



MEKANIKA : JURNAL TEKNIK MESIN

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Volume 7 No. 2 (2021)

ISSN: 2460-3384 (p); 2686-3693 (e)

Studi Eksperimental Pengaruh Perlakuan Panas Hardening pada Baja ST-41 terhadap Sifat Mekanik

Edi Santoso, Ismail

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: edisantoso@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Hardening adalah salah satu jenis proses perlakuan yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik diantaranya untuk memperoleh nilai kekerasan dan kekuatan yang lebih baik. Hardening dilakukan dengan memanaskan material sampai ke tempertur austenite, ditahan pada temperature tersebut untuk waktu tertentu dan dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin tertentu. Pada penelitian ini menggunakan material baja ST-41 yang termasuk golongan baja karbon menengah dan dilakukan proses laku panas hardening. Pada proses laku panas hardening ini dilakukan dengan memanaskan sampai temperature 900 °C sedangkan variasi holding time yang digunakan adalah 5 menit, 10 menit, 15 menit dan variasi media pendinginan yang digunakan adalah air, air garam, oli sae 10. Dari hasil pengujian impack didapatkan bahwa energi paling rendah yaitu pada specimen yang tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 15,95 joule sedangkan energi paling tinggi dengan holding time 15 menit dan media pendingin oli SAE 10 yaitu sebesar 26 joule.

Kata kunci : Hardening, Holding Time, Media Pendingin, Impak, Baja ST-41

PENDAHULUAN

Baja karbon rendah merupakan logam yang digunakan untuk memproduksi komponen mesin berkekuatan sedang seperti poros, roda gigi, mandrel. Karena memiliki kandungan karbon sedang baja ini mudah dikerjakan dengan berbagai peralatan pemesinan maupun perkakas dan dibentuk sesuai kebutuhan, karena sifatnya yang ulet dan lunak. Harga baja karbon sedang lebih murah dan mudah ditemukan di pasar material logam dibandingkan baja lainnya. Baja karbon sedang kandungan karbonnya 0,1%-0,20%

Berdasarkan kandungan karbon tersebut baja karbon sedang mempunyai potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai material baku komponen mesin namun karena kandungan karbonnya dibawah

0,3% maka baja tersebut harus diberi heat treatment (perlakuan panas) untuk memperoleh sifat-sifat sesuai penggunaannya dari sifat lunak hingga sifat keras.

Proses perlakuan panas secara umum terdiri dari proses hardening, tempering, carburizing dan annealing. Faktor yang mempengaruhi kekerasan heat treatment adalah temperatur, holding time (waktu penahanan) dan media pendingin. Pada penelitian ini akan fokus pada hardening khususnya pada penggunaan media pendingin proses quenching. "quenching (celup cepat) adalah salah satu perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media pendingin misal air atau oli untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih keras"(Bahtiar et al., 2008)

Media pendingin yang digunakan berpengaruh terhadap laju pendingin dalam terbentuknya struktur martensite hasil transformasi austenite. Martensite inilah yang akan menentukan seberapa jauh peningkatan sifat mekanis hasil perlakuan panas, Media pendingin selain mempengaruhi sifat mekanis dapat mempengaruhi sifat fisis,

Pada penelitian Rabiatul Adawiyah et al (2014), Variasi media pendingin terhadap struktur mikro pada media air garam memiliki harga ferrit 29,8% dan martensite 70,2% sedangkan media pendingin oli memiliki harga ferrit 37% dan martensite 63% dan media air biasa memiliki harga ferrit 38,3% dan martensite 61,7%. Selain mempengaruhi sifat fisis dan mekanis media pendingin juga berpengaruh terhadap korosi suatu material dikarenakan material bersentuhan langsung dengan cairan saat quenching padahal korosi sendiri memberikan kerugian 5% dalam perusahaan. Salah satu penyebab terjadinya korosi pada baja dan logam adalah perlakuan panas, Pelakuan panas pada baja akan mempengaruhi pada korosi sebagai akibat adanya pengendapan fasa lain atau peningkatan dan penurunan tegangan, suatu endapan dapat bersifat anodik atau katodik terhadap matriks logamnya dengan perlakuan panas bila timbul endapan akan terbentuk anoda dan katoda yang menyebabkan timbulnya korosi (Supardi R.,1997:169).

