

**ANALISA PENGARUH KADAR KARBON BAJA
TERHADAP UJI KEKUATAN *IMPACT***

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah satu syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S. T.)
Pada Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

LUCKI APRIANSYAH

NPM : 20130100055

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI**

2025

Skripsi Oleh :
LUCKI APRIANSYAH
NPM : 2013010055

Judul :

**ANALISA PENGARUH KADAR KARBON BAJA
TERHADAP UJI KEKUATAN *IMPACT***

Telah Disetujui Untuk Diajukan Kepada Panitia Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

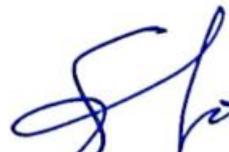
Tanggal : 02 Juli 2025

Pembimbing I,



Ali Akbar, M. T.
NIDN. 0001027302

Pembimbing II,



Yasinta Sindy Pramesti, M.Pd.
NIDN. 0705089001.

Skripsi oleh:

LUCKI APRIANSYAH

NPM. 2013010055

Judul:

**ANALISA PENGARUH KADAR KARBON PADA BAJA
TERHADAP UJI KEKUATAN *IMPACT***

Telah Dipertahankan di Depan Panitia Sidang Skripsi

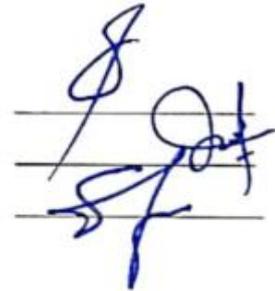
Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

Pada Tanggal : 09 Juli 2025

Dan Dinyatakan telah Memenuhi Persyaratan

Panitia Penguji:

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| 1. Ketua Penguji | : Ali Akbar, M.T. |
| 2. Penguji I | : M. Muslimin Ilham, M.T. |
| 3. Penguji II | : Yasinta Sindy Pramesti, M.Pd. |



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer



Dr. SULISTIONO, M.Si.
NIDN. 0007076801

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya,

Nama : LUCKI APRIANSYAH
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/Tgl. Lahir : Kediri / 02 April 2002
NPM : 2013010055
Fak/Jur/Prodi : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer / Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 02 Juli 2025

Yang Menyatakan



LUCKI APRIANSYAH

NPM. 20.1.30.10.055

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Ini bukan soal skripsi semata, ini soal membayar janji kepada diri sendiri, orang tua, dan mimpi.”

"Di antara malam-malam panjang dan kopi yang tak lagi hangat, aku belajar bahwa sabar bukan tentang menunggu, tapi tetap berjalan meski pelan."

PERSEMBAHAN

Segala puji saya haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, petunjuk, dan kekuatan yang telah mengiringi setiap langkah saya hingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan penuh cinta dan penghargaan, karya ini saya dedikasikan kepada kedua orang tua tercinta yang senantiasa menjadi pilar kekuatan dalam setiap fase kehidupan saya. Kepada ayah dan ibu yang doa-doanya selalu mengiringi, yang kasih sayangnya tidak pernah berhenti mengalir, terima kasih karena terus memberi kepercayaan, bahkan saat saya meragukan diri sendiri. Segala jerih payah, kelelahan, dan air mata selama proses ini saya persembahkan sepenuhnya untuk kalian.

Karya ini juga saya tujukan kepada seluruh anggota keluarga dan seseorang yang ku sayangi yang tak henti memberikan dukungan moral dan spiritual, baik melalui doa yang diam-diam maupun kehadiran yang memberi ketenangan. Rasa terima kasih yang mendalam juga saya sampaikan kepada dosen pembimbing saya yang telah dengan penuh kesabaran dan komitmen membimbing serta memberikan arahan yang sangat berarti selama proses penulisan skripsi ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada sahabat dan rekan seperjuangan, yang telah menjadi tempat berbagi keluh kesah, semangat, serta tawa di tengah perjuangan menyelesaikan tugas akhir ini.

