

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

2.1.1 Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Kandungan karbon dalam baja bervariasi antara 0,2% hingga 2,1%, tergantung pada kelas materialnya. Karbon berperan sebagai unsur pengeras, yang secara langsung memengaruhi sifat mekanik baja. Selain karbon, baja dapat ditambahkan unsur paduan lain seperti mangan (Mn), *chromium* (Cr), vanadium (V), dan nikel (Ni), yang memungkinkan diperolehnya berbagai variasi kualitas baja sesuai kebutuhan. Peningkatan kandungan karbon dalam baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*), tetapi juga menyebabkan baja menjadi lebih getas (*brittle*) dan mengurangi keuletannya (*ductility*).

Kandungan karbon dalam baja berpengaruh signifikan terhadap kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Peningkatan kadar karbon dalam baja meningkatkan kekerasan, tetapi juga menyebabkan baja menjadi lebih rapuh dan kurang mudah dibentuk. (Davis, H. E. (1982) dalam (AZIZ, 2016))

2.1.2 Jenis-jenis Baja

Baja merupakan besi (*ferro*) dengan kadar karbon kurang dari 2%, apabila kandungan karbonnya lebih dari 2% maka disebut sebagai besi tuang (*cast iron*). (Avner, 1974 dalam (Pramono A. , 2011)). Baja dapat dibuat dalam berbagai bentuk sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Secara umum, baja diklasifikasikan ke dalam 2 jenis utama, yaitu:

a. Baja Karbon

Baja karbon, atau juga dikenal sebagai *plain carbon steel*, terdiri terutama dari unsur karbon dan sedikit kandungan silikon, belerang, dan fosfor dalam jumlah kecil.



Gambar 2.1 Baja Karbon
Sumber: Google.com

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dikategorikan ke dalam 3 jenis utama, yaitu:

1. Baja Karbon Rendah ($< 0,2\% \text{ C}$)

Baja ini memiliki kandungan karbon kurang dari $0,2\%$, dengan fasa dan struktur mikro yang didominasi oleh ferrit dan perlit. Karena tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas (martensit), baja ini hanya dapat mengalami peningkatan sifat mekanik melalui pengerjaan dingin. Secara mekanik, baja karbon rendah memiliki sifat yang lunak dan relatif lemah, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Selain itu, baja ini memiliki kemampuan mesin (*machinability*) dan kemampuan las (*weldability*) yang baik, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi konstruksi gedung, jembatan, rantai, serta bodi kendaraan.

2. Baja Karbon Sedang ($0,2\% - 0,5\% \text{ C}$)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon antara $0,2\%$ hingga $0,5\% \text{ C}$, yang memungkinkan baja ini dapat dikeraskan melalui perlakuan panas. Proses *quenching*, yaitu pemanasan hingga mencapai fasa austenit, kemudian didinginkan dengan cepat dalam air, digunakan untuk memperoleh struktur martensit yang lebih keras. Baja karbon sedang terdiri dari baja karbon biasa (*plain*) dan baja mampu keras, di mana kandungan karbon yang lebih tinggi

meningkatkan kekerasan material, tetapi juga mengurangi kemampuan las. Penambahan unsur *chromium* (Cr), nikel (Ni), dan molibdenum (Mo) dapat lebih meningkatkan kemampuan kekerasan baja ini. Baja karbon sedang memiliki ketahanan dan kekuatan lebih tinggi dibandingkan baja karbon rendah, sehingga sangat sesuai untuk berbagai komponen mekanis. Material ini umum digunakan dalam komponen mesin, roda kereta api, roda gigi (*gear*), poros engkol (*crankshaft*), serta elemen struktural lainnya yang memerlukan kekuatan tinggi, ketahanan terhadap aus, dan ketangguhan.

3. Baja Karbon Tinggi (> 0,5% C)

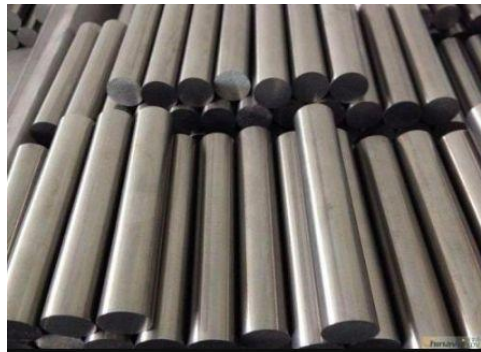
Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon antara 0,6% hingga 1,4%, sehingga memiliki kekuatan dan kekerasan yang sangat tinggi, namun dengan keuletan yang lebih rendah. Material ini sering digunakan untuk baja perkakas, cetakan (*dies*), pegas, kawat berkekuatan tinggi, serta alat potong yang dapat mengalami proses pengerasan dan tempering dengan baik. Baja karbon tinggi dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon tinggi biasa dan baja perkakas. Baja perkakas umumnya mengandung *chromium* (Cr), vanadium (V), tungsten (W), dan molibdenum (Mo). Unsur-unsur tersebut bereaksi dengan karbon, membentuk struktur yang sangat keras, sehingga memberikan ketahanan aus yang luar biasa.

