

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sampai saat ini penelitian terhadap pengelasan gesek sudah mulai banyak dilakukan dengan berbagai macam bahan yang berbeda dan bervariasi seperti baja dan *stainless steel*. Beberapa penelitian terkait kekerasan, struktur mikro dan kekuatan tarik juga sudah mulai dilakukan oleh beberapa peneliti. Oleh karena itu pembahasan tentang pengkajian pustaka ini difokuskan pada bahan baja dan *stainless steel* serta perolehan data struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik terhadap hasil dari pengelasan gesek. Berikut beberapa referensi yang digunakan dalam penelitian ini:

Prasetyono dan Subiyanto, (2012), pada penelitiannya yang menganalisis pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan lasan gesek langsung pada baja karbon AISI 1045. Pada penelitiannya menggunakan parameter tekanan gesek (5.98 MPa, 11.96 MPa dan 17.94 MPa), waktu gesek (70 detik dan 90 detik) dan tekanan tempa (23.93 MPa, 33.5 MPa, 52.64 MPa). Dari hasil penelitiannya diketahui sambungan lasan memiliki kekuatan impak yang meningkat seiring dengan penambahan tekanan gesek dan tekanan tempa yang membuat ikatan sambungan lebih baik. Kekerasan tertinggi terdapat di bagian sambungan las dan kekerasan terendah pada logam induk dikarenakan pada sambungan las mendapatkan input panas yang tinggi dan pada saat pendinginan bagian las ukuran butir berubah menjadi butir kecil. Struktur mikro pada base metal tidak terjadi banyak perubahan, sedangkan untuk daerah HAZ yang dekat dengan *weld metal* struktur mikronya berupa ferrit dan pearlit dengan dominasi pearlit kasar. Untuk daerah las sendiri struktur mikronya berupa ferrit dan pearlit halus. perubahan yang terlihat adalah banyak terdapat pearlit sehingga akan menaikkan kekerasan dan kekuatan dengan semakin baiknya ikatan pada sambungan.

Nugroho, dkk, (2014), pada penelitiannya yang menganalisis sifat mekanis dan struktur mikro pengelasan gesek baja tahan karat austenitik AISI 304 dengan variasi tekanan gesek 1,38 MPa – 4,14 MPa dan tekanan tempa 6,90 MPa – 8,27 Mpa. Pada penelitiannya dijelaskan struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit berbutir lebih besar dan daerah base metal berbutir besar dengan fasa austenite dan terdapat cacat las berupa porositas pada seluruh hasil pengelasan. Semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka waktu gesek akan semakin cepat. Waktu gesek rata-rata terpendek pada tekanan gesek 4,14 MPa yaitu 39 detik dan waktu gesek rata-rata terpanjang pada tekanan gesek 2,07 MPa yaitu 220 detik. Kekuatan tarik pengelasan gesek lebih kecil dari kekuatan tarik stainless steel tanpa sambungan dimana kekuatan tarik akan menurun seiring dengan penurunan tekanan tempa dan hasil dari pengelasan gesek memiliki mode patahan getas.

Kimura, dkk, (2012), meneliti tentang sifat sambungan dan perbaikan sambungan pada stainless steel austenitic AISI 310S berbentuk pipa berdinding tipis dengan menggunakan metode pengelasan gesek. Penyambungan pipa dilakukan pada kecepatan putar sebesar 1650 rpm dengan variasi tekanan gesek sebesar 60 MPa dan 120 MPa. Pengelasan dilakukan pada 5 variasi ketebalan dinding pipa mulai dari 1,50 mm; 1,00 mm; 0,80 mm; 0,65 mm dan 0,50 mm. Pada sambungan pipa dengan ketebalan 1,50 mm sampai 0,50 mm dilakukan pengelasan pada tekanan gesek 60 MPa menghasilkan sambungan yang baik. Pada sambungan pipa dengan ketebalan 1,50 mm; 1,00 mm dan 0,80 mm dilakukan pengelasan pada tekanan gesek 120 MPa menghasilkan sambungan yang baik. Pada sambungan pipa dengan ketebalan 0,65 mm dan 0,50 mm dilakukan pengelasan pada tekanan 120 MPa menghasilkan kegagalan sambungan. Kegagalan tersebut terjadi akibat dinding pipa terlalu tipis dan tekanan gesek yang diberikan saat pengelasan terlalu besar. Untuk mendapatkan sambungan yang baik pada pipa berdinding tipis pengelasan harus dilakukan pada tekanan gesekan rendah dan waktu gesekan hanya setelah puncak awal torsi gesekan.

Riesandy, dkk, (2018), pada penelitiannya yang menganalisis pengaruh tekanan gesek terhadap sifat tarik, struktur mikro dan kekerasan pada sambungan logam pipa

stainless steel 304 dengan metode pengelasan gesek. Pada penelitiannya dijelaskan bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka waktu gesek yang diperoleh akan menurun. Semakin meningkatnya tekanan gesek yang diberikan ukuran butir struktur mikro daerah sambungan akan semakin mengecil dan nilai kekerasan pada daerah sambungan akan semakin besar. Pada bagian sambungan semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka semakin besar juga nilai kekerasan yang diperoleh. Hal ini juga yang mempengaruhi hasil dari kekuatan tarik. Semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka akan semakin besar kekuatan tarik yang diperoleh.

