

KEKUATAN IMPAK BAJA ST 60 DI BAWAH TEMPERATUR EKSTRIM

Zuhaimi

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280 PO Box 90 Buketrata, Lhokseumawe 24301
Email: zuhaimi.pnl@gmail.com

Abstrak

Kegagalan pada suatu konstruksi permesinan kemungkinan bisa terjadi, namun dapat dihindari dengan melakukan kajian-kajian dan penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan impact (*impact strength*) terhadap material baja karbon ST 60 pada berbagai temperatur, terutama pada temperatur ekstrim melalui uji impact *charpy*. Pengujian dilakukan melalui empat tahapan, yaitu: (1) mempersiapkan spesimen pengujian; (2) melakukan pengkondisian spesimen pada berbagai perlakuan temperatur; (3) melakukan pengujian impact *charpy*; dan (4) melakukan pengamatan perpatahan. Spesimen disiapkan dalam bentuk standar mengikuti ASTM E 23 sejumlah 24 buah sesuai dengan rancangan penelitian untuk 8 variasi temperatur dengan masing-masing 3 kali perulangan. Untuk mengkondisikan temperatur dapat dilakukan dengan menggunakan dapur pemanas (*furnace*) dan *dry ice* + alkohol 70% serta nitrogen cair. Pengujian impact dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji impact *charpy* dan pengujian perpatahan (*fractographi*) dapat dilakukan dengan menggunakan *Stereoscan Microscope*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa, harga kekuatan impact material ST 60 terendah terjadi pada temperatur yang sangat ekstrim (-20°C), yaitu sebesar $0,111 \text{ Joule/mm}^2$, dan yang terbesar pada temperature 200°C dengan harga $0,836 \text{ Joule/mm}^2$. Temperatur transisi dari ulet ke getas untuk material ST 60, terjadi antara temperatur 0°C sampai 150°C , dimana pada rentang temperatur ini menunjukkan energi impact terjadi kenaikan yang tajam.

Kata kunci: Baja karbon ST 60, impact *charpy*, kekuatan impact, perpatahan.

PENDAHULUAN

Teknologi material di bidang teknik mesin terus berkembang pesat disesuaikan dengan kebutuhan pada tingkat keandalan yang tinggi. Kegagalan pada komponen mesin tetap saja tidak dapat dihindari dan dihilangkan sama sekali, namun terus diupayakan untuk diminimalkan melalui penelitian-penelitian. Fenomena kegagalan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor pemilihan jenis material, penyebab lain seperti: kelelahan (*fatigue*), beban impact (beban secara tiba-tiba), korosi, proses pengerjaan material dan faktor lingkungan (pengaruh temperatur) perlu mendapat perhatian tersendiri yang tidak kalah pentingnya. Hal di atas dapat berakibat patah (*fracture*) pada material dari suatu komponen permesinan. Perpatahan pada material didahului oleh adanya inisiasi retak dan diteruskan oleh penjalaran retak sampai akhirnya material patah.

Lebih dari 75% kegagalan material pada konstruksi mesin adalah akibat kelelahan atau fatik [1], dan dalam penggunaannya pengaruh suhu terhadap material cenderung akan mempengaruhi struktur metalurgi material tersebut yang merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya kegagalan pada material [2]. Demikian pula penelitian yang telah dilakukan oleh James Marrow [3] yang

melakukan pengujian impact terhadap baja karbon dan aluminium yang memperlihatkan dua buah skema kurva transisi ulet ke getas antara baja karbon dan aluminium. Hasil dari kedua kurva tersebut menunjukkan perbedaan transisi dari ulet ke getas yang sangat nyata, untuk baja karbon transisi sangat terlihat tajam dibandingkan aluminium.

Data material akibat perilaku pembebanan dinamis sampai saat ini masih sulit diperoleh apalagi penggunaannya pada kondisi yang spesifik sehingga perlu kajian khusus untuk itu, salah satu diantaranya adalah perilaku dinamis (kekuatan impact) akibat pengaruh temperatur yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu konstruksi.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi gambaran yang jelas bagi para perancang dalam menentukan bahan struktur pada berbagai kondisi operasional, disamping itu dengan pengkondisian pengujian pada temperatur ekstrim, dapat memperkirakan ketangguhan relatif untuk memilih bahan-bahan dalam desain, serta diperoleh informasi tentang struktur dan mekanisme perpatahan dari material baja ST 60 yang mengalami pembebanan impact, sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui harga kekuatan impact (*impact strength*) baja ST 60 pada berbagai

temperatur, terutama pada temperatur ekstrim.