Terakhir, untuk diri saya sendiri terima kasih karena telah bertahan ketika semuanya terasa berat, karena terus melangkah meski semangat kerap goyah, dan karena tidak berhenti percaya bahwa setiap perjuangan akan menemukan akhirnya.

ABSTRAK

Lucki Apriansyah: Analisa Pengaruh Kadar Karbon Pada Baja Terhadap Uji Kekuatan Impact, Skripsi, Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2025.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pentingnya pemahaman terhadap pengaruh kadar karbon dalam baja terhadap sifat mekanik, khususnya ketangguhan terhadap beban benturan. Variasi kadar karbon diketahui memengaruhi karakteristik kekerasan dan kemampuan material dalam menyerap energi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kadar karbon memengaruhi kekuatan impact baja serta membandingkan ketangguhan antara baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Metode yang digunakan bersifat kuantitatif eksperimental, dengan spesimen baja jenis AISI 1045 (karbon sedang) dan AISI D2 (karbon tinggi). Uji kekuatan impact dilakukan menggunakan metode Charpy dengan spesimen berukuran $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 55\text{ mm}$ pada suhu ruang. Masing-masing jenis baja diuji dua kali, kemudian dianalisis secara statistik menggunakan uji Wilcoxon untuk mengetahui perbedaan yang signifikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa AISI 1045 mampu menyerap energi sebesar rata-rata 83,1 Joule, sedangkan AISI D2 hanya menyerap rata-rata 3,57 Joule. Uji statistik menunjukkan nilai signifikansi 0,000, yang mengindikasikan adanya perbedaan signifikan antara kedua jenis baja tersebut. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa peningkatan kadar karbon menyebabkan penurunan ketangguhan material terhadap impact. Baja karbon sedang lebih mampu menyerap energi benturan dibanding baja karbon tinggi yang cenderung keras namun rapuh. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemilihan material baja yang sesuai dengan kebutuhan ketahanan terhadap beban dinamis dalam dunia industri.

Kata Kunci: AISI 1045, AISI D2, baja karbon, Charpy, uji impact

PRAKATA

Puji Syukur dipanjatkan kehadiran Allah Tuhan Yang Maha Kuasa, karena hanya atas perkenan-Nya tugas penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini merupakan bagian dari rencana penelitian guna penyusunan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.

Pada kesempatan ini diucapkan terimakasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Dr. Zainal Afandi, M.Pd, selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri.
2. Dr. Sulistiono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Nusantara PGRI Kediri.
3. Hesti Istiqlaliyah, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Ilmu Komputer Universitas Nusantara PGRI Kediri.
4. Yasinta Sindy Pramesti, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingan agar terselesaikannya skripsi ini.
5. Ali Akbar, M. T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan motivasi dan dorongan agar terselesaikannya skripsi ini.
6. Kedua Orang Tua saya yang selalu terus memberikan do'a dan dukungan, demi terselesaikannya penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin Universitas Nusantra PGRI Kediri yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.

Disadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan tegur sapa, kritik, dan saran-saran, dari berbagai pihak. Semoga karya tulis ini bermanfaat bagi pembaca.

Kediri, 02 Juli 2025



LUCKI APRIANSYAH

NPM. 20.1.30.10.055

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Penelitian	1
B. Batasan Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian	4
1. Manfaat Praktis	4
2. Manfaat Teoritis	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
A. Kajian Penelitian Terdahulu	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
B. Kajian Teori.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1. Baja	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2. Carbon (C)	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
3. Uji Kekuatan <i>Impact</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4. Metode Uji <i>Impact Charpy</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

- C. Kerangka Berpikir..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- D. Hipotesis..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

BAB III METODE PENELITIANKesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

- A. Identifikasi Variabel Penelitian **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
 - 1. **Variabel Bebas**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
 - 2. **Variabel Terikat**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
 - 3. **Variabel Kontrol**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- B. Tempat Dan Waktu Penelitian.. **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
 - 1. **Tempat Penelitian**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
 - 2. **Waktu Penelitian**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- C. Teknik Pengumpulan Data **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- D. Teknik Pendekatan Data..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- E. Teknik Analisis Data **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
 - 1. **Tabulasi data hasil uji**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
 - 2. **Pengujian Perbedaan dengan Uji Wilcoxon menggunakan SPSS**
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

