

PENGARUH PENGELASAN PADA BAJA KARBON SEDANG TERHADAP KETANGGUHAN RETAK

Bukhari

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: boecharyst@yahoo.com

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambung dua atau lebih potongan logam secara permanen. Ketangguhan suatu material hasil pengelasan sangat tergantung pada kualitas daerah lasan. Beberapa metode telah digunakan untuk mengetahui ketangguhan daerah lasan dari suatu material, seperti uji impact dengan metode Charpy, atau metode Izod. Metode lain yang bisa digunakan untuk pengujian ketangguhan daerah lasan adalah dengan metode pembebanan dinamik gas gun. Metode ini bisa memberikan hasil yang lebih spesifik terhadap ketangguhan dari material, dimana dengan metode ini nilai kekuatan material terhadap beban impact dapat diketahui dalam satuan gaya (Newton) persatuan luas penampang (mm^2), yaitu Mpa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh volume lasan terhadap ketangguhan retak dari material baja karbon sedang yang telah dilakukan proses pengelasan dengan elektroda terbungkus jenis oksida titan yang termasuk ke dalam klasifikasi JIS D4313. Uji retak impact dilakukan dengan mesin pembebanan dinamik gas gun. Spesimen uji dari pengujian ini divariasikan dalam tiga kelompok yaitu spesimen uji dengan volume lasan 90%, 100%, dan 110%. Besar beban impact diatur dengan cara mengatur jarak impact dan tekanan tabung gas. Pada pengujian ini, tekanan output tabung diatur pada 5,3 Bar dan jarak impact divariasikan mulai 25 cm sampai 125 cm. Pengukuran beban impact dilakukan dengan cara memasang sensor strain gauge pada lokasi impact. Nilai ketangguhan retak tertinggi dari ketiga spesimen uji adalah spesimen dengan volume lasan 90% dengan harga tegangan sebesar 268,982 Mpa.

Kata kunci: ketangguhan retak, tegangan impact, laju intensitas tegangan

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambung dua atau lebih potongan logam menjadi satu secara permanen. Proses penyambungannya dilakukan dengan cara memberikan panas yang tinggi sehingga mencapai titik cair pada tempat yang akan disambung. Dengan pengelasan diharapkan kedua bagian logam dapat menyatu dengan kuat sehingga layak digunakan dalam suatu konstruksi.

Penggunaan konstruksi las merupakan hal yang umum dewasa ini. Ruang lingkup penggunaan pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi rangka baja, jembatan, perkapalan, kendaraan rel, pemasangan pipa-pipa untuk mengalirkan gas atau minyak, tangki-tangki dan lain-lain. Luasnya penggunaan ini disebabkan karena konstruksi yang dibuat dengan menggunakan teknik penyambungan ini lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana.

Kekuatan dari konstruksi sambungan las boleh dikatakan terletak pada sambungan, berarti dalam perencanaan pengelasan untuk kekuatan sambungan las betul-betul diperhitungkan terhadap beban luar yang terjadi dengan memperhatikan keadaan sekitar. Mutu dari pengelasan sangat ditentukan oleh cara pengelasan, arus, tegangan, kecepatan pengelasan, disamping itu perlu dijaga jangan terjadi cacat las seperti retak, perubahan bentuk dan terjadinya tegangan sisa yang mengakibatkan ketangguhan hasil lasan menurun.

Untuk mengetahui kekuatan sambungan lasan, penulis melakukan penelitian impact terhadap material baja karbon sedang hasil pengelasan dengan kampuh V tunggal.

TEORI DASAR

Ketangguhan Bahan

Ketangguhan dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menyerap

energi sebelum terjadinya kepatahan. Jenis patahan dapat berbentuk ulet atau getas. Patah ulet didahului dengan deformasi plastik, maka patahan jenis ini dianggap tidak terlalu berbahaya. Sebaliknya, pada patah getas perpatahannya tidak didahului oleh deformasi plastik, karena itu dalam banyak penelitian patah getas ini menjadi perhatian utama, karena bisa terjadi pada beban yang rendah [3].

Seringkali dijumpai keadaan dimana usaha peningkatan kekuatan bahan diikuti dengan turunnya keuletan. Hubungan ini dianggap kurang menguntungkan. Untuk menghindari hubungan terbalik antara ketangguhan dan keuletan, perlu didekati garis parameter lain yang mewakili system paduan yang berbeda, biasanya dengan mekanisme yang berbeda. Kecenderungan ini konsisten dengan hubungan yang sederhana, yaitu:

$$J_{lc} = \sigma_0 \varepsilon_f l_0 \quad (1)$$

dimana:

σ_0 = parameter ketangguhan perpatahan

ε_f = kekuatan luluh

l_0 = jarak antara cacat mikro dimuka retak yang menunjukkan daerah dengan proses deformasi plastik yang besar

Mikrostruktur yang terbaik dengan kombinasi ketangguhan dan kekuatan adalah struktur dengan penguatan oleh partikel halus. Partikel halus dan yang terikat dengan baik dalam matriks sehingga dapat mencegah terbentuknya cacat mikro secara de-koheisi merupakan penyelesaian terbaik [3].

