

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam sebuah penelitian membutuhkan dukungan dari referensi jurnal, buku-buku dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan pekerjaan yang sedang dilakukan sekarang.

Menurut Wiryosumarto and Okumura (2000) kualitas hasil las tidak hanya dipengaruhi oleh proses pengelasan, tetapi juga oleh persiapan pra-pengelasan. Inilah mengapa penting untuk memikirkan persiapan pengelasan. Pengelasan busur terendam, di sisi lain, hanya dapat digunakan untuk pengelasan datar, dan paling cocok untuk pelat tebal daripada pelat tipis, karena daya dan kecepatan penetrasinya yang lebih tinggi. Tergantung pada metode pengelasan yang dipilih.

Menurut Maman Suratman (2001) Pengaruh arus listrik pada hasil las, gerakan elektroda sendiri ada 2 yaitu gerakan lurus dan ayunan. Lebar jalur las ditentukan dari gerakan ayunan elektroda itu. Setelah pengelasan material berubah bentuknya dapat disebabkan oleh waktu gerakan ayunan elektroda lebih lama. Tebal bahan dasar harus diperhatikan dalam penggunaan gerakan ayunan elektroda. Gerakan elektroda memiliki beberapa jenis yaitu, zig-zag, lurus, melingkar, dan segitiga.

Menurut Badia dkk., (2021) Perkembangan teknologi dalam bidang pengelasan semakin lama semakin berkembang baik tanpa penggunaan material tambah maupun menggunakan material tambah atau *filter*. Dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan dan kekuatan bending pada sambungan hasil pengelasan dengan memvariasikan gerakan elektroda zig-zag, melingkar, dan lurus. Mesin las SMAW yang digunakan dalam proses pengelasan dengan 75A-95A arus pengelasan, material yang digunakan dalam penelitian yaitu ST 37 yang diberi kampuh V sudut 60° , dan menggunakan kawat elektroda E6013 dengan diameter 2,6 mm. Hasil penelitian dimana pengujian bending pada sambungan las gerakan elektroda lurus memiliki nilai yang paling tinggi dimana nilai rata-rata kekuatan bending yaitu sebesar 443,469 N/mm², pengelasan gerak elektroda zig-zag memiliki kekuatan lentur rata-rata terendah sebesar 326,979 N/mm². Pengelasan gerak elektroda zig-zag memiliki rata-rata kekerasan HAZ mikrovickers tertinggi sebesar 180,63 HV1, sedangkan pengelasan gerak elektroda melingkar memiliki rata-rata kekerasan HAZ mikrovickers terendah sebesar 172,83 HV1.

Menurut Saefuloh dkk., (2019) Untuk mengelas baja karbon rendah SS400, dengan proses SMAW yang menggunakan berbagai pola gerakan elektroda dan kuat arus pengelasan. Pengujian kekerasan, tarik, dan struktur mikro dilakukan pada baja untuk mengetahui pengaruh pola pergerakan elektroda dan kekuatan arus las terhadap sifat mekanik baja. Salah satu hasil uji tarik terbaik berasal dari pengelasan pola zig-zag 90A, dengan nilai 487,5 N/mm². Pola gerak pengelasan

dan kekuatan arus memiliki pengaruh terbesar terhadap nilai kekerasan baja SS400, ditunjukkan dengan nilai HVN tertinggi sebesar 209,3333.

Menurut Wibowo dkk., (2018) Pengelasan dengan metode SMAW pada proses pengelasan material dari besi cor kelabu, kuat arus yang sesuai dapat menghindari masalah-masalah pengelasan besi cor kelabu memerlukan pengaturan arus agar terhindar dari *undercut*. Proses pengelasan material besi cor kelabu dilakukan dengan menggunakan las SMAW dengan memvariasikan arus 90A, 100A, dan 110A dengan menggunakan elektroda CIN 1 diameter 3,2 mm, dan menggunakan jenis kampuh v ganda. Analisa dilakukan dengan menggunakan pengujian tarik dan foto makro, dari hasil pengujian Tarik kuat arus 90A memiliki kekuatan tertinggi dengan nilai sebesar 118,54 MPa, sedangkan kekuatan Tarik terendah pada kuat arus 110A dengan nilai sebesar 106,99 MPa.

