

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Pengelasan gesek dilakukan terhadap berbagai macam material dengan berbagai parameter. Beberapa penelitian pengelasan gesek telah dilakukan terhadap beberapa material. Diantaranya AA 6063, AA 6061 dan SS 304. Penelitian dilakukan dengan berbagai macam parameter, antara lain : variasi kecepatan putar, variasi tekanan tempa, dan variasi tekanan gesek.

Sahin (2008) meneliti tentang baja tahan karat austenitic dengan aluminium menggunakan metode las gesek dengan parameter waktu gesek yang bervariasi antara 1.5 detik sampai 6 detik, tekanan gesek 30 MPa, waktu tempa 12 detik dan tekanan tempa 60 MPa. Uji kekerasan menggunakan vickers micro-hardness dengan pembebanan 500 g dilakukan di sambungan dan daerah terkena pengaruh panas (HAZ). Hasil kekuatan tarik terbaik pada parameter waktu gesek 4 detik tekanan gesek 30 MPa, tekanan tempa 60 MPa dan waktu tempa 12 detik sebesar 191 MPa. Waktu gesek yang lama meningkatkan penempelan antar logam aluminium dengan logam baja tahan karat austenitik. Adanya kontaminasi pada daerah *interface* mengurangi kekuatan sambungan. Dari hasil pengamatan uji mikro lapisan oksida pada *interface* aluminium terjadi deformasi yang meningkat. Dari hasil uji kekerasan didapat pada daerah dekat *interface* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari pada nilai kekerasan logam dasar.

Eder dkk (2010), melakukan penelitian tentang pengelasan aluminium 1050 dengan stainless steel AISI 304 dengan proses las gesek rotary. Pengelasan gesek logam aluminium 1050 dan stainless steel AISI 304 sangat sulit dilakukan dengan metode *fusion welding* ditunjukkan pada tegangan sifat mekaniknya. Hasil kekuatan tarik terbaik pada variasi tekanan gesek 2.1 (MPa/psi), waktu gesek 32 detik, tekanan tempa 1.4 (MPa/psi) dan waktu tempa 2 detik dengan hasil 80.08 MPa. Uji kekerasan mikro Vickers dengan pembebanan 300 gf pada stainless dan 100 gf pada aluminium dilakukan di sambungan dan di daerah sekitar sambungan keduanya.

Dilakukan 20 titik uji tiap logamnya. Hasilnya nilai kekerasan wilayah dekat sambungan lebih tinggi dari pada nilai kekerasan dasar logam. Penerapan proses ini dalam produksi sendi structural yang akan digunakan dalam aeronautic dan kedirgantaraan.

Yudhistian (2016) meneliti tentang variasi kecepatan putar dan tekanan tempa *friction welding* terhadap sifat mekanik al 6061 dengan hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi kecepatan putar 1000 rpm dengan tekanan tempa 60 MPa sebesar 126,80 MPa dan disitu juga nilai kekerasannya paling tinggi sebesar, *zud* 68 BHN, *zpd* 121 BHN dan *zpl* 89 BHN. Sedangkan hasil pengujian tarik terendah pada variasi kecepatan putar 600 rpm dengan tekanan tempa 50 MPa sebesar 16,22 MPa. Untuk hasil kekerasan tertinggi pada variasi kecepatan putar 1000 rpm dengan tekanan tempa 60 MPa. Pada kondisi hasil pengelasan terjadi cacat lasan yang terlihat saat dilakukan uji struktur mikro dari lasan variasi tekanan tempa 50 MPa. Hal ini menandakan bahwa tekanan yang kurang besar akan menimbulkan cacat las.

Penelitian menggunakan parameter-parameter dari las gesek telah dilakukan, dengan parameter waktu dan tekanan sehingga dapat diketahui parameter yang baik untuk dilakukan pengelasan gesek. Parameter yang sering dipakai adalah variasi tentang tekanan gesek, waktu gesek, dan tekanan tempa. Sedangkan waktu tempa sendiri belum dilakukannya variasi. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan bahwa tekanan yang kecil bisa menimbulkan cacat las. Tetapi dalam penelitian lainnya tekanan kecil di imbangi dengan waktu gesek yang lama sehingga kemungkinan terjadinya cacat las akan berkurang.