Pengelasan Baja Karbon

Konstruksi baja biasanya dibuat dengan pengelasan, untuk itu diperlukan lembaran baja yang tebal agar mempunyai mampu las yang baik. Tidak dapat dihindari bahwa bahan berubah sifatnya disebabkan karena panas pada waktu pengelasan. Jadi di daerah yang dipengaruhi oleh panas bisa terjadi pengerasan atau retakan [2].

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, karena itu baja dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang

dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30 sampai 0,45% kadar karbon, dan baja karbon tinggi berisi karbon antara 0,45 sampai 1,70%. Bila kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun.

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. Hal ini dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

Baja karbon sedang dan karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu, daerah pengaruh panas atau HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan bahan ini sangat terbuka terhadap retak las. Terjadinya retak las dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu sangat tergantung pada kadar karbon atau harga ekuivalen karbon. Dalam tabel 1, ditunjukkan suhu pemanasan mula yang dianjurkan. Untuk mengurangi hidrogen difusi yang menyebabkan terjadinya retak las, harus digunakan elektroda hidrogen rendah

Tabel 1. Suhu Pemanasan Mula pada Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi

Kadar Karbon (%)	Suhu Pemanasan Mula (oC)
0, 20 maks	90 maks
0,20 – 0,30	90 – 150
0,30 – 0,45	150 – 260
0,45 – 0,80	260 - 420

Sumber : Harsono, W (1991 : 92)

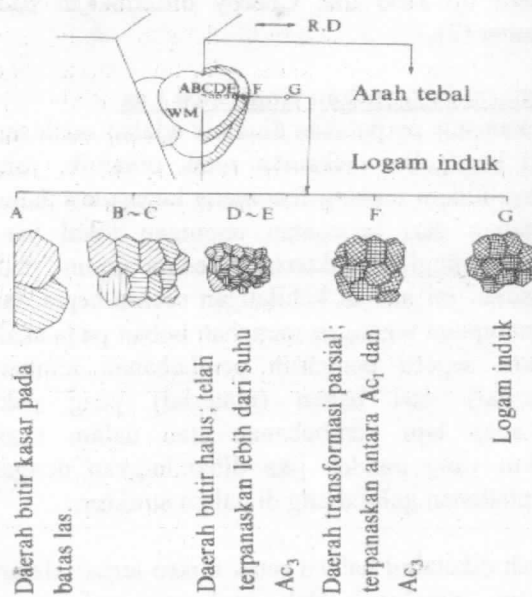
Metalurgi Las

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena panas tersebut maka logam di sekitar lasan mengalami siklus termal yang cepat menyebabkan terjadinya perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las dan retak pada umumnya mempunyai pengaruh fatal terhadap keamanan konstruksi yang dilas [2]. Daerah lasan bisa di klasifikasikan ke dalam tiga bagian, yaitu:

1. Logam lasan, adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku.
2. Daerah pengaruh panas yang disebut HAZ (Heat Affected Zone), adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam lasan yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan.
3. Logam induk

Ketangguhan dan Penggetasan Daerah HAZ (Heat Affected Zone)

Struktur logam daerah pengaruh panas atau HAZ berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti terlihat pada gambar 1. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan dengan batas las. Di dalam daerah pengaruh panas (HAZ), besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Karena siklus termal yang terjadi sangat kompleks maka dengan sendirinya ketangguhanpun menjadi sangat kompleks.



Gambar 1. Skema struktur mikro pada daerah pengaruh panas atau daerah HAZ

Pada daerah batas las dimana butir-butirnya sangat kasar logam menjadi sangat getas. Pada daerah ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las, dan lain-lain. Kegetasan pada batas las ini disamping disebabkan oleh butir-butir kasar, bisa juga disebabkan karena cacat las atau titik pusat konsentrasi tegangan

yang ada di dalamnya. Berhubungan dengan hal tersebut, maka pengurangan peregangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting untuk menjamin ketangguhan sambungan las.

Ketangguhan Logam Las

Ketangguhan logam las sangat tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Pada umumnya oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan menurunkan kekuatan tumbuk Charpy. Di samping itu nitrogen diperkirakan juga terserap ke dalam logam las yang dapat menyebabkan turunnya ketangguhan, terutama bila proses pengelasan yang digunakan adalah las busur gas.

Komposisi logam juga tergantung dari proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan.

Penggetasan pada Daerah Las Karena Pembebasan Tegangan

Pengelasan pada pelat tebal pada umumnya diikuti dengan pemanasan mendekati suhu rekristalisasi yang bertujuan menghilangkan tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan, menurunkan kekerasan dari daerah las dan memperbaiki sifat-sifat lainnya. Perlakuan panas ini disebut pembebasan tegangan. Proses pembebasan tegangan ini dapat menurunkan ketangguhan sambungan las dan peristiwa ini disebut penggetasan bebas tegang [2].