- A. Diskripsi Data Variabel **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
 - 1. **Variabel Bebas**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
 - 2. **Variabel Terikat**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
 - 3. **Variabel Kontrol**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- B. Tabel Hasil Pengujian **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- C. Pengujian Menggunakan UJI Wilcoxon**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- D. Hasil Perhitungan **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
 - 1. **Nilai *Impact***Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

2. **Nilai rata rata**.....Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

E. Pembahasan..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

1. **Pengaruh Kadar Karbon terhadap Energi Serapan *Impact***. Kesalahan!
Bookmark tidak ditentukan.

2. **Karakteristik Fraktur Material**..Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

3. **Korelasi Struktur Mikro terhadap Ketangguhan Material**.. Kesalahan!
Bookmark tidak ditentukan.

4. **Kesesuaian Temuan dengan Studi Sebelumnya**Kesalahan! Bookmark
tidak ditentukan.

5. **Relevansi Temuan untuk Aplikasi Industri**Kesalahan! Bookmark tidak
ditentukan.

6. **Analisis Statistik terhadap Perbedaan Kekuatan Impact** Kesalahan!
Bookmark tidak ditentukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ...Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

A. Kesimpulan **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

B. Saran..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

DAFTAR PUSTAKA..... **5**

LAMPIRAN KEGIATAN.....Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

DAFTAR TABEL

- Tabel 3 1 Jadwal Penelitian..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 3 2 Sudut Akhir **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 3 3 Spesifikasi Bahan Uji dan Hasil Impact**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 4 1 Sudut Akhir **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 4 2 Hasil Uji Impact **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 4 3 Tabel Wilcoxon..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Tabel 4 4 Tabel Statistik **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 metode uji impact charpy . **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 2 2 Aat uji impact charpy **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 2 3 kerangka berfikir **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 3 1 Flowchart Pengumpulan Data**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4 1 Baja AISI 1045 sebelum di uji impact**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4 2 Baja AISI D2 sebelum di uji impact**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4 3 Baja AISI 1045 setelah di uji impact**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4 4 Baja AISI D2 setelah di uji impact**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Baja merupakan material yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari konstruksi bangunan, otomotif, hingga permesinan. World Steel Association (2023) mencatat produksi baja dunia mencapai 1.878 juta ton pada tahun 2022, meningkat 0.9% dari tahun sebelumnya. Di Indonesia sendiri, produksi baja mentah mencapai 12,6 juta ton pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2023). Tingginya permintaan baja didorong oleh sifat mekaniknya yang unggul, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan keuletan. Sifat mekanik baja sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia, khususnya kadar karbon. Peningkatan kadar karbon umumnya meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja, namun dapat menurunkan keuletan (Callister & Rethwisch, 2021).

Kadar karbon dalam baja berperan penting dalam menentukan struktur mikro dan sifat mekaniknya. Atom karbon yang berukuran kecil akan menempati posisi interstisial di dalam struktur kristal besi, sehingga menghambat pergerakan dislokasi dan meningkatkan kekuatan baja (Smith & Hashemi, 2018). Namun, kadar karbon yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya karbida yang rapuh, sehingga mengurangi keuletan dan ketangguhan baja (Dieter, 2013). Oleh karena itu, pemilihan kadar karbon yang tepat sangat penting untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimal sesuai dengan aplikasi yang diinginkan.

Uji *impact* merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu material. Uji *impact* dilakukan dengan memberikan beban kejut pada spesimen uji dan mengukur energi yang diserap untuk mematahkan spesimen tersebut (ASM International, 2020). Ketangguhan merupakan kemampuan material untuk menyerap energi pada saat terjadi deformasi plastis hingga patah. Material yang tangguh mampu menahan beban kejut dan mencegah terjadinya patah getas (Anderson et al., 2017).

