
Analisa Pengaruh Temperatur terhadap Impact Al 20xx dan Baja AISI

¹Deny Poniman Kosasih, ²Hari Din Nugraha

¹Universitas Subang Jalan R.A Kartini No 3. Subang 41285

²Universitas Subang Jalan R.A Kartini No 3. Subang 41285

e-mail: denyponiman@gmail.com

Abstract

This study aims to determine the charpy impact due to the influence of temperature on the Aluminum 20xx material and AISI steel which refers to the ASTM A370 V Notch standard. The research method uses the type of experimental research. Experimental research was chosen aimed at conducting experiments to determine the impact of Aluminum 20xx and AISI steel in terms of temperature variations. The test results prove the comparison of the two types of materials, AISI steel has a higher impact of 2.0 Joule/mm² with a temperature of 116.2°C while Aluminum 20xx 0.8 Joule/mm² with a temperature of 110°C. The effect of the transition can be seen in the impact test curve, that AISI steel has a higher transition temperature, which is sharper, resulting in a higher impact than the flat 20xx Aluminum. The results of the fracture of low AISI steel specimens produce a ductile type which is proven on an opaque surface that can absorb incoming light and the impact occurs with slow time lags and the presence of fibrous fractures. While Aluminum 20xx produces brittle fractures with evidence that the fracture surface has larger and smoother grain boundaries with high light reflecting re ductile, conversely, the lower the temperature, the fracture type will lead to brittle.

Keywords: Temperature; Impact; Al 20xx; AISI

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *impact charpy* akibat pengaruh temperatur pada material Aluminium 20xx dan baja AISI yang merujuk pada standar ASTM A370 V Notch. Metode penelitian menggunakan jenis penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen dipilih bertujuan untuk melakukan eksperimen dengan mengetahui *impact* dari Aluminium 20xx dan baja AISI yang ditinjau dari variabel variasi temperatur. Hasil pengujian membuktikan perbandingan kedua jenis material, baja AISI memiliki *impact* lebih tinggi sebesar 2,0 Joule/mm² dengan temperatur 116, 2°C sedangkan Aluminium 20xx 0,8 Joule/mm² dengan temperatur 110 °C. Pengaruh transisi terlihat pada kurva pengujian *impact* yang diperoleh baja AISI memiliki temperatur transisi yang besar lebih tajam sehingga menghasilkan *impact* yang tinggi dibanding Aluminium 20xx yang datar. Hasil patahan spesimen material baja AISI rendah menghasilkan jenis ulet yang dibuktikan pada permukaan buram dapat menyerap cahaya yang datang serta *impact* terjadi jeda waktu lambat dan adanya patahan yang berserat. Sedangkan Aluminium 20xx menghasilkan patahan getas dengan dibuktikan permukaan patahan terdapat batas butir yang lebih besar dan halus dengan memantulkan cahaya yang tinggi.

Kata Kunci: Temperatur; Impak; Al 20xx; AISI

PENDAHULUAN

Material logam dan non-logam di industri sudah menjadi kebutuhan sebagai bahan dasar (*raw material*). *Raw material* tersebut akan dijadikan sebagai bahan dasar untuk menghasilkan produk yang memiliki material yang ringan dan kuat oleh industri dengan berbagai perkembangan teknologi sedemikian rupa. Sehingga pemilihan material yang tepat dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas dengan mengetahui sifat material yang terkandung di dalamnya (Rendisetyo A, Wahono, 2020).

Sifat material dapat diketahui dengan berbagai metode pengujian logam maupun non-logam. Pengujian terhadap suatu material pada dasarnya untuk melihat sifat kekuatan, keuletan, ketangguhan, kekerasan dan lainnya. Sifat ketangguhan dari material dapat didapatkan dari pengujian *impact*. Pengujian *impact charpy* di dapat melakukan suatu pengujian agar menghasilkan sifat kekuatan, kekerasan keuletan dengan cara menguji rekahan dinamis yang menyelidiki kemampuan baja untuk menyerap energi sebelum rekahan (Erizal Maulana, 2020; Eyvazian et al., 2020).