2. Untuk mendapatkan temperatur transisi dari ulet ke getas dari hasil pengujian impact metode *charpy* terhadap baja ST 60.
3. Untuk mengetahui bentuk permukaan patah baja ST 60 akibat pembebanan impact pada berbagai temperatur.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengujian Impact

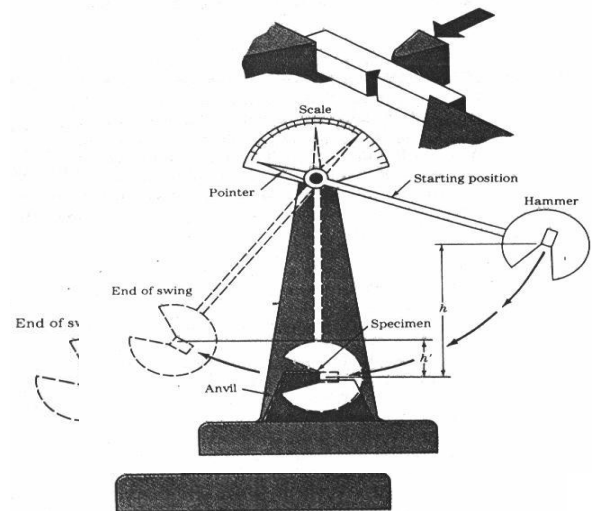
Pengujian impact merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut [4]. Inilah yang membedakan pengujian impact dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impact merupakan salah satu uji mekanik yang dapat dipakai untuk menganalisis karakteristik mekanik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik ulet-getas bahan terhadap perubahan suhu. Alat uji impact sangat penting untuk penelitian dan pengembangan bahan struktur. Metode yang sering digunakan adalah metode *charpy* dengan bentuk spesimen standar [5]. Pengujian impact merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi akibat tumbukan pada bumper mobil saat terjadinya kecelakaan.

Pada pengujian impact ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran *kekuatan impact* atau *ketangguhan* bahan tersebut. Bahan-bahan yang tangguh (*tough*) menyerap banyak energi ketika dipatahkan, dan sebaliknya bahan-bahan yang getas (*brittle*) menyerap energi sangat sedikit. Dasar pengujian impact ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Suatu bahan yang diperkirakan ulet ternyata dapat mengalami patah getas yang disebabkan oleh beberapa hal antara lain:

1. Adanya takikan (*notch*)
2. Kecepatan pembebanan atau laju regangan yang tinggi
3. Temperatur yang sangat rendah.

Prinsip pengukuran secara skematis ditunjukkan pada Gambar 1, sebagian energi akan diserap oleh benda uji, sehingga beda tinggi ayunan merupakan ukuran energi yang diserap. Setelah benda uji patah, bandul

pendulum melanjutkan ayunannya hingga posisi h' . Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah.



Gambar 1. Prinsip Pengukuran pada impact *charpy*.

Energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan *Joule* dan dibaca langsung pada skala (*dial*) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga impact (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode *charpy* diberikan oleh Persamaan 1.

$$HI = E/A \quad (1)$$

dimana E adalah energi yang diserap dalam satuan *Joule* dan A luas penampang di bawah takik dalam satuan mm^2 .

Material Baja ST 60

Baja karbon berliku untuk baja yang mengandung unsur bukan besi dengan unsur utama yang dikandung adalah karbon, mangan, dan silikon [6], karbon dan mangan adalah unsur utama untuk menaikkan kekuatan. Material baja ST 60 termasuk dalam baja karbon menengah (*medium carbon steel*) yang banyak digunakan pada berbagai konstruksi permesinan seperti pada poros dan bangunan kapal. Namun penyebab terjadinya kegagalan sampai saat ini masih banyak yang perlu diteliti seperti akibat kelebihan beban dan pengaruh temperatur yang menyebabkan perubahan struktur pada material tersebut. Kekuatan tarik baja ST 60 adalah 550–650 Mpa dengan komposisi kimia: 0,47–0,53 %C, 0,15–0,35 %Si, 0,60–0,90 %Mn, 0,030 %P dan 0,035 %S.