Baja karbon merupakan jenis baja yang paling umum digunakan karena harganya yang relatif murah dan sifat mekaniknya yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Baja karbon diklasifikasikan berdasarkan kadar karbonnya, yaitu baja karbon rendah (kadar karbon $< 0.3\%$), baja karbon sedang (kadar karbon $0.3\% - 0.6\%$), dan baja karbon tinggi (kadar karbon $> 0.6\%$) (Davis, 2019). Setiap jenis baja karbon memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda-beda. Baja karbon rendah umumnya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan keuletan dan kemampuan las yang baik, seperti konstruksi bangunan dan bodi otomotif.

Baja karbon sedang memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan baja karbon rendah, sehingga cocok digunakan untuk komponen mesin, roda gigi, dan rel kereta api. Baja karbon tinggi memiliki kekuatan dan kekerasan yang sangat tinggi, namun keuletannya rendah. Baja karbon tinggi umumnya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi, seperti alat potong, pegas, dan bantalan. Pengaruh kadar karbon terhadap sifat mekanik baja karbon telah banyak diteliti, namun masih terdapat perbedaan hasil penelitian dan interpretasi data.

Uji *impact Charpy* merupakan salah satu metode uji *impact* yang paling sering digunakan. Pada uji *impact Charpy*, spesimen uji berbentuk batang persegi panjang dengan takik berbentuk V diletakkan pada tumpuan dan dipukul oleh pendulum (ASM International, 2020). Energi yang diserap untuk mematahkan spesimen diukur dari perbedaan tinggi pendulum sebelum dan sesudah memukul spesimen. Uji *impact Charpy* dapat memberikan informasi mengenai ketangguhan material, transisi ulet-getas, dan sensitivitas takik.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pengaruh kadar karbon terhadap kekuatan *impact* baja. Penelitian yang dilakukan oleh Suhardi et al. (2021) menunjukkan bahwa peningkatan kadar karbon pada baja AISI 1045 meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan, namun menurunkan kekuatan *impact*. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya karbida yang rapuh pada kadar karbon yang tinggi. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Fauzi et al., 2022) menunjukkan bahwa penambahan unsur paduan seperti nikel dan kromium dapat meningkatkan kekuatan *impact* baja karbon tinggi. Unsur paduan

tersebut dapat memperbaiki struktur mikro dan meningkatkan ketangguhan baja.

Permasalahan yang sering dihadapi dalam aplikasi baja karbon adalah terjadinya patah getas, terutama pada kondisi temperatur rendah atau beban kejut. Patah getas merupakan jenis patah yang terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya deformasi plastis yang signifikan. Patah getas dapat menyebabkan kegagalan struktur yang fatal dan menimbulkan kerugian material maupun korban jiwa. Oleh karena itu, pemahaman mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi ketangguhan baja, khususnya kadar karbon, sangat penting untuk mencegah terjadinya patah getas.

Penelitian ini penting dilakukan untuk memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kadar karbon terhadap kekuatan *impact* baja. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi para pelaku industri dalam memilih jenis baja karbon yang tepat sesuai dengan aplikasi yang diinginkan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang material.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi kadar karbon pada baja terhadap kekuatan *impact* yang diukur menggunakan metode uji *Charpy*. Jenis baja yang digunakan dibatasi pada baja karbon sedang, dan tinggi dengan baja karbon sedang adalah AISI 1045, sedangkan untuk baja karbon tinggi adalah AISI D2. Pengujian *impact* dilakukan pada temperatur ruang (31°C) dengan spesimen berdimensi 10 mm x 10 mm x 10 mm yaitu panjangnya 55 mm, tebalnya 10 mm, dan lebarnya 10 mm, menggunakan standar *Charpy* V-notch. Analisis data difokuskan pada korelasi antara kadar karbon, struktur mikro, dan nilai energi *impact* yang diperoleh dari pengujian.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka rumusan masalah didalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar karbon pada baja sedang dan tinggi terhadap kekuatan *impact* yang diukur dengan metode uji *Charpy*?
2. Apakah terdapat perbedaan yang signifikan terhadap nilai kekuatan *impact* baja karbon sedang dengan baja karbon tinggi yang diukur dengan metode uji *Charpy* ?