Menurut Burt dkk., (2021) pada penelitiannya posisi pengelasan memiliki beberapa fungsi pengaturan posisi gerak elektroda las, dimana setiap posisi pengelasan yang dipakai bergantung pada benda kerja yang akan dilas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh posisi pengelasan terhadap sambungan las *Shielded Metal Arc Welding*. Dimana pada penelitian ini memakai metode eksperimen. Penelitian ini menggunakan baja SS 400 dengan tebal 8 mm pola ayunan zig-zag, sambungan kampuh V, menggunakan elektroda E7018 diameter 3,2 mm dan Arus yang dikai pada penelitian ini yaitu 100A untuk pengelasan *capping dan filler*, pembuatan *root* atau akar las sebesar 65A. Hasil dari penelitian ini adalah spesimen kontrol memiliki rata-rata regangan sebesar 337,6%, modulus elastisitas sebesar 7,22KN/mm², tegangan sebesar 272,2N/mm² baja dengan posisi 3G memiliki hasil 277,9N/mm², 34,6%, 8 KN/mm², dan posisi 2G memiliki hasil 286,9N/mm², 34,3%, 8,33KN/mm². Jadi pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan proses pengelasan pada posisi 2G dan 3G mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan baja karbon rendah

Menurut Santoso dkk., (2018) penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sudut distorsi dan kekuatan tarik serta hubungan antara kedua hasil pengelasan SMAW berubah seiring dengan perubahan pola gerak elektroda. Pendekatan eksperimental dan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini. Untuk pola gerak elektroda melingkar, distorsi adalah 1,6 derajat, zigzag 1,4 derajat, dan C adalah 2 derajat, menurut temuan penelitian. Kuat tarik spesimen bahan baku adalah 19,36 kgf/mm². Terdapat kekuatan tarik sebesar 21,714 kgf/mm² pada gerak elektroda melingkar, 22,528 kgf/mm² pada zig-zag dan 23,134 kgf/mm² pada pola gerak C.

Menurut Wibowo dkk., (2021) temperatur media pendingin oli, air garam, dromus dan udara bebas untuk mengetahui bagaimana uji tarik baja St 60 dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut. Sebagai bagian dari penelitian ini, menguji sifat tarik dan kekerasan baja St 60 dengan pengelasan GMAW menggunakan berbagai media pendingin. Metode eksperimen proses pengelasan GMAW digunakan dalam penelitian ini, dengan waktu 25 menit dan arus 100 A,

dengan variasi oil cooler, air garam, air dromus, dan udara bebas. Untuk pengujian tarik dan kekerasan, sudut 30^0 yang digunakan membuat bentuk V. Ada tegangan tarik rata-rata 490,23 Mpa pada spesimen tarik tertinggi spesimen pendingin air garam. Regangan tarik pada spesimen udara bebas rata-rata adalah 35,45 MPa. Nilai kekerasan sampel untuk oli, air garam, air dromus dan udara bebas berturut-turut adalah 228 HVN, 208,3 HVN dan 215,5 HVN. Spesimen air garam memiliki kekerasan HVN tertinggi yaitu 231 HVN, berdasarkan rata-rata kekerasan HVN.