Proses pengujian *impact* dilakukan dengan melakukan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Perbedaan dari pembebanan jenis ini dapat dilihat pada *strain rate*. Pada pembebanan cepat terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke benda uji. Sehingga harga *impact* pada suatu spesimen adalah energi yang diserap tiap satuan luas penampang spesimen uji (Paik et al., 2017).

Dalam pengujian *impact charpy*, fungsi temperatur digunakan sebagai energi yang

digunakan untuk memecahkan spesimen berlekuk. Struktur logam berubah dengan kenaikan temperatur memiliki dampak terhadap sifat mekanik material. Akibat temperatur dapat merubah modulus elastisitas, mengubah ikatan antar atom dan fungsi mekanik. Oleh sebab itu, dalam pengujian *charpy* temperatur memiliki dampak terhadap perubahan sifat mekanik (Prawira & Sisworo, 2015).

Hasil kajian juga membuktikan temperatur merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada ketangguhan suatu material dimana semakin rendah temperatur material maka semakin rendah pula ketangguhannya (M, 2012). Hal ini menandakan temperatur yang sangat rendah yaitu butir-butir material akan sangat rapat sehingga tidak ada ruang untuk terdeformasi elastis dan penyerapan energi sangat kecil, demikian sebaliknya semakin meningkatnya temperatur maka butir-butir material akan merenggang dan meningkatkan terjadinya deformasi dan energi yang diserap juga semakin besar (M, 2012).

Hasil penelitian Sukanto (2009), menyelidiki pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fisik (densitas) dan sifat mekanik (kekuatan *impact*, kekuatan lentur) dari material komposit HDPE-karet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan temperatur sintering dari 110°C sampai 140°C akan meningkatkan densitas hingga 10.18%, kekuatan impak hingga 71.52%, dan kekuatan lentur hingga 12.28% (Sukanto, 2009).

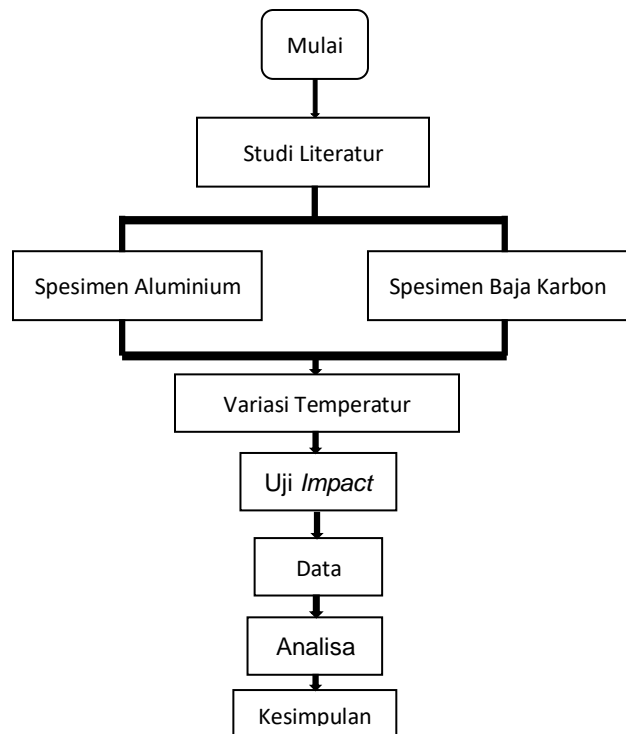
Penelitian serupa dilakukan Zaki (2015), dengan melakukan kajian tentang pengaruh perbedaan temperatur terhadap kekuatan *impact* Aluminium 20xx 5083 hasil pengelasan tungsten inert gas. Hasilnya