Efek Takikan (*Notch*)

Menurut James Marrow [3], takikan pada benda uji mempunyai dua efek, yang keduanya dapat menurunkan energi impak. Pertama, konsentrasi tegangan dari takikan menyebabkan peluluhan atau deformasi plastis terjadi pada takikan. Suatu daerah plastis dapat berkembang pada takikan yang akan menurunkan jumlah total deformasi plastis pada benda uji. Kedua, pembatasan deformasi pada takikan meningkatkan tegangan tarik di zona plastis. Tingkat pembatasan tergantung pada kerumitan takikan (kedalaman dan keruncingan). Peningkatan tegangan tarik mendorong perpatahan dan menurunkan usaha yang dilakukan oleh deformasi plastis sebelum perpatahan terjadi.

Beberapa bahan lebih sensitif terhadap takikan dibanding yang lain, dan sebuah standar jari-jari ujung takikan dan kedalaman takikan kemudian memungkinkan digunakan untuk membandingkan antara bahan-bahan yang berbeda. Pengujian impak *charpy* kemudian mengindikasikan sensitifitas takikan dari suatu bahan.

Transisi Ulet ke Getas

Serangkaian uji *charpy* pada satu material umumnya dilakukan pada berbagai temperatur sebagai upaya untuk mengetahui temperatur transisi:

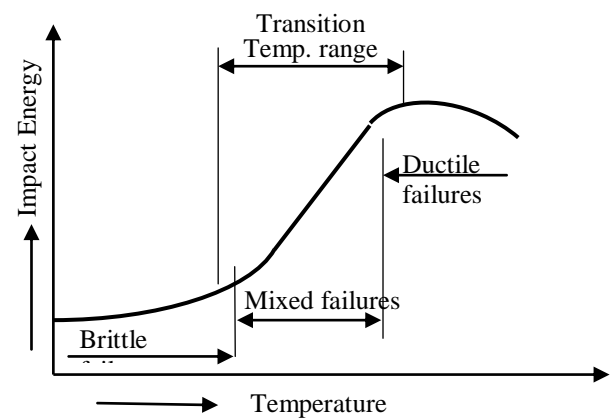
1. Suhu dingin diperoleh dengan cara yaitu batang uji didinginkan dengan cara memasukkan ke dalam wadah berisi *dry ice* + *alcohol* 70% atau nitrogen cair.
2. Suhu panas diperoleh dengan cara yaitu spesimen uji dimasukkan ke dalam dapur pemanas (*furnace*).
3. Takik (*notch*) dalam benda uji standar ditunjukkan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga perpatahan diharapkan akan terjadi di bagian tersebut.

Transisi ulet ke getas didefinisikan dalam hubungan dengan energi patah. Perpatahan getas adalah suatu energi patah yang rendah dan perpatahan ulet adalah suatu energi patah yang tinggi. Kurva transisi ulet ke getas mencatat efek suhu pada energi perpatahan. Energi impak pada umumnya menurun seiring menurunnya suhu dengan kekuatan peluluhan meningkat. Menurut Akhmad [4], temperatur transisi adalah temperatur yang menunjukkan transisi perubahan jenis perpatahan suatu bahan bila diuji pada temperatur yang berbeda-beda.

Fenomena ini berkaitan dengan vibrasi atom-atom bahan pada temperatur yang berbeda. Pada temperatur kamar vibrasi itu berada dalam kondisi kesetimbangan dan selanjutnya akan menjadi tinggi bila temperatur

dinaikkan. Vibrasi atom inilah yang berperan sebagai suatu penghalang (*obstacle*) terhadap pergerakan dislokasi pada saat terjadi deformasi kejut/impak dari luar. Dengan semakin tinggi vibrasi itu maka pergerakan dislokasi menjadi relatif sulit sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk mematahkan benda uji. Sebaliknya pada temperatur di bawah nol derajat Celcius, vibrasi atom relatif sedikit sehingga pada saat bahan dideformasi pergerakan dislokasi menjadi lebih mudah dan benda uji menjadi lebih mudah dipatahkan dengan energi yang relatif lebih rendah.