2.2 Dasar Teori

Pada waktu ini teknik las sudah banyak dipergunakan secara luas dalam penyambungan batang logam pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luas penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena bangun dan hasil yang dibuat dengan menggunakan teknik pengelasan ini menjadi lebih ringan dan prosesnya juga lebih sederhana, sehingga untuk biaya yang dibutuhkan menjadi

lebih murah. Perkembangan aplikasi teknik pengelasan di dalam bidang konstruksi sangatlah luas, meliputi teknik perkapalan, pembangunan jembatan, pembuatan rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel dan lain sebagainya. Las dapat juga digunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran, mempertebal bagian yang aus dan macam-macam reparasi lainnya (Wiriosumarto dan Okumura; 2004).

Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) definisi las adalah ikatan metalurgi di dalam sambungan logam dan paduannya yang digunakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan (*welding*) adalah salah satu jenis penyambungan logam dengan keadaan mencapai titik lebur logam baik adanya logam tambahan ataupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair logam yang akan dilas (Wiriosutomo dan Okumura; 2004).

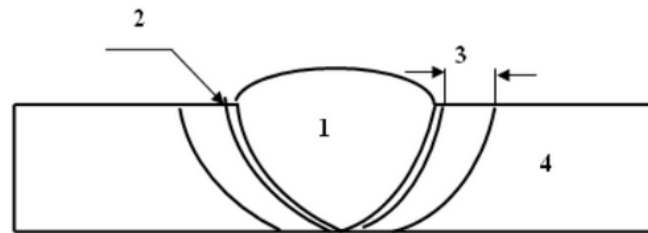
Penggolongan jenis las berdasarkan kondisinya:

1. Pengelasan cair (*fusion welding*) adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar.
2. Pengelasan padat (*solid state welding*) merupakan kondisi pengelasan dimana logam yang dilas tidak sampai mencair.

2.3 Daerah Pengelasan

2.3.1 Pengelasan Fusi

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas pada saat pengelasan. Pengaruh panas tersebut menyebabkan perubahan struktur mikro, sifat mekanik pada daerah daerah tertentu. Daerah pengelasan dibagi menjadi 4 yaitu: logam lasan, garis gabungan, daerah HAZ, dan logam induk seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.

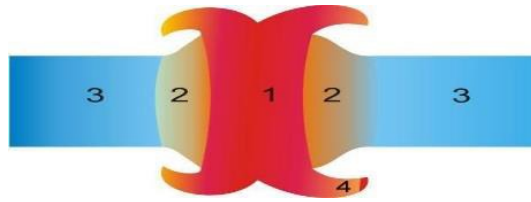


Gambar 2.1. Daerah pengelasan fusi.
Sumber : Artikel Teknik Mesin (2016).

Daerah lasan terdiri dari empat bagian:

1. Logam lasan (*weld metal*), yaitu daerah endapan las (*weld deposit*) logam disaat melakukan pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las (*weld deposit*) ini merupakan logam pengisi (*filler metal*) yang telah mencair.
2. Garis gabungan (*fusion line*), merupakan garis diantara logam lasan dan daerah yang terkena panas (HAZ) yang bisa dilihat dengan mengetsa hasil penampang las. Daerah ini merupakan daerah batas bagian cair dan padat dari sambungan lasan.
3. HAZ (*Heat Affected Zone*), yaitu merupakan daerah yang terkena pengaruh panas yang dilakukan selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan dengan cepat.
4. Logam induk (*parent metal*), adalah bagian logam lasan yang tidak terkena pengaruh panas karena proses pengelasan dan temperatur yang disebabkan saat pengelasan tidak menimbulkan terjadinya perubahan struktur dan sifat dari logam induk tersebut. Hal ini disebabkan karena temperatur yang terjadi pada logam induk belum mencapai temperatur kritis.

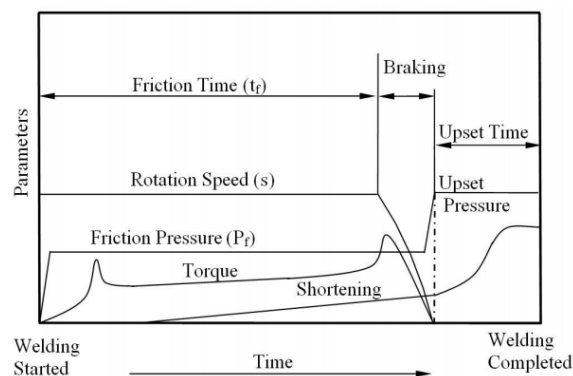
2.3.2 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)



Gambar 2.2. Daerah las gesek.
Sumber : Sigit Purnomo (2016).