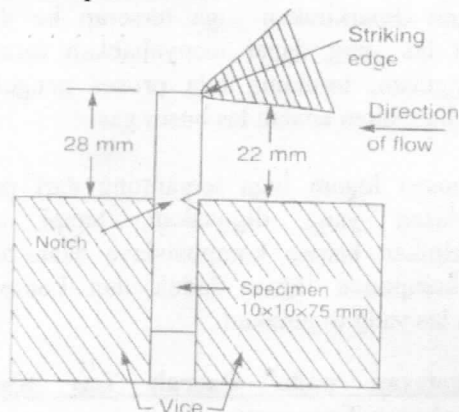
Proses pembebasan tegangan sebenarnya adalah proses penemperan baja yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan pengendapan karbida. Karena pendinginan lambat yang dilakukan di dalam tungku maka terjadi pengasaran butir dan getas temper yang menurunkan ketangguhan.

Pengujian Ketangguhan Daerah Las

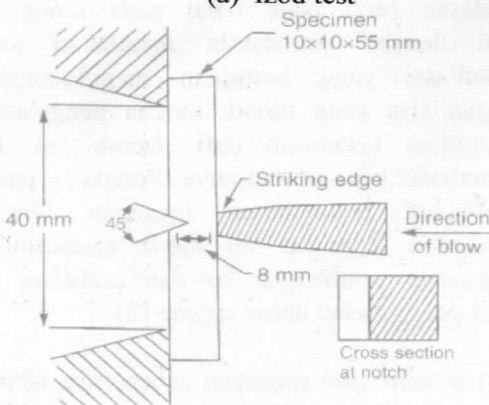
Untuk menilai ketangguhan daerah las terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas, seperti kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa, konsentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya. Ketangguhan daerah las biasanya

dinyatakan dengan energi yang diserap, atau temperatur transisi patah.

Ketangguhan suatu material terhadap beban dinamis dapat diketahui dengan melakukan pengujian impact. Berbagai jenis pengujian batang bertakik telah digunakan untuk menentukan kecenderungan bahan untuk bersifat getas. Dengan jenis uji ini dapat diketahui perbedaan sifat bahan yang tidak teramati dalam uji tarik. Hasil yang diperoleh dari uji batang bertakik tidak dengan sekaligus memberikan besaran rancangan yang dibutuhkan, karena tidak mungkin mengukur komponen tegangan tiga sumbu pada takik.



(a) Izod test



(b) Charpy test

Gambar 2. Sketsa yang memperlihatkan metode pembebanan pada uji impact Izod dan Charpy
Sumber : RK. Rajput (2008 : 245)

Pengukuran lain dari uji Charpy yang biasa digunakan adalah penelaahan permukaan patahan untuk menentukan jenis patahan yang terjadi patahan berserat (patahan geser), granular (patahan belah), atau campuran dari keduanya [4]. Bentuk patahan yang berbeda-beda ini dapat ditentukan dengan mudah, walaupun pengamatan permukaan tidak menggunakan pembesaran. Facet permukaan patahan belah yang datar memperlihatkan daya pemantul

cahaya yang tinggi serta penampilan yang berkilat. Sementara permukaan patahan ulet berserat yang berbentuk dimpel menyerap cahaya serta penampilan yang buram. Biasanya dibuat perkiraan berapa persen permukaan patahan yang terjadi berupa patahan belah (atau serat).

Secara umum benda uji impact dikelompokkan dalam dua golongan standar (ASTM Standards pt.31, Designation E23-82). Batang uji Charpy yang banyak digunakan di Amerika Serikat dan benda uji Izod yang digunakan di Inggris. Benda uji Charpy mempunyai luas penampang lintang bujur sangkar (10x10mm) dan memiliki takik V 45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Benda uji diletakkan dalam tumpuan dengan posisi mendatar dan bagian yang tak bertakik diberi beban impact dengan ayunan bandul (kecepatan impact sekitar 16 ft/detik). Benda uji akan melengkung dan patah pada laju regangan yang tinggi, kira-kira 103 detik-1. Benda uji Izod, yang saat ini jarang digunakan, mempunyai penampang lintang bujur sangkar atau lingkaran dan takik V di dekat ujung yang dijepit. Perbedaan cara pembebanan antara uji Izod dan Charpy ditunjukkan pada gambar (2).

Kriteria Perpatahan Kontruksi Las

Mekanisme perpatahan dinamik adalah salah satu dari kegagalan mekanika retak dinamik, yaitu penyelidikan tentang fenomena kegagalan dalam kejadian dari kecepatan regangan lokal yang sangat tinggi. Karakteristik secara umum pada kejadian ini adalah kehilangan secara cepat dari kemampuan tegangan menahan beban pada skala waktu seperti pengaruh pembebanan lembam (inertial) dari bahan (material) yang peka terhadap laju pembebanan atau dalam skala waktu yang pendek jika dibandingkan dengan perpindahan gelombang di dalam struktur.