Vinoth dan Balasubramanian, (2014), meneliti tentang struktur mikro dan kekuatan tarik sambungan pengelasan gesek pipa SUS 304 HCu Austentic Stainless Steel. Ukuran dimensi pipa diameter luar 57.1 mm dengan tebal 3.5 mm. Pengelasan dilakukan pada kecepatan putaran sebesar 2110 rpm, tekanan gesek sebesar 32 MPa, tekanan tempa sebesar 47 MPa, waktu pengelasan gesek selama 24 detik dan waktu tempa selama 55 detik. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil struktur mikro yang terbagi menjadi 4 daerah, yakni *Dynamically Recryztallized Zone (DRX)*, *Fully Plasticized Zone (FPZ)*, *Partially Plasticized Zone (PPZ)* dan *Unaffected Parent Material (UPM)*. Daerah DRX yang terbentuk sangat sempit dan terdiri dari butiran halus yang mengalami pengkristalan selama proses pengelasan. Pada daerah FPZ memiliki butir yang kasar dibandingkan dengan daerah DRX, hal ini ditunjukkan bentuk butir yang besar saat dilakukan uji mikro. Daerah PPZ memiliki bentuk butir yang lebih kecil dari FPZ dan daerah UPM merupakan daerah material induk. Hasil uji kekerasan yang didapatkan pada daerah DRX sebesar 187 HV dan titik kekerasan terendah berada pada daerah FPZ sebesar 157 HV. Hasil kekuatan tarik sambungan sebesar 286 MPa dengan kekuatan tarik utama sebesar 599 MPa dan elongasi panjang 30 mm sebesar 25%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah material SUS 304 Hcu dapat dilas dengan metode Continuous Drive Friction Welding (CDFW) tanpa cacat makro ataupun mikro, kekuatan sambungan las yang dihasilkan tinggi mencapai 98%

dari logam induk dan pembentukan daerah dinamis rekristalisasi (DRX) pada interface sambungan disebabkan oleh laju regangan yang tinggi.

Haryanto, dkk, (2011), pada penelitiannya yang menganalisis pengaruh gaya tekan, kecepatan putar dan waktu kontak pada pengelasan gesek baja ST 60 terhadap kualitas sambungan las dengan parameter gaya penekanan (0,5 kg, 0,6 kg, 0,7 kg, 0,8 kg), waktu gesek (38 detik – 79 detik) dan putaran mesin 725 rpm. Pada penelitiannya dijelaskan tegangan tarik maksimum berada pada 38 detik dan semakin lama waktu pengelasan maka tegangan tarik akan menurun dikarenakan terjadi cacat pada sambungan meskipun waktu gesek dan tekanan gesek meningkat. Pada bagian las terjadi peningkatan kekerasan material dikarenakan pada bagian las terjadi pemadatan struktur karena pengaruh saat pengelasan dan waktu pendinginan.

Sanyoto, dkk, (2012), dalam penelitiannya yang menganalisis penerapan teknologi las gesek dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah dengan parameter tekanan gesek 15 kg/cm², tekanan tempa 70 kg/cm², waktu pengelasan (15, 20, 25, 30 dan 35 detik) dan putaran mesin 4125 rpm. Pada penelitiannya dijelaskan semakin lama waktu pengelasan gesek maka temperatur benda uji meningkat yang mengakibatkan pemendekan benda uji yang semakin banyak. Semakin lama waktu pengelasan gesek juga mengakibatkan meningkatnya nilai kekerasan pada daerah las dan semakin panjang juga HAZ yang ditimbulkan. Hasil pengelasan terbaik dalam penelitiannya yaitu dengan waktu pengelasan 35 detik, tekanan gesek 15 kg/cm², tekanan tempa 70 kg/cm² dan putaran mesin 4125 rpm.

Berdasarkan penelitian diatas yang sudah dilakukan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa pada pengelasan gesek terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil kekuatan sambungan. Parameter tersebut adalah sebagai berikut: tekanan gesek, tekanan tempa, waktu gesek, waktu tempa dan kecepatan putar mesin. Apabila parameter tersebut dikontrol secara maksimal maka akan menghasilkan kualitas sambungan yang maksimal.

