

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang pengujian sifat fisis dan mekanis sambungan lasan telah banyak dilakukan, beberapa penelitian sebelumnya pernah dilakukan antara lain Asfarizal dan Richardo (2019: 20) dengan judul “Pengaruh Variasi Media Pendingin Hasil Sambungan Las Baja Paduan Terhadap Nilai Ketangguhan”. Dari hasil penelitian, didapatkan sambungan las dengan media pendingin udara rata-rata lebih tangguh khusus kampuh I dengan $HI = 1,65 \text{ J/mm}^2$. Untuk media pendingin oli dan air laut kampuh yang tangguh adalah kampuh V yaitu nilai pada kampuh V oli dengan $HI \text{ rata-rata} = 0,91 \text{ J/mm}^2$ dan pendinginan air laut nilai kampuh V $HI \text{ rata-rata} = 0,58 \text{ J/mm}^2$. Metoda media pendingin sangat berpengaruh terhadap nilai ketangguhan. Pada media pendingin udara, media pendingin oli, dan air laut dapat dikelompokkan menjadi pendinginan lambat, sedang, dan cepat.

Persamaan penelitian yang dilakukan Asfarizal dan Richardo dengan peneliti adalah pengelasan dilakukan dengan menggunakan las *SMAW* dan pengujian terhadap sifat mekanis dengan menggunakan uji tarik, sedangkan perbedaannya adalah menggunakan media pendingin yang berbeda, jenis bahan yang digunakan, dan tanpa melakukan pengamatan struktur mikro.

Djamaludin, (2019). TM, FT, UNNES “Pengaruh Variasi Arus Pada Hasil Pengelasan Baja ST 37 Terhadap Kekuatan Tarik”. Dilakukan proses pengelasan dengan memvariasikan arus yaitu 90A, 100A dan 110A. Dari hasil penelitian didapatkan kekuatan tarik sambungan las tertinggi terjadi pada spesimen arus 110A yaitu sebesar 389,5 MPa. Nilainya mengalami kenaikan sebesar 28,1 MPa dari raw materials. Nilai tegangan luluh tertinggi terdapat pada spesimen arus pengelasan 110A yaitu 305,4 MPa. Nilainya mengalami kenaikan sebesar 44,3 MPa dari spesimen raw materials. Nilai perpanjangan tertinggi terdapat pada spesimen raw materials, yaitu sebesar 18,8 %. Nilai perpanjangan kedua terdapat pada spesimen arus pengelasan 110A, yaitu sebesar 7 %. Nilainya mengalami kenaikan sebesar 4,2 % dari spesimen 90A dan 3,6 % dari spesimen 100A. Nilai reduksi penampang spesimen raw materials mempunyai nilai tertinggi, yaitu 14,79 %. Reduksi penampang tertinggi kedua terdapat pada spesimen arus pengelasan 110A, yaitu sebesar 11,12 % ini berarti mengalami kenaikan sebesar 10,23 % dari spesimen 90A dan 8,79 % dari spesimen 100A. Pada spesimen I dan III (Arus 90A dan 110A) terdapat cacat las inklusi terak, sedangkan pada spesimen II (Arus 100A) cacat las yang terjadi adalah inklusi terak dan porositas.

Hendi Saputra dan Ahmad Syarif (2019), “Analisa Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik”. Setelah dilakukan analisis dengan 3 variasi media pendingin pasca pengelasan yaitu air kelapa, air garam dan oli bekas dengan data kekuatan tarik

Air kelapa sebesar $59,764 \text{ kg/mm}^2$, Air garam $52,396 \text{ kg/mm}^2$ dan Oli bekas $53,153 \text{ kg/mm}^2$. Dari data tersebut maka media pendingin dengan rata-rata tertingginya adalah Oli bekas dengan kekuatan tariknya $53,153 \text{ kg/mm}^2$. Karena penggunaan Oli bekas akan menyebabkan timbulnya selaput karbon yang bertujuan untuk memperbaiki sifat baja tersebut disimpulkan untuk meningkatkan kekuatan dari baja. Sedangkan rata-rata pengujian terendah adalah media pendingin air kelapa dengan rata-rata kekuatan tariknya $49,764 \text{ kg/mm}^2$.