Telah diketahui bahwa retak mikro terjadi dalam sistem metalurgi oleh berbagai mekanisme. Tahap kritis biasanya ditentukan oleh tegangan yang diperlukan untuk pertumbuhan retak mikro sehingga terjadi perpatahan. Perpatahan kontruksi las dapat dikategorikan ke dalam empat jenis, yaitu:

a. Patah ulet

Patah ulet dapat terjadi bila bahan mendapat beban melebihi kekuatan seperti yang terjadi pada pengujian tarik, atau penampangnya tidak cukup luas karena adanya cacat dalam sambungan yang disebabkan oleh lasan yang

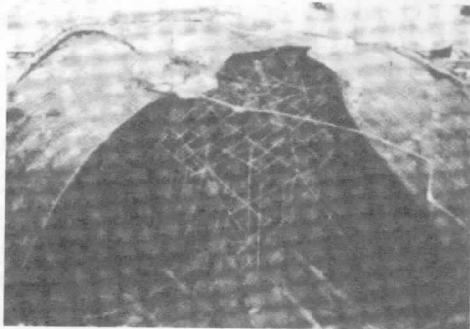
tidak baik. Harsono menjelaskan bahwa ciri-ciri patah ulet adalah sebagai berikut :

- Terlihat adanya deformasi plastik yang cukup banyak seperti terjadinya deformasi selip dan deformasi kembar
- Butir-butir kristal berubah bentuk memanjang karena adanya regangan geser
- Penampang melintang dari benda mengecil dan untuk baja, patahnya berwarna keabu-abuan.

b. Patah getas

Patah getas terjadi pada saat yang tidak dapat diduga, baik pada waktu pembuatan maupun sesudah selesai pembuatan, dengan beban yang lebih rendah dari batas luluh bahan. Karena tidak dapat diduga sebelumnya, maka banyak kecelakaan kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas. Hal-hal umum yang terjadi pada patah getas adalah sebagai berikut :

- Kemungkinan terjadi lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari suhu ruang
- Patahannya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilap. Hal ini disebabkan karena patah terjadi pada permukaan kristal. Di samping itu pada permukaan tampak adanya garis-garis halus yang dapat menunjukkan dengan mudah sumber dari patahan seperti terlihat dalam gambar 3.



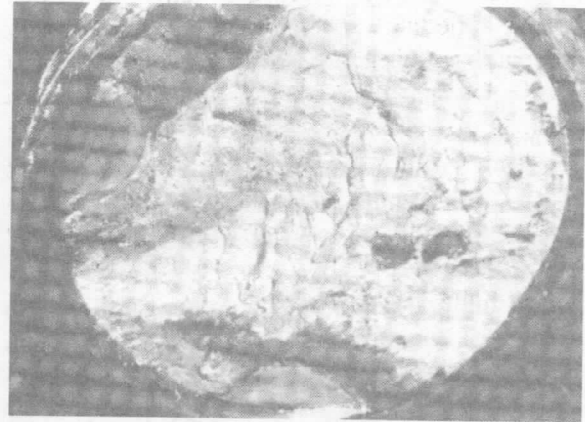
Gambar 3. Patahan getas dari tangki bulat yang terjadi pada pengujian hidraulik
Sumber : Harsono, W (1991 : 193)

c. Patah fatik

Gejala patah yang disebabkan karena beban luar yang berulang, perubahan bentuk yang berulang atau tegangan termal yang berulang dinamakan patah fatik. Gambar 4 memperlihatkan contoh patah fatik.

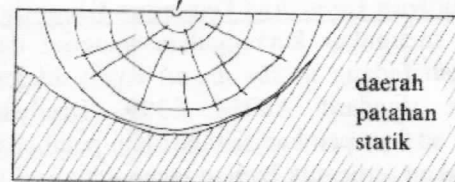
Dalam gambar 4.b, patah fatik menjalar secara perlahan dalam bentuk lingkaran mulai dari

retakan yang merupakan pusat dari patahan. Dengan menjalarnya retak menjadi permukaan patahan, maka luas permukaan yang tidak cacat menjadi berkurang sehingga akhirnya terjadi patahan.



(a) Permukaan patah fatik

Titik mula patahan

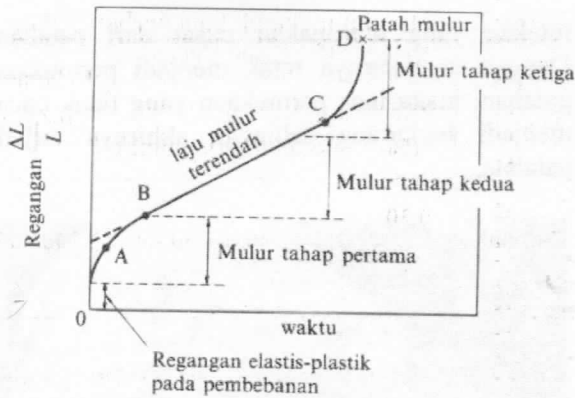


(b) Skema permukaan patahan fatik

Gambar 4. Permukaan patah fatik
Sumber : Harsono (1991 : 196)