Kadar karbon dalam baja berperan dalam menentukan kekuatan tarik, kekerasan, dan keuletan material. Semakin tinggi kandungan karbon, maka kekuatan tarik dan kekerasan baja meningkat, tetapi keuletannya cenderung menurun.

b. Baja Paduan

Baja dikatakan dipadu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur fosfor dan mangan. Baja paduan semakin banyak digunakan, unsur yang paling

banyak digunakan untuk baja paduan, yaitu Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb dan Zr.



Gambar 2.2 Baja Paduan

Sumber: Google.com

1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lainnya. Biasanya digunakan untuk membuat perkakas potong, gergaji, cetakan penarik, pahat kayu, mata pisau, pemotong kikir, gurdi batu.

2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lainnya. Biasanya digunakan untuk membuat alat pengukur, cetakan penarikan, rol derat, mata gunting untuk plat tebal.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lainnya. Banyak digunakan untuk cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim, pengukur, rol derat. (Amanto, 1999 dalam (AZIZ, 2016).

Menurut Amstead (1993), secara umum baja paduan memiliki keunggulan dibandingkan baja karbon biasa, dengan karakteristik utama sebagai berikut:

1. Memiliki keuletan tinggi tanpa mengurangi kekuatan tarik.
2. Tahan terhadap korosi dan keausan, tergantung jenis unsur paduan yang digunakan.
3. Tetap stabil terhadap perubahan suhu, sehingga sifat fisiknya terjaga dalam berbagai kondisi.
4. Memiliki struktur butiran yang lebih halus dan homogen, yang meningkatkan kualitas serta performa material.

Pengaruh dari berbagai unsur paduan dalam baja dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Unsur Karbon (C)

Karbon merupakan unsur utama yang berkontribusi dalam meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon dalam baja biasanya berada dalam rentang 0,1% hingga 1,7%, sedangkan unsur paduan lainnya disesuaikan dengan fungsi dan aplikasi material. Unsur paduan dalam baja berperan dalam mengoptimalkan reaksi terhadap perlakuan panas, sehingga material dapat memiliki karakteristik khusus sesuai kebutuhan. Kadar karbon yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja, tetapi jika terlalu tinggi, dapat mengurangi ketangguhan material.

2. Unsur Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur penting yang terdapat dalam setiap jenis baja, karena memiliki peran krusial dalam proses pembuatannya. Kandungan mangan sekitar 0,6%, umumnya tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat baja dalam jumlah rendah, unsur ini tidak secara drastis memengaruhi struktur material. Meningkatkan kadar mangan dalam baja dapat menambah kekuatan tarik tanpa mengurangi atau hanya sedikit

mempengaruhi regangan, sehingga baja dengan kandungan mangan memiliki sifat yang lebih kuat dan lebih ulet.

3. Unsur Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang terdapat dalam semua jenis baja dengan kandungan lebih dari 0,4%, berperan dalam meningkatkan tegangan tarik serta mengurangi laju pendinginan kritis. Silikon berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan, kekerasan, elastisitas, ketahanan terhadap aus, panas, dan korosi dalam baja. Unsur ini juga mempengaruhi stabilitas sementit, sehingga mendorong pemisahan serta pembentukan grafit. Selain itu, silikon bertindak sebagai pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida. Unsur ini cenderung membentuk partikel oksida, yang memperbanyak pengintian kristal serta menghambat pertumbuhan butir, menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan homogen.

4. Unsur Nikel (Ni)

Nikel memiliki pengaruh yang mirip dengan mangan, yaitu meningkatkan kekuatan tarik, memperbaiki keuletan material, serta meningkatkan ketahanan terhadap panas. Dalam baja paduan, kandungan nikel sekitar 25% dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Kemampuan nikel dalam mencegah korosi disebabkan oleh pembentukan lapisan pelindung, yang berfungsi sebagai penghalang terhadap reaksi oksidasi, sehingga melindungi permukaan baja.

5. Unsur Kromium (Cr)

Kromium berperan dalam menurunkan laju pendinginan kritis, di mana kandungan 1,5% kromium cukup untuk meningkatkan kekerasan baja ketika dilakukan pendinginan dalam minyak. Penambahan kromium menghasilkan struktur butiran yang lebih halus dan memperbaiki kemampuan pengerasan baja, karena kromium dapat berikatan dengan

karbon membentuk karbida. Selain itu, kromium berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan tarik dan keplastisan baja, serta membentuk lapisan pasif yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap korosi dan ketahanan terhadap suhu tinggi. (AZIZ, 2016)

2.1.3 Sifat-sifat Baja

a. Sifat Fisik Baja

1. Berat dan Berat Jenis Baja

Baja biasanya memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan besi biasa dan sering kali lebih ringan dari besi biasa untuk tingkat kekuatan yang setara. Berat baja per meter kubik (m^3) digunakan sebagai dasar perhitungan volume besi atau struktur bangunan, untuk menentukan beban yang harus ditanggung oleh konstruksi baja. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), berat jenis baja telah ditetapkan sebesar 7.850 kg/m^3 . Namun, dalam kondisi nyata, nilai ini dapat bervariasi karena dipengaruhi oleh komposisi logam, kepadatan material, serta kualitas baja, yang memengaruhi karakteristik fisiknya.