Amin (2020: 23) dengan judul “Pengaruh Besar Arus *Temper Bead Welding* Terhadap Ketangguhan Hasil Las *SMAW* Pada Baja ST37”. Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa pengelasan *temper bead welding* dengan arus pengelasan antar lapisan yang rendah (70/70 amper) memungkinkan terbentuknya struktur yang lebih homogen pada *HAZ*. Pada logam las, *temper bead welding* dengan arus pengelasan 70/70 amper memungkinkan terbentuknya struktur *columnar* dan struktur yang terkena pemanasan kembali (*reheat*). Struktur *columnar* memperlihatkan struktur yang didominasi oleh *accicular ferrite*, dan sedikit struktur *widmansten* dan *grain boundary ferrite*. Sebaliknya pada logam las tanpa perlakuan struktur yang terbentuk didominasi oleh *grain boundary ferrite*, serta *ferrite widmansten* dan *accicular ferrite*. Perlakuan yang memberikan kekuatan dampak *HAZ* tertinggi pada perlakuan P1H dengan besar arus 70/70 amper yaitu $0,716 \text{ J/mm}^2$ dan terendah yaitu $0,699 \text{ J/mm}^2$ pada perlakuan P3H. Perlakuan yang memberikan kekuatan dampak logam las paling tinggi terjadi pada perlakuan P1 (besar arus 70/70 amper) dan P3 (besar arus 80/70) yaitu sama-sama $0,718 \text{ J/mm}^2$ dan terendah pada P2 (besar arus 70/80 amper) yaitu $0,717 \text{ J/mm}^2$.

Persamaan penelitian yang dilakukan Amin dengan peneliti adalah pengelasan dilakukan dengan menggunakan las *SMAW*, melakukan pengamatan kekuatan tarik dan pengujian terhadap sifat mekanis dengan menggunakan uji dampak sedangkan perbedaannya adalah menggunakan variasi arus yang berbeda, tidak menggunakan variasi media pendinginan, jenis bahan yang digunakan, dan jenis elektroda yang digunakan.

Setiawan dan Wardana (2020: 57) dengan judul “Analisa Ketangguhan dan Kekuatan tarik pada Daerah Lasan dan *HAZ* Hasil Pengelasan *Sumerged Arc Welding* pada Baja SM 490”. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya pembesaran ukuran butir logam induk untuk setiap kenaikan input panas. Pada heat input $2,1 \text{ kJ/mm}$ menunjukkan jumlah *Ferrite Accicular* yang lebih banyak, sehingga memberikan nilai ketangguhan las tertinggi pada suhu transisi $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ sebesar 50 joule dan pada suhu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ketangguhan las tertinggi pada masukan panas $3,16 \text{ kJ/mm}$ sebesar 117 joule.

Persamaan penelitian yang dilakukan Setiawan dan Wardana dengan peneliti adalah melakukan pengamatan kekuatan tarik dan pengujian terhadap sifat mekanis dengan menggunakan uji dampak, sedangkan perbedaannya adalah pengelasan dilakukan dengan menggunakan las *SMAW*, jenis bahan yang digunakan, variasi arus yang digunakan, dan tidak menggunakan variasi media

pendinginan.

Suheni, dkk (2020: 54) dengan judul “Analisa Beda Temperatur *Post Heating* Pada Proses Pengelasan *GMAW* Terhadap Kekuatan Impak”. Dari hasil penelitian pada masing-masing spesimen benda uji dengan beda temperatur *post heating* 200°C, 350°C, dan 500°C, didapatkan rata-rata nilai ketangguhan impak sebagai berikut : spesimen I dengan temperatur *post heating* 200°C dengan gas lindung karbondioksida 0,10933 J/mm², spesimen II dengan temperatur *post heating* 350°C dengan gas lindung karbondioksida 0,13768 J/mm², spesimen III dengan temperatur *post heating* 500°C dengan gas lindung karbondioksida 0,06804 J/mm², spesimen IV dengan temperatur *post heating* 200°C dengan gas lindung argon 0,10877 J/mm², spesimen V dengan temperatur *post heating* 350°C dengan gas lindung argon 0,14766 J/mm², spesimen VI dengan temperatur *post heating* 500°C dengan gas lindung argon 0,14444 J/mm².