2.2 Dasar Teori

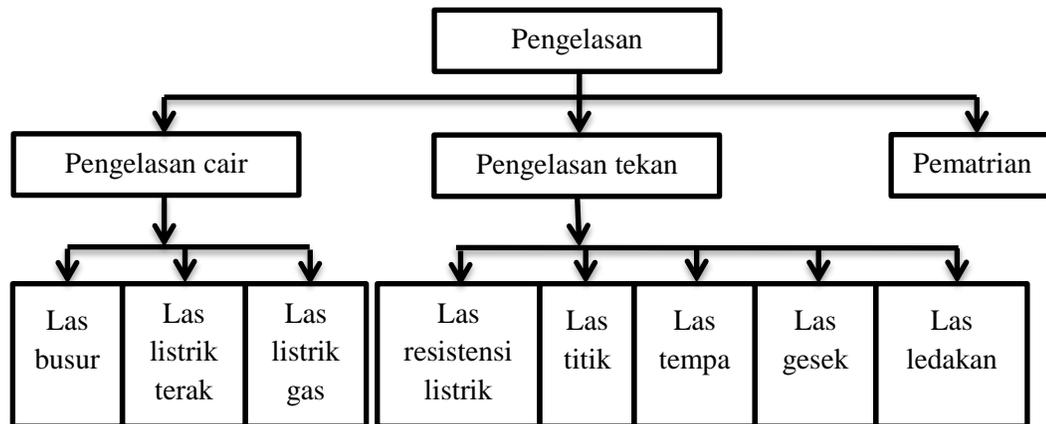
2.2.1. Pengertian Pengelasan

Pengelasan dapat diartikan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik reksistalisasi logam baik menggunakan logam tambahan maupun tidak menggunakan logam tambahan serta menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilakukan pengelasan. Secara sederhana pengelasan diartikan suatu proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Sedangkan menurut Deutsche Industry Normen (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinyu (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000).

Teknik pengelasan yang sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM. Setelah energi listrik dapat dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi sesuatu teknik penyambungan yang mutakhir. Hingga saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan. Pada tahap-tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, biasanya pengelasan hanya digunakan pada sambungan-sambungan dari reparasi yang kurang penting. Tapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama, maka sekarang penggunaan proses-proses pengelasan dan penggunaan konstruksi-konstruksi las merupakan hal yang umum di semua negara di dunia.

Terwujudnya standar-standar teknik pengelasan akan membantu memperluas ruang lingkup pemakaian sambungan las dan memperbesar ukuran bangunan konstruksi yang dapat dilakukan pengelasan. Dengan kemajuan yang dicapai sampai saat ini, teknologi las memegang peranan penting dalam masyarakat industri modern (Halim, 2012).

Dalam proses pengerjaan pengelasan terdapat 3 jenis pengelasan yang ditunjukkan pada gambar 2.1 yaitu:



Gambar 2.1 Jenis – jenis pengelasan
Sumber: Hidayat (2011)

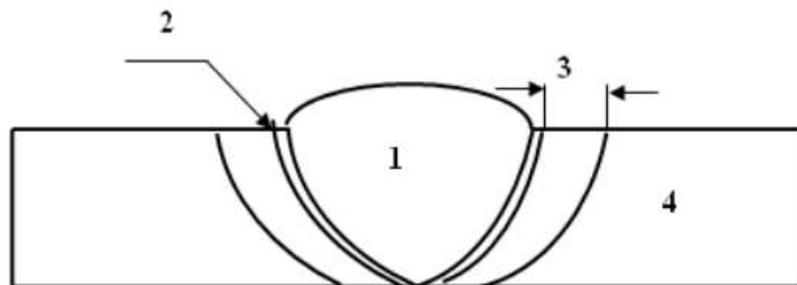
1. pengelasan cair adalah pengelasan dimana proses penyambungannya dengan cara dipanaskan dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar hingga mencair. las busur elektroda terumpan, las busur elektroda tak terumpan dan las busur fluks adalah bagian dari jenis pengelasan cair.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dengan cara memanaskan sambungan dan kemudian dilakukan penekanan hingga menjadi satu sambungan. Biasanya permukaan plat yang akan dilakukan penyambungan ditekan bersamaan dengan mengalirnya arus listrik sehingga permukaannya menjadi panas dan mencair.
3. Pematrian diproses dengan cara menyatukan kedua logam yang akan disambung menggunakan paduan logam yang mempunyai titik lebur lebih rendah dari logam yang dilakukan penyambungan. Dalam proses pematrian logam yang disambungkan tidak ikut mencair.

2.2.2. Daerah Pengelasan

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas pada saat pengelasan. Logam akan mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut daerah pengaruh panas (DPP), atau Heat Affected Zone (HAZ).

1. Pengelasan Fusi

Daerah hasil pengelasan yang akan kita temui jika kita melakukan pengelasan fusi ditunjukkan pada gambar 2.2 pengelasan fusi:



Gambar 2.2 Pengelasan fusi
Sumber: Wardany (2010)

Keterangan gambar :

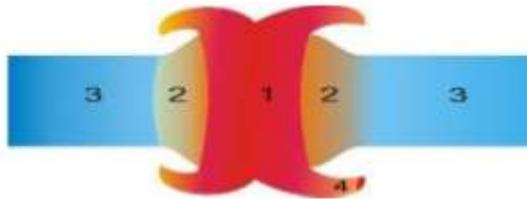
- a) Logam Las (Weld Metal) adalah suatu daerah dimana terjadi pencairan logam dan dengan cepat kemudian membeku.
- b) *Fusion Line* Merupakan suatu daerah perbatasan antara daerah yang mengalami peleburan dan yang tidak melebur. Daerah ini sangat tipis sekali sehingga dinamakan garis gabungan antara weld metal dan H A Z.
- c) H A Z (Heat Affected Zone) merupakan suatu daerah yang dipengaruhi panas dan juga logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat,

sehingga terjadi perubahan struktur akibat pemanasan tersebut disebabkan daerah yang mengalami pemanasan yang cukup tinggi.