2. Daya Hantar Panas Pada Baja

Baja merupakan logam yang tersusun dari besi dengan campuran karbon. Berdasarkan kadar karbonnya, baja terbagi menjadi tiga kategori, yaitu baja karbon rendah (0 - 0,2%), baja karbon menengah (0,2 - 0,5%), dan baja karbon tinggi (lebih dari 0,5%). Baja memiliki kelebihan sebagai penghantar panas yang baik dan banyak digunakan dalam penghantar transmisi ACSR (*Aluminium Cable Steel Reinforced*). Dalam aplikasi ini, baja berfungsi untuk memperkuat konduktor aluminium secara mekanis, setelah melalui proses pelapisan seng atau galvanisasi. Keunggulan penggunaan baja dalam ACSR adalah penghematan material aluminium. ACSR adalah kabel penghantar berbahan aluminium dengan inti kawat baja, yang

berperan dalam meningkatkan kekuatan tarik kabel. Kabel ini banyak digunakan dalam saluran transmisi udara.

3. Konduktivitas Listrik

Baja memiliki konduktivitas listrik yang optimal, yang dipengaruhi oleh kombinasi unsur besi (Fe) dan kromium (Cr) dalam komposisi paduannya.

b. Sifat Mekanis Baja

1. *Stiffness* (Kekakuan)

Sifat material yang mampu meregang di bawah tegangan tinggi tanpa mengalami regangan signifikan memiliki ketahanan terhadap deformasi. Kekakuan bahan berhubungan dengan modulus elastisitas (E), yang menentukan seberapa besar material dapat menahan deformasi saat menerima beban. Material dengan nilai E tinggi, seperti baja dengan $E = 207.000$ MPa, mengalami deformasi lebih kecil dibandingkan dengan material dengan nilai E lebih rendah, seperti kayu dengan $E = 7.000$ MPa atau kurang.

2. *Strength* (Kekuatan)

Kekuatan suatu bahan ditentukan oleh tegangan maksimum yang dapat ditahan sebelum mengalami kerusakan (*failure*), yang dapat didefinisikan melalui batas proporsional, titik mulur, atau tegangan maksimum. Tidak ada satu nilai tunggal yang dapat mendefinisikan kekuatan material secara keseluruhan, karena setiap bahan memiliki perilaku yang berbeda terhadap beban serta karakteristik pembebanan.

3. *Elasticity* (Elastisitas)

Sifat material yang dapat kembali ke dimensi aslinya setelah beban dihilangkan disebut elastisitas. Menentukan nilai elastisitas secara akurat sangat sulit, sehingga biasanya dinyatakan dalam bentuk rentang atau batas elastisitasnya.

4. *Ductility* (Keuletan)

Keuletan adalah sifat material yang memungkinkan terjadinya deformasi akibat beban tarik sebelum mengalami patah (*rupture*). Material dengan keuletan tinggi dapat ditarik hingga membentuk kawat tipis panjang tanpa mengalami kerusakan. Keuletan suatu material diukur berdasarkan persentase perpanjangan spesimen selama uji tarik serta persentase pengurangan luas penampang. Tingkat keuletan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

- Persentase Pertambahan Panjang = $(\text{pertambahan panjang ukur} \div \text{panjang ukur awal}) \times 100\%$
- Persentase Pengurangan Luas = $((\text{luas awal} - \text{luas akhir}) \div \text{luas awal}) \times 100\%$

5. *Brittleness* (Kegetasan)

Kegetasan merupakan sifat material yang tidak mengalami deformasi plastis sebelum mengalami patah. Material getas akan patah secara tiba-tiba tanpa adanya tanda-tanda sebelumnya. Material ini tidak memiliki titik mulur atau tidak mengalami proses pengecilan penampang (*necking down process*), dan kekuatan patahnya sama dengan kekuatan maksimumnya. Material seperti besi cor, batu, dan semen cor memiliki karakteristik getas, sehingga kurang tahan terhadap uji tarik. Kekuatan bahan-bahan ini umumnya ditentukan melalui uji tekan.

6. *Malleability* (Kelunakan)

Kelunakan merupakan sifat suatu material yang mampu mengalami deformasi plastis ketika menerima beban tekan sebelum mengalami patah. Material dengan karakteristik ini dikenal sebagai bahan liat. Material yang memiliki kelunakan umumnya bersifat liat dan relatif lunak.

7. *Toughness* (Ketangguhan)

Ketangguhan merujuk pada kemampuan material untuk menahan beban impak tinggi atau beban kejut. Saat suatu benda menerima beban impak, sebagian energi diserap oleh material, sementara sebagian lainnya dipindahkan atau dilepaskan. Ketangguhan suatu material dapat diukur berdasarkan luas area di bawah kurva tegangan–regangan. Nilai ini dihitung mulai dari titik awal pembebanan hingga titik patah.

