

PENINGKATAN KEKUATAN TARIK BAJA KARBON AISI 1040 AKIBAT PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PERLAKUAN PANAS

Yose Rizal^(*)

^(*)Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian

Email : yose_pury@yahoo.com

RINGKASAN

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui peningkatan kekuatan tarik baja karbon AISI 1040 akibat proses perlakuan panas dengan memvariasikan media pendingin dan mengetahui perubahan sifat mekanik yaitu kekuatan tarik Baja Karbon AISI 1040 akibat proses pendinginan dengan media pendingin yang berbeda melalui diagram hasil uji tarik. Luaran penelitian ini diharapkan adalah publikasi ilmiah dalam jurnal yang mempunyai ISSN yaitu Jurnal APTEK. Metode Penelitian yang digunakan dengan melakukan proses perlakuan panas terhadap spesimen baja karbon AISI 1040 pada temperatur 930^oC selama 1 (satu) jam, kemudian ketiga model/spesimen didinginkan pada 3 (tiga) media pendingin berbeda yaitu oli SAE 40W, larutan garam dan udara. Setelah itu dilakukan pengujian kekekuatan tarik (uji-tarik) terhadap ketiga specimen dan mencatatkan hasil yang diperoleh. Dari hasil penelitian diperoleh material dasar Baja Karbon 1040 sebelum perlakuan panas mempunyai kekuatan tarik sebesar 698,59 MPa, sedangkan setelah dilakukan perlakuan panas diperoleh kekuatan tarik sebesar 1106,05 MPa menggunakan media larutan garam, 658,53 MPa menggunakan pendinginan udara, dan 783,57 MPa menggunakan pendinginan oli SAE 40. Kesimpulan penelitian ini bahwa peningkatan kekuatan tarik Baja Karbon AISI 1040 setelah perlakuan panas diperoleh nilai tertinggi sebesar 1106,05 MPa dengan menggunakan media pendingin larutan garam.

Kata Kunci : *Perlakuan Panas, Media Pendingin, Kekuatan Tarik dan Baja Karbon AISI 1040.*

I. PENDAHULUAN

Baja karbon, terutama karbon medium, merupakan logam yang banyak digunakan terutama untuk membuat alat-alat perkakas, alat-alat pertanian, komponen-komponen otomotif, konstruksi, pemipaan, alat-alat rumah tangga. Dalam aplikasi pemakaiannya, semua baja akan terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan gesek, tarik maupun tekan sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Usaha menjaga baja agar lebih tahan gesekan, tarikan atau tekanan adalah dengan cara mengeraskan baja tersebut, yaitu salah satunya dengan perlakuan panas (*heat treatment*).

Proses ini meliputi pemanasan baja karbon pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media pendingin tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai banyak tujuan, diantaranya untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan sebagainya, tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan parameter yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan dan media pendingin yang digunakan.

Salah satu tujuan proses perlakuan panas pada baja adalah untuk pengerasan (*hardening*), yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat dinamakan *quench*, (Djafrie, 1995). Akibat proses *hardening* pada baja, maka timbulnya tegangan dalam (*internal stress*), yang akan menaikkan kekerasan namun terkadang mengakibatkan baja menjadi getas (*brittle*), terutama pada baja karbon tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tarik baja karbon AISI 1040 dengan melakukan perlakuan panas (*heat treatment*) dan memvariasikan media pendingin. Sehingga bila diketahui tingkat perbandingan kekuatannya dan kesesuaiannya terhadap kegunaannya, maka dapat dijadikan suatu referensi yang valid untuk menggunakan media pendingin yang tepat, agar menghemat waktu dan biaya produksi.

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan proses perlakuan panas pada spesimen baja karbon AISI 1040 dengan faktor perbedaan media pendingin dan melalui pengujian specimen . Pengujian specimen yang digunakan adalah

pengujian kekuatan tarik (uji tarik) model HUNG TA HT-8503.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kekuatan Tarik Baja

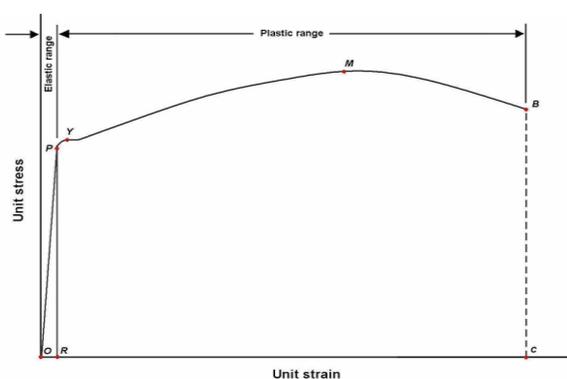
Sifat mekanis baja dipengaruhi oleh cara mengadakan ikatan karbon dengan besi. Menurut Schonmetz (1985) terdapat 2 bentuk utama kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu :

1. Ferit, yaitu besi murni (Fe) terletak rapat saling berdekatan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferit merupakan bagian baja yang paling lunak, ferrit murni tidak akan cocok digunakan sebagai bahan untuk benda kerja yang menahan beban karena kekuatannya kecil.
2. Perlit, merupakan campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlitis mempunyai kristal ferrit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel.

Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Parameter pengujian tarik adalah :

- Batas proporsionalitas

Merupakan daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proporsional dalam hubungan linier $\sigma = E\varepsilon$ (bandingkan dengan hubungan $y = mx$; dimana y mewakili tegangan; x mewakili regangan dan m mewakili slope kemiringan dari modulus kekakuan). Titik P pada Gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan-regangan.



Gambar 2.1. Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji

- Batas Elastis

Daerah elastis adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bahagian dari batas elastik ini. Selanjutnya bila bahan terus diberikan tegangan (deformasi dari luar) maka batas elastis akan terlampaui pada akhirnya sehingga bahan tidak akan kembali kepada ukuran semula. Dengan kata lain dapat didefinisikan bahwa batas elastis merupakan suatu titik dimana tegangan yang diberikan akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen (plastis) pertama kalinya.

- Titik luluh dan kekuatan luluh

Titik ini merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut *tegangan luluh (yield stress)*. Titik luluh ditunjukkan oleh titik Y pada Gambar 2.1 di atas. Gejala luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur kristal BCC dan FCC yang membentuk interstitial solid solution dari atom-atom carbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antara dislokasi dan atom-atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti mild steel menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield point*) dan titik luluh atas (*upper yield point*).

Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran kemampuan bahan menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan bending atau puntiran. Di sisi lain, batas luluh ini harus dicapai ataupun dilewati bila bahan (logam) dipakai dalam proses manufaktur produk- produk logam seperti proses *rolling, drawing, stretching* dan sebagainya. Dapat dikatakan bahwa titik luluh adalah suatu tingkat tegangan yang:

- Tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in service*)
- Harus dilewati dalam proses manufaktur logam (*forming process*)

- Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perputahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum σ_{uts} ditentukan dari beban maksimum F_{maks} dibagi luas penampang awal A_0 . Pada bahan ulet tegangan maksimum ini ditunjukkan oleh titik M (Gambar 2.1) dan selanjutnya bahan akan terus

berdeformasi hingga titik B. Dalam kaitannya dengan penggunaan struktural maupun dalam proses forming bahan, kekuatan maksimum adalah batas tegangan yang sama sekali tidak boleh dilewati.

- **Kekuatan Putus (*breaking strength*)**

Kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus (*F breaking*) dengan luas penampang awal *Ao*. Untuk bahan yang bersifat ulet pada saat beban maksimum *M* terlampaui dan bahan terus terdeformasi hingga titik putus B maka terjadi mekanisme penciutan (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada bahan ulet kekuatan putus adalah lebih kecil daripada kekuatan maksimum sementara pada bahan getas kekuatan putus adalah sama dengan kekuatan maksimumnya.

Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran keuletan bahan yaitu:

• **Persentase perpanjangan (*elongation*)**

Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

$$\text{Elongasi, } \epsilon (\%) = [(L_f - L_o) / L_o] \times 100\% \quad (1.2)$$

Dimana *L_f* adalah panjang akhir dan *L_o* panjang awal dari benda uji.

• **Persentase pengurangan/reduksi penampang (*Area Reduction*)**

Diukur sebagai pengurangan luas penampang (cross-section) setelah perpatahan terhadap luas penampang awalnya.

$$\text{Reduksi penampang } R (\%) = [(A_o - A_f) / A_o] \times 100\% \quad (1.3)$$

Dimana: *A_f* adalah luas penampang akhir dan *A_o* luas penampang awal.

- **Modulus elastisitas (*E*)**

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.1), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \sigma / \epsilon \text{ atau } E = \tan \alpha$$

dimana : α : sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan.

Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai

modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan.

Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Menurut penelitian Bakri dan Sri Candrabakty (2006) tentang menganalisa efek waktu perlakuan panas temper terhadap kekuatan dan ketangguhan baja komersial. Spesimen kekuatan tarik dan ketangguhan impak di austenisasi pada temperature 1000°C selama 45 menit dan di-quenching ke dalam oli. Proses ini dilanjutkan dengan proses temper selama 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan ketangguhan tidak terlalu signifikan perubahannya terhadap variasi waktu temper.

Menurut Edih Supardi (1999) dasar pengujian pengerasan pada bahan baja yaitu suatu proses pemanasan dan pendinginan untuk mendapatkan struktur keras yang disebut *martensit*. *Martensit* yaitu fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau mempunyai bentuk kristal *Body Centered Tetragonal* (BCT)

Untuk menambah kekerasan baja, dapat dilakukan dengan pengerjaan yang dimana baja dipanaskan sampai suhu 850°C kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*). Tujuan pengerjaan ini dengan maksud pengerasan baja adalah mendinginkan atau melindungi suatu perubahan *austenitic* dari pada pendinginan lain sampai temperatur mendekati 790°C. Jika berhasil mendinginkan *austenitic* sampai 790°C akan berubah dengan cepat ke suatu struktur yang keras dan relatif rapuh yang dikenal *martensit* untuk pengerjaan kedua dalam pengerasan baja yaitu pendinginan cepat (*quenching*) dari *austenitic* yang menghasilkan struktur *martensit*.

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu istilah yang menjelaskan suatu operasi atau kombinasi/gabungan operasi yang melibatkan pemanasan dan pendinginan yang terkontrol terhadap suatu logam atau paduan logam dalam keadaan padatan untuk tujuan memodifikasi struktur mikro sehingga diperoleh perubahan sifat-sifatnya (terutama sifat mekanis) sesuai dengan yang diinginkan. Perlakuan panas paduan logam memegang peranan penting dalam rekayasa mengingat fakta bahwa hampir semua komponen teknik yang terbuat dari logam, kecuali beberapa besi cor, memerlukan paling tidak satu tahapan perlakuan panas dari siklus produksi dengan tujuan guna memenuhi persyaratan

sifat-sifat yang diinginkan. Sebagai contoh, barang hasil tempa, pengecoran, pengerolan dan fabrikasi (pembentukan dan penyambungan) dilakukan pada suhu panas sebelum proses permesinan. Dalam pengerolan panas lembaran baja, misalnya selain deformasi maka temperatur dan kecepatan pendinginan merupakan variabel yang dapat diatur untuk mendapatkan variasi struktur mikro dan dengan demikian juga variasi sifat akhir baja hasil roll.

Media Pendingin

Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbedabeda, perbedaan kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, ketebalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Media pendingin yang lazim digunakan untuk mendinginkan spesimen pada proses pengerasan baja yaitu Oli Mesran SAE 40 karena media pendingin tersebut digunakan sesuai dengan kemampuannya untuk memperoleh hasil yang diharapkan. Penggunaan pelumas sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung dari besarnya viskositas pelumas.

Berbagai media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

1. Oli SAE 40

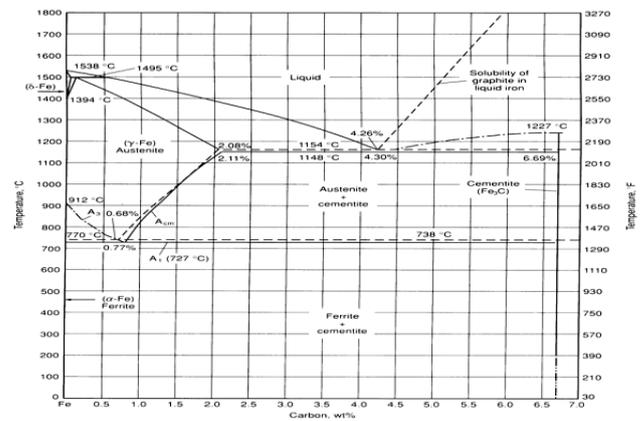
Pelumas adalah minyak yang mempunyai sifat untuk selalu melekat dan menyebar pada permukaan-permukaan yang bergeser, sehingga membuat pengausan dan kenaikan suhu kecil sekali. Pelumas yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah.

2. Air (larutan garam)

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan meningkat zat arang.

3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal – kristal dan kemungkinan mengikat unsur – unsur lain dari udara.