- d) Logam Induk (Parent Metal) merupakan logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak sampai menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat material.

Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah HAZ. Secara umum struktur dan sifat daerah panas efektif dipengaruhi dari lamanya pendinginan dan komposisi dari logam induk itu sendiri. Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi pada daerah lasan. Proses las terjadi proses pemanasan dan juga pendinginan maka dapat dikatakan proses las juga proses heat treatment hanya saja terjadinya lokal, tidak seperti proses heat treatment pada umumnya. Untuk melihat fenomena proses tersebut dapat dilihat pada grafik siklus termal las.

2. Pengelasan gesek



Gambar 2.3 Pengelasan gesek
Sumber : Purnomo (2016).

Berdasarkan daerah pada pengelasan gesek yang ditunjukkan pada gambar 2.3 di bagi menjadi 3 daerah pengelasan yaitu :

- a) Daerah inti adalah daerah utama pengelasan yang mengalami pelelehan dan pembekuan. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (columnar grains).
- b) Heat Affacted Zone (HAZ) adalah daerah yang mengalami perubahan struktur mikro akibat dari pengaruh dari panas yang dihasilkan pada daerah inti. Daerah

HAZ merupakan daerah paling kritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah tersebut.

- c) Logam Induk adalah daerah dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.

2.2.3. Pengelasan Gesek

Menurut Suriadi dan Suarsana, (2007), Teknologi pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan suatu metode proses pengelasan jenis *solid state welding*. Panas yang terjadi dihasilkan dari gesekan antara permukaan kedua ujung benda kerja. Dengan melakukan kombinasi antara panas dan tekanan tempa maka dua buah logam akan tersambung. Teknologi las gesek ini mulai banyak diperhatikan, mengingat bahwa teknologi las gesek ini mudah dioperasikan, proses operasinya cepat, tidak memerlukan logam pengisi, tidak memerlukan bentuk *grooving*, hasil penyambungan baik. Mudah dioperasikan karena mesin las gesek menyerupai mesin bubut. Proses operasional cepat karena hanya memerlukan waktu gesek yang relatif cepat. Daerah pengaruh panas (HAZ) pada logam yang disambung relatif sempit karena panas yang terjadi tidak sampai mencapai temperatur cair logam dan adanya tekanan tempa memungkinkan efek negatif panas logam akan tereliminasi.

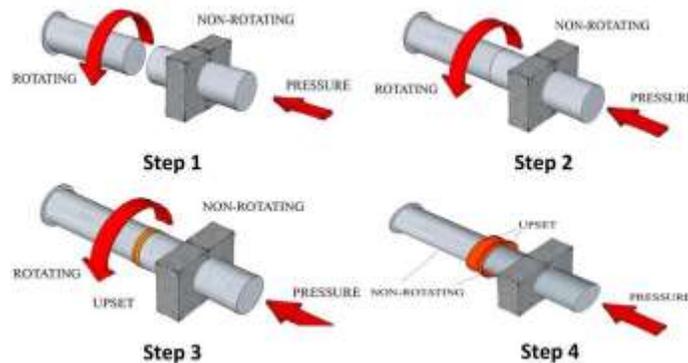
Parameter penting saat proses pengelasan gesek adalah tekanan gesek (P_f), waktu gesekan (t_f), tekanan tempa (P_u), waktu tempa (t_u) dan kecepatan putar (s). Pada proses penyambungan terjadi proses deformasi plastis. Deformasi plastis terjadi akibat tekanan tempa, dan terjadi proses difusi karena adanya panas yang tinggi saat proses pengelasan. Deformasi plastis adalah pembentukan logam dimana baik ukuran maupun bentuk dari logam tidak dapat kembali pada keadaan semula.

Berdasarkan metode geseknya, pengelasan gesek dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Rotary Friction Welding

Rotary friction welding adalah pengelasan yang terjadi karena panas yang dihasilkan dari gesekan kedua ujung permukaan benda kerja. Gesekan yang

terjadi disebabkan karena adanya panas yang timbul dari kedua ujung permukaan benda kerja dan pemberian beban antara material yang berputar dan material yang diam atau keduanya berputar berlawanan arah. Berikut gambar 2.4 yang menunjukkan tahapan pengelasan *rotary friction welding*:



Gambar 2.4 Tahapan pengelasan rotary friction welding.

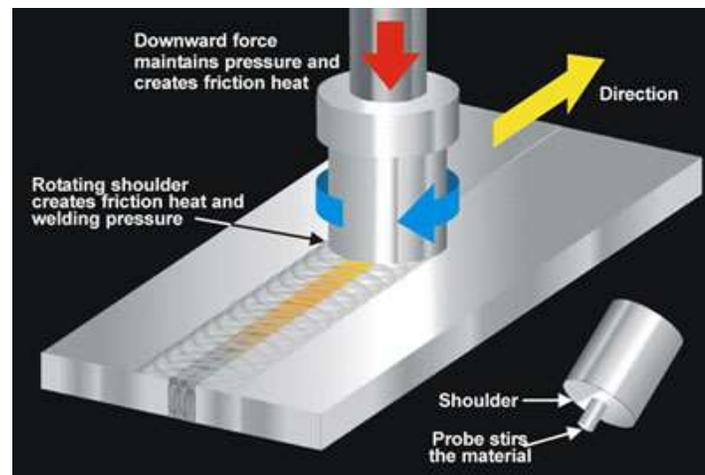
Sumber : choudhry (2012)