D. Tujuan Penelitian

Bedasarkan dari rumusan masalah diatas maka tujuan dari peneltian ini adalah :

1. Untuk Mengetahui pengaruh variasi kadar karbon pada baja terhadap kekuatan *impact* yang diukur dengan metode uji *Charpy*?
2. Untuk mengetahui ada tidak nya perbedaan nilai kekuatan *impact* baja karbon sedang dengan baja karbon tinggi yang diukur dengan metode uji *Charpy*.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Praktis

- a. Memberikan panduan bagi industri manufaktur dalam memilih jenis baja karbon yang tepat berdasarkan kebutuhan kekuatan *impact* untuk aplikasi produk mereka.
- b. Membantu proses optimasi desain produk dengan mempertimbangkan pengaruh kadar karbon terhadap kekuatan *impact* baja.
- c. Meningkatkan efisiensi produksi dengan meminimalkan risiko kegagalan produk akibat patah getas.

2. Manfaat Teoritis

- a. Memperkaya khasanah ilmu pengetahuan tentang hubungan antara struktur mikro baja, kadar karbon, dan sifat mekanik, khususnya kekuatan *impact*.
- b. Memberikan data eksperimen yang dapat digunakan untuk validasi model teoritis dan simulasi numerik terkait perilaku mekanik baja.
- c. Menjadi dasar bagi penelitian lanjutan mengenai pengaruh faktor-faktor lain terhadap kekuatan *impact* baja, seperti perlakuan panas dan penambahan unsur padua

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, M. (1999). *Ilmu logam*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Amstead, B. H., Ostwald, P. F., & Begeman, M. L. (1993). *Manufacturing processes*. New York: John Wiley & Sons.
- Anderson, T. L., Anderson, T. L., & Anderson, T. L. (2017). *Fracture mechanics: Fundamentals and applications*. Boca Raton: CRC press.
- ASM International. (1993). *ASM handbook volume 1: Properties and selection: Irons, steels, and high-performance alloys*. Materials Park, OH: ASM International.¹
- ASM International. (2020). *ASM handbook: Mechanical testing and evaluation*. Materials Park, OH: ASM International.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik industri besi dan baja Indonesia 2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Borges, L. A., Mourão, G. M., Dutra, J. C., & Mannheimer, W. (2019). Influence of carbon content and test temperature on the *impact* toughness of API 5L X80 steel. *Materials Science and Engineering: A*, 761, 138041.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2014). *Chemistry: The central science*. Boston: Pearson Education.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2021). *Materials science and engineering: An introduction*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2016). *Chemistry*. New York: McGraw-Hill Education.
- Davis, J. R. (2019). *Alloying: Understanding the basics*. Materials Park, OH: ASM International.
- Dieter, G. E. (2013). *Mechanical metallurgy*. New York: McGraw-Hill.
- Fauzi, I., Abdullah, M., & Prabowo, A. (2022). Pengaruh penambahan nikel dan kromium terhadap sifat mekanik baja karbon tinggi. *Jurnal Metalurgi Indonesia*, 17(2), 123-130.
- Moore, J. W., Stanitski, C. L., Jurs, P. C., & Kotz, J. C. (2014). *Chemistry: The molecular science*. Stamford, CT: Cengage Learning.

- Nasution, M. A. (2008). *Pengantar teknologi bahan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonette, C. (2017). *General chemistry: Principles and modern applications*. Boston: Pearson Education.
- Sack, R. L. (1997). *Practical guide to structural steel design*. New York: McGraw-Hill.
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2018). *Foundations of materials science and engineering*. New York: McGraw-Hill Education.
- Suhardi, S., Prasetyo, A., & Wibowo, R. (2021). Pengaruh variasi kadar karbon terhadap sifat mekanik baja AISI 1045. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 45-52.
- Wiryo Sumarto, H. (2004). *Teknologi pengelasan logam*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- World Steel Association. (2023). *World steel in figures 2023*. Brussels: World Steel Association.