Anwar (2017) pengaruh kekuatan arus listrik pada pengelasan posisi bawah pada baja st 42. Digunakan arus listrik 70, 80, 90, 100, 110, dan 120 Ampere dengan elektroda AWS-E6012 berdiameter 2,6 mm dan kampuh I tunggal. . Kekuatan tarik sambungan las diuji menggunakan tiga spesimen dari masing-masing tiga kelompok sampel yang berbeda. Kuat tarik rata-rata untuk pengelasan kampuh.I pada 70A adalah 65,5 KN, sedangkan kuat tarik rata-rata pada 80A adalah 67,65 KN, kuat tarik rata-rata pada 90A adalah 68,53 KN, dan kuat tarik rata-rata pada 100A adalah 72

Menurut Sulaiman dkk., (2022) penelitiannya pada proses pengelasan dengan material baja St 60 dengan kekuatan arus 80A dan 95A, dengan menggunakan pengujia tarik dimana menghasilkan nilai uji tarik diperoleh rata-rata nilai tertinggi kekutan tarikny pada kuat arus 80A sebesar $67,14 \text{ Kgf/mm}^2 = 658,4 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan untuk sifat regangan dan tegangan maksimal terbaik adalah pada variasi kuat arus 95A dengan persentase regangan 24% dan tegangan maksimal sebesar $68,177 \text{ kgf/mm}^2$. Dimana *ultimate strength* yang terbaik atau tertinggi ialah dengan arus sebesar 80A. Pada pengelasan dengan variasi arus 80A percikan busur las melihatkan tidak terlalu besar dan peleburan elektroda dan logam las tidak terlalu cepat dibandingkan variasi arus lainnya.

2.2 Kajian Teori

2.2.1 Definisi Pengelasan

Standar industri Jerman mendefinisikan pengelasan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan paduan logam yang dilebur atau dicairkan, menurut *Deutsche Industrie Normen* DIN. sebagai akibat dari penerapan tekanan dan panas (Arifin, 1997).

Dalam proses pengelasan dapat dibedakan pada cara kerja alat dan bentuk pemanansannya (Siswanto, 2018). Berdasarkan cara kerjanya, pengelasan diklasifikasikan menjadi tiga kelompok:

1. Pengelasan Cair.

Pengelasan cair menggunakan busur listrik yang menyala hingga melelehkan logam pada sambungan.

2. Pengelasan Tekan.

Ini disebut pengelasan kompresi karena melibatkan pemanasan sambungan ke fase lunak, lalu menekannya bersama-sama.

3. Pematrian.

Logam dengan titik leleh yang lebih rendah digunakan untuk membuat sambungan brazing. Tidak terjadi pelelehan logam induk di sini.

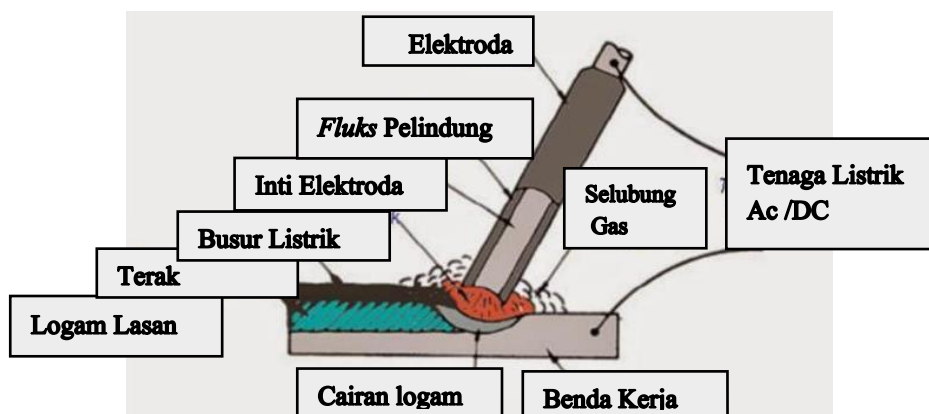
Teknik pengelasan ditemukan pada periode antara 4000 dan 3000 SM, saat pertama kali ditemukan. Teknologi pengelasan berkembang pesat setelah energi listrik tersedia secara luas, menjadikannya salah satu sambungan yang paling umum. Akibatnya, banyak jenis pengelasan sekarang digunakan. Pengelasan biasanya dicadangkan untuk perbaikan yang tidak terlalu kritis pada tahap awal pengembangan teknologi. Namun, penggunaan teknik pengelasan dan sambungan las dalam konstruksi telah meluas di seluruh dunia, setelah pengalaman praktis yang panjang (Utama, 2020).