Rotary friction welding adalah pengelasan gesek dengan cara melakukan penggesekan. Penyambungan yang terjadi dari perputaran logam yang saling bergesekan di bawah pengaruh tekanan aksial. Permukaan yang saling bersinggungan terjadi panas sehingga logam mendekati titik cairnya maka membuat permukaan yang bersinggungan menjadi plastis. Berikut ini tahapan proses *rotary friction welding*:

- a) Salah satu logam poros diputar dengan putaran yang telah ditentukan, bersamaan dengan logam poros yang satunya di tekan dengan tekanan aksial.
- b) Kedua logam satu sama lain disinggungkan terus menerus secara linear sehingga timbul panas akibat gesekan.
- c) Akibat gesekan yang menimbulkan panas sampai mendekati titik lebur logam tersebut sehingga terjadi flash pada logam.
- d) Kemudian mesin dimatikan, setelah mesin berhenti secara langsung diberi tekanan aksial yang telah ditentukan. Terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam tersebut.

2. *Friction stir welding*

Friction stir welding merupakan suatu metode pengelasan gesek dengan sumber panas yang berasal dari gesekan antara benda kerja dengan pahat yang berputar. Pahat yang berputar menimbulkan panas yang berfungsi untuk melelehkan logam yang akan dilakukan penyambungan. Proses pengelasan dengan menggunakan metode *friction stir welding* biasanya digunakan untuk menyambung pelat ditunjukkan pada gambar 2.5 tentang *friction stir welding*:



Gambar 2.5 Friction stir welding

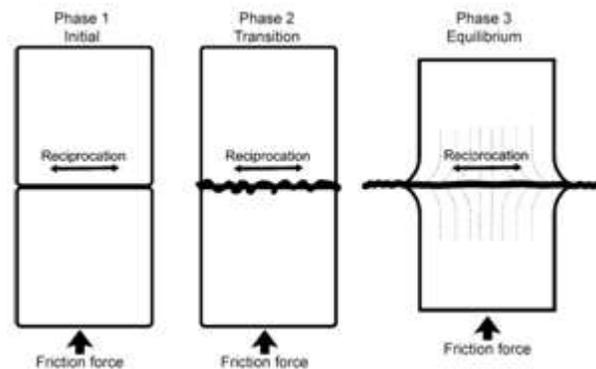
Sumber : Akinlabi (2012)

Berikut adalah proses umum *friction stir welding*:

- Dimulai dengan memutar *tool*, posisikan *tool* pada posisi antara tengah bagian yang akan dilakukan pengelasan.
- Memulai dengan menggesekan *tool* dari ujung benda yang akan dilakukan pengelasan.
- Menggeser *tool* sampai semua daerah yang dilakukan pengelasan terkena.
- Proses pengelasan *friction stir welding* selesai.

3. *Linear Friction Welding*

Linear Friction Welding adalah suatu metode pengelasan gesek dimana mesin menggerakkan salah satu logam secara lateral atau linear. Kecepatan gerak pada *linear friction welding* jauh lebih rendah pada umumnya, linier *friction welding* memiliki mesin sistem mesin yang lebih kompleks dari pada *rotary friction welding*, namun memiliki keuntungan bahwa bagian bentuk apapun dapat bergabung asalkan permukaan yang akan dilakukan penyambungan rata seperti pada gambar 2.6 tentang *linear friction welding*:



Gambar 2.6 Linear friction welding
Sumber: Bhamji, dkk(2011)

Keunggulan dari linear friction welding yaitu:

1. Dapat menyambung material logam yang berbeda jenis.
2. Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) sempit.
3. Tidak membutuhkan logam pengisi.
4. Waktu pengelasannya relatif cepat.
5. Hemat energi.
6. Sambungan merata pada semua bagian *interface*.

2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Gesek (Friction Welding)

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan metode las fusi, ada beberapa keuntungan yang dimiliki dari proses pengelasan gesek. berikut adalah kelebihan dari pengelasan gesek:

1. Tidak membutuhkan logam pengisi pada proses pengelasan.
2. Tidak ada fluks atau filler logam dan gas yang diperlukan dalam proses pengelasan gesek.
3. Kemungkinan terjadinya inklusi terak dan porositas kecil.
4. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak.
5. Lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap atau gas.
6. Dapat melakukan penyambungan dua logam yang karakteristiknya berbeda.
7. Daerah HAZ yang sempit.
8. Waktu pengelasan relatif cepat.

Namun metode pengelasan gesek juga memiliki kekurangan yaitu :

1. Benda yang disambung harus simetris.
2. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis.
3. Keterbatasan bentuk yang dapat dilakukan pengelasan.