Persamaan penelitian yang dilakukan Suheni, dkk dengan peneliti adalah jenis bahan yang digunakan, melakukan pengamatan kekuatan tarik dan pengujian terhadap sifat mekanis dengan menggunakan uji impak, sedangkan perbedaannya adalah pengelasan dilakukan dengan menggunakan las *GMAW*, las CO₂, variasi arus yang digunakan, dan tidak menggunakan variasi media pendinginan.

2.2 Kajian Teori

2.2.1. Pengelasan

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industri Normen (DIN)* las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryo Sumarto dan Okumura 2000: 1).

Berbagai macam teknik pengelasan yang dilakukan diantaranya adalah pengelasan busur nyala logam terlindung (*shield metal arc welding*), pengelasan nyala busur terbenam (*submerged arc welding*), pengelasan nyala busur logam gas, dan pengelasan berinti fluks. Dari sekian teknik pengelasan yang ada, teknik pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengelasan busur nyala logam terlindung (*shield metal arc welding*).

2.2.2. Las SMAW (Shield Metal Arc Welding)

Las *SMAW (Shield Metal Arc Welding)* merupakan las busur nyala listrik terlindung yang pengelasannya dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam (Sriwidharto 1996: 13).

Las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur listrik ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama. Proses pemindahan

logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Apabila menggunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus yang dapat menjadikan logam memiliki sifat mampu las yang tinggi, sedangkan pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus. Oleh karena itu bahan fluks dan besar arus sangat berpengaruh terhadap hasil lasan (Wiryosumarto dan Okumura 2000: 9).

2.2.3. Polaritas Pengelasan

Dalam pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencairan logam, arus listrik yang dipergunakan dapat berupa arus bolak balik atau searah. Pada arus bolak balik tidak terdapat masalah mengenai polaritas, namun dalam pemakaian arus searah maka pemakaian harus benar-benar diperhatikan

sebelum mulai pengelasan, sebab pemakaian polaritas yang berlawanan dengan yang seharusnya dipakai untuk jenis elektroda tertentu, akan mengakibatkan buruknya hasil pengelasan.

Terdapat dua jenis polaritas, yaitu polaritas lurus (*straight polarity*) / listrik DC (*direct current*) dan polaritas terbalik (*reverse polarity*) / listrik AC (*alternating current*). Yang dimaksud dengan polaritas lurus adalah tangkai las yang dihubungkan dengan kutub negatif dan penjepit las dihubungkan pada kutub positif pada mesin las. Sedangkan polaritas terbalik adalah tangkai las yang dihubungkan dengan kutub positif dan penjepit las dihubungkan pada kutub negatif pada mesin las (Sriwidharto 1996: 47).

Pada polaritas terbalik, kutub positif menerima panas $\frac{2}{3}$ sedangkan kutub negatif menerima panas $\frac{1}{3}$. Begitu juga sebaliknya, pada polaritas lurus, kutub positif menerima panas $\frac{1}{3}$ sedangkan kutub negatif menerima panas $\frac{2}{3}$.

2.2.4. Elektroda Terbungkus

Pengelasan *SMAW* menggunakan jenis elektroda yang terbungkus dengan fluks. Pada waktu pengelasan selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO₂ yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung CO₂ dan Nitrogen dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan yang masih panas (Suratman 2001: 141).

Menurut Kenyon (1985: 77), fungsi dari lapisan elektroda / fluks antara lain :

1. Menyediakan suatu perisai yang melindungi gas sekeliling busur api dan logam cair dengan demikian mencegah oksigen dan nitrogen dari udara memasuki logam las.
2. Membuat busur api stabil dan mudah dikontrol.