2.2.2 SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Ketika dua atau lebih potongan logam disatukan menggunakan sumber listrik dan bahan elektroda tambahan, prosesnya disebut pengelasan SMAW. Ketika busur listrik terbentuk antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja, logam dasar meleleh selama jenis pengelasan ini. Sebuah mesin las menghasilkan busur listrik. kawat terbungkus fluks yang berfungsi sebagai elektroda dalam proses ini. Saat pengelasan, elektroda ini akan meleleh dan mengeras dengan logam dasar untuk membentuk kampuh las.

Logam elektroda dihilangkan dengan cara melelehkan ujung elektroda dan membentuk butiran yang kemudian terbawa oleh busur listrik yang dihasilkan. Butiran logam cair yang terbawa akan halus jika arus listrik cukup besar, dan butiran besar akan terbawa jika arus listrik cukup kecil.

Kemampuan las logam sangat dipengaruhi oleh pola transfer logam cair. Lebih mudah untuk mengelas logam dengan butiran halus karena lebih mudah ditempa dari pada yang kasar. Besar kecilnya arus dan komposisi bahan fluks yang digunakan berdampak pada pola perpindahan cairan las. Sebagai bahan fluks yang digunakan untuk menutupi elektroda meleleh selama pengelasan, itu membeku menjadi terak yang melindungi logam cair dari oksidasi.



Gambar 2.1 Las Smaw

2.2.3 Gerak Elektroda

Gerak elektroda ada banyak variasinya dengan tujuan yang sama adalah mendapatkan hasil yang bagus, permukaan las yang halus dan rata, dan agar tidak terjadi *slag* (terak terjebak). Dari penelitian ini di ambil tiga bentuk variasi gerak elektroda yang ada di antaranya: variasi gerak elektroda variasi lurus, melingkar dan variasi gerak elektroda zig-zag.

2.2.4 Elektroda 6013

Elektroda las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) diterangkan dengan tanda E XXXX ,artinya:

1. E : elektroda.
2. XX (dua angka) : kekuatan tarik deposit las dalam ribuan Ib/in² lihat tabel.
3. X (angka ketiga) : posisi pengelasan yang bisa di gunakan.
4. Angka 1 menyatakan bahwa dapat di pakai untuk pengelasan dengan segala posisi. Sedangkan 2 hanya dapat di pakai posisi datar dan horizontal.
5. X (angka keempat) : menyatakan jenis selaput elektroda dan arus yang dipakai pengelasan lihat tabel.

Contoh elektroda E6013 mempunyai arti:

1. Kekuatan tarik minimalnya dan deposit pengelasannya adalah 60.000 Ib/in² atau 42 N/mm².
2. Bisa digunakan untuk semua posisi pengelasan.
3. Elektroda ini mempunyai selaput rutil potasium dan arus yang di gunakan AC,DCSP, dan DCRP

Elektroda 6013 dapat digunakan dalam posisi apa pun dengan arus pengelasan AC atau DC. Jadi, karena itu, kerataan hasil las membuatnya mudah dilepas dan dibersihkan, serta kontrol busur pada elektroda dengan diameter 1,5, 2, dan 2,6 milimeter. Karena ukuran elektroda yang kecil, tegangan busur yang lebih rendah dapat digunakan. Untuk mengelas pelat tipis dengan busur rendah dan penetrasi dangkal, elektroda E 6013 adalah pilihan terbaik. Namun, elektroda dengan tipe E6012 memiliki sifat mekanik yang sedikit lebih unggul.