8. *Resilience* (Kelenturan)

Kelenturan adalah kemampuan suatu material dalam menahan beban impak tinggi tanpa melampaui batas elastis tegangan. Selama proses pembebanan, energi yang diserap tersimpan dalam material dan kemudian dilepaskan kembali saat beban dihilangkan, memungkinkan material kembali ke bentuk semula tanpa mengalami deformasi permanen. Pengukuran kelenturan memiliki prinsip yang mirip dengan pengukuran ketangguhan.

c. Sifat-sifat Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja karbon sedang memiliki ciri-ciri dan sifat khas sebagai berikut:

1. Lebih kuat dan keras dari pada baja karbon rendah
2. Tidak mudah dibentuk dengan mesin
3. Lebih sulit dilakukan untuk pengelasan
4. Dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik. (Prayogi, 2010)

d. Keuntungan Pemakaian Baja

Keuntungan memakai material baja yaitu:

1. Kekuatan tinggi
2. Mudah dalam pemasangan
3. Keseragaman tinggi dalam kekuatan

4. *Ductility* (Daktilitas) adalah sifat suatu material yang memungkinkan terjadinya deformasi signifikan akibat tegangan tarik tanpa mengalami kerusakan atau terputus. (Farhaana, 2017)

2.1.4 Baja Karbon Sedang AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43% – 0,50% C dan termasuk golongan baja karbon menengah/sedang. (Glyn, 2001 dalam (Pramono A. , 2011)). Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat paada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI 1045	0,4 - 0,45	0,1 - 0,3	0,60 - 0,90	0,025	0,04 - max	0,05 - max

Sumber: Jurnal Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja AISI 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi *Sprochet* Rantai (Pramono A. , 2011)

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE. (Krauss, G 1986 dalam (Pramono A. , 2011)). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukan *plain carbon* kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukan komposisi karbon. (Glyn, 2001 dalam (Pramono A. , 2011)). Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan. (Avner, H, S. 1974 dalam (Pramono A. , 2011)). Secara umum, ketahanan terhadap aus sebanding dengan tingkat kekerasan material.



Gambar 2.3 Baja Karbon AISI 1045

Sumber: Google.com

Baja dengan kadar karbon medium mempunyai sifat mampu tempa, *cold drawing*, *machining*, *heat treating* (termasuk *flame hardening*) serta mempunyai sifat ketahanan terhadap aus yang baik dengan melalui perlakuan *flame* atau *induction hardening*. Baja ini merupakan salah satu bahan untuk pembuatan kapak, baut, poros, *machinery parts*, *lightly stressed gear*, *pinions dies*, *hydraulic shafting*, *pum shaft*, *piston rods* dan lainnya. (Nurhadi, 2016)

Material baja AISI 1045 memiliki sifat mekanik sebagai berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat Mekanik Baja AISI 1045

Kekuatan Tarik, σ_u	580 kg/mm ²
Kekuatan Luluh, σ_y	305 kg/mm ²
Perpanjangan (<i>elongation</i>)	16%

Sumber: (Nurhadi, 2016)

2.1.5 Standarisasi Baja AISI - SAE

Sistem standarisasi AISI dan SAE didasarkan pada komposisi kimia dalam baja. AISI menggunakan sistem penomoran yang sama dengan SAE, tetapi menambahkan huruf sebagai kode proses pembuatan baja.

Sebagai contoh:

- Prefix “C” digunakan untuk baja yang diproduksi melalui *open hearth furnace* dan *Basic Oxygen Furnace* (BOF).
- Prefix “E” menunjukkan baja yang dibuat dengan *electric arc furnace*.

Standarisasi baja berdasarkan AISI atau SAE menggunakan kode angka yang terdiri dari 4 atau 5 digit, dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Angka pertama menunjukkan jenis baja.
- b. Angka kedua menunjukkan:
 1. Kadar unsur paduan untuk baja paduan sederhana.
 2. Modifikasi komposisi untuk baja paduan kompleks.
- c. Dua atau tiga angka terakhir menunjukkan persentase kandungan karbon dalam baja.
- d. Jika terdapat huruf di depan angka, huruf tersebut menunjukkan proses pembuatan baja.

Sebagai contoh, AISI 1045 memiliki makna berikut:

- a. Angka 1 → Baja karbon (*carbon steel*).
- b. Angka 0 → Tidak mengandung tambahan sulfur dan fosfor (presentase bahan *alloy*).
- c. Angka 45 → Kandungan karbon sebesar 0,45%.