Berdasarkan daerah pada pengelasan gesek di bagi menjadi 3 daerah pengelasan yaitu :

1. Daerah inti atau yang berwarna merah adalah daerah utama pengelasan yang mengalami pembekuan. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (columnar grains).
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami perubahan struktur mikro dan sifat-sifat mekanismenya akibat 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.
3. Logam Induk adalah daerah dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.
4. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan.



Gambar 2.3. Parameter las gesek.
Sumber : Sahin (2008).

Berdasarkan bentuk kurva pada friction welding akan di bagi menjadi tiga fase lihat pada gambar 3 yaitu: Fase 1 : fase gesekan (friction phase), Fase 2 : fase

berhenti (breaking phase), Fase 3 : fase penempaan/ Upset (forging phase). Fase 1 adalah fase gesekan, fase ini adalah fase untuk meningkatkan temperatur. Peningkatan temperatur terjadi karena adanya sumber panas yaitu gesekan dua buah logam. Waktu yang dibutuhkan cukup besar dibanding fase lainnya. Fase 2 adalah fase berhenti. Fase ini diharapkan durasi waktu secepat mungkin supaya panas yang terjadi tidak hilang. Metode ini bergantung pada perubahan langsung dari energi mekanik ke energi termal untuk membentuk lasan, tanpa aplikasi panas dari sumber yang lain. Dibawah kondisi normal tidak terjadi pencairan pada kedua permukaan.

2.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

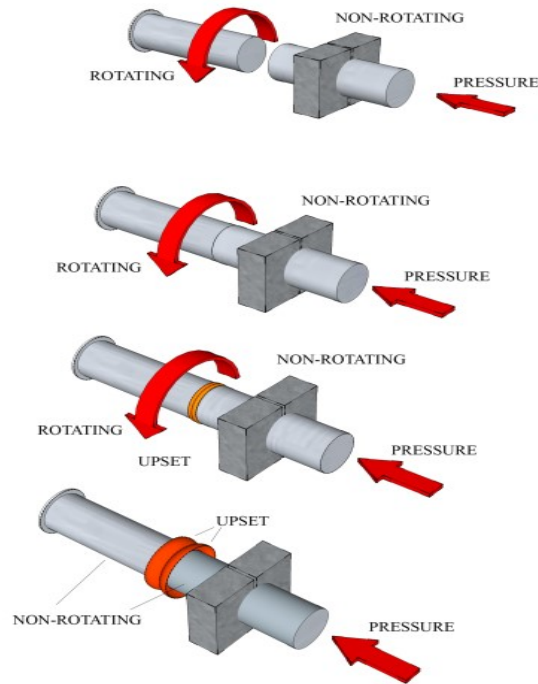
Teknologi las gesek (friction welding) merupakan salah satu metode proses pengelasan jenis *solid state welding*. Panas yang terjadi dihasilkan dari gesekan antara permukaan kedua ujung benda kerja. Dengan mengkombinasikan panas dan tekanan tempa maka dua buah logam akan tersambung. Teknologi las gesek 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.

Berdasarkan metode penggesekannya pengelasan gesek dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

2.4.1 Rotary Friction Welding

Rotary friction welding adalah pengelasan yang terjadi 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. Gambar 2.4. adalah proses atau tahapan pengelasan rotary friction welding.



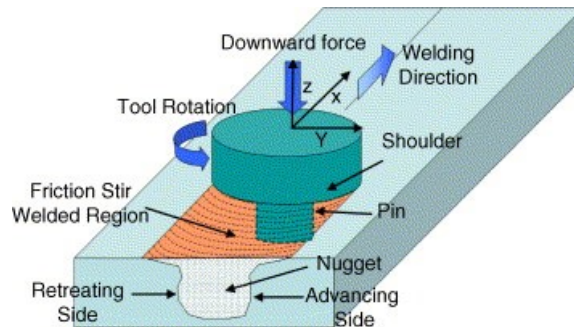
Gambar 2.4. Rotary friction welding.
Sumber : Gatwick Sales 2017.

Penyambungan yang terjadi dari perputaran logam yang saling bergesekan dibawah pengaruh tekanan aksial. Permukaan yang saling bersinggungan terjadi panas sehingga logam mendekati titik cairnya maka membuat permukaan yang bersinggungan menjadi plastis. Berikut ini tahap proses adalah sebagai berikut:

1. Salah satu logam poros diputar, bersamaan dengan logam poros yang satunya di tekan dengan tekanan aksial
2. Kedua logam satu sama lain disinggungkan secara linear sehingga timbul panas akibat gesekan
3. Akibat gesekan yang menimbulkan panas, sampai mendekati titik lebur logam tersebut sehingga terjadi *flash*
4. Kemudian mesin dimatikan, setelah mesin berhenti secara langsung diberi tekanan aksial. Terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam tersebut.