Informasi mengenai temperatur transisi menjadi demikian penting bila suatu material akan didesain untuk aplikasi yang melibatkan rentang temperatur yang besar, misalnya dari temperatur di bawah nol derajat Celcius hingga temperatur tinggi di atas seratus derajat Celcius, contohnya sistem penukar panas (*heat exchanger*). Hampir semua logam berkekuatan rendah dengan struktur kristal FCC seperti tembaga dan aluminium bersifat ulet pada semua temperatur sementara bahan dengan kekuatan luluh yang tinggi bersifat rapuh, seperti baja karbon pada jembatan, kapal, jaringan pipa dan sebagainya.



Gambar 2. Skematik kurva transisi ulet ke getas.

Gambar 2 memperlihatkan kurva transisi ulet ke getas dari suatu baja karbon menengah yang sangat nyata dengan transisi terlihat sangat tajam. Studi pendahuluan tentang uji dinamis terhadap material baja karbon ST 60 telah dilakukan oleh [7], yang telah menentukan batas ketangguhan fatik akibat beban aksial. Hasil kajian awal ini menunjukkan bahwa baja karbon ST 60 memiliki kekuatan yang tinggi, namun cenderung rapuh dan ketangguhan fatik diperoleh pada tegangan 385 Mpa.

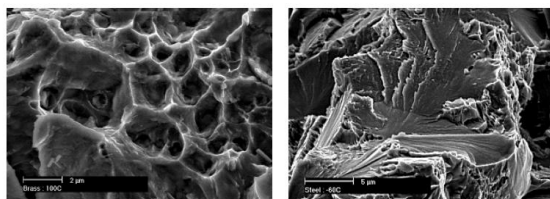
Mekanisme Perpatahan

Pengukuran lain yang biasa dilakukan dalam pengujian impak *charpy* adalah penelaahan mekanisme perpatahan untuk menentukan jenis perpatahan (*fratografi*) yang terjadi. Menurut Akhmad [4], perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Perpatahan ulet, berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.
2. Perpatahan getas, *granular*/kristalin, dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
3. Perpatahan campuran (berserat dan *granular*) merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.

Selain dengan harga impak yang ditunjukkan oleh alat uji, pengukuran ketangguhan suatu bahan dapat dilakukan dengan memperkirakan berapa persen patahan berserat dan patahan kristalin yang dihasilkan oleh benda uji yang diuji pada temperatur tertentu. Semakin banyak persentase patahan berserat maka dapat dinilai semakin tangguh bahan tersebut. Cara ini dapat dilakukan dengan mengamati permukaan patahan benda uji di bawah mikroskop.

Energi impak dipengaruhi oleh mekanisme perpatahan. Logam biasanya patah dengan gabungan mikro (*Microvoid Coalescence*) oleh regangan plastis menyebabkan rongga pengintian di sekitar inklusi seperti ditunjukkan pada Gambar 3(a). Penggabungan ini tumbuh dan bergandengan sampai terjadi kegagalan akhir. Pada logam BCC, kegagalan dapat juga terjadi oleh pembelahan (*cleavage*) sepanjang bidang kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 3(b).



(a) *Mikrovoid Coalescence* (b) *Cleavage*

Gambar 3. Struktur mikro mekanisme perpatahan.

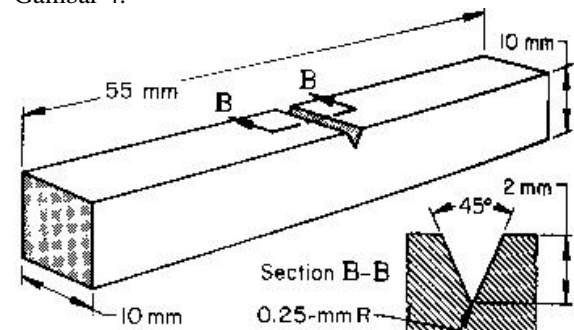
METODOLOGI

Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan penelitian ini direncanakan selama 6 bulan, dan tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Mesin untuk pembuatan spesimen dan *set-up* peralatan, sedangkan untuk pengujian dilakukan di laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja ST 60 sebagai material uji (spesimen), yang dibentuk menurut standar ASTM E 23 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Dimensi spesimen uji impak *charpy* (ASTM E 23)