2.2.5 Aplikasi Pengelasan Gesek

Dari awal proses pengembangan pengelasan gesek sampai sekarang, pengelasan gesek sudah diterapkan pada beberapa komponen. Berikut contoh komponen komponen yang sudah dilakukan penyambungan menggunakan metode pengelasan gesek dalam industri manufaktur dan otomotif ditunjukkan pada gambar 2.7:



Gambar 2.7 Aplikasi pengelasan gesek(a. *Electrical conector* b. *Piston rods* c. *Engine valve* d. *drill pipe* e. *Truck axle* f. *Gear cluster*)

Sumber: Mehmet, dkk (1980)

2.2.6 Material

1. Stainless steel 304

Stainless steel adalah baja paduan yang memiliki sifat tahan korosi. Baja stainless merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Daya tahan dari Stainless Steel terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif Kromium(III) Oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada aluminium dan titanium.

Pada dasarnya untuk membuat besi yang tahan terhadap karat, krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting. Untuk mendapatkan besi yang lebih baik lagi, diantaranya dilakukan penambahan beberapa zat-zat berikut, Penambahan Molibdenum (Mo) bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting dan korosi celah Unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida (titanium atau niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi. Penambahan kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) dan

ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dari logam. Penambahan nikel meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Penambahan unsur molybdenum (Mo) untuk meningkatkan ketahanan korosi pitting di lingkungan klorida. Unsur aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperature tinggi (fatmawati, dkk, 2008).

Klasifikasi dan Spesifikasi Stainless Steel

Meski semua kategori Stainless Steel didasarkan pada kandungan krom (Cr) namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat Stainless Steel sesuai pengaplikasiannya. Kategori Stainless Steel tidak seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon yang terkandung namun didasarkan pada struktur metalurginya. Berikut lima golongan utama stainless steel menurut fatmawati, dkk:

a) Baja Tahan Karat Martensitic

Baja tahan karat martensit mengandung 11-15% Cr dan 0,1-0,3% C. kadar Cr sebanyak ini adalah batas yang terendah pada ketahanan asam oleh karena itu baja ini sulit terkorosi di atmosfer. Pada baja jenis ini banyak dipakai karena mempunyai ketahanan panas hingga 500°C, dan dengan pengerasan dan penemperan akan diperoleh sifat mekanik yang baik, oleh karena itu baja ini dapat digunakan sebagai alat pemotong, perkakas dan lain sebagainya. Beberapa jenis baja tahan karat martensit diantaranya AISI 403, AISI 410, AISI 416, AISI 420.

b) Baja Tahan Karat Ferritic

Baja tahan karat ferit adalah baja tahan karat yang mengandung chrom sekitar 16-18% dan carbon antara 0.08-0.2%. Memiliki sifat yang meningkat terhadap korosi pada suhu tinggi. Namun sulit dilakukan perlakuan panas pada kelompok stainless steel ini sehingga penggunaannya menjadi terbatas. Beberapa dari jenis baja tahan karat ferit diantaranya AISI 430, AISI 405.

c) Baja Tahan Karat Austenitic

Austenitic memiliki kandungan Chrome sekitar 17-25% dan Nikel sekitar 8-20% dan beberapa unsur tambahan dalam upaya mencapai sifat yang diinginkan. Baja tahan karat jenis ini adalah *nonmagnetic*. Ada banyak jenis pada baja tahan karat ini diantaranya AISI 304, AISI 321, AISI 316, AISI 301, AISI 302, AISI 347.

d) Baja Tahan Karat Duplex

Baja tahan karat duplex termasuk kelompok baru dalam baja tahan karat yang memiliki keseimbangan Chromium, Nikel, Molybdenum, dan Nitrogen pada campuran yang sama antara jenis austenite dan jenis ferit. Menghasilkan sebuah kekuatan yang tinggi, dan ketahanan korosi yang tinggi. Direkomendasikan pada suhu -500C sampai 3000. Termasuk jenis baja tahan karat ini adalah jenis UNS S31803, UNS S32750.

e) Precipitation Hardening

Precipitation hardening, mempunyai struktur martensit atau austenite dengan penambahan unsure Tembaga, Titanium, Alumunium, Molibdenum, Niobium, atau Nitrogen. Stainless steel 304 adalah termasuk kedalam jenis baja tahan karat Austenitic yang mempunyai sifat nonmagnetic. Berikut tabel 2.1 yang menjelaskan kandungan pada stainless steel 304:

Tabel 2.1 kandungan stainless steel 304

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
0.08%	0.75%	2.0%	0.045%	0.030%	0.10%	18-20%	8-11%

Sumber: Prabowo (2011)

Mempunyai sifat mampu lasan yang lebih baik dibandingkan dengan martensit dan ferit. Stainless steel jenis ini juga sangat cocok untuk diaplikasikan pada kondisi-kondisi kritis (critical applications) yang melibatkan temperatur tinggi dengan performa ketahanan korosi tidak berkurang. Jenis baja ini juga sangat cocok untuk diaplikasikan pada material cryogenic (material yang mampu beroperasi pada

temperatur rendah). Stainless steel austenitic mempunyai sifat-sifat struktif kristal FCC yang didominasi oleh pengaruh unsur nikel. Sehingga unsur nikel bisa mencegah kerapuhan (brittleness) pada suhu rendah yang akan membuat stainless steel austenitic memiliki karakteristik untuk menjadi material cryogenic.