2.4.2 Friction Stir Welding

Stir friction welding merupakan suatu metode pengelasan gesek dengan sumber panas yang berasal dari gesekan antara benda kerja dengan pahat yang berputar. Proses pengelasan dengan menggunakan metode stir friction welding biasanya digunakan untuk menyambung pelat ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Stir Friction Welding

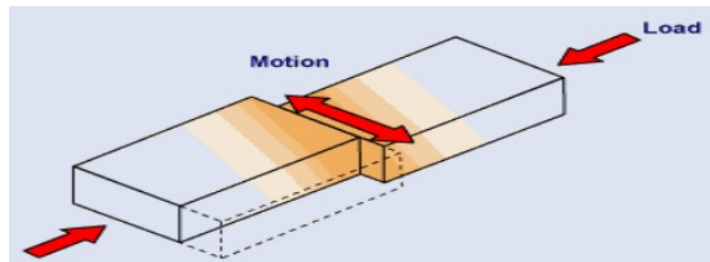
Sumber : *Journal Material Science and Engineering 2005. Process Friction Stir Welding.*

Proses Stir Friction Welding

1. Dimulai dengan memutar tool, posisikan tool pada posisi antara tengah bagian yang akan dilas.
2. Memulai dengan menggesekan tool dari ujung benda yang akan dilas.
3. Menggeser tool sampai semua daerah yang dilas selesai.
4. Proses pengelasan Stir Friction Welding selesai.

2.4.3 Linier Friction Welding

Linier Friction Welding adalah suatu metode dimana chuck bergerak berosilasi lateral bukannya berputar. Kecepatan jauh lebih rendah pada umumnya, linier friction welding membutuhkan mesin lebih kompleks daripada rotary friction welding, namun memiliki keuntungan bahwa bagian bentuk apapun dapat bergabung. Seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Linear friction welding*
Sumber : Stephan Kallee and Dave Nicholas. (1999).

2.4.4 Kelebihan Pengelasan Gesek

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.

2.4.5 Aplikasi Pengelasan Gesek

a. *Engine Valve*



b. *Turbo Impeller Shaft*



c. *Rear Axle Housing End*



d. *Impeller*



Gambar 2.7. Aplikasi pengelasan gesek.
Sumber : Izumi Machine Manufacturing (2013).

2.5 Material

2.5.1 Aluminium 6061 (Al-Mg-Si)

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Adanya unsur tambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya pada aluminium dapat meningkatkan kekuatan mekaniknya (Surdia, 2000).

Tabel 2.1 Klasifikasi paduan aluminium (Surdia, 2000)

| Standar AA | Standar Alcoa terdahulu | Keterangan |
|------------|-------------------------|--|
| 1001 | 1S | Al murni 99,5% atau di atasnya |
| 1100 | 2S | Al murni 99,0% atau di atasnya |
| 2010-2029 | 10S-29S | Cu adalah unsur paduan utama |
| 3003-3009 | 3S-9S | Mn adalah unsur paduan utama |
| 4030-4039 | 30S-39S | Si adalah unsur paduan utama |
| 5050-5086 | 50S-69S | Mg adalah unsur paduan utama |
| 6061-6069 | | Mg ₂ Si adalah unsur paduan utama |
| 7070-7079 | 70S-79S | Zn adalah unsur paduan utama |

Paduan aluminium – magnesium – silikon termasuk kedalam jenis yang bisa diperlakukan panas dan memiliki sifat mampu potong, mampu las, dan tahan karat yang cukup baik (Wirjosumarto, 2000). Apabila magnesium dan silikon dipadukan dengan aluminium, maka terbentuklah magnesium silikat (Mg₂Si), kebanyakan paduan aluminium mengandung Si, sehingga penambahan magnesium dibutuhkan untuk mendapatkan efek pengerasan dari Mg₂Si. Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1%. Paduan logam murni dan coran yang diperlukan panas mempunyai

beberapa fase yang terlarut sehingga muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi didalam mikrostruktur yang bergantung pada temperatur spesimen. Pada jenis paduan 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah Mg_2Si .