Elektroda E 6013 digunakan untuk membuat sambungan siku yang baik dalam pengelasan pelat. Dimungkinkan untuk mengelas bahan yang memerlukan penggunaan busur yang lebih tenang dengan elektroda yang lebih besar, seperti yang berdiameter 2,6 mm atau lebih besar.

Elektroda diproduksi banyak tipenya contoh elektroda E 6013 ada berbagai merek. Untuk beberapa perusahaan, pelapisan dicampur sedemikian rupa untuk memastikan bahwa transfer tetesan didistribusikan secara merata di atas permukaan logam. Saat mengelas secara vertikal atau di atas kepala, tetesan dengan sifat transfer jet yang baik sangat penting.

Pada mesin las polaritas lurus AC dan DC, sistem polarisasi elektroda tipe E 6013 dapat digunakan. Untuk menggunakannya, kabel las harus dicolokkan ke

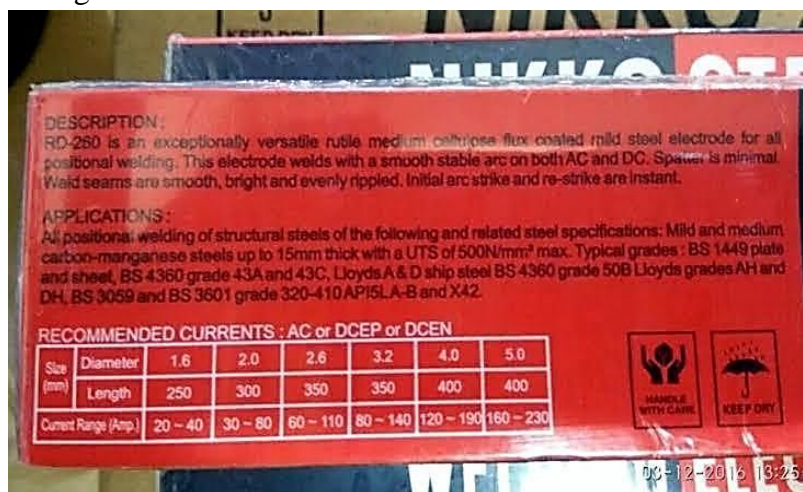
kutub negatif, sedangkan kabel massa yang terhubung ke penjepit massa harus dicolokkan ke kutub positif.

Natrium titania tinggi atau elektroda berlapis rutil, mengandung selulosa dan mangan besi dalam lapisannya, hampir identik dengan elektroda E 6012, bahan salutan untuk elektroda E 6013. Beberapa produsen elektroda memasukkan serbuk besi ke dalam elektroda mereka untuk memudahkan penggunaan pada mesin las AC.

Karena campuran pada salutannya, elektroda E 6013 memberi keuntungan dikarenakan daerah lasan terbebas dari penyusutan-penyusutan terak dan dari pengaruh oksidasi jika dibandingkan dengan elektroda E 6012. Pada saat pemeriksaan kualitas dengan menggunakan radiografi sinar-x, yang di hasilkan yaitu lasan elektroda E 6013 akan lebih baik dibandingkan E 6012.

Sifat busur dan pembakaran elektroda E 6013 mempunyai sifat busur yang lemah dengan daya penembusan yang dangkal. Sehingga elektroda E 6013 pada arus rendah dapat di pakai dengan baik. Elektroda E 6013 ini baik dipakai mengelas pelat-pelat tipis akan tetapi kurang baik untuk mengelas kampuh V dengan celah.