2. Baja Karbon

Baja adalah logam aloy yang komponen utamanya adalah besi, dengan karbon sebagai material campuran utama. Baja mengandung elemen utama Fe dan C. Baja karbon merupakan salah satu jenis logam paduan besi karbon terpenting dengan prosentase berat karbon hingga 2,11%. Baja karbon memiliki kadar C hingga 1.2% dengan Mn 0.30%-0.95%. Elemen-elemen prosentase maksimum selain bajanya sebagai berikut: 0.60% Silicon, 0.60% Copper.

Karbon adalah unsur kimia dengan nomor atom 6, tingkat oksidasi 4.2 dan Mangan adalah unsur kimia dengan nomor atom 25, tingkat oksidasi 7.6423. Karbon dan Manganese adalah bahan pokok untuk meningkatkan tegangan (strength) dari baja murni. Karbon (C) adalah komponen kimia pokok yang menentukan sifat baja. Semakin tinggi kadar karbon di dalam baja, semakin tinggi kuat tarik serta tegangan leleh, tetapi koefisien muai bahan turun, dan baja semakin getas. Karbon mempunyai pengaruh yang paling dominan terhadap sifat mampu las. Semakin tinggi kadar karbon menjadikan sifat mampu las turun (Prabowo 2011)

Menurut Prabowo 2011, baja karbon (carbon steel), diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

- a) Baja karbon rendah (low carbon steel) memiliki kandungan karbon 0,05 % - 0,30% C. Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin.
- b) Baja karbon menengah (medium carbon steel) Kekuatan lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Memiliki kandungan karbon 0,30 % - 0,60 % C Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong.
- c) Baja karbon tinggi (high carbon steel) memiliki kandungan karbon 0,60 % - 1,50 % C. Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.

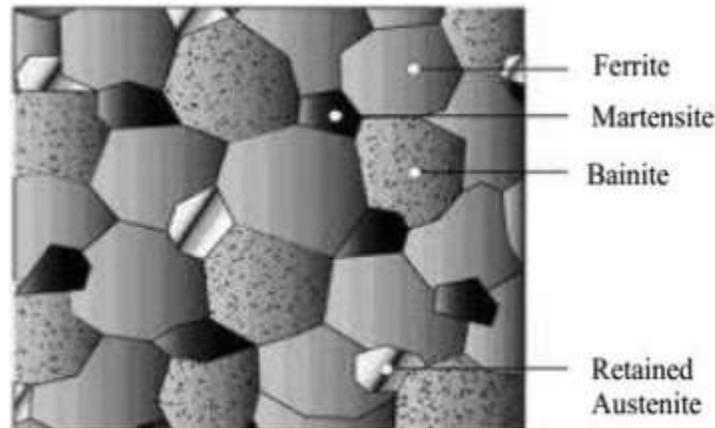
2.2.7 Pengujian

1. Pengujian metalografi Struktur Mikro

Ilmu logam ada dua macam yaitu metalurgi dan metallografi. Metalurgi adalah ilmu yang menguraikan tentang cara pemisahan logam dari ikatan unsur-unsur lain atau pengolahan logam secara teknis untuk memperoleh jenis logam atau logam paduan yang memenuhi kebutuhan tertentu. Sedangkan metallografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam yang digunakan untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran logam tersebut. Metallografi merupakan suatu pengetahuan yang khusus mempelajari sifat mekanis logam dan strukturnya. Dalam metallografi dikenal pengujian mikro (microscope test) dan pengujian makro (macroscope test).

Pengujian mikro adalah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk Kristal dari suatu tergolong sangat halus. Mengingat demikian halusnya, sehingga pengujiannya menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang dikehendaki 50 kali, 100 kali atau 500 kali (Hatta, 2012).

Pengujian metallografi dapat memberikan gambaran dari struktur logam yang diuji sehingga dapat diteliti lebih lanjut mengenai hubungan struktur pembentuk logam dengan sifat-sifat logam tersebut. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui kondisi dari suatu logam. Pengamatan ini biasanya melibatkan batas butir dan fasa-fasa yang ada dalam logam atau paduan tersebut. Pada gambar 2.9 akan ditunjukkan jenis-jenis batas butir atau fasa pada suatu logam.



Gambar 2.8 Struktur Mikro Baja Paduan

Sumber: Apriyanto (2015)

Terdapat berbagai jenis fasa yang terkandung pada baja karbon yaitu:

- a) Ferrite: ferrite adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (Body Centered Cubic). Secara umum fase ini bersifat lunak dan ulet. Kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase austenit. Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrit. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal ferrit misalnya banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik ferrit.
- b) Pearlite: pearlit adalah suatu campuran lamellar dari ferrit dan cementit. Pearlit memiliki struktur yang lebih keras dari pada ferrit, yang terutama disebabkan oleh adanya fase cementit atau carbide dalam bentuk lamel- lamel.
- c) Austenite: austenite adalah Fase yang memiliki struktur atom FCC (Face Centered Cubic). Dalam keadaan setimbang fase austenit ditemukan pada temperatur tinggi. Fase ini bersifat non magnetik dan ulet pada temperatur tinggi.
- d) Cementite: cementit dalam sistem paduan adalah stoichiometric inter- metallic compound Fe_3C yang keras dan getas. Nama cementit berasal dari kata caementum yang berarti stone chip atau lempengan batu. Cementit sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. Cementit dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (sphere), bentuk

lembaran (berselang seling dengan alpha-ferrite), atau partikel-partikel carbide kecil.