Tabel 2.2 Perlakuan Al pengerasan penuaan (Callister William D. 2006).

| Kode | Arti | Kode | Arti |
|------|---|------|---|
| T1 | didinginkan dari suhu pabriksi dan <i>diaging</i> secara alami | T6 | perlakuan larutan, dan <i>diaging</i> secara artifisial |
| T2 | didinginkan dari suhu pabriksi, pengerjaan dingin dan <i>diaging</i> secara alami | T7 | perlakuan larutan dan distabilkan dengan <i>overaging</i> |
| T3 | perlakuan larutan, pengerjaan dingin, dan <i>diaging</i> secara alami | T8 | perlakuan larutan, pengerjaan dingin, dan <i>diaging</i> secara artifisial |
| T4 | perlakuan larutan, dan <i>diaging</i> secara alami | T9 | perlakuan larutan, <i>diaging</i> secara artifisial, dan pengerjaan dingin |
| T5 | didinginkan dari suhu pabriksi dan <i>diaging</i> secara artifisial | T10 | diinginkan dari suhu pabriksi, pengerjaan dingin dan <i>diaging</i> secara artifisial |

Tabel 2.3 Sifat-sifat mekanik paduan Al-Mg₂-Si (Surdia, 2000)

| Paduan | Keadaan | Kekuatan Tarik (kgf/mm ²) | Kekuatan Mulur (kgf/mm ²) | Perpanjangan (%) | Kekuatan Geser (kgf/mm ²) | Batas Lelah (kgf/mm ²) |
|--------|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 6061 | 0 | 12,6 | 5,6 | 30 | 8,4 | 6,3 |
| | T4 | 24,6 | 14,8 | 28 | 16,9 | 9,5 |
| | T6 | 31,6 | 28,0 | 15 | 21,0 | 9,5 |

Aluminium paduan seri 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi dikarenakan terbentuknya lapisan oksida pada permukaannya. Logam ini sangat reaktif. Sehingga jika bersentuhan dengan udara lapisan oksida terkelupas maka akan terbentuk lapisan yang baru. AA 6061 memiliki titik cair (*melting point*) 660°C, kekuatan tarik 12,6 kgf/mm², dan berat jenis (*density*) 2,70 g/cm³.

Tabel 2.4 Paduan aluminium 6061 (Surdia, 2000)

| Alloy | Mg | Si | Fe | Cu | Cr | Zn | Mn | Ti |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6061 | 0.99% | 0.66% | 0.25% | 0.31% | 0.16% | 0.01% | 0.08% | 0.02% |

Keuntungan AA 6061:

1. Ketangguhan sangat tinggi (12,6 kgf/mm²)
2. Titik cair rendah (660°C)
3. Ringan (2,70 g/cm³)
4. Tahan terhadap korosi
5. Mudah difabrikasi/dibentuk
6. Mudah diperoleh dipasaran

2.5.2 *Stainless Steel* 304

Stainless steel adalah baja paduan yang memiliki sifat tahan korosi. *Stainless steel* didapat dengan menambahkan unsur Chromium (Cr) pada baja. Unsur Cr ditambahkan minimal 12% yang nantinya akan bereaksi dengan oksigen yang ada di udara (atmosfer) dan Cr membentuk sebuah lapisan tidak aktif *kromium (III) oksida* (Cr₂O₃) ketika bertemu oksigen. Lapisan tersebut kerdap dan kuat sehingga berfungsi sebagai tembok yang melindungi permukaan logam dibawahnya. Sehingga akan mencegah proses korosi berkelanjutan. Lapisan Cr-oksida (Cr₂O₃) ini dapat dikatakan bersifat permanen, karena jika lapisan tersebut rusak misalkan akibat goresan maka akan segera terbentuk lapisan Cr-oksida yang baru. Fenomena ini disebut *Passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada *aluminium* dan *titanium*. *Stainless steel* 304 memiliki titik cair 1399-

1454°C, kekuatan tarik 52,0 kgf/mm², kekuatan luluh 21,0 kgf/mm², dan perpanjangan 50 % (Wiryosumarto dan Okumura, 2004).

Klasifikasi baja tahan karat (*stainless steel*):

1. 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.

2. Baja Tahan Karat *Feritic*

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.

3. 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.

4. 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 -50°C sampai 300° . Termasuk jenis baja tahan karat ini adalah jenis UNS S31803, UNS S32750.

5. Baja tahan karat pengerasan pengendapan, PH, precipitation hardening, mempunyai struktur martensit atau austenite dengan penambahan unsure Tembaga, Titanium, Aluminium, *Molibdenum*, *Niobium*, atau Nitrogen.