d. Patah mulur

Logam mempunyai sifat untuk meregang bila dibebani. Bila regangan ini terjadi pada suhu yang tinggi dan pada tegangan yang lebih rendah dari tegangan luluh akan mengakibatkan perubahan bentuk plastik dan kemudian patah, peristiwa ini disebut mulur. Karena adanya perubahan bentuk yang terus-menerus maka penampang batang menjadi kecil yang menyebabkan bertambahnya kecepatan mulur mulai dari titik C dan berakhir dengan patah mulur pada titik D. Kurva QABCD (Gambar 5) disebut kurva mulur dan merupakan ciri penting bagi baja yang digunakan pada konstruksi untuk temperatur tinggi.



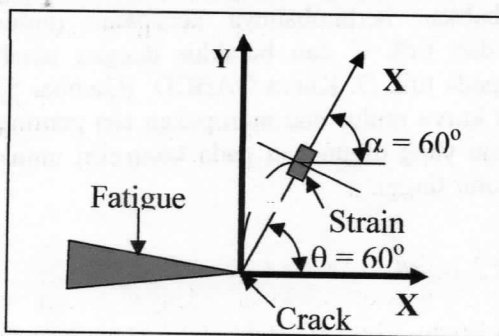
Gambar 5 Kurva mulur

Sumber : Harsono, W (1991 : 199)

Sifat mulur dari logam dipengaruhi oleh komposisi kimianya, cara pembuatannya, laku panasnya dan lain sebagainya. Diantara faktor-faktor tersebut, laku panaslah yang paling besar pengaruhnya. Dalam hal ini, usaha penghindaran yang sering dilakukan adalah pemilihan bahan induk dan bahan las yang tepat.

Pengukuran Intensitas Tegangan Dinamik

Untuk mengukur ketangguhan material dalam regangan bidang (*plain strain*) dapat dilakukan dengan standard ASTM E399. Disebabkan karena adanya pembatasan dari laju pembebanan maka akan terbentuk bagian tegangan quasi-tatik pada benda uji. Untuk laju pembebanan dimana bahagian tegangan dekat dengan ujung retak sangat dipengaruhi oleh beban lebam, kriteria instability retak sampai sekarang yang telah diajukan dapat dibagi dalam dua tipe. Pertama adalah konsep dari quasi-statik yaitu mulai retak saat nilai parameter ketangguhan analisa tegangan dinamik sama dengan atau melewati dari nilai kritisnya, sedangkan yang lainnya adalah pengaruh dari efek waktu yaitu parameter ketangguhan ketika sama dengan atau melewati nilai kritis untuk periode tertentu. Periode ini disebut waktu minimum (*minimum time*) atau waktu inkubasi (*incubation time*).



Gambar 6 Posisi penempelan alat ukur regangan

Beban impact, yaitu tegangan insiden yang ditransmisikan ke dalam batang spesimen, dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_T = \epsilon_0 \frac{A_0}{A} \epsilon_T \quad (2)$$

dimana :

σ_T = tegangan spesimen

ϵ_0 = young modulus spesimen = 218×10^9

ϵ_T = modulus young transmited

A_0 = luas penampang spesimen

A = luas penampang batang impact $\pi \cdot d^2 / 4$

Waktu tempuh tegangan dinamik diukur dengan alat ukur regangan (*strain gauge*) dengan panjang 1 mm dan ditempelkan pada posisi 7 mm dari ujung retak. Metode ini dikembangkan oleh Dally dan Stanford, secara lengkap ditunjukkan dalam gambar 6. Sudut α dan θ dari alat ukur regangan tergantung dari perbandingan Poisson's ν dari bahan uji. Regangan dalam arah X dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$2G\epsilon_{x'x'} = A_0 r^{-1/2} \left[\begin{array}{l} k \cos(\theta/2) - (1/2) \\ \sin \theta \sin(3\theta/2) \cos 2\alpha \\ + (1/2) \sin \cos(3\theta/2) \sin 2\alpha \end{array} \right] + B_0 (k + \cos 2\alpha) + A_1 r^{1/2} \left[\begin{array}{l} k + \sin^2(\theta/2) \cos 2\alpha \\ - (1/2) \sin \theta \sin 2\alpha \end{array} \right] + B_1 r [(k + \cos 2\alpha) \cos \theta - 2 \sin \theta \sin 2\alpha] \quad (3)$$

dimana G adalah modulus geser, A_0 adalah $K_I / \sqrt{2\pi}$, dan A_1 , B_0 , dan B_1 adalah konstanta. Jika α dan θ dipilih maka term kedua, ketiga dan keempat untuk bagian sebelah kanan dari persamaan diatas (1) adalah nol, maka regangan $\epsilon_{x'x'}$ dekat dengan ujung retak dapat diekspresi secara tepat hanya dengan term pertama. Untuk perbandingan Poisson's adalah 1/3 adalah aluminium, maka α dan θ menjadi 60° , dan harga intensitas tegangan dinamik adalah:

$$K_I = E \epsilon_{x'x'} \sqrt{(8/3)\pi r} \quad (4)$$

dimana E adalah Modulus Young's, r adalah jarak ujung retak ke tengah-tengah alat ukur regangan dan $\epsilon_{x'x'}$ adalah regangan yang diukur dengan alat ukur regangan.