- e) Martensite: martensit adalah struktur mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat austenit didinginkan secara sangat cepat, misalnya melalui proses quenching pada medium air. Martensit yang terbentuk berbentuk seperti jarum yang bersifat sangat keras dan getas.

2. Pengujian Kekerasan

Kekerasan (hardness) adalah salah satu sifat mekanik suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (friction force) serta deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri merupakan suatu keadaan dari suatu material tersebut diberikan gaya, maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk aslinya. Jadi kekerasan merupakan kemampuan logam untuk menahan indentasi, penetrasi, dan abrasi.

Untuk mengetahui nilai kekerasan pada suatu logam, maka dilakukan pengujian. Salah satu pengujian kekerasan yaitu dengan cara uji kekerasan vickers. Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penekan pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1988).

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. Nilai VHN dapat ditentukan dari persamaan 2.1

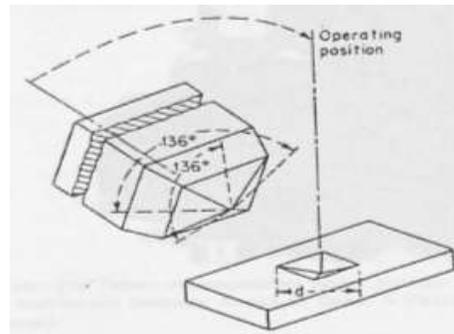
$$VHN = \frac{2P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

P = Beban yang digunakan (kgf)

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

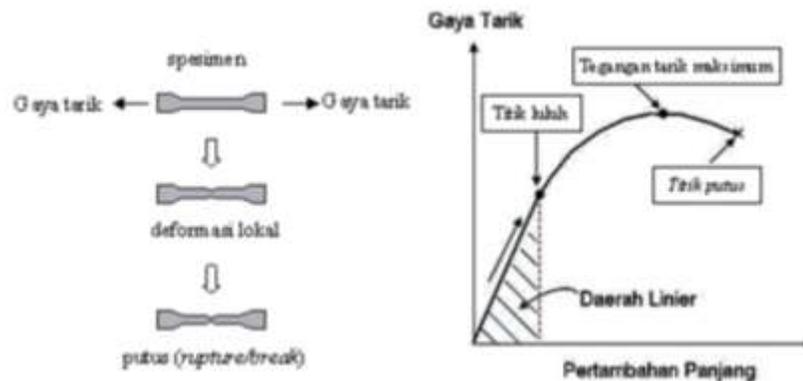
θ = Sudut antara permukaan intan = 136°



Gambar 2.9 Indentor uji kekerasan
Sumber: Dieter (1988)

3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu material dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1988). Kurva tegangan dan regangan dibuat dari hasil pengujian yang didapatkan. Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda yang diuji. Sedangkan regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Pada gambar 2.11 ditunjukkan profil singkat uji tarik.



Gambar 2.10 Profil singkat uji tarik
 Sumber: Sastranegara dan Azahri (2010)

- a) Batas elastis σ_E dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan uji diberikan beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan uji tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “ nol” pada titik 0.
- b) Batas proporsional σ_p adalah titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Biasanya batas proporsional suatu material sama dengan batas elastis.
- c) Deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang tidak kembali pada keadaan semula. Pada gambar di atas bila bahan uji ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.
- d) Tegangan luluh atas σ_{uy} (upper yield stress) adalah tegangan maksimum sebelum bahan uji memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.
- e) Tegangan luluh bawah σ_{ly} (lower yield stress) adalah tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya yang disebutkan tegangan luluh, maka yang dimaksud adalah tegangan ini.
- f) Regangan luluh ϵ_y (yield strain) adalah regangan permanen saat bahan uji akan memasuki fase deformasi plastis.

- g) Regangan elastis ϵ_e (elastic strain) adalah regangan yang diakibatkan perubahan bahan uji. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi awal.
- h) Regangan plastis ϵ_p (plastic strain) adalah regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan uji
- i) Regangan total (total strain) adalah gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada yaitu regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal OE yaitu regangan plastis.
- j) Tegangan tarik maksimum (UTS, ultimate tensile strength) ditunjukkan dengan titik C (σ_B), yaitu besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik. k. Kekuatan patah ditunjukkan dengan titik D, yaitu besar tegangan dimana bahan uji patah atau putus.

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata- dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas penampang benda uji. Dituliskan seperti persamaan 2.2

$$\sigma = F/A \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

σ : Tegangan maksimal

F: gaya tarikan

A: luas penampang

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti persamaan 2.3:

$$\epsilon = \Delta L/L \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

ε : Regangan

ΔL : pertambahan panjang

L: panjang awal

Hubungan antara tegangan (stress) dan regangan (strain) dirumuskan dengan hukum Hooke: $E = \sigma/\varepsilon$.