Stainless steel 304 adalah termasuk kedalam jenis baja tahan karat *Austenitic* yang mempunyai sifat *nonmagnetic*.

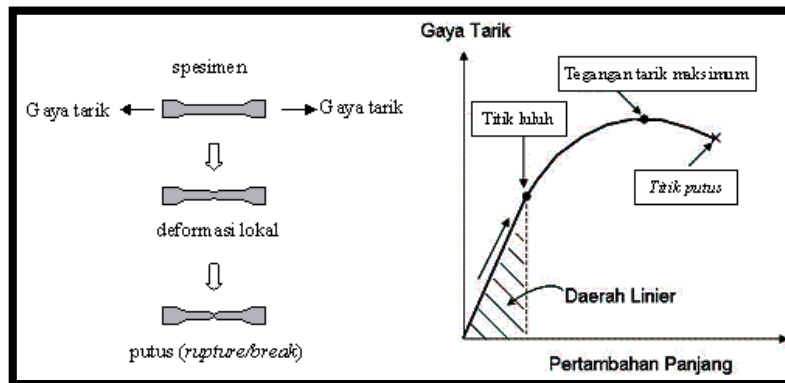
Table 2.5. Paduan *Stainless Steel 304*
Sumber: Wiryosumarto dan Okumura, 2004.

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

Mempunyai sifat mampu lasan yang lebih baik jika dibandingkan dengan martensit dan ferit. *Stainless steel* jenis ini sangat cocok 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 struktuf 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*.

2.6. Pengujian Tarik

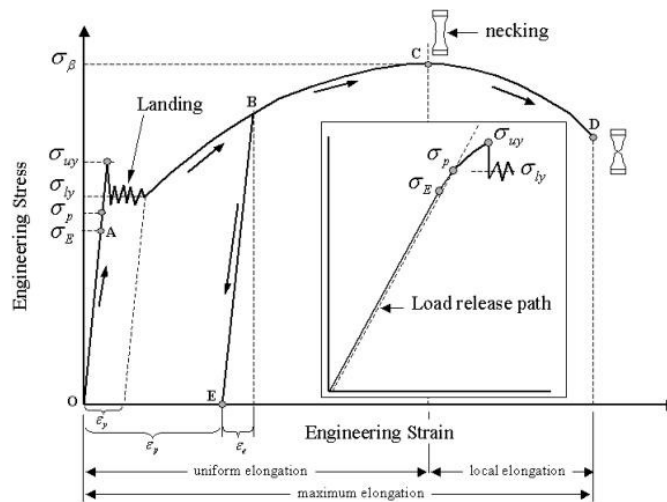
Uji tarik yaitu pemberian tegangan tarik kepada material uji dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan dari material uji. Pada tegangan Tarik digunakan tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara memberikan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan akan mengalami perpajangan yang meningkat dan teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai kekuatan tarik benda uji.



Gambar 2.8. Profil singkat uji Tarik.

Sumber: Sastranegara (2009).

Uji tarik biasanya dilakukan untuk melengkapi informasi tentang kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi beban sesumbu yang bertambah secara kontiniu, dan pada waktu itu dilakukan juga pengamatan mengenai perpanjangan yang terjadi pada benda uji.



Gambar 2.9. Profil data hasil uji tarik.

Sumber: Sastranegara (2009).

Batas elastis σ_e (*elastic limit*) dinyatakan dengan titik A. Bila ada sebuah bahan yang diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya tersebut dihilangkan, maka bahan tersebut kemudian akan kembali ke kondisi awal (tepatnya hampir kembali ke kondisi awal) yaitu regangan “no” pada titik O.

- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*) yaitu sebuah titik sampai di mana titik tersebut untuk menerapkan hukum Hook masih bisa ditolerir. Umumnya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- Deformasi plastis (*plastic deformation*) merupakan suatu perubahan bentuk yang kondisinya tidak akan kembali ke kondisi awalnya. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar yaitu jika bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan kemudian mencapai daerah landing.
- Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*) adalah suatu tegangan maksimum sebelum bahan menginjak ke fase daerah landing peralihan dari deformasi elastis ke plastis.
- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*) adalah tegangan rata-rata pada daerah landing sebelum benar-benar menginjak fase deformasi plastis. Tegangan disini adalah tegangan yang sering disebut dengan tegangan luluh (*yield stress*).
- Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*) adalah regangan permanen pada saat bahan akan menginjak fase deformasi plastis.
- Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*) adalah regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
- Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*) adalah regangan yang dikarenakan perubahan plastis. Pada saat beban mulai dilepaskan regangan ini akan tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- Regangan total (*total strain*) merupakan gabungan antara regangan plastis dan regangan elastis. $\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p$ Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, merupakan regangan total. Ketika beban mulai dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) merupakan regangan plastis.
- Tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) yang ditunjukkan oleh titik C (σ_β), merupakan besarnya tegangan maksimum yang akan diperoleh dalam uji tarik.