Tabel 2.3 Penomoran Logam Standarisasi AISI-SAE

Angka Pertama (Type Steel)	AISI/SAE	Angka Kedua (Komposisi)
Carbon steels	10XX	Plain carbon, Mn 1.00% max
	11XX	Resulfurized free machining
	12XX	Resulfurized/rephosphorized free machining
	15XX	Plain carbon, Mn 1.00-1.65%
Manganese steel	13XX	Mn 1.75%
Nickel steels	23XX	Ni 3.50%
	25XX	Ni 5.00%
Nickel-chromium steels	31XX	Ni 1.25%, Cr .65-.80%
	32XX	Ni 1.75%, Cr 1.07%
	33XX	Ni 3.50%, Cr 1.50-1.57%
	34XX	Ni 3.00%, Cr .77%
Molybdenum steels	40XX	Mo .20-.25%
	44XX	Mo .40-.52%
Chromium-molybdenum steels	41XX	Cr .50-.95%, Mo .12-.30%
Nickel-chromium-molybdenum steels	43XX	Ni 1.82%, Cr .50-.80%, Mo .25%
	47XX	Ni 1.05%, Cr .45%, Mo .20-.35%

Sumber: (Heldiawan, 2019)

Pada awalnya, *The American Iron & Steel Institute* (AISI) menetapkan standar yang banyak digunakan di Amerika Serikat serta

negara lain. Namun, standar AISI tidak mencakup semua jenis logam dan kurang memberikan informasi detail tentang sifat beberapa material. Untuk mengatasi keterbatasan ini, ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dan SAE (*Society of Automotive Engineers*) mengembangkan *The Unified Numbering System* (UNS) sebagai sistem standar yang lebih lengkap dalam mengklasifikasikan logam. (Heldiawan, 2019)

2.2 Uji Impak

2.2.1 Pengertian Uji Impak

Pengujian impak merupakan metode uji yang digunakan untuk menentukan karakteristik material ketika mengalami beban dinamis. Melalui pengujian ini, dapat diketahui ketangguhan material, baik dalam fase liat, ulet, maupun getas. Tujuan utama dari pengujian impak adalah untuk menentukan nilai rata-rata energi impak yang dapat diserap oleh material. (Mawahib dkk, 2017)

Menurut Dieter, George E (1988) uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi patahan batang uji (spesimen), sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji (spesimen). Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya. Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam. (Handoyo, 2013)

Uji impak merupakan metode untuk mengetahui kekuatan dan ketangguhan material saat menerima beban dengan kecepatan tinggi. Karena itu, metode ini banyak digunakan untuk menganalisis sifat dinamik suatu bahan.

Beberapa tahapan yang perlu diperhatikan dalam pengujian meliputi:

1. Besarnya sudut awal dan akhir sebelum dan setelah impak terjadi.
2. Posisi material saat uji berlangsung.
3. Suhu benda uji, yang dapat memengaruhi hasil pengujian.

Uji impak mampu mengidentifikasi perbedaan yang tidak dapat diperoleh dari pengujian tegangan regangan secara statik. Namun, metode ini tidak memungkinkan pengukuran langsung terhadap kondisi perpatahan batang uji, karena tidak dapat mengukur komponen gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada material. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini hanya berupa perubahan tinggi dan sudut akibat dari ayunan lengan bandul selama uji berlangsung. (Raphaela, 2023)

Uji impak adalah pengujian yang dilakukan untuk menilai ketangguhan spesimen saat menerima beban secara tiba-tiba melalui tumbukan. Ketangguhan suatu material adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk mematahkan atau merusak material, yang diukur berdasarkan luas area di bawah kurva tegangan–regangan. Meskipun sebuah bahan memiliki kekuatan tarik yang tinggi, hal ini tidak selalu menjamin kemampuannya dalam menghadapi pembebanan kejut. Dalam paduan logam, ketangguhan terhadap perpatahan ditentukan oleh kombinasi antara tegangan kritis dan panjang retak, yang menjadi faktor utama dalam ketahanan terhadap kegagalan struktural. (Zemansky S, 1995) (Kumar dkk, 2017)

Uji impak digunakan untuk menilai karakteristik patahan material, terutama pada bahan dengan transisi deformasi yang sangat kecil, yang sulit diidentifikasi melalui pengujian tarik.

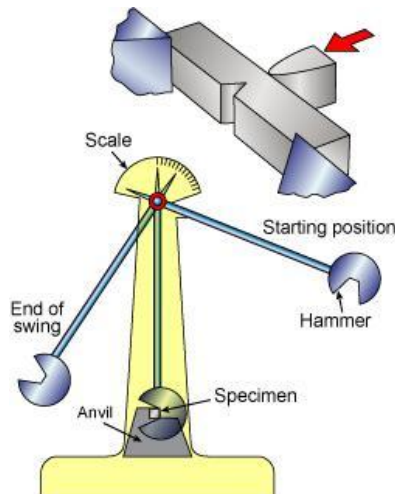
Pemilihan uji impak memiliki signifikansi khusus karena beberapa faktor berikut:

1. Deformasi dapat dilakukan pada temperatur rendah, memungkinkan pengujian sifat material dalam kondisi ekstrem.
2. Laju deformasi yang tinggi, memberikan gambaran mengenai respons material terhadap beban mendadak.

3. Keberadaan takikan (*notch*) menghasilkan tegangan triaxial, yang membantu dalam memahami ketangguhan dan perilaku fraktur material.

Material mungkin mempunyai kekuatan tarik yang tinggi tetapi tidak tahan dengan beban kejut. Untuk menentukannya perlu diadakan pengujian impak. Ketahanan impak biasanya diukur dengan metode *charpy* dan *izod* yang bertakik maupun tidak bertakik. Beban diayun dari ketinggian tertentu untuk memukul benda uji (spesimen), yang kemudian diukur energi yang diserap oleh perpatahannya.