3. Mengisi kembali setiap kekurangan yang disebabkan oleh oksidasi elemen-elemen tertentu dari genangan las selama pengelasan dan menjamin las mempunyai sifat-sifat mekanis yang memuaskan.
4. Menyediakan suatu terak pelindung yang juga menurunkan kecepatan pendinginan logam las dengan demikian menurunkan kerapuhan akibat pendinginan
5. Membantu mengontrol ukuran dan frekuensi tetes logam cair.
6. Memungkinkan digunakannya posisi yang berbeda.

2.2.5. Kuat Arus

Kuat arus pengelasan adalah besarnya arus yang digunakan dalam proses pengelasan. Besar arus dalam proses pengelasan memiliki peranan penting dalam menentukan hasil lasan. Arus las yang terlalu tinggi akan mengakibatkan suatu lapisan las yang lebar dan datar dengan kerutan yang kasar, sedangkan arus las yang terlalu rendah akan mengakibatkan busur api sulit dikontrol dan seringkali ujung elektroda menyatu dengan pelat (Kenyon 1985: 82).

Besarnya arus las yang dibutuhkan dalam pengelasan tergantung dari bahan dan ukuran lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan macam elektroda, dan diameter inti elektroda (Wirjosumarto dan Okumura 2000: 224).

2.2.6. Sambungan Kampuh V Tunggal

Sambungan V-tunggal dapat juga dibuat tertutup ataupun terbuka. Sambungan ini lebih kuat daripada sambungan persegi dan dapat dipakai untuk menerima gaya tekan yang besar, serta lebih tahan terhadap kondisi beban statis. Pada pelat dengan tebal 3 mm – 20 mm perembesan penetrasi dapat dicapai 100% (Suratman 2001: 46).

2.2.7. Satainless Steel

Stainless steel terbagi menjadi beberapa golongan berdasarkan struktur metalurginya (*crystalline structure*):

1. *Austenitic Stainless Steel*; mengandung sedikitnya 16% chromium, 7% nickel dan nitrogen. Austenitic SS memiliki sifat seperti pembentukan dan pengelasan yang sangat baik, kekuatan & ketahanan tinggi di lingkungan suhu tinggi dan juga suhu rendah (*cryogenic*), dapat dikeraskan melalui pengerjaan dingin (*cold work*) serta ketahanan karat/korosinya lebih baik dibandingkan baja stainless ferritik dan martensitic. Tipe (seri) SS 300 merupakan grade austenitic yaitu perpaduan chromium-nickel dengan kandungan mangan (Mn) maksimal 2%. Tipe (seri) SS 200 (201, 202) juga merupakan grade austenitic dengan perpaduan Cr-Mn-Ni-N dimana kandungan mangan (Mn) 4% - 15,5% dan 7% nickel (Ni). Tipe SS 200 diproduksi dengan menggunakan metode dan mesin yang sama seperti produksi tipe SS 300. Perbedaan tipe SS 200 adalah sebagian nickel (Ni) yang digunakan pada tipe SS 300, diganti (substitute) dengan Mangan/Manganese (Mn) dan Nitrogen (N). Alasan penggantian

dengan mangan (Mn) dikarenakan harganya lebih murah dibandingkan dengan harga nickel. Ketahanan karat pada tipe SS 200 kurang dibandingkan dengan tipe SS 300.