Pada penelitian sebelumnya untuk mencapai sifat-sifat logam yang sesuai variasi yang dilakukan adalah temperatur variasi holding time (waktu penahanan) serta media pendingin oli,air garam dan air. Pada penelitian ini penulis menggunakan media pendingin yang memiliki nilai kekentalan rendah seperti air tetapi lebih cepat menyerap panas dan ramah terhadap logam. Media pendingin tersebut adalah air kelapa, radiator coolant dan kombinasi air dengan dromus oil, dipilihnya air kelapa muda karena air kelapa muda mempunyai kandungan elektrolit yang lebih besar dibanding air putih biasa. Berdasarkan penelitian Hendi Saputra et al (2014), Kekuatan tarik baja St 37 pasca pengerasan dengan media pendingin air kelapa didapatkan nilai kekuatan tarik

terendah rata-rata 49,764 kg/mm² dibanding media oli bekas dan air garam maka patut diduga air kelapa dapat digunakan sebagai media pendingin hardening. Kombinasi air dromus oil dipilih dikarenakan cairan ini memiliki nilai kekentalan yang rendah dan sebanding dengan air kelapa dan air serta didesain khusus sebagai pendingin yang berinteraksi langsung dengan logam dalam keadaan temperatur tinggi. Pada penelitian Wahyu Candra (2014), diperoleh hasil penelitian nilai rata-rata kekuatan tarik baja St 60 pada proses hardening tempering menggunakan kadar dromus oil 10% dalam media pendingin adalah 1560.986 Mpa nilai rata-rata kekuatan tarik baja St 60 dengan kadar dromus oil 20% adalah 1546.402 Mpa dan nilai rata-rata kekuatan tarik baja St 60 dengan kadar dromus oil 30% adalah 1528.353 Mpa. Menindak lanjuti penelitian tersebut maka penggunaan dromus oil sebagai media pendingin dapat dikaitkan dengan nilai kekerasan yang diperoleh dengan bahan yang berbeda.

Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada sisi kristal (crystal lattice) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (chromium), nikel, vanadium, cobalt dan tungsten (wolfram). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsure paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (hardness) dan kekuatan tariknya (tensile strength), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (brittle) serta menurunkan keuletannya (ductility).

Klasifikasi Baja

Baja dapat digolongkan berdasarkan komposisi yang terkandung dalam baja sendiri dalam kandungan komposisi kita dapat melihat golongan baja tersebut. Seperti kadar karbon yang terkandung, kadar sulfur dan paduan lain yang digunakan sebagai penyusun baja tersebut. Berikut ini klasifikasi yang dapat digolongkan berdasarkan komposisi yang terkandung.

Baja Karbon

Baja karbon tersusun dari unsur besi dan unsur karbon. Oleh sebab itu, pada umumnya baja sebagian besar hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan nilai persentase kandungan karbon dalam campuran unsur logam baja menjadi salah satu klasifikasi baja. Pada baja karbon dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan nilai karbon yang terkandung dalam baja. Berdasarkan kandungan karbon baja dibagi kedalam tiga macam, yaitu:

Baja karbon rendah

Baja kadar karbon rendah merupakan golongan baja yang mengandung nilai karbon kurang dari 0,3 persen. Dilihat dari biaya produksi baja karbon rendah memiliki biaya yang paling murah dibandingkan dengan baja karbon lainnya, memiliki sifat mudah dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Baja karbon rendah ini dapat digunakan dalam banyak hal seperti pembuatan pagar halaman rumah.