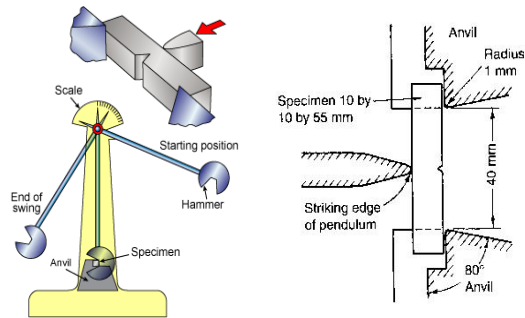
Bahan lainnya yaitu *dry ice + alcohol* 70% untuk mendinginkan spesimen dan nitrogen cair untuk mendinginkan spesimen hingga minus puluhan derajat Celsius. Alat-alat yang digunakan pada kegiatan penelitian, yaitu: mesin pengujian impak *charpy*, *compressor*, dapur pemanas (*furnace*), *stereoscan macroscope*, *thermometer*, jangka sorong, tang penjepit dan sarung tangan kulit.

Perlakuan dan Rancangan Penelitian

Perlakuan yang dimaksud adalah pengaturan temperatur spesimen pada berbagai kondisi sampai pada temperature ekstrim (minus puluhan derajat Celsius). Rancangan percobaan dipersiapkan untuk 8 perlakuan, yaitu (-20°C, -10°C, 0°C, temperatur kamar, 50°C, 100°C, 150°C dan 200°C). Untuk mendapatkan hasil yang valid, masing-masing perlakuan dilakukan 3 kali perulangan dan diambil harga rata-ratanya. Jadi model rancangan pengujian adalah 8 × 3 yaitu 8 kali perlakuan dan 3 kali perulangan, sehingga jumlah sampel pengujian (spesimen) adalah 24 buah.

Set-up peralatan pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu spesimen

ditempatkan pada landasan alat uji impact (*anvil*) dalam posisi takik di depan dan harus dipastikan tepat ditengah-tengah sehingga pendulum sejajar dengan takik. Sebaiknya penempatan posisi spesimen dilakukan sebelum pendulum dinaikkan untuk menjaga keamanan operasi.



Gambar 5. Set-up peralatan uji impact charpy.

Dalam metode eksperimen ini ada empat tahapan yang harus dilakukan, yaitu: (1) mempersiapkan spesimen untuk pengujian; (2) melakukan proses pengkondisian spesimen pada berbagai perlakuan temperatur; (3) melakukan pengujian impact *charpy*; dan (4) melakukan pengamatan terhadap bentuk perpatahan akibat kegagalan impact. Pengamatan pada percobaan dilakukan terhadap luas area di bawah takik untuk masing-masing spesimen, dan setelah dilakukan uji impact dilakukan pengamatan dan dicatat energi impact yang diserap spesimen dan selanjutnya dapat dihitung harga kekuatan impactnya. Pengamatan juga dilakukan terhadap spesimen yang telah patah untuk menganalisa bentuk permukaan perpatahan dengan menggunakan *stereoscan microscope*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

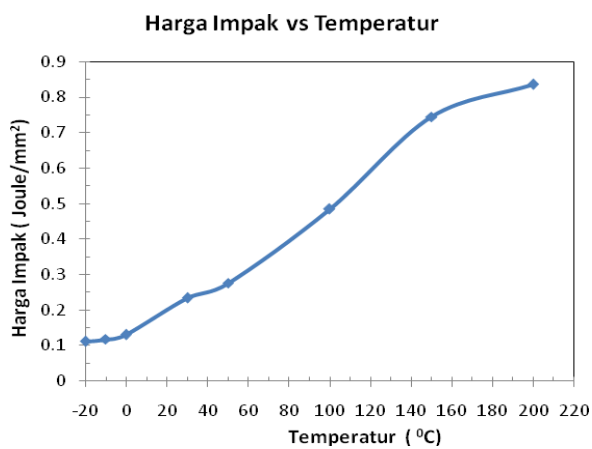
Harga Kekuatan Impact

Harga Impact (HI) merupakan parameter ketangguhan bahan yang diperoleh berdasarkan energi yang diserap (E) dibagi dengan luas penampang di bawah takik (A) dari spesimen, dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian Impact