Prinsip pengujian impak adalah menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Pada saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah. Nilai harga impak pada suatu spesimen adalah energi yang diserap tiap satuan luas penampang lintang spesimen uji. (Raphaela, 2023)



Gambar 2.4 Ilustrasi Skematis Pengujian Impak
Sumber: Jurnal Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy
(Endramawan & Sifa, 2013)

2.2.2 Tujuan Uji Impak

Uji impak berguna untuk melihat efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya takikan, bentuk takikan, temperatur dan faktor-faktor lainnya. Uji impak dapat juga disebut sebagai salah satu pengujian material untuk mengetahui kemampuan suatu material/bahan dalam menerima beban tumbukan dengan diukur besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen material/bahan dengan ayunan. Bandul dengan ketinggian tertentu berayun dan memukul spesimen. Energi potensial dari bandul berkurang sesudah memukul spesimen merupakan energi yang diserap oleh spesimen.

Uji impak juga digunakan untuk mempelajari pola patahan spesimen uji, apakah getas (*brittle fracture*) atau patah ulet (*ductile fracture*) atau kombinasi keduanya. *Granular fracture* atau *cleavage fracture* adalah permukaan patah getas berkilat dan berbutir sedangkan patah ulet tampak lebih buram dan berserabut disebut juga *fibrous fracture* atau *shear fracture*. (Raphaela, 2023)

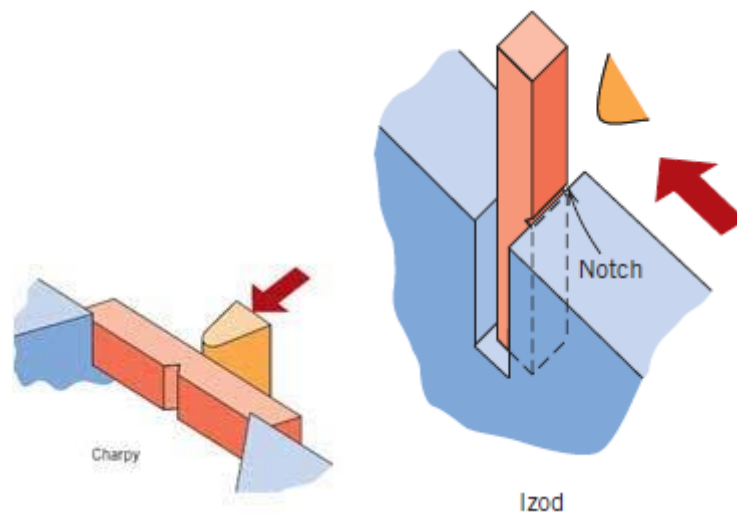
2.2.3 Jenis-jenis Metode Uji Impak

Metode uji impak yang telah memenuhi standar terdapat 2 macam yaitu metode uji impak *charpy* dan metode uji impak *izod*. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *izod* banyak digunakan di sebagian besar negara Eropa seperti negara Inggris, sedangkan Indonesia lebih banyak menggunakan alat uji impak metode *charpy*.

Pada alat uji impak ini terdiri dari beberapa bagian penting, diantaranya pendulum (godam), lengan ayun, poros pengayun, bearing, pisau pemukul, badan alat uji impak dan tempat benda uji. Semua bagian tersebut disusun dan dirangkai menjadi satu kesatuan sehingga membentuk suatu alat uji impak yang memenuhi standar JIS Z2202. Dasar dari pengujian impak adalah penyerapan energi potensial yang dihasilkan dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji, sehingga benda uji tersebut mengalami sebuah deformasi. Prinsip kerja alat uji impak ini adalah

dengan cara memberikan pembebanan secara tiba-tiba pada benda uji yang akan di uji secara statik.

Perbedaan mendasar *charpy* dengan *izod* adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan izod tidak seakurat pada pengujian *charpy*, karena pada *izod* pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu diserap material seutuhnya. (Raphaela, 2023)



Gambar 2.5 Perbedaan Uji Impak Metode Charpy dan Izod

Perbandingan Metode Uji Impak Charpy dan Izod:

a. Metode Charpy

Kelebihan:

1. Akurasi hasil tinggi, sehingga lebih dapat diandalkan.
2. Prosedur pengujian sederhana dan mudah dipahami.
3. Distribusi tegangan lebih seragam, meningkatkan konsistensi data.
4. Durasi pengujian lebih singkat, mempercepat evaluasi material.

Kekurangan:

1. Hanya bisa dipasang dalam orientasi horizontal, membatasi fleksibilitas pengujian.
2. Spesimen tidak dicekam, sehingga berisiko bergeser saat tumbukan terjadi.

3. Pengujian hanya terbatas untuk spesimen berukuran kecil, membatasi cakupan analisis.

b. Metode Izod

Kelebihan:

1. Tumbukan terjadi langsung pada takikan, dengan spesimen dicekam pada salah satu ujungnya, sehingga mengurangi pergeseran.
2. Dapat digunakan untuk spesimen berukuran lebih besar, memberikan fleksibilitas lebih dalam pengujian.