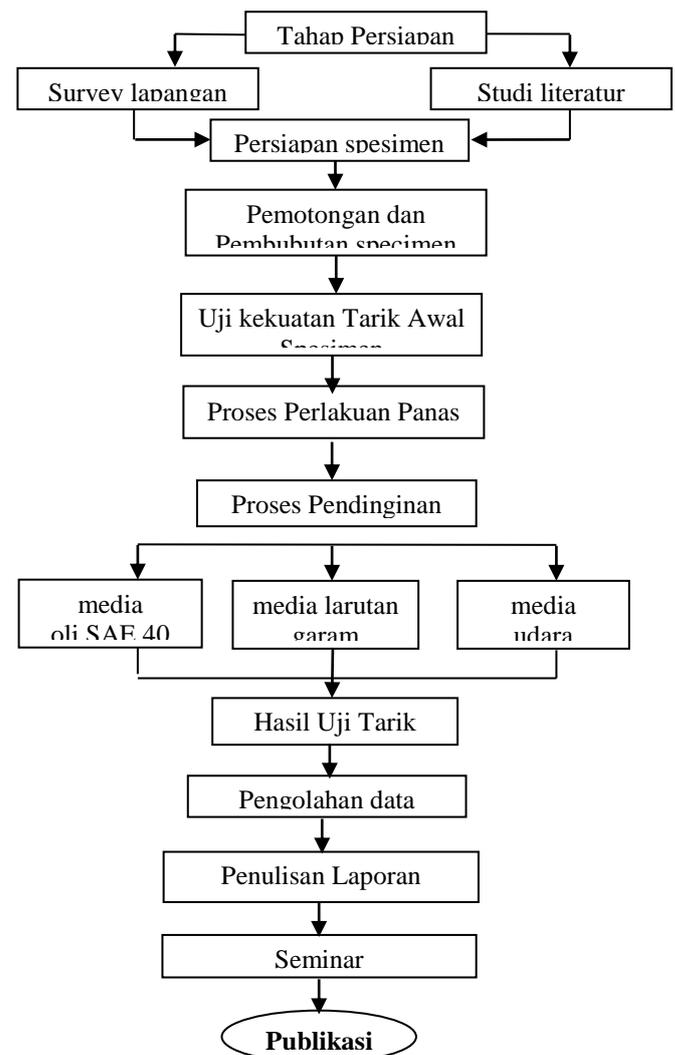


Gambar 2.2 Diagram fasa Fe-C

Diagram fasa menghubungkan komposisi, temperatur dan fasa dalam suatu diagram, disebut juga diagram kesetimbangan (equilibrium diagram), karena kita dapat menjumpai beberapa fasa dalam satu diagram.

3. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan seperti pada gambar dibawah ini.



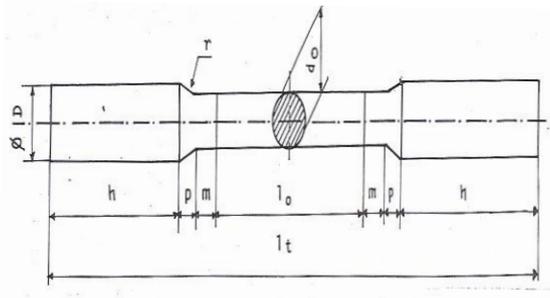
Gambar 3.1 Skema tahapan penelitian

Lokasi Penelitian

Proses pembuatan specimen dan perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Pasir Pengaraian, dan untuk pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Islam Riau (UIR) Pekanbaru.

Spesimen Yang Digunakan

Bahan yang dipilih dalam penelitian ini adalah baja karbon menengah AISI 1040. Baja karbon ini dibentuk menjadi specimen kekuatan tarik.



Gambar 3.2. Dimensi specimen Uji Tarik

$r = 30 \text{ mm}$ $p = 10 \text{ mm}$
 $d = 12 \text{ mm}$ $m = 10 \text{ mm}$
 $D = 18 \text{ mm}$ $l_0 = 60 \text{ mm}$
 $h = 50 \text{ mm}$ $l_t = 200 \text{ mm}$

Spesimen pengujian tarik (gambar 3.2) mengacu pada specimen berpenampang bulat menggunakan standard pengujian ASTM E8 A48.