membuktikan *impact* yang terbesar yaitu pada temperatur 50°C sebesar 0,05 J/mm². Material ini termasuk tahan terhadap perubahan temperatur karena struktur material yaitu FCC (*face centered cubic*), dimana terdapat terdapat campuran magnesium yang dapat bekerja dan memiliki kadar karbon yang tinggi (Prawira & Sisworo, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar *impact* akibat pengaruh temperatur pada material Aluminium 20xx dan baja AISI. Pengujian yang dilakukan adalah uji *impact* jenis *Charpy* yang dilakukan pada temperatur ruang dan pengaruh *temperature* pada spesimen uji. Metode *impact charpy* dipilih untuk mengetahui sifat mekanik dari material aluminium dan baja AISI. Variabel temperatur material dibandingkan dengan berbagai variasi temperatur, sehingga dapat diperoleh pengujian *impact* untuk mengetahui dan menganalisa perbedaan sifat mekanik material.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan jenis penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen dipilih bertujuan untuk melakukan eksperimen dengan mengetahui *impact* dari aluminium dan baja AISI yang ditinjau dari variabel variasi temperatur. Pada gambar 1 di bawah ini merupakan diagram alir penelitian.



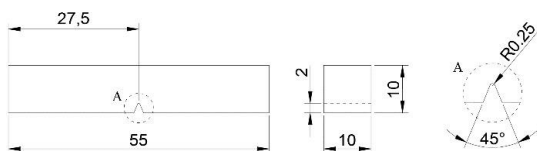
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah Aluminium dan Baja AISI. Pada material tersebut memiliki karakteristik sifat fisik dan mekanik tertentu sebagai bahan pertimbangan proses pengujian. Di bawah ini merupakan Tabel 1 yang mendeskripsikan tabel sifat fisik aluminium dan baja AISI.

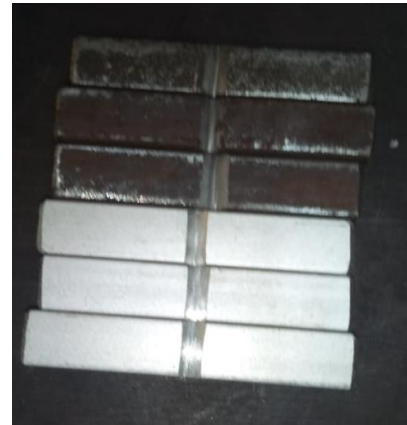
Tabel 1. Sifat Fisik Propertis Bahan Dasar
(Eyvazian et al., 2020)

| Properties | AA5182 Aluminium alloy | AISI1010 Steel |
|---------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Density | 2780 kg/m ³ | 7870 kg/m ³ |
| Ultimate tensile strenght (UTS) | 275 MPa | 365 Mpa |
| Yield tensile strenght | 103 MPa | 305 Mpa |
| Elongation at break | 21% | 20% |
| Vicker hardness | 84 | 108 |
| Shear strenght | 150 MPa | 240 MPa |
| Thermal conductivity | 126 W/m-K | 49.8 W/m-K |
| Melting point | 638°C | 1516°C |

Penelitian ini merujuk pada standar ASTM A370, dimana standar mengatur tentang prinsip pengujian ukuran spesimen dan metode pengujian. Spesimen uji memiliki jumlah 6 spesimen, 3 spesimen aluminium dan 3 spesimen baja AISI. Standar pengujian material adalah rujukan standar ASTM A370 V Notch dengan dimensi benda kerja P x L x T = 55 mm x 5 mm x 10 mm. Secara lebih detail dimensi spesimen dijelaskan pada gambar 2 dan gambar 3 di bawah ini.



