las sudut
Sumber: (Sunaryo, 2008)

4. Kondisi-kondisi pengelasan

Kondisi-kondisi dari pengelasan meliputi metode dari pengelasan. Macam-macam arus pengelasan yang dapat digunakan yaitu arus AC (elektron positif) dan arus DC (elektron negatif). Kondisi lain dari pengelasan yaitu tegangan busur, kecepatan dari pengelasan, banyaknya lajur, jumlah lapisan, suhu antara lajur pengelasan, kondisi dari pemanasan awal, dan perlakuan panas secara terus menerus pada logam induk. Bagaimanapun secara khusus, kualitas dari hasil pengelasan mengacu pada arus pengelasan yang digunakan, tegangan dari busur las dan kecepatan pengelasan. Pemakaian arus pengelasan yang tepat digunakan dapat dilihat berdasarkan

ketebalan dan jenis logam induk yang akan dilakukan proses pengelasan, jenis-jenis dan diameter elektroda las, jenis-jenis sambungan, dan posisi pengelasan. Pada umumnya, pengelasan dengan posisi datar atau posisi pengelasan bawah tangan menggunakan arus yang relatif lebih tinggi. Arus untuk pengelasan posisi vertikal lebih rendah 20% sampai 30% dan arus untuk pengelasan posisi di atas kepala (*overhead*) lebih rendah 10% sampai 20% dari arus untuk pengelasan posisi datar. Efisiensi pengelasan dapat ditambah dengan menambah arus las yang tersedia dimesin las. Bagaimanapun, arus yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kawat inti elektroda las mengalami kelebihan panas selama proses pemanasan dan bahan-bahan *fluks* akan memburuk, menyebabkan takikan dan tampilan rigi-rigi las yang kurang rapi. Sebaliknya, arus las yang terlalu kecil cenderung mengakibatkan penumpukan, memungkinkan terjadinya cacat-cacat las, seperti kurang penembusan pada logam induk dan pemasukkan terak. buildup (Sunaryo, 2008).

Tabel 2.2 Pengaruh arus las

Arus las terlalu tinggi	Arus las terlalu rendah
Kemungkinan terjadi takikan tinggi	Kurang penembusan
Percikan sangat banyak	Kemungkinan terjadi penumpukan tinggi

Elektroda las panas kemerahan	Kemungkinan terak terperangkap tinggi
Penutupan terak tidak cukup dan tampilan rigi las buruk	Pengurangan kecepatan las
Kemungkinan terjadi lubang cacung dan retak tinggi	Rigi las sempit dan mengembung

Sumber: (Sunaryo, 2008)

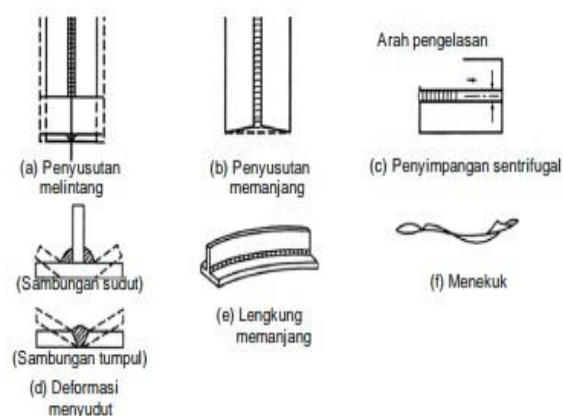
5. Deformasi pengelasan

Struktur las yang mengakibatkan deformasi tidak dapat ditentukan dengan sudut pandang, ketepatan ukuran, dan estetika. Kerusakan struktur dari hasil pengelasan selama penggunaannya diakibatkan dengan adanya tegangan sisa yang besar pada struktur las.

Jika dilakukan proses pemanasan dan pendinginan secara merata pada semua bagian struktur, maka struktur tersebut akan memuai dan menyusut secara merata tanpa menyebabkan tegangan termal dan deformasi. Bagaimanapun, pada saat dilakukan proses pengelasan dengan dipanaskan dan didinginkan secara cepat, sebuah struktur dari daerah las akan memuai dan menyusut secara terbatas. Jika daerah las ditahan dengan logam induk disekelilingnya, maka tegangan sisa dan deformasi akan muncul kedua-duanya.