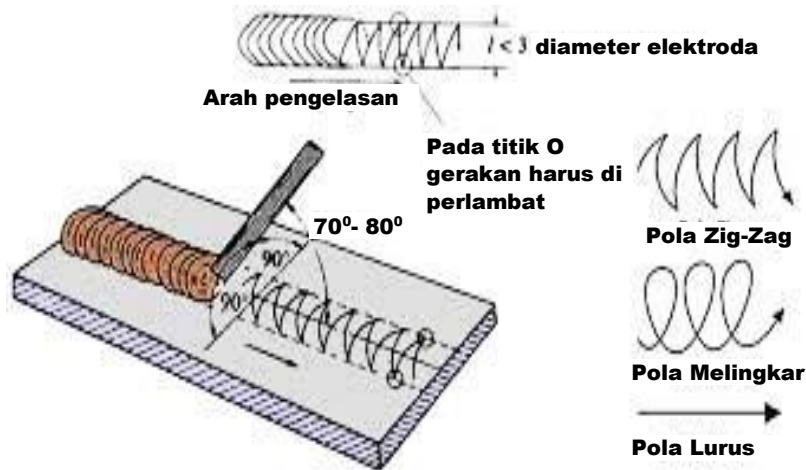
Penggunaan elektroda ini dipakai khusus untuk mengelas baja lunak, dan diprioritaskan untuk pengelasan pelat-pelat yang tipis. Walaupun begitu, elektroda E 6013 dengan diameter 2,6 mm ke atas dapat mengelas plat yang lebih tebal, tetapi pada pengelasan pertama menggunakan elektroda E 6012. Arus tinggi yang biasa digunakan pada proses pengelasan dengan elektroda E 6012 tidak dapat dipakai untuk pengelasan menggunakan elektroda E 6013, tetapi jika pada posisi pengelasan tegak lurus dan di atas kepala arus untuk elektroda E 6013 dapat disamakan dengan arus elektroda E 6012.



Gambar 2.2 Spesifikasi Besar Arus Dan Tegangan Elektroda E 6013

2.2.5 Pola Gerak Elektroda E 6013

Gerakan atau ayunan elektroda yang dipakai saat mengelas adalah ayunan lurus, melingkar, zig-zag. Gerakan ayunan elektroda pada hasil lasan bisa di lihat pada manik logam lasan yang terbentuk.



Gambar 2.3 Bentuk Pola gerak Elektroda

2.2.6 Besar Arus Listrik

Diameter elektroda, ketebalan bahan yang akan dilas, jenis elektroda, bentuk sambungan, diameter kawat elektroda, dan posisi pengelasan semuanya mempengaruhi besarnya arus pengelasan.

Arus las adalah parameter las yang mempengaruhi homogenitas dan kecepatan pencairan logam induk secara langsung. Semakin tinggi arus las yang digunakan maka akan semakin bagus dposit lasnya dan kecepatan pencairannya. Hasil las dipengaruhi oleh besar arus pada pengelasan, jika arus terlalu rendah maka busur listrik tidak stabil.

Logam dasar tidak melebur dikarenakan panas yang terjadi tidak cukup, sehingga menghasilkan rigi lasan kecil dan tidak rata serta penetrasi yang kurang dalam tingkat homogenitasnya antara logam induk dan hasil las juga kurang bagus. Jika arus dalam pengelasan terlalu besar dapat menghasilkan manik melebar, percikan las yang banyak dan meghasilkan penetrasi yang dalam.

2.2.7 Baja ST 60

Baja ST 60 adalah bahan kontruksi yang sangat kuat dan dapat dikerjakan baik dalam kondisi dingin maupun pengerjaan panas, dimana struktur butirnya halus. Baja memiliki kekuatan Tarik kurang lebih sekitar 600 N/mm² dapat dilambangkan dengan singkatan ST 60.