Gambar 2. Dimensi Standar Spesimen



Gambar 3. Sampel Uji Spesimen Aluminium 20xx dan Baja AISI

Teknik pengumpulan yang digunakan yaitu dokumentasi dan observasi. Jenis sumber data primer dikumpulkan pada saat pengujian dilakukan. Pengujian *impact charpy* dilakukan di bngkel laboratorium Insitiut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung. Data yang sudah dikumpulkan akan digambarkan secara grafis dalam bentuk tabel dan grafik sehingga dapat dihitung serta dianalisis untuk mengetahui seberapa besar tingkat pengaruh dari setiap variabel. Seacara lebih jelas tahapan pengujian dijelaskan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen uji impact yang dibuat dengan standar ASTM A370 V Notch dengan dimensi benda kerja P x L x T = 55 mm x 5 mm x 10 mm
2. Melakukan pengukuran temperatur terhadap spesimen pada kondisi temperatur ruang menggunakan alat thermocouple. Pengukuran temperatur spesimen secara lebih jelas pada gambar 4 di bawah ini



(a)



(b)

Gambar 4 (a) Pengukuran temperatur pada spesimen pada baja AISI, (b) pengukuran temperatur pada spesimen aluminium

3. Meletakkan spesimen dan pada mesin uji impact charpy
4. Meletakkan thermocouple agar mengetahui temperatur pada saat diberi beban kejut atau impact
5. Melakukan pengujian pada spesimen menggunakan impact dengan mengukur dan mencatat hasil berupa;
 - a) Mengukur keuletan atau getas dilihat dari harga (HI) (dimana untuk material yang ulet memiliki HI yang tinggi dan untuk material yang getas memiliki HI yang rendah).

- b) Melihat ulet dan getas juga dapat dilihat dari bentuk patahan hasil pengujian.
- c) Menentukan temperatur transisi dari material, temperatur transisi adalah temperatur peralihan antara patah ulet dan patah getas
- d) Menghitung energi impact yang terjadi

6. Mendokumentasikan hasil pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan pada penelitian adalah berupa *impact* terhadap temperatur dan energi terhadap temperatur. Berikut ini disajikan hasil pengujian *impact* ditunjukkan pada Tabel 2 merupakan material baja dan tabel 3 material Aluminium 20xx. Tabel tersebut didapatkan dari hasil pengujian *impact* pada setiap spesimen. Pengujian diukur pada tiap dimensi, temperatur yang berbeda sehingga mempengaruhi satuan harga *impact* dalam *joule* pers mm persegi (J/mm^2) serta hasil patahan material.

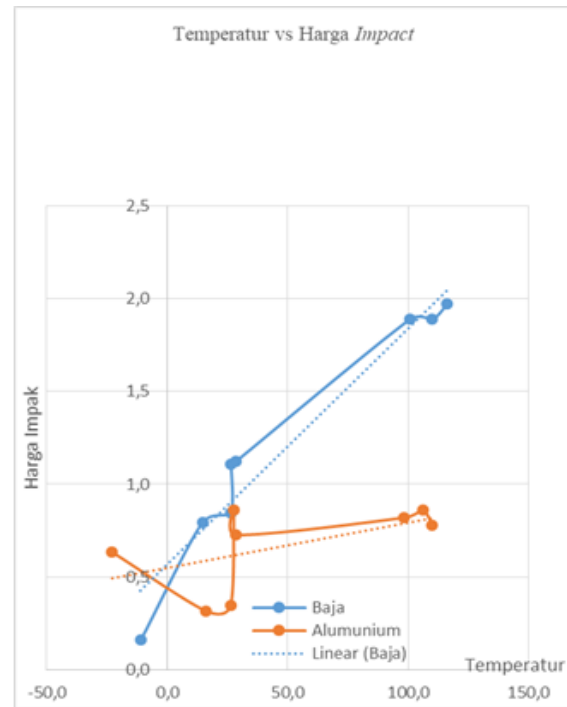
Tabel 2 Hasil Pengujian *Impact* Pada Material Baja

| Baja | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----------------|-------|-------|-----------------------|
| p | l | t | h | At | T | E | HI |
| mm | mm | mm | mm | mm ² | °C | Joule | Joule/mm ² |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | -11,0 | 12,0 | 0,2 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 14,6 | 60,0 | 0,8 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 26,2 | 64,0 | 0,8 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 26,6 | 84,0 | 1,1 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 28,5 | 85,0 | 1,1 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 100,7 | 143,0 | 1,9 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 110,0 | 143,0 | 1,9 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 116,2 | 149,2 | 2,0 |