Jika struktur yang dilakukan proses pengelasan pada bahan yang dimensinya lebih tipis akan menyebabkan daerah las bengkok atau melengkung. Sebaliknya, jika struktur yang dilakukan proses pengelasan pada pelat yang tebal dan kemudian ditahan dengan struktur material disekelilingnya, maka deformasi dari daerah las akan sangat kecil dan menyebabkan tegangan sisa akan timbul disekelilingnya. Pada dasarnya hubungan antara deformasi dan tegangan sisa mempunyai hubungan bertolak belakang antara satu dengan lainnya, jika yang satu dikurangi maka yang lain akan bertambah.

Tegangan sisa pada struktur yaitu yang berkaitan dengan panjang deformasi yang akan mengakibatkan ketidak sesuaian ukuran yang dapat menghasilkan retak, rapuh, dan karat. (Sunaryo, 2008).

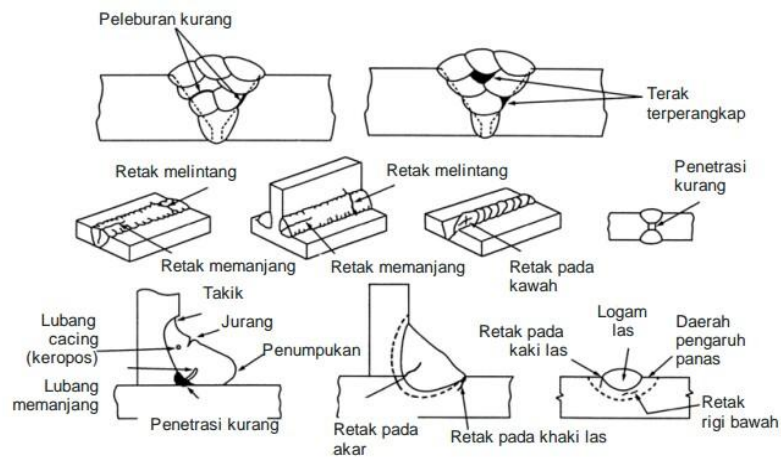


Gambar 2.5 Macam-macam bentuk deformasi las
Sumber: (Sunaryo, 2008)

6. Cacat-cacat las

Jika proses dari pengelasan direncanakan atau dilakukan tidak sesuai prosedur, maka beberapa macam cacat las akan timbul. Dalam hal ini akan menyebabkan hasil sambungan las yang buruk dan tampilan struktur yang dilakukan proses pengelasan tidak memuaskan (Sunaryo, 2008).

- a. Tampilan dari rigi las yang buruk, terjadinya takikan, tidak lurus, penumpukan mengakibatkan terbakar.
- b. keropos, lubang akan memanjang dan jurang.
- c. Penetrasi kurang, peleburan kurang, terak terperangkap.
- d. Retak.

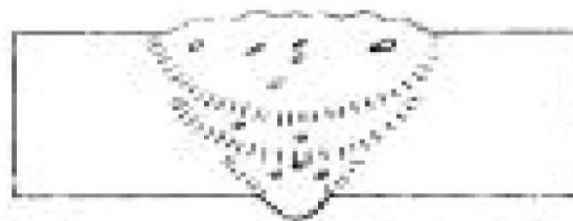


Gambar 2.6 Macam-macam cacat las

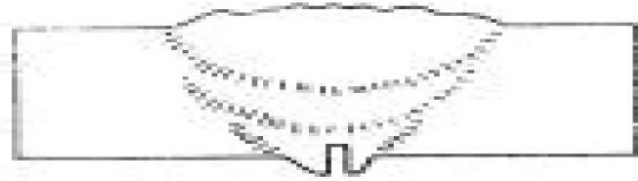
Sumber: (Sunaryo, 2008)

Pada penyambungan las sering kali terjadinya cacat las secara aktual yaitu *crack* (retak) adalah cacat las yang diakibatkan oleh getaran pada saat dilakukan proses pengelasan sehingga menyebabkan retak pada daerah las-lasan.