2.2.8 Jenis Patahan

1. Patah Getas (*Brittle Fracture*)

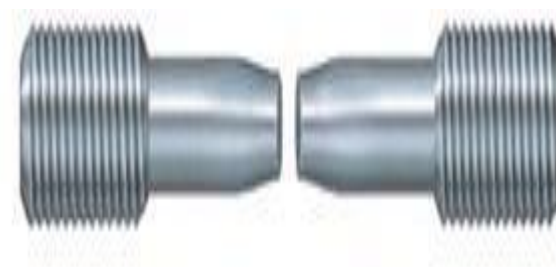
Jika dibandingkan dengan patah ulet, yang dimulai dengan pembentukan retakan, patah getas terjadi jauh lebih cepat. Karena fakta bahwa itu terjadi tanpa pemakainya menyadarinya, itu dianggap lebih berbahaya daripada fraktur ulet. Fraktur pada struktur martensit dan material dengan kandungan karbon tinggi biasanya disebabkan oleh sifat getas dari material itu sendiri.



Gambar 2.4 Patahan Getas
(Sumber: Okasatria, 2008)

2. Patah Ulet (*Ductile Fracture*)

Jika beban statis diterapkan pada material, maka perambatan retak akan berhenti jika dihilangkan. Karena banyaknya deformasi plastis di sekitar rekahan, rekahan ulet ini memiliki permukaan berserat yang tidak rata dan juga menyerap banyak energi. Jenis patahan yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh komposisi material, sehingga beban bukanlah satu-satunya faktor.



Gambar 2.5 Patahan Ulet
(Sumber: Okasatria, 2008)

Sulaiman dkk., (2022) Dalam penelitiannya menyatakan hasil dari *ultimate tensile strenght* pengelasan SMAW pada baja ST 60 yang telah dilakukan menunjukkan posisi dari patahan hasil pengujian tarik berada di daerah HAZ, dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.6 Hasil patahan uji tarik
(Sumber : Sulaiman dkk., 2022)

3. *Ductile to Brittle Tension*

Ductile to Brittle Tension adalah fenomena yang terjadi ketika suatu material yang mengalami rekahan mengalami perubahan sifat, yang pada awalnya menghasilkan material yang ulet namun pada akhirnya mengakibatkan terjadinya perpatahan yang getas.

Beberapa alasan mengapa *Ductile to Brittle Tension* terjadi:

1. Temperatur

Ketika dipanaskan pada suhu tinggi, molekul dan ikatannya dapat mengembang dan berkontraksi, tetapi ketika dipanaskan pada suhu rendah, mereka mengeras dan menjadi lebih kaku.

2. Kecepatan regangan kecepatan pembebanan

Fraktur getas terjadi ketika tingkat pembebasan bahan ulet meningkat, mengurangi energi yang diserap.

3. Kandungan air

Bahan dengan banyak air di dalamnya cenderung ulet, tetapi ketika mengering, mereka menjadi rapuh.

4. Perbedaan jenis ikatan kimia

Sudah menjadi rahasia umum bahwa metaloid seperti olefin sulit untuk dikerjakan sementara mineral ulet seperti mika dan tanah liat tidak.

4. Patah impact dapat dibagi menjadi tiga kategori, menurut Akhmad (2009) yaitu:

1. Mekanisme pergeseran dalam bidang kristal dari bahan ulet atau logam terlibat dalam fraktur ulet. Berserat dan berupa lesung pipit yang menyerap

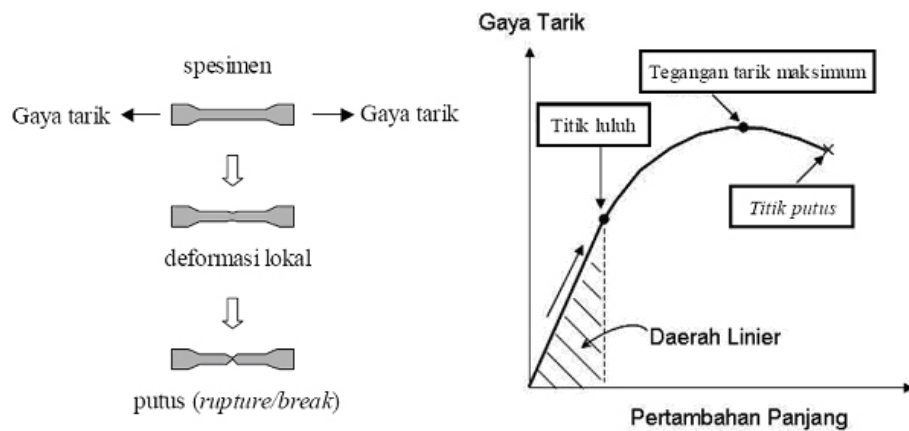
- cahaya dan tampak buram, permukaan rekahan dicirikan
2. Mekanisme pembelahan butir bahan rapuh (logam) menyebabkan patah getas. Dengan permukaan rekahan yang rata dan kemampuan memantulkan cahaya dalam jumlah tinggi (mengkilap).
 3. Fraktur dengan pola fraktur yang bervariasi (fibrous dan granular). Merupakan kombinasi dari dua patahan yang disebutkan di atas.