Tabel 3 Hasil Pengujian *Impact* Pada Aluminium 20xx

| p | l | t | h | Aluminium | | | |
|------|-----|-----|-----|-----------------|-------|-------|-----------------------|
| | | | | At | T | E | HI |
| mm | mm | mm | mm | mm ² | °C | Joule | Joule/mm ² |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | -23,0 | 48,0 | 0,6 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 15,9 | 24,0 | 0,3 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 26,2 | 26,0 | 0,3 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 27,7 | 65,0 | 0,9 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 28,5 | 55,0 | 0,7 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 98,2 | 62,0 | 0,8 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 106,0 | 65,0 | 0,9 |
| 53,0 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 75,7 | 110,0 | 59,0 | 0,8 |

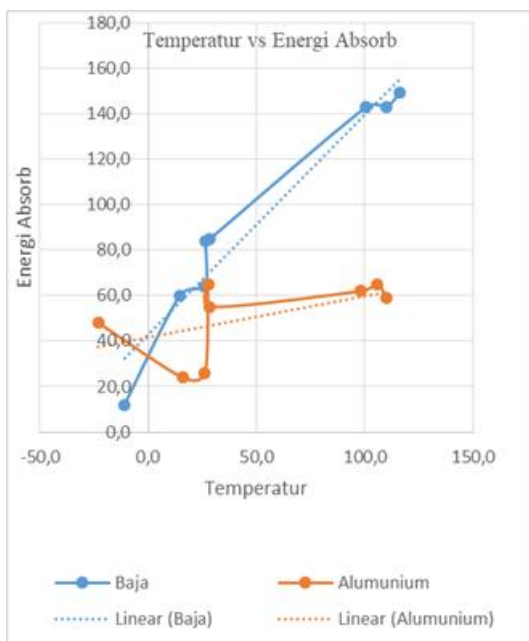
Pada Gambar 6 di bawah ini merupakan grafik perbandingan *impact* dan temperatur pada material baja dan Aluminium 20xx. Dari delapan jenis variasi temperatur dimana temperatur terendah pada pengujian Aluminium 20xx yaitu -23°C dengan menghasilkan 0,06 Joule/mm², sedangkan pada material baja temperatur terendah -11°C menghasilkan *impact* sebesar 0,2 Joule/mm². *Impact* tertinggi pada Aluminium 20xx sebesar 0,8 Joule/mm² dengan temperatur 110 °C sedangkan pada baja *impact* tertinggi sebesar 2,0 dengan temperatur 116, 2 °C. Gambar 6 yaitu grafik perbandingan *impact* dan temperatur material baja AISI memiliki temperatur *impact* tinggi di banding dengan material non-logam yaitu Aluminium 20xx. Ditinjau dari grafik linearnya pun material baja AISI memiliki grafik linear yang lebih tajam ke atas sedangkan pada material Aluminium 20xx grafik linear yang relatif datar. Secara lebih detail grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Perbandingan *Impact* dan Temperatur pada Material Baja dan Aluminium 20xx

Pada gambar 7 di bawah ini merupakan gambar grafik perbandingan energi absorb dengan temperatur pada material baja AISI dan Aluminium 20xx. Pada pengujian ini memiliki delapan kali variasi temperatur. Spesimen uji baja AISI memiliki energi absorb paling rendah atau pada tabel 2 dan 3 di simbolkan dengan E, yaitu sebesar 12,0 Joule dengan temperatur -11°C sedangkan pada spesimen Aluminium 20xx 48 Joule dengan temperatur -23°C. Sedangkan energi absorb tertinggi pada spesimen uji baja AISI sebesar 149,2 Joule dengan temperatur 116°C, selanjutnya pada spesimen Aluminium 20xx energi absorb 59,0 Joule dengan temperatur 110,0 °C. Dari kedua spesimen uji material baja AISI memiliki energi absord lebih tinggi dibandingkan spesimen uji lebih rendah. Pada grafik tersebut terlihat garis