No	T (°C)	am (m)	b (m)	A (mm ²)	E (Joule)	HI (Joule/m ²)
1	-20 ₁	8	10	80	9	0.113
2	-20 ₂	8	10	80	8.5	0.106
3	-20 ₃	8	10	80	9	0.113
Rata-rata					8.8	0.111
4	10 ₁	8	10	80	9.2	0.115
5	10 ₂	8	10	80	9.5	0.119
6	10 ₃	8	10	80	9.4	0.118
Rata-rata					9.4	0.117
7	0 ₁	8	10	80	10	0.125
8	0 ₂	8	10	80	11	0.138
9	0 ₃	8	10	80	10.2	0.128
Rata-rata					10.4	0.130
10	30 ₁	8	10	80	16.5	0.206
11	30 ₂	8	10	80	17	0.213
12	30 ₃	8	10	80	16	0.206
Rata-rata					16.5	0.233
13	50 ₁	8	10	80	20	0.250
14	50 ₂	8	10	80	22	0.275
15	50 ₃	8	10	80	24	0.300
Rata-rata					22.0	0.275
16	100 ₁	8	10	80	35	0.438
17	100 ₂	8	10	80	39	0.488
18	100 ₃	8	10	80	42	0.525
Rata-rata					38.7	0.484
19	150 ₁	8	10	80	59.5	0.744
20	150 ₂	8	10	80	61	0.763
21	150 ₃	8	10	80	58	0.725
Rata-rata					59.5	0.744
22	200 ₁	8	10	80	67	0.838
23	200 ₂	8	10	80	68.5	0.856
24	200 ₃	8	10	80	65	0.813
Rata-rata					66.8	0.836

Hasil-hasil yang diperlihatkan pada Tabel 1 dilakukan untuk 8 kondisi temperatur pengujian dan masing-masing perlakuan temperatur diulang 3 kali, sehingga harga kekuatan impact yang dinyatakan dalam parameter HI diambil dari harga rata-ratanya. Harga kekuatan impact terendah terjadi pada temperatur -20°C yaitu $0,111 \text{ Joule/mm}^2$ dan tertinggi terjadi pada temperatur 200°C dengan harga sebesar $0,836 \text{ Joule/mm}^2$. Gambar 6 memperlihatkan grafik hubungan harga kekuatan impact dan berbagai temperatur perlakuan.



Gambar 6. Grafik harga kekuatan impact.

Dari grafik pada gambar 6 dapat dijelaskan bahwa makin besar temperatur perlakuan, makin besar pula harga kekuatan impact atau dengan kata lain harga kekuatan impact meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, dari grafik memperlihatkan tidak terjadi secara linear, tetapi mulai dari temperatur di atas 0°C naik secara tajam sampai pada temperatur 150°C , sedangkan pada temperatur dari -20°C sampai pada temperatur 0°C kenaikannya tidak signifikan. Hasil tersebut menjelaskan bahwa untuk bahan baja karbon menengah seperti ST 60 akan menjadi sangat getas pada temperatur di bawah 0°C atau pada temperatur ekstrim, dan sampai pada temperatur di atas 150°C bahan tersebut bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang juga meningkat pada suhu yang tinggi.

Transisi Ulet ke Getas

Sebagaimana telah diuraikan terdahulu, bahwa transisi ulet ke getas dikaitkan dengan energi impact yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Energi impact pada

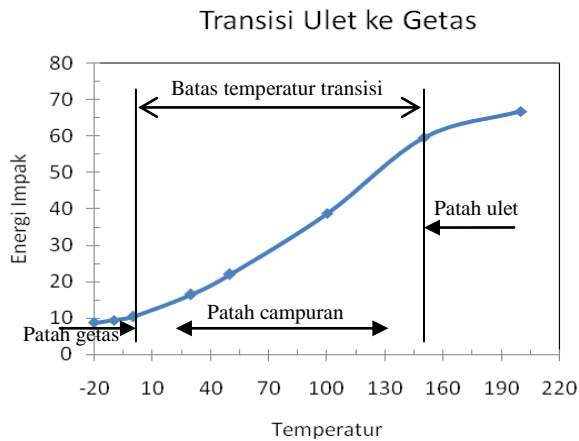
umumnya menurun seiring menurunnya suhu. Dengan demikian kurva transisi ulet ke getas mencatat efek temperatur pada energi perpatahan. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, besarnya energi impact untuk berbagai kondisi temperatur dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Energi impact pada berbagai temperatur

No.	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Energi impact (Joule)
1	-20	8.8
2	-10	9.4
3	0	10.4
4	30	16.5
5	50	22
6	100	38.7
7	150	59.5
8	200	66.8

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa harga energi impact terendah terjadi juga pada temperatur paling rendah (-20°C) yaitu sebesar 8,8 Joule dan harga tertinggi pada temperatur 200°C yaitu 66,8 Joule, dengan demikian dapat dikatakan bahwa makin besar temperatur perlakuan makin besar pula energi impact yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Besarnya kenaikan energi impact ini tidak langsung berbanding lurus dengan kenaikan temperatur, dan ini ada kaitannya dengan transisi ulet ke getas yang lebih lanjut dapat diamati pada grafik dari Gambar 7 yang memperlihatkan hubungan antara temperatur perlakuan dan energi impact yang terjadi.