Baja karbon sedang

Baja dengan kadar karbon sedang adalah golongan baja yang mempunyai kadar karbon antara 0,3% - 0,6%. Baja dengan kadar karbon sedang memiliki keunggulan tersendiri jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi dibandingkan baja karbon rendah, baja kadar karbon sedang memiliki kekuatan tarik dan batas regangan yang tinggi, mudah dibentuk oleh mesin, Baja karbon sedang banyak digunakan dalam banyak hal seperti untuk bahan pembuatan poros, bantalan dan rel kereta api.

Baja karbon tinggi

Baja kadar karbon tinggi merupakan baja yang mempunyai komposisi nilai karbon sebesar 0,6% - 1,7% dan memiliki tahanan panas yang sangat tinggi, memiliki nilai kekerasan tinggi, tetapi nilai keuletannya lebih rendah. Baja kadar karbon tinggi mempunyai nilai kuat tarik paling tinggi dibandingkan dengan baja yang lainnya dan banyak digunakan sebagai material perkakas karena sifat yang dimiliki. Salah satu pemanfaatan dari baja kadar karbon tinggi tersebut adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah kadar karbon yang terkandung di dalam baja maka karbon ini banyak dimanfaatkan dalam pembuatan pegas.

Baja ST 41

Baja St 41 merupakan jenis logam medium carbon, artinya logam ini terdiri dari campuran ferrite dan pearlite yang kandungannya sama-sama besar atau setara dengan baja S 40 C (JIS, G4051), dengan komposisi paduan 0,37-0,43 % C, 0,5-0,35% Si, 0,60- 0,90% Mn. Daya tahan baja St 41 ini memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik.

Tabel 1. Kandungan unsur-unsur pada baja St 41 menurut standard (JIS G-3123)

No	Nama Unsur (simbol)	Persentase (%)
1	Mangan (Mn)	0,45
2	Karbon (C)	0,10
3	Silikon (Si)	0,20
4	Fosfor (P)	0,017
5	Belerang (S)	0,009

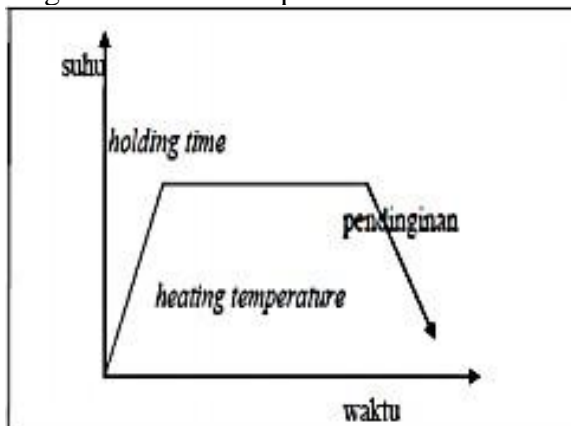
Tabel 2. Sifat mekanik baja ST 41

SIFAT BAJA ST 41

Mekanik	→ 7.7 – 8.03 (x1000kg/m ³)
Baja St 41	→ 190 – 210 Gpa
Berat Spesifik	→ 505 Mpa
7.7- 8,03	→ 179.8

Heat Treatment

Suatu proses perubahan sifat fisik logam atau yang disebut dengan Heat treatment. Heat treatment merupakan pemanasan dan pengaturan laju pendingin sampai struktur mikro berubah. Proses heat treatment digunakan untuk memanaskan spesimen sampai mencapai suhu austenisasinya (Djafrie, 1995 dalam Hanafi,2018). Proses perlakuan panas ini bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Setelah heat treatment terjadi perubahan sifat dapat mencakup keseluruhan bagian logam (Mizhar dan Suherman, 2011). Heat treatment yang sering digunakan adalah, hardening,normalizing dan tempering (Choudhury dkk, 2001 dalm Mustofa,2016). Perlakuan heat treatment pada baja biasanya dilakukan dengan proses heat treatment dan colling. Pada saat pendinginan mengalami terjadinya perubahan martensit yang dapat membuat kekerasan optimum. Sifat-sifat yang lain tidak terpengaruh pada proses pengerasan (Zinn dan Semiatin, 1988 dalam Mustofa, 2016). Gambar proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui skema diagram suhu terhadap waktu di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Suhu Pada Waktu (Karmin dan Ginting, 2012)