linear pada masing-masing grafik dimana peningkatan grafik pada spesimen baja AISI memiliki peningkatan grafik yang tajam dan paling tinggi, sedangkan spesimen uji Aluminium 20xx memiliki peningkatan grafik yang tidak terlalu tajam dan jauh lebih rata dan datar. Secara lebih detail grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Temperatur dan Energi Absorb pada Material Baja dan Aluminium 20xx

Dari gambar 6 dan 7 di atas merupakan perbandingan antara temperatur dengan dengan *impact* dan perbandingan temperatur dengan energi absorb. Maka, dapat diberi kesimpulan bahwa grafik kurva temperatur terhadap *impact* dan energi absorb memiliki pengaruh, dimana semakin tinggi temperatur maka *impact* dan energi absorb yang tinggi pula, sebaliknya semakin rendah temperatur maka semakin kecil

impact dan temperatur. Pada grafik 6 dan 7 dapat dilihat bahwa bahwa rendahnya temperatur dapat menghasilkan sesimen uji yang getas sedangkan tinggi temperatur maka uji spesimen akan menjadi ulet. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian bahwa kekerasan akan cenderung semakin meningkat dengan meningkatnya pada spesimen baja AISI medium (Rendisetyo A, Wahono, 2020). Bahkan pada jenis sambungan temperatur sangat berpengaruh terhadap sambungan, hasil sambungan lasan yang baik dapat dicapai dengan meningkatkan temperature pengelasan pada saat proses pengerjaan (Kosasih et al., 2020). Namun hasil kajian lainnya membuktikan temperatur tuang tidak memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kekerasan. Hal ini dimungkinkan karena kekerasan produk yaitu pada produk yang di cor (Bahtiar, 2012).

Dari gambar 7 dan 8 merupakan grafik pengujian *impact* yang diperoleh baja AISI memiliki temperatur transisi yang besar sehingga menghasilkan *impact* yang tinggi. Sedangkan Aluminium 20xx memiliki temperatur transisi lebih rendah dibanding baja AISI. Temperatur transisi ini menyebabkan ketahanan spesimen terhadap perubahan *impact*. Temperatur transisi biasanya terdapat diantara T1 sampai dengan T2, namun pada grafik tersebut tidak digambarkan. Oleh sebab itu pada temperatur ini, ketangguhan material tergantung pada temperatur Aluminium 20xx dan baja AISI. Temperatur T2 diidentifikasi sebagai temperatur awal terjadinya perubahan dari ulet ke sifat rapuh ketika temperatur benda uji diturunkan. Semakin

rendah temperatur T2 maka ketangguhan semakin menurun. Sedangkan T1 merupakan temperatur akhir terjadi perubahan material yang bersifat ulet menjadi benar getas. Semakin rendah dari temperatur T1 maka ketangguhan benda uji sudah tidak lagi dipengaruhi oleh temperatur uji. Oleh sebab itu, material getas hanya mampu menahan beban *impact* yang rendah. Sedangkan untuk material ulet mampu menerima beban *impact* yang relatif tinggi (Parswajinan et al., 2018).

Pada gambar 8 di bawah ini merupakan gambar jenis patahan pada spesimen uji baja AISI dan Aluminium 20xx. Pada hasil patahan tersebut penelitian ini hanya mengandalkan pengamatan secara visual menggunakan kaca pembesar agar diketahui jenis patahan berdasarkan hasil pada permukaan spesimen uji. Pada material Aluminium 20xx terjadi jenis patahan adalah patahan jenis getas. Patahan getas ini terjadi karena secara visual terdapat retakan secara cepat tanpa adanya perubahan deformasi dalam waktu yang cepat (Saifuddin A Jalil, Zulkifli, 2017). Pada hasil permukaanya patahan Aluminium 20xx permukaan relatif mengkilap dan memantulkan cahaya. Hal ini diikuti dengan *impact* kecil sebesar 0,8 Joule/mm² dengan temperatur 110°C, bahkan harga *impact* Aluminium 20xx tidak sama sekali menyentuh angka 1 joule/mm².