Temperatur transisi dari ulet ke getas dapat diketahui dengan mengamati batas-batas kenaikan yang tajam pada kurva yang dibentuk dari hubungan keduanya. Batas-batas tersebut dimulai dari daerah temperatur di bawah 0°C yang merupakan kondisi batas yang agak stabil (tidak terlalu terpengaruh dengan perubahan suhu) dan berakhir sampai pada temperatur 150°C seperti ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 7 yang secara jelas menggambarkan perilaku tersebut.

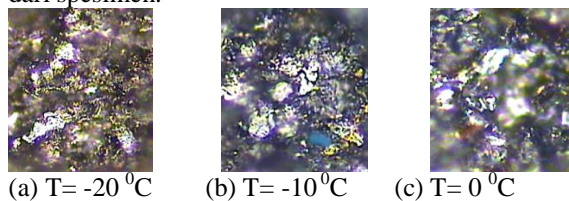


Gambar 7. Batas transisi ulet ke getas.

Dari Gambar 7 dapat diperlihatkan bahwa batas temperatur transisi dari ulet ke getas untuk material ST 60 adalah antara (0–150) °C. Pada batas temperatur transisi tersebut bentuk perpatahan material dapat dikategorikan patah campuran, sedangkan perpatahan getas berada pada temperatur 0°C ke bawah dan di atas temperature 150°C sudah termasuk perpatahan ulet.

Analisa Permukaan Patah

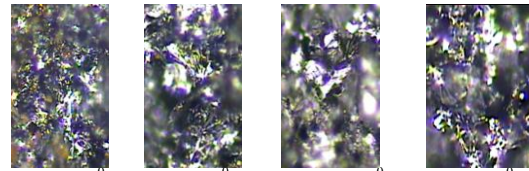
Ketangguhan suatu bahan dapat juga diperkirakan dengan mengamati bentuk permukaan patah. Makin banyak persentase perpatahan berserat atau berbentuk *dimple* menandakan bahan tersebut semakin ulet yang berarti semakin tangguh pula suatu material. Sebaliknya semakin halus dan datar permukaan perpatahannya, maka material tersebut semakin getas dan rapuh. Material yang getas dapat juga ditandai dengan permukaan patah berbentuk kristalin yang menghasilkan pantulan cahaya atau sering disebut dengan mekanisme pembelahan (*cleavage*). Berikut ini ditunjukkan beberapa bentuk permukaan patah pada berbagai variasi temperatur perlakuan yang dilakukan dengan menggunakan *stereoscan microscope* seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (a), (b), dan (c). Adapun bagian yang diamati adalah penampang patah antar muka (*interface*) dari spesimen.



Gambar 8. Bentuk permukaan patah getas,

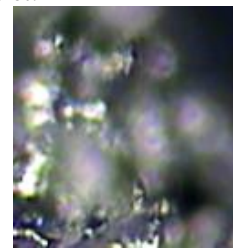
Dari gambar 8 (a), (b), dan (c), secara berturut-turut menunjukkan permukaan

perpatahan pada temperatur -20°C, -10°C, dan 0°C (temperature ekstrim). Pada kondisi ini material terjadi perpatahan getas yang ditandai dengan ciri pembelahan (*cleavage*) dan permukaan perpatahan halus dengan memantulkan cahaya yang tinggi. Perpatahan getas ini juga dapat terjadi secara memecah butir kristal (*transgranular*) atau juga sering disebut perpatahan kristalin.