2. *Ferritic Stainless Steel*; mengandung chromium 10,5% - 29% dan sangat sedikit nickel. Kandungan lainnya adalah molybdenum, aluminium, titanium dan lain-lain (18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo, 29Cr-4Mo, and 29Cr-4Mo-2Ni). Ferritic SS tidak dapat dikeraskan melalui heat treatment. Ketahanan terhadap karat berkurang karena rendahnya kandungan chromium dan nickel. Harga ferritic SS tidak begitu mahal. Sebagian tipe SS 400 yang masuk ke grade ferritic adalah 405, 409, 430, 434, 439, 444, 446,
3. *Martensitic Stainless Steel*; mengandung chromium 10,5% - 18%, nickel kurang dari 2% dan karbon relatif tinggi. Kandungan lainnya: molybdenum, niobium, silicon, tungsten, vanadium dan lain-lain. Matensitic SS dapat dikeraskan melalui heat treatment. Ketahanan terhadap karat tidak sebaik austenitic SS & ferritic SS, tetapi kekuatan dan kekerasan baja ini luar biasa. Digunakan pada aplikasi komponen struktur, peralatan cutting & grinding (mis: pisau) dan lain-lain. Sebagian tipe SS 400 yang masuk ke grade Martensitic adalah 403, 410, 414, 416, 420, 431, 440 A, 440 B, 440 C.
4. *Duplex Stainless Steel*; merupakan paduan campuran mikrostruktur dari autenitic dan ferritic dimana didesain untuk campuran 50/50. Mengandung chromium yang tinggi (19–28%), molybdenum (up to 5%) dan kandungan nickel yang lebih rendah dari austenitic SS. Kandungan lainnya: nitrogen, tembaga, silicon, tungsten dan lain-lain. Ketahanan korosi duplex SS hampir sama dengan austenitic SS, sedangkan ketangguhannya diantara austenitic SS dan ferritic SS. Kelebihan duplex SS adalah kekuatannya dua kali lebih baik dibandingkan dengan austenitic SS, nilai tegangan tarik & luluh tinggi, ketahanan korosi retak tegang (stress corrosion cracking) lebih baik dari pada austenitic SS. Digunakan dalam industri kertas/pulp, pembuatan kapal, industri petrokimia dan lain-lain.
Grade duplex digolongkan berdasarkan sifat kandungan paduan dan ketahanan korosi/karat:
Lean duplex: UNS S32101 (LDX 2101), S32304, and S32003.
Standard duplex: 22% chromium S31803/S32205 dikenal sebagai 2205.
Super duplex: 25% chromium S32760 (Zeron 100), S32750 (2507), and S32550 (Ferralium).
Hyper duplex: Chromium yang lebih tinggi, seperti S32906.
5. *Precipitation Hardening Steel*; (Baja Stainless Pengerasan Endapan); berstruktur austenitic atau martensitic dalam kondisi anil. Kekuatannya dibentuk melalui pengerasan endapan pada struktur martensitic. Pembentukan ini disebabkan oleh penambahan unsur tembaga (Cu), titanium (Ti), niobium (Nb) dan aluminium. Tipe yang masuk grade Precipitation Hardening SS

adalah 17.4 (17% chromium & 4% Nickel), 15.5, 13.8, 17.7, 15.7 Mo Digunakan pada aplikasi komponen struktur, Spring dll.

2.2.8. Masalah – Masalah Yang Timbul Dalam Pengelasan

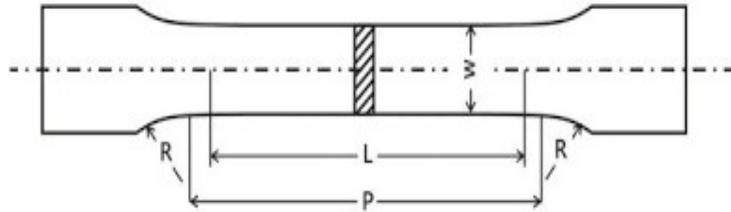
1. Peleburan tak sempurna terjadi karena logam pada posisi dasar dan logam yang berdekatan tidak melebur bersama secara menyeluruh. Peleburan tak sempurna terjadi jika permukaan yang akan disambung tidak bersih dan dilapisi kotoran, terak, oksida, dan bahan lainnya. Penyebab lain dari cacat ini adalah pemakaian peralatan las yang arus listriknya tidak memadai, sehingga logam dasar tidak mencapai titik lebur. Laju pengelasan yang terlalu cepat juga dapat menimbulkan pengaruh yang sama.
2. Keretakan pada daerah las dibagi dalam dua kelompok, yaitu retak panas dan retak dingin. Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000: 78), retak dingin adalah retak yang terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan, sehingga lazim disebut retak lambat. Retak dingin disebabkan oleh tiga hal, antara lain : struktur dari daerah pengaruh panas (*HAZ*), hidrogen difusi di daerah las, dan tegangan.
3. Perubahan bentuk pada lasan faktor yang mempengaruhi terbentuknya deformasi las dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok pertama yang erat hubungannya dengan masukan panas pengelasan dan kelompok kedua yang disebabkan oleh adanya penahan atau penghalang pada sambungan las. Faktor yang termasuk dalam kelompok pertama adalah: masukan panas pengelasan (yang ditentukan oleh tegangan listrik, aliran listrik, kecepatan dan ukuran serta jenis elektroda), cara pengelasan, suhu pemanasan mula, tebal pelat, geometri sambungan dan jumlah lapisan dari lasan. Kelompok yang kedua adalah: bentuk, ukuran serta susunan dari batang-batang penahan dan urutan pengelasan (Wiryosumarto dan Okumura 2000: 145).