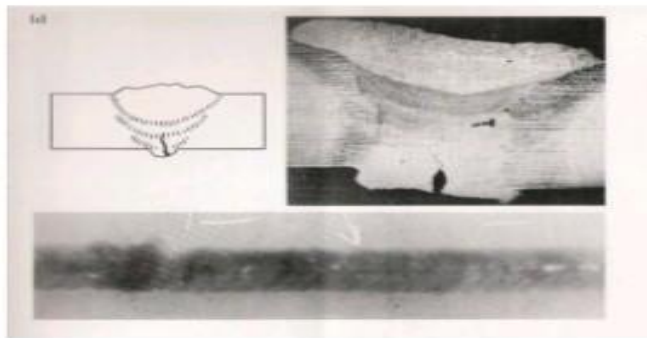
Crater adalah cacat hasil las yang diakibatkan mengerucutnya busur las pada akhir berlangsungnya proses pengelasan (akibat dari panas las yang berkurang). *Porosity* adalah cacat hasil las yang diakibatkan dari gas yang terjebak oleh las atau diakibatkan oleh udara bebas, sehingga dalam las terdapat rongga-rongga yang ukurannya besar maupun kecil. *Slag* adalah cacat hasil las yang diakibatkan oleh tertinggalnya *flug* atau sisa metal lainnya dalam proses pengelasan. *Incomplete penetration* adalah cacat hasil las yang diakibatkan oleh ketidak sempurnaan penambahan las pada ujung logam dasar. *Undercut* adalah cacat hasil las yang diakibatkan oleh mengupasnya logam induk pada saat dilakukan proses pengelasan dan pada akhirnya terjadi lengkungan pada kaki samping logam dasar. *Worm hole* adalah cacat hasil las yang diakibatkan oleh terjebaknya gas pada saat proses pengelasan dan pada akhirnya terjadinya rongga yang memanjang seperti tabung. (*handbook Quality control* PT. JMI). Jenis-jenis cacat las ditunjukkan pada gambar dibawah ini (Pujo M, dkk 2008).



Gamabar 2.7 jenis cacat porositas
Sumber: (Pujo M, dkk 2008)



Gambar 2.8 Jenis cacat *incomplete penetration*
 Sumber: (Pujo M, dkk 2008)



Gambar 2.9 Jenis cacat crack (retak pada las)
 Sumber: (Pujo M, dkk 2008)

2.2.3 Pendinginan

Dalam proses pendingin media pendingin yang sering digunakan sebagai pendingin yaitu air, air garam, oli dan udara. Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam itu, karbon yang dihasilkan dari pendinginan cepat lebih banyak dari pendinginan lambat. Dengan alasan media pendingin tersebut digunakan sesuai dengan kemampuannya untuk memperoleh hasil yang diharapkan.

Faktor - faktor yang mempengaruhi laju pendinginan media pendingin.

1. Densitas

Semakin tinggi densitas suatu media pendingin, maka semakin cepat proses pendinginan oleh media pendingin tersebut. Air

memiliki densitas tinggi, pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat sehingga dapat mengakibatkan spesimen menjadi getas.

2. Viskositas

Viskositas adalah sebuah ukuran penolakan sebuah *fluid* terhadap perubahan bentuk di bawah tekanan shear, Semakin tinggi viskositas suatu media pendingin, maka laju pendinginan semakin lambat, Air memiliki viskositas rendah, sedangkan minyak sayur memiliki viskositas tinggi. Oli memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat. Angka dibelakang huruf SAE inilah yang menunjukkan tingkat kekentalannya (viskositas). Contohnya, kode SAE 10 menunjukkan oli tersebut mempunyai tingkat kekentalan 10 menurut standar SAE. Semakin tinggi angkanya, semakin kental pelumas tersebut. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin di sebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Pelumas adalah minyak yang mempunyai sifat untuk selalu melekat dan menyebar pada permukaan-permukaan yang bergeser, sehingga membuat pengausan dan kenaikan suhu kecil sekali. Selama proses