Hardening

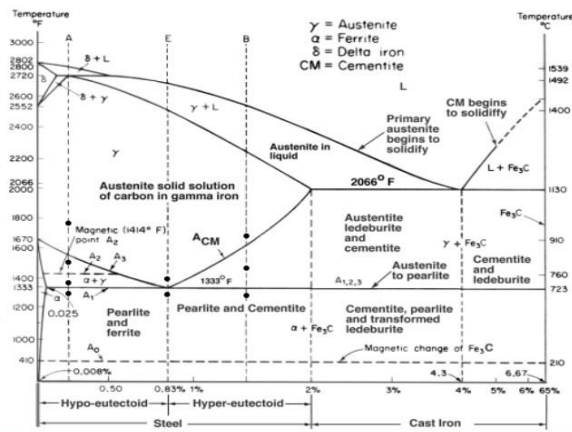
Hardening atau pengerasan biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan fatigue limit / strength yang lebih baik. Pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja ke daerah austenit lalu mendinginkannya dengan

cepat. Dengan pendinginan cepat ini terbentuk martensit, yang keras. Temperatur pemanasannya (temperatur austenitising), lamanya holding time, dan laju pendinginan untuk pengerasan ini banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja, keras yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan, holding time dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas ini, disamping juga pada hardenability baja yang dikeraskan itu. Seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada hardenability, dan tentunya juga pada laju pendinginan yang terjadi.

Diagram Fase

Baja merupakan logam yang sangat banyak digunakan, karena baja mempunyai banyak kegunaannya. Kegunaan baja sangat bergantung pada sifat-sifat baja yang sangat bervariasi yang diperoleh dengan pemaduan dan penerapan perlakuan panas. Sifat mekanik dari baja sangat bergantung pada struktur mikronya, sedangkan struktur mikro sangat mudah dirubah melalui proses perlakuan panas. Jika dipadu dengan karbon, transformasi yang terjadi pada rentang temperatur tertentu erat kaitannya dengan kandungan karbon. Diagram yang menggambarkan hubungan antara temperatur dimana terjadinya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon disebut dengan diagram fasa (H. Anrinal, 2013).

Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Diagram ini juga merupakan dasar dari teknik paduan besi (baja dan besi tuang).



Gambar 2. Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C

Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut:

1. Baja hypo eutectoid dengan kandungan karbon 0,008%-0,80%.
2. Baja eutectoid dengan kandungan karbon 0,8%.
3. Baja hyper eutectoid dengan kandungan karbon 0,8%-2%.

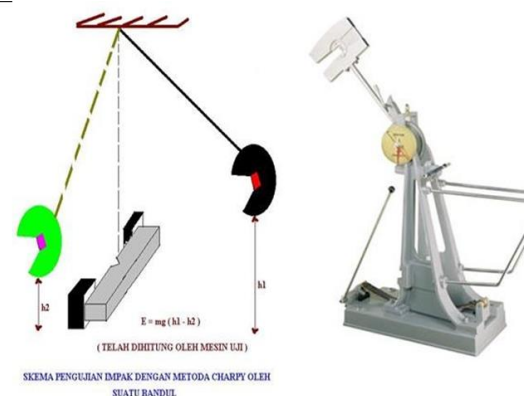
Pada Gambar 2.1 ditampilkan diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C, fasa-fasa yang terdapat pada diagram diatas dapat dijelaskan seperti berikut. A1 adalah temperatur reaksi eutectoid yaitu perubahan fasa γ menjadi α +Fe₃C (perlit) untuk baja hypoeutectoid. A2 adalah titik currie (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik. A3 adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi α (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur. Acm adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe₃C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur. sedangkan pada A123 adalah temperatur transformasi γ menjadi α +fe₃C (perlit) untuk baja hyper eutectoid.