2.2.9. Kekuatan Tarik

Tujuan dari dilakukannya suatu pengujian mekanis adalah untuk menentukan *respon material* dari suatu konstruksi, komponen atau rakitan fabrikasi pada saat dikenakan *beban* atau *deformasi* dari luar. Dalam hal ini akan ditentukan seberapa jauh *perilaku inheren* sifat yang lebih merupakan ketergantungan atas fenomena atomik maupun mikroskopis dan bukan dipengaruhi bentuk atau ukuran benda uji dari material terhadap pembebanan tersebut. Di antara semua pengujian mekanis tersebut, pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan karena mampu memberikan informasi representatif dari perilaku mekanis material.

Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dalam penelitian ini batang percobaan atau specimen tarik ukuran dan

bentuknya ditentukan menurut standar. Mengacu ke standar JIS Z 2204 : 2011 ukuran dan bentuk specimen seperti Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Specimen JIZ Z 2204 : 2011 uji tarik

Tabel 2.1 Standar JIZ Z 2204 : 2011

<i>Gauge length</i> L	<i>Parallel length</i> P	<i>Radius fillet</i> R
50	110	Min. 15

Catatan :

1. *Gauge length* bisa dibuat $L = 50D$ untuk penampang lingkaran, $L = 5.65D$ untuk penampang segi empat dan $L = 5.26D$ untuk penampang hexagonal.
2. Panjang P bagian paralel bisa dibuat $7D$ untuk lebih praktis. Jadi jika misalnya $D = 10$ mm maka panjang $P = 110$ mm dan $L = 50$ mm.
3. Lebar bagian *grip* bisa disamakan dengan bagian paralel, maka jarak P_b antara *grip* memenuhi $P \geq 8D$.

Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Brand terkenal untuk alat uji tarik antara lain adalah antara lain adalah *Shimadzu*, *Instron* dan *Dartec*.

1. Hukum *Hooke* (*Hooke's Law*)

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan *Hooke* sebagai berikut:

$$\left(\sigma_{\mu} = \frac{P_{\mu}}{A_0}\right) \dots \dots \dots \text{Pers 1}$$

Dimana:

σ : Tegangan tarik maksimal (N/mm^2)

F : Gaya tarikan, (kN)

A_o : Luas penampang spesimen mula-mula (mm^2)

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal, persamaanya yaitu:

Dimana ;

$$\left(\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \right) \dots \dots \dots \text{Pers 2}$$

Dimana :

ε : Regangan akibat gaya tarik (%)