Beberapa penelitian juga membuktikan bahwa jenis patahan menunjukkan ketangguhan suatu material. Patahan getas dapat juga ditandai dengan permukaan patah berbentuk kristalin yang menghasilkan pantulan cahaya atau sering disebut dengan mekanisme pembelahan (*cleavage*) (Hasrin, 2014). Lebih lanjut,

dimana pada kondisi ini material terjadi patahan getas yang ditandai dengan ciri pembelahan (*cleavage*) dan permukaan patahan terdapat batas butir yang lebih besar dan halus dengan memantulkan cahaya yang tinggi. Patahan getas ini juga dipicu ratakan material yang dapat terjadi secara memecah butir kristal (*transgranular*) (Ambati et al., 2014).

Pada spesimen uji material baja AISI menunjukkan tipe patahan ulet. Hal ini beralasan karena pada pengujian secara visual memiliki permukaan buram serta menyerap cahaya yang datang. Hasil pengamatan juga melihat pada saat pengujian *impact* terjadi jeda waktu lambat dan adanya patahan yang berserat yang menandakan material memiliki jenis patahan ulet. Pengamatan ini juga diperkuat dengan peroleh hasil *impact* besar yaitu 2,0 Joule/mm² dengan temperatur 116,2 °C yang menandakan energi cukup tinggi. Patahan getas juga diperoleh dari kolerasi dengan energi tumbukan pada material yang di uji, dan fraktur bealahan yang dipicu oleh inklusi (Chao et al., 2007; Mohitzadeh, 2020).

Dari beberapa bentuk permukaan yang ditampilkan dapat disimpulkan, bahwa makin tinggi temperatur perlakuan maka tipe patahan material makin mengarah ke ulet, sebaliknya semakin rendah temperatur maka tipe patahan akan mengarah ke getas.



Gambar 8. Jenis Patahan pada spesimen Baja AISI dan Aluminium 20x

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian *impact charpy* dengan standar ASTM A370 V *Notch* pada spesimen uji baja AISI dan Aluminium 20xx membuktikan adanya pengaruh *temperature* terhadap *impact* dan energi absorb. Dimana semakin tinggi temperatur maka *impact* dan energi absorb yang tinggi pula, sebaliknya semakin rendah temperatur maka semakin kecil *impact* dan temperatur. Pada perbandingan kedua jenis material, baja AISI memiliki *impact* lebih tinggi sebesar 2,0 dengan temperatur 116, 2 °C sedangkan Aluminium 20xx 0,8 Joule/mm² dengan temperatur 110 °C. Pengaruh transisi terlihat pada kurva pengujian *impact* yang diperoleh baja AISI memiliki temperatur transisi yang besar lebih tajam sehingga menghasilkan *impact* yang tinggi dibanding Aluminium 20xx yang datar. Hasil patahan spesimen material baja AISI rendah menghasilkan jenis ulet yang dibuktikan pada permukaan buram dapat menyerap cahaya yang datang serta *impact* terjadi jeda waktu lambat dan adanya patahan yang berserat. Sedangkan Aluminium 20xx menghasilkan patahan getas dengan dibuktikan permukaan patahan terdapat batas butir yang lebih besar dan