Pengujian Impak (Impact Test)

Uji impact adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (rapid loading). Pengujian impact merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang

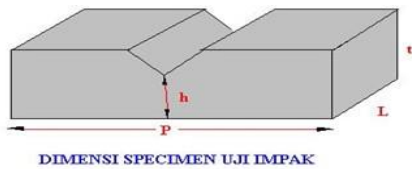
membedakan pengujian impact dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan, Pengujian impact merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi pada bumper mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan.

Pada uji impact terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Pada pengujian impact ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut.



Gambar 3. Alat Uji impact

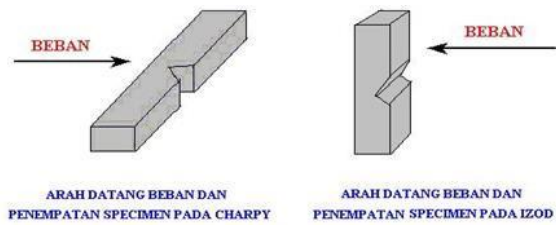
Dimensi dari specimen uji adalah sebagai berikut :



DIMENSI SPECIMEN UJI IMPAK

Keterangan : P = 55 mm Sudut takikan = 45°
 L = 10 mm h = 8mm t = 10 mm

Gambar 4. Dimensi specimen uji



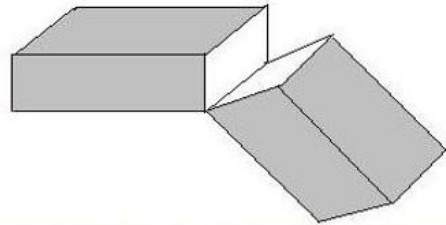
ARAH DATANG BEBAN DAN PENEMPATAN SPECIMEN PADA CHARPY ARAH DATANG BEBAN DAN PENEMPATAN SPECIMEN PADA IZOD

Gambar 6. Penempatan specimen

Ada dua metode yang dijelaskan dalam standar yang relatif paling banyak digunakan, yaitu:

Metode Charpy

Pada metode ini peletakan spesimen dilakukan secara horizontal atau mendatar dengan takikan diletakan membelakangi arah striking edge. Dalam prakteknya metode Charpy ini lebih banyak digunakan dari pada metode yang lain. Hal ini disebabkan karena pada metode ini energi dari striking edge yang hilang akibat tahanan peletak spesimen lebih kecil dari pada metode yang lain. Dengan ini asumsi bahwa energi yang hilang tersebut diserap oleh spesimen yang patah dapat semakin didekati. Posisi peletakan spesimen pada metode ini digambarkan pada gambar dibawah.