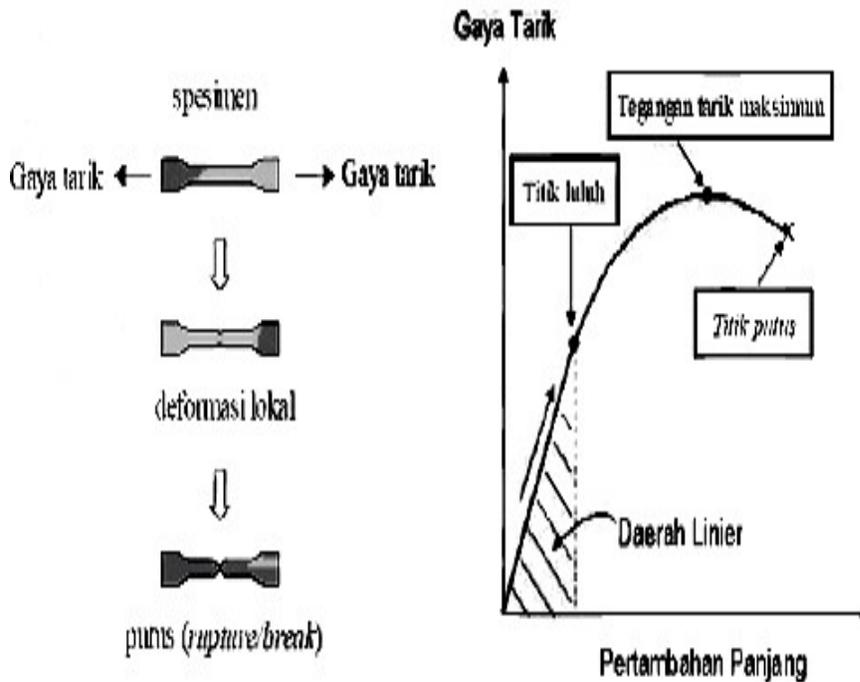
L_o : Panjang spesimen mula-mula (mm)

L_f : Panjang spesimen akibat beban tarik (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan:

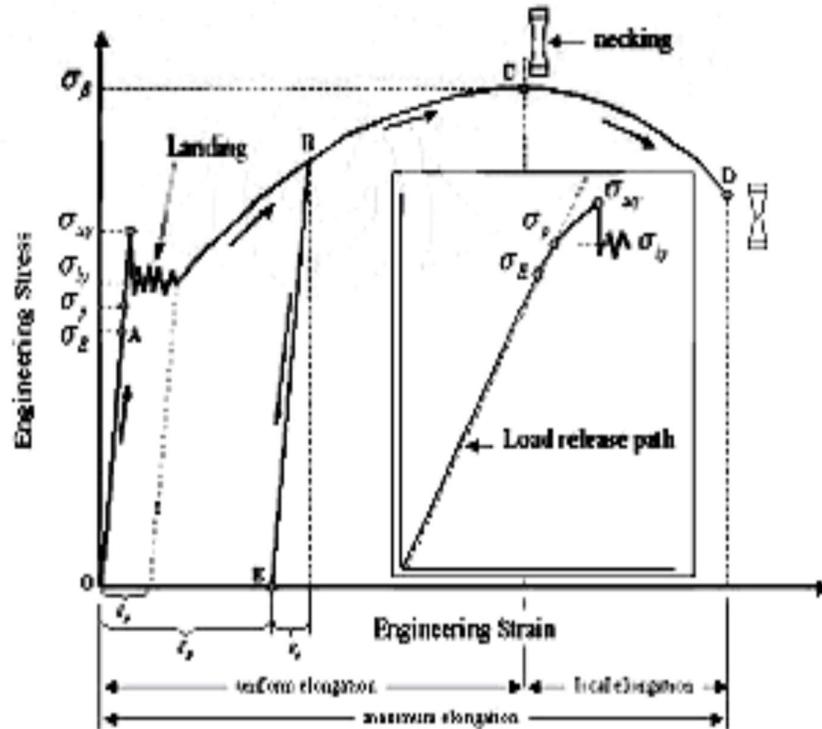
$$(E = \sigma / \varepsilon) \dots \dots \dots \text{Pers 3}$$

Gambar 2.2 merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah *gradien kurva* dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. E diberi nama "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva yang menyatakan hubungan antara tegangan dan regangan seperti ini kerap disingkat kurva *Stress- Strain*.