halus dengan memantulkan cahaya yang tinggi. maka, makin tinggi temperatur perlakuan maka tipe patahan material makin mengarah ke ulet, sebaliknya semakin rendah temperatur maka tipe patahan akan mengarah ke getas. Penelitian lebih lanjut yaitu perlu adanya metode pemeriksaan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat bentuk morfologi permukaan hasil patahan pada Aluminium 20xx dan baja AISI dengan berbagai variasi *temperature*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Subang yang telah membantu dan mendukung sehingga penelitian berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambati, M., Gerasimov, T., & De Lorenzis, L. (2014). A review on phase-field models of brittle fracture and a new fast hybrid formulation. *Computational Mechanics*, 55(2), 383–405. <https://doi.org/10.1007/s00466-014-1109-y>
- Bahtiar, L. S. (2012). PENGARUH TEMPERATUR TUANG DAN KANDUNGAN SILICON TERHADAP NILAI KEKERASAN PADUAN Al-Si. *Jurnal Mekanikal*, 3(2), 311–316.
- Chao, Y. J., Ward, J. D., & Sands, R. G. (2007). Charpy impact energy, fracture toughness and ductile-brittle transition temperature of dual-phase 590 Steel. *Materials and Design*, 28(2), 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.08.009>
- Erizal Maulana, M. N. (2020). Pengaruh Proses Hardening dan Variasi Suhu Tempering pada Kekerasan dan Kuat Impact Baja SS 201. *Journal of Technical Engineering: Piston*, 3(2), 21–25.

- Eyvazian, A., Hamouda, A., Tarlochan, F., Derazkola, H. A., & Khodabakhshi, F. (2020). Simulation and experimental study of underwater dissimilar friction-stir welding between aluminium and steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 3767–3781. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.003>
- Hasrin. (2014). Analisa perpatahan baja st 60 yang dikenai beban impak charpy. *Prosiding Teknik Mesin*, 1–4.
- Kosasih, D. P., Nugraha, H. D., & Susanto, H. (2020). Analisis Kekuatan Tarik dan Cacat Porositas pada Friction Welding Logam (FE, AL & FE-AL). *Jurnal Mettek: Jurnal Ilmiah ...*, 6(2), 93–102. <https://ocs.unud.ac.id/index.php/mettek/article/view/64877>
- M, M. Z. (2012). Pengaruh temperatur dan bentuk takikan terhadap kekuatan impak logam. *Majalah Ilmiah Mektek*, 3(1), 18–21.
- Mohitzadeh, H. (2020). Experimental and Numerical Evaluation of Momentum Variations Effect of Striker on Fracture Energy in Charpy Impact Testing of API X65 Steel و یژرنا رب هئاكته تارييغت رئا يدده و API X65 ی برجه ی سررب ی پراشه به برض ش یامزآ رد دلوف متسكش. *Modares Mechanical Engineering*, 20(9), 2275–2287.
- Paik, J. K., Kim, K. J., Lee, J. H., Jung, B. G., & Kim, S. J. (2017). Test database of the mechanical properties of mild, high-tensile and stainless steel and aluminium alloy associated with cold temperatures and strain rates. *Ships and Offshore Structures*, 12(March), S230–S256. <https://doi.org/10.1080/17445302.2016.1262729>
- Parswajinan, C., Vijaya Ramnath, B., Abishek, S., Niharishsagar, B., & Sridhar, G. (2018). Hardness and impact behaviour of aluminium metal matrix composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 390(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/390/1/012075>
- Prawira, M. Z., & Sisworo, S. J. (2015). Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Kekuatan Impact Alumunium 5083 Hasil Pengelasan Tungsten Inert Gas. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(3), 362–370.
- Rendisetyo A, Wahono, D. L. E. (2020). Pengaruh Suhu Awal Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Impact pada Baja Karbon Medium yang Diperlakukan Quenching. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 3(1), 27–33.
- Saifuddin A Jalil, Zulkifli, T. R. (2017). ANALISA KEKUATAN IMPAK PADA PENYAMBUNGAN PENGE LASAN SMAW MATERIAL ASSAB 705 DENGAN VARIASI ARUS PENGE LASAN. *Jurnal Polimesin*, 15, 58–63.
- Sukanto, H. (2009). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Densitas dan Kekuatan Komposit Plastik-Karet. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*, 3(1), 57–61.