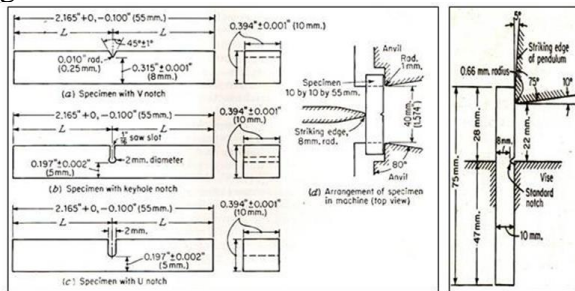


Gambar 7. Bentuk spesimen setelah pengujian impact

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dimana pada penelitian ini melibatkan variabel-variabel yang saling terkait satu sama lain. Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel bebas, berupa holding time dan media pendingin dan variabel terikatnya adalah hasil pengujian impact sedangkan untuk variabel kontrolnya adalah temperature pemanasan sebesar 900 C.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST 41. Sebelum dilakukan proses hardening, dibuat specimen yang menyesuaikan dengan specimen pengujian impact metode charpy. Untuk setiap variasi holding time dan variasi media pendingin serta yang tidak memakai variasi holding time dan variasi media pendingin, masing-masing dibuat tiga specimen untuk mendukung keakuratan hasil pengujian. Setelah specimen selesai dibuat maka dilakukan proses laku panas hardening dengan cara memanaskan specimen dengan temperatur pemanasan 900 °C dengan variasi holding time 5 menit, 10 menit, 15 menit dan variasi media pendingin air, air garam dan oli sae 10. Kemudian baik specimen yang tanpa variasi maupun dengan variasi holding time dan media pendingin dilakukan pengujian impact



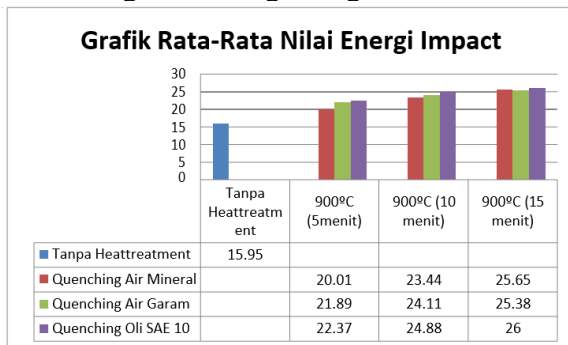
Gambar 5. Posisi peletakan specimen

Metode Izod

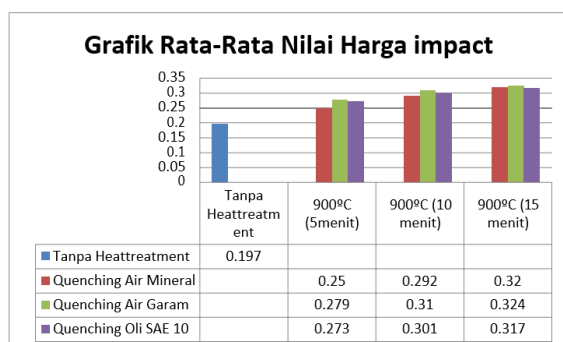
Pada gambar yang terletak diatas sebelah kanan merupakan gambar skema pengujian menurut izod. Metode ini memiliki perbedaan dengan metode Charpy dalam hal peletakan spesimen yang diletakan secara vertical serta pada dimensi spesimennya yang dipakai dalam metode Charpy, yaitu 75mm sedangkan untuk takikannya diletakan 28mm dari salah satu ujungnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian impact yang dilakukan didapatkan hasil pengujian yang ditampilkan dalam diagram batang sebagai berikut :



Gambar 8. Nilai rata-rata energi impact



Gambar 9. Nilai rata-rata harga impact

Berdasarkan hasil data pengujian diatas memperlihatkan bahwa bagaimana pengaruh variasi dan pendingin terhadap energi impact dan harga impact . Hasil pengujian Baja ST 41 pada Spesimen tanpa perlakuan panas cenderung lebih getas di bandingkan spesimen yang sudah melakukan proses perlakuan panas bisa di lihat dari perhitungan baja ST 41 tanpa perlakuan panas memiliki energi impact $E = 15,95$ J dan $HI = 0,197$ Joule/m²

Spesimen suhu 900°C dengan holding time 5 menit dengan media pendingin Air Mineral setelah di uji impact dihasil kan energi impact dan harga impact sebesar 20,01 joule, $HI = 0,25$ joule/m². Pada spesimen holding time 10 menit setelah di uji impact memiliki nilai energi impact dan harga impact sebesar 23,44 joule, $HI = 0,292$ joule/m². Dan pada spesimen dengan holding time 15 menit setelah di uji impact memiliki nilai energi impact dan harga impact $E = 25,65$ joule, $HI = 0,32$ joule/m²