Gambar 9. Bentuk permukaan patah campuran

Pada Gambar 9 (a), (b), (c), dan (d) memperlihatkan permukaan perpatahan secara berturut-turut untuk temperatur perlakuan 30°C, 50°C, 100°C, dan 150°C, yaitu pada temperatur transisi ulet ke getas. Bentuk perpatahan pada kondisi tersebut adalah perpatahan campuran. Bentuk perpatahan campuran ini merupakan kombinasi antara patah ulet dan patah getas, yang memperlihatkan ciri perpatahan dari keduanya. Dari Gambar 9 (a) untuk temperatur 30°C menunjukkan adanya lubang-lubang *dimple* sebagai ciri perpatahan ulet dan pada bagian lain terjadi pembelahan (halus dan datar) sebagai ciri perpatahan getas. Untuk selanjutnya makin tinggi temperatur perlakuan terdapat lubang-lubang *dimple* yang semakin besar pula yang menunjukkan bahwa dengan naiknya temperatur perlakuan, maka bentuk perpatahan semakin mengarah ke tipe perpatahan ulet.



Gambar 10. Bentuk permukaan patah ulet (pada T= 200°C)

Gambar 10 adalah permukaan patah pada temperatur 200°C yang menunjukkan tipe perpatahan ulet dengan ciri adanya lubang *dimple* yang semakin besar dan perpatahan berserat serta berpenampilan buram atau menyerap cahaya. Dari beberapa bentuk permukaan yang ditampilkan dapat disimpulkan, bahwa makin tinggi temperatur

perlakuan maka tipe perpatahan material makin mengarah ke ulet.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sesuai dengan yang diharapkan dari tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Harga kekuatan impak material ST 60 terendah terjadi pada temperatur yang sangat ekstrim (-20°C), yaitu sebesar $0,111 \text{ Joule/mm}^2$, dan yang terbesar pada temperature 200°C dengan harga $0,836 \text{ Joule/mm}^2$.
2. Temperatur transisi dari ulet ke getas untuk material ST 60, terjadi antara temperatur 0°C sampai 150°C , dimana pada rentang temperatur ini menunjukkan energi impak terjadi kenaikan yang tajam.
3. Bentuk permukaan patah pada bahan ST 60 adalah sebagai berikut:
 - a. Pada temperature -20°C sampai 0°C terjadi perpatahan getas dengan bentuk datar dan memecah butir (*transgranular*) serta memantulkan cahaya.
 - b. Pada temperatur 30°C sampai 150°C terjadi perpatahan campuran, yaitu kombinasi ulet dan getas dengan ciri keduanya.
 - c. Pada temperatur 200°C terjadi perpatahan ulet dengan ciri adanya lubang *dimple* dan menyerap cahaya. Jadi makin tinggi temperatur bentuk permukaan patah semakin mengarah ke tipe perpatahan ulet.

- [6] Salmon CG, JE Johnson, 1990, *Struktur Baja Disain dan Prilaku*, Jilid 1 dan 2, Alih bahasa: Wira, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] Setiawan A, 2005, *Batas Ketangguhan Fatik Baja Karbon ST 60 Akibat Beban Aksial*, Proceedings the 3rd Regional Seminar on Materials, Energy and Structure, University of Sumatera Utara, Medan, hal: IX.1–IX.7.
- [8] Dieter, George E., 1986, *“Metalurgi Mekanik”*, Jilid 2, Alih bahasa: Sriati Djaprie, Edisi ketiga, Penerbit Erlangga.
- [9] Matest, 2008, *“Instruction Manual Pendulum Impact Tested*, Matest
- [10] Roberta A. Storer 1996, *“Annual Book of ASTM Standard 1996”*, Volume 03.01 Easton, MD, USA.
- [11] Shigley, Joseph E., and Mischke, Charles., 1989, *“Mechanical Engineering Design”* 5th ed.; Mc. Graw Hill Book Company, ; New York.
- [12] Surdia, T., Chijjiwa, K., 1980, *“Teknik Pengecoran Logam”*, Cetakan ketiga, Penerbit PT. Pradnya Paramita.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Timings RL, 1998, *Engineering Materials*, Volume-I, 2nd Edition Addison Wesley Longman Limited.
- [2] Faupel, H Joseph, Fisher, E Franklin, 1981, *Engineering Design*, 2nd ed., John Willey and Sons, New York.
- [3] Marrow J, 2009, *The Materials Science Internet Microscope*, UMIST and University of Manchester, www.umist.ac.uk/matsci.
- [4] Akhmad HW, 2009, *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak*, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI, Jakarta.
- [5] Davis HE, FW George, 1982, *The Testing of Engineering Materials*, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.