pemanasan dan pendinginan tersebut, akan terjadi beberapa perubahan ukuran butiran dan struktur mikro. Karena semakin tinggi temperatur austenisasi diberikan pada material yang sama ukuran butir akan semakin besar. Dan dengan harga laju pendinginan yang bervariasi material yang sama akan mempunyai struktur mikro yang berbeda, dapat berupa *fine ferrit-pearlit*, *medium ferrit-pearlit*, *coarse ferritpearlit*, *bainit* ataupun *martensit*. (Tyagita, 2016)

2.2.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik yaitu suatu proses pada pengujian bahan bertujuan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dengan cara pembebanan dimulai dari nol dan berhenti pada tegangan maksimum.

Standarisasi yang digunakan pada pengujian tarik dengan menggunakan standar ASTM-E8M (*American Standart Testing and Materials*). ASTM-E8M merupakan standarisasi pengujian tarik pada material baja karbon, baja HSS, aluminium, dan lain sebagainya. Dalam standarisasi ini hanya digunaka untuk bahan uji yang berbentuk plat, metode pengujian ASTM-E8 dan E8M menggambarkan pengujian tarik bahan logam dalam berbagai bentuk. Secara khusus, tes menentukan kekuatan luluh, perpanjangan titik luluh, kekuatan tarik, perpanjangan dan pengurangan luas. Informasi yang dikumpulkan oleh uji tarik

sangat penting dalam perbandingan bahan, pembuatan paduan dan proses perancangan. Selanjutnya, standardisasi metode pengujian diterima secara luas dan digunakan untuk pengujian bahan komersial. Penting untuk dicatat bahwa satu-satunya perbedaan antara pengujian E8 dan E8M adalah panjang pengukur dari spesimen bulat tetapi pengujian sebenarnya identik.

1. Elastisitas

Menurut Soedjo (2004:33) menyebutkan bahwa bahan elastis adalah bahan yang mudah diregangkan, serta cenderung kembali ke keadaan awal dengan diberi gaya reaksi elastisitas dalam gaya tegangan yang meregangkannya. Pada dasarnya hampir semua material memiliki sifat elastis, meskipun sulit untuk diregangkan dan kembali ke bentuk awal. Sedangkan menurut Sarjo (2002: 318), sifat elastis yaitu kapasitas material untuk kembali ke keadaan semula setelah gaya dari luar yang dikenakan material dan kemudian dihilangkan.

Elastisitas yaitu kecenderungan suatu bahan padat untuk kembali ke bentuk aslinya yang berdeformasi sementara, tanpa adanya perubahan secara permanen, yaitu sifat untuk melawan deformasi yang terjadi. Suatu bahan dapat dikatakan elastis sempurna jika sesudah gaya menyebabkan perubahan struktur atau perubahan bentuk pada bahan tersebut dan kemudian tiadakan, maka bahan kemudian kembali ke posisi awalnya.

Meskipun tidak ada bahan yang memiliki sifat elastis sempurna, akan tetapi hampir semua bahan memiliki sifat elastis sempurna yaitu hingga menuju ke deformasi yang terbatas disebut batas elastis. Jika suatu bahan berdeformasi diatas batas elastisnya, dan kemudian gaya yang dikenainya akan dihilangkan, maka bahan tersebut tidak dapat kembali bentuk awalnya. Besar dan kecilnya deformasi yang terjadi pada bahan, yaitu merupakan perbedaan antara elastis dan plastis. Blatt (1986:179) menyebutkan suatu deformasi dinyatakan elastis jika deformasi memiliki keseimbangan dengan gaya penyebabnya dan bekerjanya gaya maka deformasi diabaikan.