Spesimen suhu 900°C dengan holding time 5 menit dengan media pendingin Air Garam setelah di uji impact dihasil kan energi impact dan harga impact sebesar 22,37 joule, $HI = 0,279$ joule/m². Pada spesimen holding time 10 menit setelah di uji impact memiliki nilai energi impact dan harga impact sebesar 24,88 joule, $HI = 0,310$ joule/m². Dan pada spesimen dengan holding time 15 menit setelah di uji impact memiliki nilai energi impact dan harga impact $E = 26$ joule, $HI = 0,324$ joule/m²

Spesimen suhu 900°C dengan holding time 5 menit dengan media pendingin Oli SAE 10 setelah di uji impact dihasil kan energi impact dan harga impact sebesar 21,89 joule, $HI = 0,273$ joule/m². Pada spesimen holding time 10 menit setelah di uji impact memiliki nilai energi impact dan harga impact sebesar 24,11 joule, $HI = 0,301$ joule/m². Dan pada spesimen dengan holding time 15 menit setelah di uji impact memiliki nilai energi impact dan harga impact $E = 25,38$ joule, $HI = 0,324$ joule/m².

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian impact dapat disimpulkan bahwa energi paling rendah yaitu pada specimen yang tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 15,95 joule sedangkan energi paling tinggi dengan holding time 15 menit dan media pendingin oli SAE 10 yaitu sebesar 26 joule.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous A. 2012. Baja. <http://id.wikipedia.org/wiki/Baja>.Diakses Pada tanggal 13 Agustus 2012. Pukul 23:00 Wib.
- Askeland., D. R., 1985, "The Science and Engineering of Material", Alternate Edition, PWS Engineering, Boston, USA
- Abdi94.com.(2014/06). Pengujian impact
- Budianto A.,K Purwantini, dan BA.T Sujitno. 2009. Pengamatan Struktur Mikro Pada Korosi Antara butir dari material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasana JNF 3(2):107-130

- Bahtiar, M. Iqbal, Supramono. 2014. Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas SAE40 Pada Proses Quenching dan Tempering Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Mekanikal* 5(1):455-463
- Kowser Md.A., dan Md.A.2015. Effect of Quenching Medium on Hardness of Carburized Low Carbon Steel for Manufacturing of Spindle Used in Spinning Mill. *Jurnal Procedia Engineering* 6(105):814-820
- Margono, 2008. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (Holding Time) Terhadap Kekerasan Logam. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah* 6(3):156-160
- Nur Hamzah, (2017). Pengaruh Penggunaan Media Pendingin Air Garam, Air Tawar Dan Air Asam Pada Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Baja ST-60. Fakultas Teknik Negeri Makassar.
- Pramono A.,2011. Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja AISI 1045 Media Quenching untuk Aplikasi Sprocket Rantai *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M* 5(1):32-38
- Riyan Hidayat. (2019). Pengaruh variasi holding time pada heat treatment tempering Terhadap kekerasan dan kekuatan tarik baja AISI 1045. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Surdia T, Saito S. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Ke Empat. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Supardi, Rochmad. 1997. Korosi. Bandung: Tar sito
- Saputra H., A. Syarif, Y. Maulana. 2014. Analisa Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam* 3(2):91-98
- Widi material.com (2015/03). Laporan praktikum pengujian mekanik
- Suharno, Harjanto Budi , (2012). Pengaruh Variasi Temperatur Dan Holding Time Dengan Media Quenching Oli Mesran Sae 40 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Assab 760. Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, Universitas Negeri Surakarta
- Setyawan Dwi, Rhohman Fatkhur, Mufarrih Am, (2018). Pengaruh Proses Perlakuan Panas Terhadap Penggunaan Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Material ST-41, Universitas Nusantara PGRI Kediri.