- Kekuatan patah (*breaking strength*) yang ditunjukkan oleh titik D, merupakan besarnya tegangan di mana bahan yang sudah diuji telah putus.

Hukum Hooke (*Hooke's Law*) untuk hampir semua jenis logam, pada tahap awal merupakan tahap uji tarik, hubungan diantara beban ataupun gaya yang diberikan akan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan. Pada kondisi ini akan menimbulkan daerah *linier* atau *linear zone*. Pada daerah ini, kurva penambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut : rasio tegangan (*stress*) rumus persamaan 2.1. dan regangan (*strain*) rumus persamaan 2.2. adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah penambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\text{Stress: } \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{ persamaan (2.1.)}$$

Keterangan:

F: gaya tarikan,

A: luas penampang

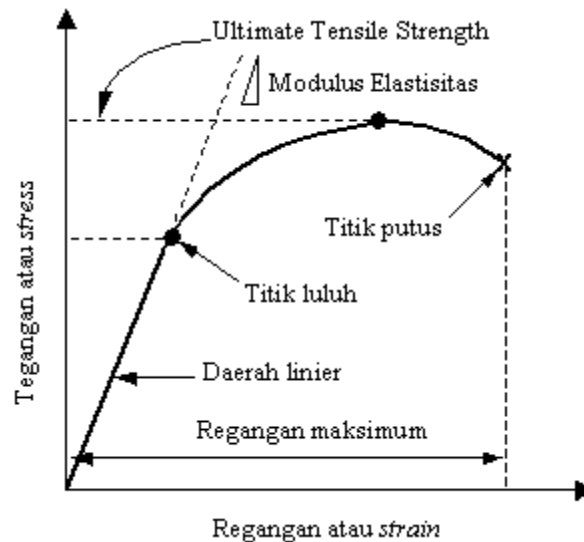
$$\text{Strain: } \epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{ persamaan (2.2.)}$$

Keterangan:

ΔL : penambahan panjang,

L : panjang awal

Hubungan antara regangan dan tegangan:

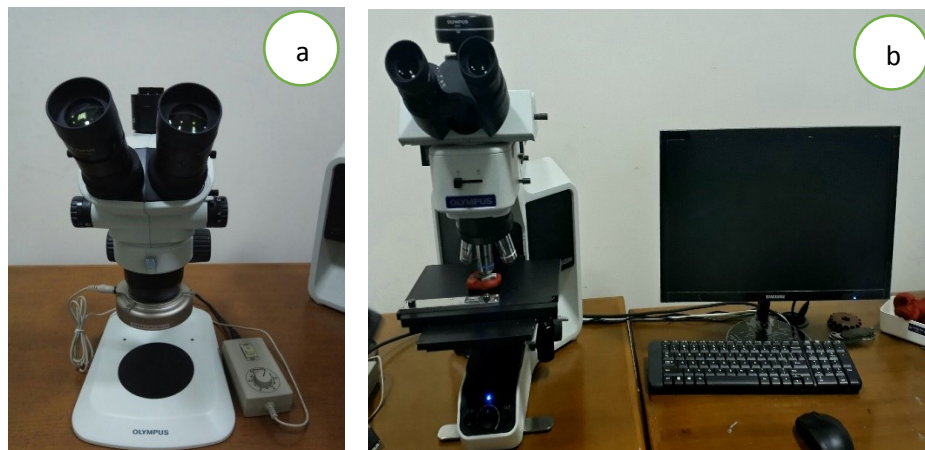


Gambar 2.10. Kurva Tegangan-Regangan.
Sumber: Sastranegara (2009).

Dengan sedikit modifikasi antara hubungan gaya tarik dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Kemudian didapatkan kurva yang merupakan standar eksperimen uji tarik. E merupakan gradien kurva pada daerah linier, di mana bahwa perbandingan antara tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva hubungan yang menyatakan antara *strain* dan *stress* disingkat kurva SS (*SS curve*).