2. Tegangan Luluh (*yield Stress*)

Semua bahan akan berubah bentuk karena dipengaruhi oleh gaya, jika gaya dihilangkan maka bahan akan kembali ke bentuk semula dan ada pula yang mengalami perubahan struktur dengan sedikit maupun banyak serta adanya yang menetap, (Sears, 1944 *terjemahan* Soedarjana, 1986:236). Maka, deformasi bahan dapat dinyatakan oleh gaya per satuan luas dan bukan karena gaya total (Kane, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:365). Jika suatu batang tegar yang akan beri gaya tarik (F) ke atas dengan gaya dilakukan dengan sama tetapi bertolak belakang ke bawah maka gaya-gaya tersebut akan

disalurkan secara seragam ke luas penampang batang. Perbandingan antara gaya (F) terhadap luas penampang (A) disebut kekuatan tarik. Jika seluruh batang dalam posisi mengalami tegangan, maka pemotongan dapat dilakukan disembarang titik terhadap batang, ditulis pada persamaan berikut ini:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

(σ) = Tegangan Luluh (N/mm²)

F = Gaya Luluh (N)

A = Luas Penampang (mm²)

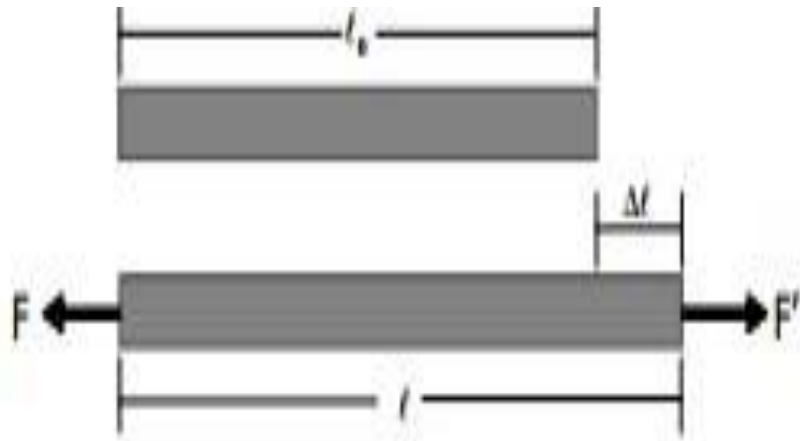
Beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat menentukan tegangan patah dan regangan yaitu pada saat patah penampang benda uji yang mengalami perpatahan ukurannya akan cenderung berkurang atau mengalami pengecilan dari sebelumnya, sedangkan pada perhitungan tegangan patah diperlukan luas penampang awal sehingga diperoleh tegangan patah turun. Tegangan ini dinamakan tegangan teknis atau sering dinamakan tegangan rekayasa. Tegangan sesungguhnya harus dihitung berdasarkan dengan luas penampang pada

saat patah. Regangan terbesar akan terlihat pada saat terjadi disekitar patahan.

3. Regangan (*Strain*)

Suatu bahan dikatakan regang apabila bahan tersebut mengalami perubahan dari bentuk mula-mula hingga bahan tersebut mengalami perpanjangan atau penambahan panjang dari ukuran sebelumnya. Regangan juga dinamakan dengan derajat deformasi, (Sarojo, 2002:321). Bentuk atau ukuran suatu bahan yang diberikan tekanan atau beban tarik, dan relatif mengalami perubahan ukuran atau dimensinya yaitu dinamakan dengan regangan. Pada gambar 2.10, menunjukkan suatu benda ditarik oleh gaya (F) pada kedua ujungnya dan kemudian mengalami perubahan dimensi dari ukuran semula hingga bertambah panjang. Perubahan ukuran mula-mula (L_0) dan berubah ukuran menjadi $L = L_0 + \Delta L$, jika kedua ujung benda ditarik oleh gaya (F). perubahan ukuran (ΔL) tentu saja tidak hanya pada kedua ujung benda akan tetapi semua elemen-elemen batang tarik pada keseimbangan yang sama seperti halnya pada batang keseluruhannya.

Jenis-jenis regangan dibedakan menjadi tiga, (Kane, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:366) yaitu, Regangan tarik, Regangan kompresi, dan Regangan geser.