Gambar 2.2 Gambar singkat uji tarik

2. Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam sekarang akan kita bahas profil data dari *tensile test* secara lebih *detail*. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi seperti pada gambar dibawah :



Gambar 2.3 Profil data hasil uji tarik

Di bawah ini istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan berpedoman pada hasil uji tarik seperti pada gambar di atas :

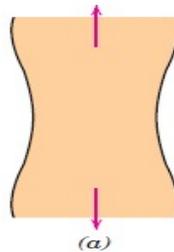
1. Batas elastic σ_E (*elastic limit*), Pada gambar dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat gambar). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum *Hooke* tidak lagi berlaku.
2. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*). Titik di mana penerapan hukum *Hooke* masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.
3. Deformasi plastis (*plastic deformation*). Perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gambar 19 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah landing.
4. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*). Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki *fase* daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

5. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*). Tegangan rata-rata daerah landing sebelum benar-benar memasuki *fase deformasi plastis*. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan mekanis pada titik ini.
6. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*). Regangan permanen saat bahan akan memasuki *fase deformasi plastis*.
7. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*). Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
8. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*). Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
9. Regangan total (*total strain*). Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis ($\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$). Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
10. Tegangan tarik maksimum (*UTS, Ultimate Tensile Strength*). Pada gambar ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
11. Kekuatan patah (*breaking strength*). Pada Gambar 19 ditunjukkan dengan titik.

2.2.10. Patahan Uji Tarik

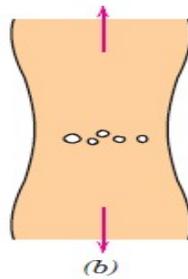
Analisa Patahan sebelum terjadi patahan ada beberapa analisa atau gambaran mengenai proses sebelum terjadinya patahan itu terjadi, proses sebelum patahan itu sendiri, antara lain :

1. *Necking* adalah suatu proses penurunan secara local diameter bahan yang dinamakan penyempitan. Pembentukan penyempitan menimbulkan keadaan tegangan triaksial pada daerah yang bersangkutan, analisa tersebut seperti pada gambar ini :



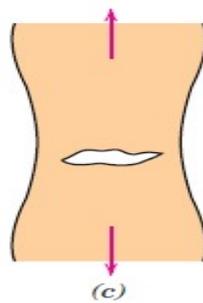
Gambar 2.4 *Necking*

2. *Cavity formation* adalah terbentuknya rongga-rongga kecil pada daerah *necking* akibat komponen hidrostatis terjadi disekitar sumbu benda uji pada pusat daerah *necking* seperti pada gambar ini :



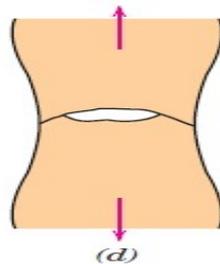
Gambar 2.5 *Cavity formation*

3. *Cavity coalascene to form a crack* adalah terbentuknya retakan pusat akibat peregangan yang berlangsung terus, analisa tersebut seperti pada Gambar 2.6



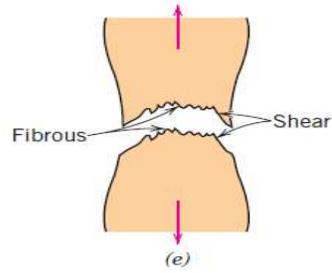
Gambar 2.6 *Cavity coalacene to from a crack*

4. *Crack propagation* adalah berkembang retakan pada arah tegak lurus sumbu benda uji, hingga mencapai permukaan benda uji tersebut. Kemudian merambat disekitar bidang geser-geser local, kira-kira berarah 45° terhadap sumbu “kerucut” patahan yang terbentuk seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Crack propagation*

5. *Fracture* adalah terjadi perpatahan campuran akibat peregangan terus menerus. Semua benda yang diuji mengalami perpatahanan ulet (*ductile*). Identifikasi yang lain adalah pada bekas patahan permukaannya mempunyai serat yang berbentuk dimple yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram, ciri-ciri tersebut seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *Fracture*

Perpatahan ini disebut juga perpatahan berserat (*fibrous fracture*). Perpatahan ini melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam bahan logam yang ulet (*ductile*). Pada kedua benda uji, saat penarikan terjadi proses *necking*, dan terlihat bahwa kedua bahan tersebut bersifat *ductile* karena terjadi *necking*.