1.7. Pengujian Metalografi

Metallografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan prosentase campuran logam tersebut. *Metallografi* merupakan suatu pengetahuan yang khusus mempelajari struktur logam dan mekanismenya. Dalam metallografi dikenal pengujian makro (*macroscopic test*) dan pengujian mikro (*microscopic test*).



Gambar 2.11. Alat uji makro (a) dan mikro (b).

Pengujian makro (*macroscope test*) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk *non-metal* (bukan logam).

Pengujian mikro (*microscope test*) ialah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Mengingat demikian halusnya, sehingga pengujiannya menggunakan suatu alat yaitu mikroskop optis bahkan mikroskop elektron yang memiliki kualitas pembesaran antara 50 hingga 3000 kali.

Pengujian *metallografi* dapat memberikan gambar-gambar dari struktur logam yang diuji sehingga dapat diteliti lebih lanjut mengenai hubungan struktur pembentuk logam dengan sifat-sifat logam tersebut.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian metalografi:

1. Pemotongan

Hal yang harus diperhatikan dalam pemotongan adalah besarnya deformasi dan panas yang berlebih. Maka dari itu perlu diberikan pendinginan pada saat dilakukannya pemotongan.

2. *Mounting*

Untuk memudahkan proses pemesinan maka dilakukan mounting atau penyalutan. Proses ini membutuhkan media sebagai tempat spesimen. Mounting sendiri menggunakan bahan dari resin.

3. Pengamplasan (*Grinding*)

Specimen yang telah dipotong otomatis masih mempunyai permukaan yang kasar. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pengamplasan agar mendapatkan permukaan yang rata dan halus. Dengan kertas amplas silikon karbid dilakukan beberapa tingkatan berdasarkan butir abrasifnya mulai dari 120, 320, 1000, 1500 dan terakhir 2000. Hal yang harus diperhatikan dalam hal ini adalah pemberian air yang berfungsi memindahkan geram dan memperkecil kerusakan yang ditimbulkan oleh panas dari gesekan.

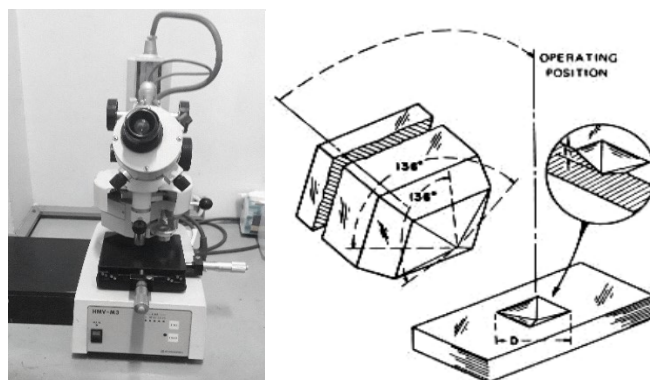
4. Pemolesan (*Polishing*)

Proses pemolesan dilakukan setelah proses pengamplasan selesai. Tujuan dari pemolesan adalah agar mendapat permukaan yang halus tanpa goresan dan mengkilap. Pemolesan itu sendiri dilakukan dengan menggunakan autosol.

5. Etsa (*Etching*)

Etsa dilakukan untuk mengikis batas butir pada permukaan logam. Dilakukan secara selektif dan terkendali dengan dioles ataupun dicelup kedalam larutan etsa baik menggunakan arus listrik ataupun tidak.

1.8. Pengujian Kekerasan Mikro Vickers



Gambar 2.12. Alat uji kekerasan.

Pada metode ini pengujian yang dilakukan adalah dengan menekankan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan. Digunakan indentor intan berbentuk piramida dengan sudut 136° , seperti diperlihatkan oleh Gambar 3.14. Analisa kekerasan dilakukan setelah gaya tekan dihentikan dan indentor piramida dinaikkan dari spesimen uji (permukaan bekas goresan memiliki bentuk segi empat karena piramid merupakan piramid sama sisi). Bekas goresan yang timbul dilihat dengan menggunakan mikroskop dan dihitung secara teliti sebelum dijadikan nilai kekerasan. Nilai kekerasan yang diperoleh dari uji kekerasan vickers disebut dengan HV atau HVN (Vicker Hardness Number). Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak.

Penghitungan nilai kekerasan vickers (HVN) dapat dilakukan dengan mengukur diagonal goresan yang terjadi pada bahan. Rumus penghitungan HVN adalah sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.3)}$$

Keterangan :

VHN = nilai kekerasan Vickers

P = beban yang digunakan (kg)

D = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan benda dengan indentor ($^\circ$)