2.2.9 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik memiliki tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari benda yang diuji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik las untuk mengetahui seberapa besar nilai kekuatan tarik pada sambungan las apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih tinggi ataupun lebih rendah dari pada material yang di uji, dan juga dapat mengetahui area letak putusnya sambungan las.

Bentuk beban akan berubah akibat gaya tarik (deformasi). Saat butiran kristal logam dalam bahan bergeser, gaya elektro-magnetiknya melemah, memungkinkan ikatan atom terlepas pada titik penarikan gaya maksimumnya.

Kurva tegangan-regangan dibuat dengan mengamati perpanjangan yang dialami oleh benda uji ketika beban bertambah besar selama periode waktu yang telah ditentukan.



Gambar 2.7 Gambaran singkat uji tarik(UB", n.d.)

Untuk mendapatkan tegangan rumusnya adalah .

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}(\text{Kg/mm}^2) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

σ = Engineering Stress/Tegangan (Mpa)

F = Beban (Kg)

A_0 = Luas awal penampang batang yang akan di uji (mm²)

Regangan :

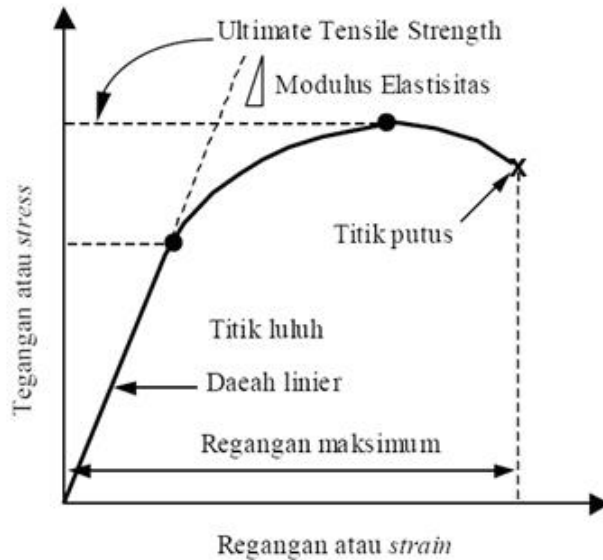
$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ϵ = Engineering Strain/Regangan (%)

L_0 = Panjang batang uji semula (mm)

L = Panjang batang uji setelah menerima beban (mm)



Gambar 2.8 Batas elastis tegangan luluh

2.2.10 Standar ASTM E8

ASTM merupakan singkatan dari *American Society for Testing and Materials*, yaitu suatu lembaga di Amerika Serikat yang menguji contoh bahan dan hasilnya secara luas di akui sebagai hasil analisis yang baku. Standar ASTM E8 atau E8M adalah standar yang secara khusus menggambarkan sifat logam seperti kekuatan tarik, luluh, perpanjangan titik leleh dan pengurangan luas. Standar ini mencakup uji tekukan, tegangan dan benturan. Standar tersebut adalah ASTM E8 atau E8M Metode uji untuk pengujian tarik bahan logam.