Perhitungan Ketangguhan Retak Dinamik (J_{Iq})

Dua metode dapat digunakan untuk memperkirakan nilai ketangguhan retak dinamik.

Mekanika retakan elastis-plastis digunakan untuk mengevaluasi nilai J_{Id} untuk mengamati retak awal yang terjadi sebelum titik beban maksimum dengan titik yield standar. Jika retak awal terjadi pada ujung beban tanpa titik yield yang standar, maka digunakan mekanika retakan elastis linear untuk memperkirakan nilai J_{Id} . Laju perubahan yang drastis diketahui sebagai titik retakan awal. Energi retakan awal dapat diperoleh secara langsung dari data energi yang berhubungan dengan defleksi pada titik retakan awal dan nilai J_{Id} dapat dihitung dengan persamaan Rice's :

$$J_{Id} = 2 E^1 i / B(W - a) \quad (5)$$

Dimana $E^1 i$ adalah energi retakan awal (joule), B adalah ketebalan spesimen (mm), W merupakan lebar spesimen (mm), dan a adalah panjang retak awal (mm).

Nilai J_{Id} yang presisi dihitung dengan memasukkan energi yang digunakan oleh deformasi bending spesimen E_i dalam persamaan diatas hal yang sama juga bisa dilakukan untuk energi retak $E^1 i$.

Besarnya harga ketangguhan retak minimum pada retak dinamik (K_{Id}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan K_{Id} di bawah ini. Berdasarkan mekanika retakan elastis linear, nilai J_{Id} diperkirakan dengan menggunakan tiga persamaan berikut.

$$K_{Id} = 6 Y M(a)0,5 / (B W2) \quad (6)$$

$$Y = 1,93 - 3,07 (a/W) + 14,53 (a/W)^2 - 25,11 (a/W)^3 + 25,8 (a/W)^4 \quad (7)$$

$$J_{Id} = K2Id / E \quad (8)$$

Dimana M adalah momen bending yang dipakai sama dengan nilai $P_{maks} S/4$, dan P_{maks} adalah beban maksimum (N).

METODE PENELITIAN

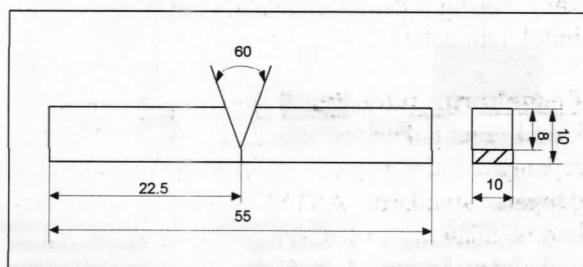
Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah material baja karbon sedang. Sifat-sifat mekanik dari baja karbon sedang adalah seperti ditunjukkan dalam tabel (2).

Tabel 2. Sifat- sifat mekanik baja karbon sedang

Jenis Material	Kadar Karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekerasan (Brinell)
Baja Karbon Sedang	0,30 – 0,40	30 – 40	50 -60	140 - 170

Spesimen uji impact dibentuk sesuai dengan standar ISO (ASTM – E23) untuk uji charpy yaitu dengan dimensi panjang 55 mm, lebar 10 mm, dan tinggi 10 mm. Spesimen uji dibuat dengan proses pemesinan untuk memenuhi dimensi tersebut [1]. Selanjutnya tepat dibagian tengah diberi kampuh V tunggal dengan sudut 60°, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 7 berikut.



Gambar 7. Dimensi spesimen uji impact dan bentuk kampuh

Spesimen uji yang telah dibuat bentuk kampuh selanjutnya dilakukan proses penyambungan dengan cara dilas. Pengelasan/penyambungan kedua bagian spesimen uji dilakukan pada posisi kampuh V tunggal dengan menggunakan mesin las listrik dan elektroda terbungkus jenis oksida titan yang termasuk ke dalam klasifikasi JIS D4313.

Setelah semua material uji selesai dilakukan proses penyambungan dengan cara dilas, selanjutnya dibuat lagi takik V tepat di bagian tengah material yaitu di atas sambungan las.

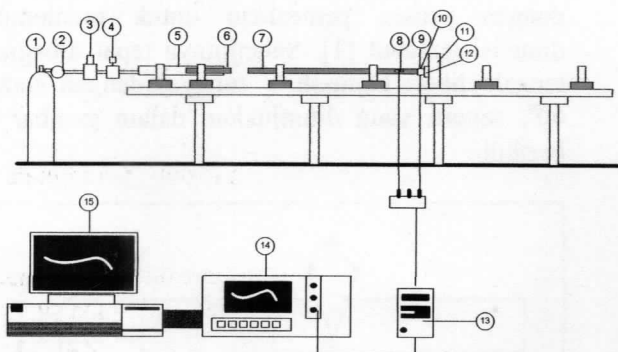
Spesimen uji dibuat dalam tiga variasi pengelasan yaitu pengelasan dengan volume lasan 110% (spesimen I), 100% (spesimen II), dan 90%(Spesimen III).