Kekurangan:

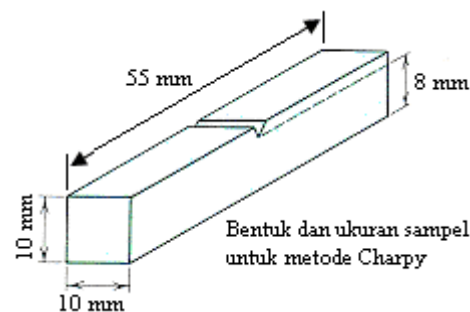
1. Biaya pengujian lebih tinggi, karena kompleksitas alat dan prosedur.
2. Pembebanan hanya dilakukan pada satu ujung, sehingga hasil pengujian kurang optimal.
3. Perpatahan material kurang baik, mempengaruhi interpretasi karakteristik patahan.
4. Waktu pengujian lebih lama, karena prosedur yang lebih kompleks. (Pramono R. , 2016)

2.2.4 Pengujian Impak Metode Charpy

Charpy Impact Test juga dikenal sebagai *Charpy test V-notch*, adalah metode tes yang banyak digunakan di Amerika Serikat dan merupakan cara pengujian dimana spesimen dipasang secara horizontal dan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada spesimen disesuaikan di bagian tengah dengan arah takikan membelakangi pendulum dari arah tumbukan. Pada metode ini regangan-tingginya standar yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh materi selama fraktur. Prinsip dasar pengujian *charpy* adalah besar gaya kejut yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dibagi dengan luas penampang patahan. Mula-mula bandul *charpy* disetel dibagian atas, kemudian dilepas sehingga menabrak benda uji dan bandul terayun sampai ke kedudukan bawah. Jadi energi yang diserap untuk

mematahkan benda uji ditunjukkan oleh selisih perbedaan tinggi bandul pada kedudukan atas dengan tinggi bandul pada kedudukan bawah (tinggi ayun).

Sampel uji memiliki dimensi sesuai standar ASTM E23-05, yaitu $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 55\text{ mm}$ (tinggi $\times$ lebar $\times$ panjang). Takik terletak di tengah, dengan kedalaman 2 mm, sudut 45° , dan radius pusat 0,25 mm. Bentuk takik dapat berupa U, V, atau *key hole* (menyerupai lubang kunci). Metode pengujian impak *Charpy* secara luas digunakan untuk menilai kualitas material, dengan *V-notch* sebagai bentuk takikan yang paling sering digunakan. Selain itu, terdapat lebih dari 30 jenis spesimen uji lainnya, termasuk spesimen yang dirancang untuk memicu retak lelah pada material. Tujuan utama pengujian ini adalah mengukur sifat liat suatu bahan, berdasarkan jumlah energi yang diserap untuk mematahkan batang uji dalam satu kali tumbukan.



Gambar 2.6 Bentuk dan Ukuran Spesimen Metode *Charpy*
Sumber: Google.com

Metode ini memiliki beberapa keunggulan, seperti:

1. Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan
2. Menghasilkan tegangan uniform disepanjang penampang
3. Harga alat lebih murah
4. Waktu pengujian lebih singkat

Metode ini juga memiliki kekurangan, yaitu:

1. Hanya dapat dipasangkan pada posisi horizontal
2. Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam
3. Pengujian hanya dapat dilakukan pada spesimen yang kecil

4. Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena level tegangan yang diberikan tidak rata.

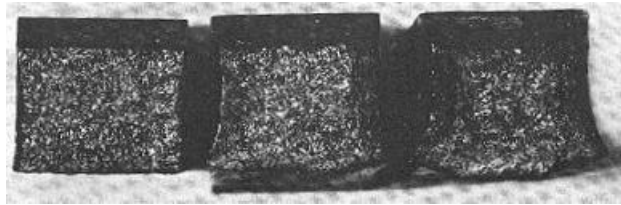
2.2.5 Perpatahan Impak

Selain mengukur energi serapan, pengujian impak *Charpy* juga melibatkan analisis permukaan perpatahan untuk mengidentifikasi jenis fractografi yang terjadi. Berdasarkan pola patahan, perpatahan impak dapat dikategorikan menjadi tiga jenis utama:

- a. Perpatahan Berserat (*Fibrous Fracture*) / Patahan Geser
 1. Terjadi akibat pergeseran bidang-bidang kristal dalam material ulet (*ductile*).
 2. Ditandai oleh permukaan patahan yang berserat dan buram, akibat dimpel yang menyerap cahaya.
 3. Struktur dimpel berbentuk cekungan simetris, parabola, atau elips, bergantung pada kondisi pembebanan.
- b. Perpatahan Granular / Kristalin
 1. Terbentuk melalui mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir material rapuh (*brittle*).
 2. Ditunjukkan oleh permukaan patahan yang datar dengan faset datar yang menampilkan ciri sungai (*river marking*).
 3. Ciri sungai terjadi karena perambatan retak melalui kristal, mengikuti bidang sejajar, membentuk lembah dan tepi tajam.
 4. Permukaan tampak mengkilap, karena memiliki daya pantul cahaya tinggi.
- c. Perpatahan Campuran
 1. Menggabungkan karakteristik perpatahan berserat dan perpatahan granular dalam satu material.
 2. Struktur patahan menunjukkan kombinasi mekanisme geser dan pembelahan, dengan variasi pola berdasarkan kondisi pembebanan. (Raphaela, 2023)