Gambar 2.10 Regangan membujur
Sumber: (Souisa, 2011)

Regangan tarik pada suatu batang didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan ukuran dari ukuran sebelumnya yang nilainya lebih tinggi dari 0. Regangan tekan suatu batang yang dilakukan proses penekanan atau ditekan didefinisikan dengan proses yang sama merupakan perbedaan antara berkurangnya ukuran benda dengan ukuran mula-mula yang nilainya lebih rendah dari 0. Maka perubahan yang membandingkan antara ukuran pada benda $\Delta L/L_0$ dinyatakan regangan (Blatt, 1986:183) atau dinamakan dengan regangan *longitudinal* (Frauenfelder, 1966:219), ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$(e) = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

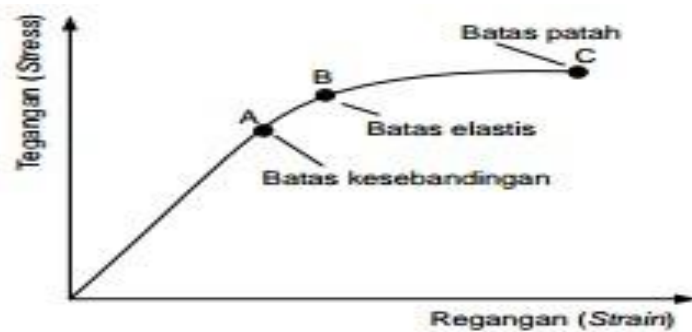
(e) = Regangan (%)

L_0 = Panjang Awal Penampang (mm)

L_i = Panjang Akhir Penampang (mm)

4. Modulus Elastisitas

Pada gambar 2.11, menunjukkan kurva tegangan terhadap regangan pada batang padat biasa. kurva tersebut bahwa garis linier hingga menuju ke titik A menyatakan bahwa hasil dari regangan berubah akan tetapi pada titik ini suatu bahan uji masih mampu menerima beban sebelum terjadinya perpatahan, dan kemudian terjadinya tegangan yang sering dikenal dengan hukum Hooke. Pada titik B menyatakan bahwa batas elastis suatu bahan uji, jika suatu bahan uji ditarik melebihi batas titik ini maka bahan tersebut akan mengalami pertambahan panjang dan tidak akan kembali ke panjang semula serta mengakibatkan perubahan bentuk secara permanen. Pada titik C menunjukkan bahwa suatu bahan diberi tegangan yang terlalu besar, maka pada akhirnya bahan tersebut akan patah.



Gambar 2.11 Kurva tegangan terhadap regangan
Sumber: (Souisa, 2011)

Pada gambar 2.11 diatas menunjukkan daerah elastis bahwa kemiringan garis pada kurva tegangan terhadap regangan yang dinamakan dengan modulus *Young* (Y) dari benda yang diuji, (Kane, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:368). Perbandingan antara tegangan terhadap regangan dalam daerah elastis pada grafik diatas disebut juga konstanta karakteristik atau modulus *Young* suatu bahan, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F}{\Delta L / L_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

5. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke untuk elastisitas, untuk setiap peningkatan nilai tegangan maka nilai regangan juga mengalami peningkatan, dalam hal tersebut dapat nyatakan bahwa nilai tegangan sebanding lurus dengan nilai regangan σ , (Blatt, 1986:185) yaitu:

$$K = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \dots\dots\dots(2.4)$$

(K) dinyatakan dengan modulus elastisitas.

Berdasarkan konstanta ini dapat ditentukan modulus elastisitas *Young*, modulus geser dan modulus Bulk. Maka dari itu hubungan dari kekuatan tarik dari suatu bahan uji dengan perubahan ukuran semula atau perubahan panjang dari bahan

tersebut dapat dikatakan suatu hubungan yang sama. Sesuai pada persamaan diatas (3), dibutuhkan gaya untuk memberikan deformasi elastisitas pada bahan dan hubungan ini, (Cutnell and Johnson, 1995:284) dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (mm²)

Y = Modulus Young (N/mm²)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L_0 = Panjang Awal Penampang (mm)