Mesin Uji Retak Impact

Uji retak impact dilakukan dengan mesin uji Pembebanan Dinamik Gas Gun seperti yang ditunjukkan dalam gambar 8. Komponen utama mesin uji ini adalah tabung gas, pengatur tekanan, katup solenoid, barel, batang impact,

batang penerus, dan seperangkat alat ukur elektronik yang terdiri dari transducer, bridge box, signal conditioning, transient converter, dan personal komputer.

Pengaturan besar kecilnya beban impact dilakukan dengan mengatur jarak impact dan tekanan tabung gas. Pengujian ini menggunakan tekanan output tabung pada 5,3 Bar dan jarak impact 25 cm sampai 125 cm. Tujuan membuat variasi beban impact dengan cara tersebut adalah untuk mendapatkan suatu domain tegangan patah spesimen yang diuji.



- Keterangan :
- | | | |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1. Tabung N ₂ | 7. Batang Penerus | 13. Transient Converter |
| 2. Pressure Gauge. | 8. Strain Gage | 14. Signal Conditioner |
| 3. Pressure Regulator. | 9. Strain Gage | 15. Personal Computer |
| 4. Selenoid Valve | 10. Spesimen | |
| 5. Pipa Barel. | 11. Tumpuan Spesimen | |
| 6. Batang Pengimpak | 12. Balok Pembatas | |

Gambar 8. Alat uji impact Pembebanan Dinamik Gas Gun

Pengukuran beban impact yang dibangkitkan pada lokasi impact dan ditransmisikan ke dalam batang spesimen dilakukan dengan menggunakan teknik strain gauge yang dipasang pada batang penerus. Prinsipnya, gelombang tegangan yang lewat batang penerus ditangkap oleh strain gauge. Selanjutnya dengan bantuan bridge box, perubahan tahanan gauge $\Delta R/R$ diubah menjadi voltase output V_0 pada transient converter, melalui signal conditioner. Data digital yang disimpan transient converter selanjutnya dikirim ke komputer dengan memakai interface. Hasilnya dapat dimunculkan sebagai plot tegangan fungsi waktu.

PEMBAHASAN

Data Penelitian

Pengujian impact yang dilakukan terhadap material baja karbon sedang hasil lasan dengan menggunakan mesin uji pembebanan dinamik

gas gun terlebih dahulu di setting seperti yang ditunjukkan dalam tabel (3).

Tabel 3. Setup pengujian

Setting data	Tekanan (Bar)	Jarak Impact (cm)	Tegangan listrik CH1 (volt)	Tegangan listrik CH2 (volt)
Spesimen I	5,3	80	2	2
Spesimen II	5,3	55	2	2
Spesimen III	5,3	105	2	2

Data hasil pengujian adalah berupa data waktu, regangan input dan regangan refleksi dengan jumlah data yang diambil dalam pengujian ini sebanyak 76 data untuk masing-masing spesimen dengan skala penambahan waktu $1,00 \times 10^{-6}$ detik.

Analisa data Hasil Pengukuran Beban Impact

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan beban impact (σ_T) dan harga laju intensitas tegangan (K_I). Besarnya beban impact, yaitu tegangan insiden yang ditransmisikan ke dalam batang spesimen, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_T = \epsilon_0 \frac{A_0}{A} \epsilon_T \quad (9)$$

dimana :

σ_T = tegangan spesimen (Mpa)

A_0 = luas penampang spesimen

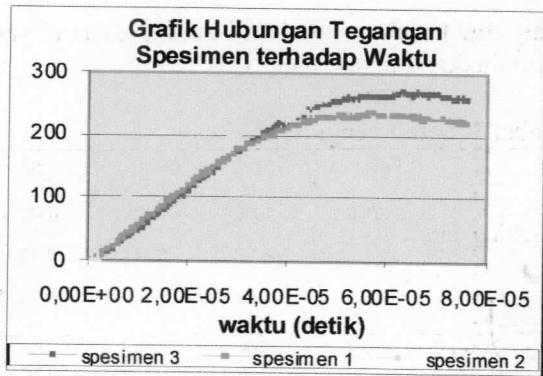
A = luas penampang batang penerus $\pi.d^2 / 4$

E_0 = modulus young spesimen = 218×10^9

ϵ_T = regangan transmited = $\epsilon_i - \epsilon_r$

ϵ_i = regangan input

ϵ_r = regangan refleksi



Gambar 9. Grafik hubungan tegangan spesimen terhadap waktu impact

Dalam bentuk tabel, besarnya tegangan maksimum untuk masing-masing spesimen dapat ditabulasikan seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.