Perbedaan bentuk patahan dapat ditentukan dengan mudah, meskipun pengamatan dilakukan tanpa pembesaran. Permukaan patahan

datar memiliki daya pantul cahaya yang tinggi, sehingga terlihat berkilap. Sementara permukaan patahan ulet memiliki struktur berserat dan berbentuk dimpel, sehingga menyerap cahaya dan tampak buram. Dalam analisis patahan, umumnya dilakukan perkiraan persentase luas permukaan patahan, terutama dalam menentukan proporsi patahan serat (bela) yang terjadi.



Gambar 2.7 Permukaan Patahan (*fractografi*) benda uji impak *charpy*
Sumber: (Pramono R. , 2016)

Gambar tersebut menunjukkan perubahan karakteristik permukaan patahan, mulai dari 100% belahan datar (di sisi kiri) menjadi 100% patahan berserat. Patahan berserat umumnya terlihat pada bagian tepi luar benda uji, di mana kendala trisumbu (triaksial) berakhir. Selain itu, terdapat pengukuran jenis ketiga, yaitu pengukuran keuletan dalam bentuk persentase pengkerutan pada takik spesimen uji, yang terkadang diterapkan dalam uji impak *Charpy*.

Pengujian batang bertakik memiliki manfaat yang signifikan, terutama jika dilakukan dalam rentang suhu yang bervariasi, karena dapat menentukan suhu transisi dari sifat ulet ke sifat getas suatu material. Pada beberapa jenis bahan, karakteristik mekanis mengalami penurunan selama transisi ini. Oleh karena itu, pengujian bertakik membantu memberikan gambaran lebih jelas mengenai perilaku perpatahan baik dalam kondisi getas maupun ulet.

Berikut pembahasan mengenai sifat perpatahan getas dan ulet:

a. Patah Getas

Patah getas adalah fenomena patah material yang terjadi secara tiba-tiba dan cepat, tanpa mengalami deformasi plastis terlebih dahulu. Jenis patahan ini umumnya lebih berbahaya dibandingkan patah ulet, karena terjadi tanpa tanda-tanda awal yang mudah dikenali. Patah getas sering ditemukan pada material berstruktur

martensit atau bahan dengan kandungan karbon sangat tinggi, yang memiliki kekuatan tinggi tetapi bersifat rapuh.

Ciri-ciri Patah Getas:

1. Permukaan patahan berbentuk granular, tampak berkilap, dan memantulkan cahaya.
2. Terjadi secara mendadak, tanpa didahului deformasi plastis, sehingga tidak menunjukkan tanda-tanda sebelum patah.
3. Tempo terjadinya patahan berlangsung cepat.
4. Bidang patahan umumnya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik.
5. Tidak terjadi reduksi luas penampang patahan, akibat adanya tegangan multiaksial.

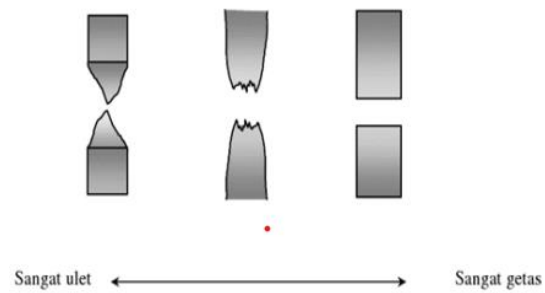
b. Patah Ulet

Patah ulet terjadi akibat pembebanan statis pada material, di mana penjaran retakan akan berhenti ketika beban dihilangkan. Patahan ini ditandai dengan penyerapan energi yang signifikan, disertai deformasi plastis yang cukup besar di sekitar area patahan, sehingga menghasilkan permukaan patahan yang kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu. Selain itu, komposisi material juga berpengaruh terhadap jenis patahan yang terjadi, sehingga patah ulet terjadi bukan karena disebabkan oleh beban yang diterima saja. Patah ulet umumnya terjadi pada material dengan struktur bainit, seperti baja dengan kandungan karbon rendah.

Ciri-Ciri Patah Ulet:

1. Terjadi pengurangan luas penampang patahan akibat tegangan uniaksial.
2. Waktu terjadinya patahan lebih lama, menunjukkan adanya deformasi plastis sebelum material mengalami patah.
3. Pertumbuhan retak berlangsung secara perlahan, bergantung pada besar beban yang diberikan.

4. Permukaan patahan memiliki pola garis-garis serabut (*fibrous*), tampak berserat, menyerap cahaya, serta terlihat buram. (Pramono R. , 2016)



Gambar 2.8 Patahan ulet dan patahan getas
Sumber: (Pramono R. , 2016)