Tabel 4. Besarnya tegangan maksimum terhadap waktu

Material Uji	Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III
Waktu (sec)	5.7E-05	0.00005	6.3E-05
Tegangan (Mpa)	237,469	245,347	268,982

Berdasarkan grafik hubungan tegangan spesimen terhadap waktu (gambar 9) di atas, dapat dilihat bahwa spesimen uji yang menerima tegangan terbesar adalah untuk spesimen uji III (volume lasan 90%), dimana tegangan paling besar untuk spesimen III adalah 268,982Mpa pada waktu $6,3 \times 10^{-5}$ detik, untuk spesimen I (volume lasan 110%) tegangan paling besar terjadi pada waktu $5,7 \times 10^{-5}$ menit dengan nilai tegangan sebesar 237,469Mpa, dan untuk spesimen II (volume lasan 100%) tegangan terbesar terjadi pada waktu $5,0 \times 10^{-5}$ detik dengan nilai tegangan sebesar 245,347Mpa.

Pengukuran Laju Intensitas Tegangan Impact

Besarnya harga laju intensitas tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus dalam persamaan:

$$K_I = E \varepsilon_{x'x'} \sqrt{(8/3)\pi r} \quad (10)$$

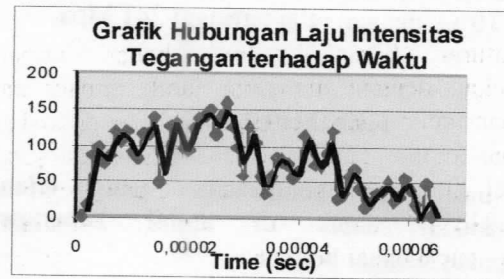
dimana :

K_I = laju intensitas tegangan

E = modulus young

r = jarak ujung retak ke tengah-tengah alat ukur regangan

$\varepsilon_{x'x'}$ = regangan yang diukur dengan alat ukur regangan



Gambar 10. Grafik hubungan laju intensitas tegangan terhadap waktu

Gambar 10 memperlihatkan hasil plot dalam bentuk grafik dari hubungan antara harga laju intensitas tegangan (K_I) terhadap peningkatan waktu impact.

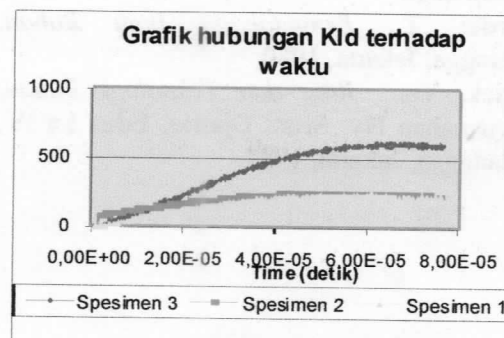
Besarnya laju intensitas tegangan untuk spesimen II dapat dilihat pada grafik diatas, dimana posisi laju tegangan paling tinggi terjadi pada saat waktu impact $2,70 \times 10^{-5}$ detik, dengan laju tegangan sebesar $1,58 \times 10^2$ Mpa.

Perhitungan Ketangguhan Retak Minimum pada Retak Dinamik (K_{Id})

Besarnya nilai ketangguhan retak minimum pada retak dinamik untuk ketiga spesimen uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5), yaitu :

$$K_{Id} = 6 Y M(a)0,5 / (B W 2) \quad (11)$$

Hasil perhitungan selanjutnya diplot berbentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan ketangguhan retak minimum terhadap waktu

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai ketangguhan retak minimum pada retak dinamis

terbesar terjadi pada spesimen III (volume lasan 90%) dengan harga tertinggi yaitu 611 Mpa, dan nilai ketangguhan retak minimum pada retak dinamis terkecil terjadi pada spesimen I (volume lasan 110%), dengan nilai tertinggi 241 Mpa.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Harga ketangguhan retak suatu material lasan sangat dipengaruhi oleh besarnya volume lasan.
2. Nilai tegangan spesimen tertinggi untuk material dengan volume lasan 90% adalah 268,982 Mpa, tegangan tertinggi untuk spesimen dengan volume lasan 100% adalah 245,347 Mpa, dan tegangan tertinggi untuk spesimen dengan volume lasan 110% adalah 237,469 Mpa.
3. Ketangguhan retak paling tinggi dari ketiga spesimen uji terjadi pada spesimen uji III dengan volume lasan 90%.
4. Besarnya volume berbanding terbalik dengan besarnya nilai ketangguhan retak dari suatu material.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM, *Annual Book of ASTM Standards*, E23, Philadelphia, PA, 1995.
2. Harsono W., *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta, 1991.
3. R.K. Rajput, *Engineering Material and Metalurgy*, S.Chand and Company Ltd., New Delhi, 2008.
4. Surdia, T., *Pengetahuan Ilmu Bahan*, Erlangga, Jakarta, 1980.
5. Vlack, Van., *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Terjemahan Ny. Sriati Djafrie, Edisi ke IV, Erlangga, Jakarta, 1987