Peralatan Yang digunakan

Perlatan yang digunakan antara lain :

1. Mesin Gergaji.
2. Mesin Gerinda.
3. Mesin Bubut
4. Oven Pemanas.
5. Alat Uji Tarik

Menyiapkan specimen



Gambar 3.3. Spesimen Uji Tarik Baja Karbon AISI 1040

Proses Perlakuan Panas



Gambar 3.4. Spesimen dipanaskan 930°C dalam oven

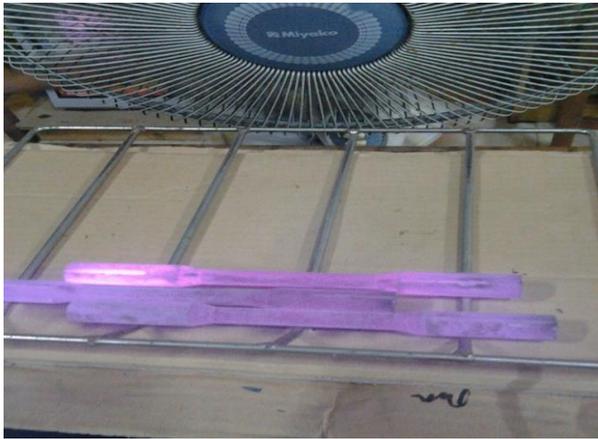
Proses Pendinginan



Gambar 3.5.. Pendinginan specimen menggunakan Oli SAE 40



Gambar 3.6.. Pendinginan specimen menggunakan larutan garam



Gambar 3.7. Pendinginan specimen menggunakan udara



Gambar 3.8. Alat Uji tarik HUNG TA HT-8503

Pengujian Tarik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekuatan Tarik

Dari pengujian kekuatan tarik yang dilakukan, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.1. Hasil Uji Tarik Sebelum Perlakuan Panas (material dasar)

Spesimen	Area (mm ²)	Maks Beban (N)	Kekuatan Yield (N/mm ²)	Kekuatan Tarik MPa	Elongation (%)	0,2 % YS
1	118.823	78253.6	421.68	658.57	4,60	419.08
2	117.859	90306.8	457.22	766.23	4,60	452.16
3	113.097	75886.4	434.44	670.98	4,60	434.44
Rerata	116.593	81482.26	437.78	698.59	4,60	435.23

Tabel 4.2. Hasil Uji Tarik Setelah Perlakuan Panas Menggunakan Pendingin Oli SAE 40

Spesimen	Area (mm ²)	Maks Beban (N)	Kekuatan Yield (N/mm ²)	Kekuatan Tarik MPa	Elongation (%)	0,2 % YS
1	122.718	89880.9	503.69	732.42	4,60	503.69
2	117.859	93674.6	537.84	794.80	4,60	537.84
3	116.899	96267.2	586.81	823.51	4,60	586.81
Rerata	119.16	93274.23	542.78	783.58	4,60	542.78

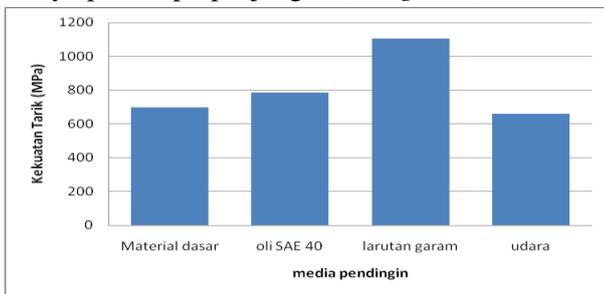
Tabel 4.3. Hasil Uji Tarik Setelah Perlakuan Panas Menggunakan pendingin Larutan Garam

Spesimen	Area (mm ²)	Maks Beban (N)	Kekuatan Yield (N/mm ²)	Kekuatan Tarik MPa	Elongation (%)	0,2 % YS
1	120763	136166.1	837.48	1127.55	4,60	837.48
2	120.763	115377.1	918.14	955.40	4,60	918.14
3	118.899	144394.3	493.85	1235.21	4,60	493.85
Rerata	40334.22	131979.2	749.82	1106.05	4,60	749.82

Tabel 4.4. Hasil Uji Tarik Setelah Perlakuan Panas Menggunakan pendingin Udara

Spesimen	Area (mm ²)	Maks Beban (N)	Kekuatan Yield (N/mm ²)	Kekuatan Tarik MPa	Elongation (%)	0,2 % YS
1	117.859	74097.2	415.85	628.69	4,60	415.85
2	121.739	87436.4	473.85	718.23	4,60	473.85
3	119.791	75308.9	415.26	628.67	4,60	415.26
Rerata	119.80	78947.50	434.99	658.53	4,60	434.99

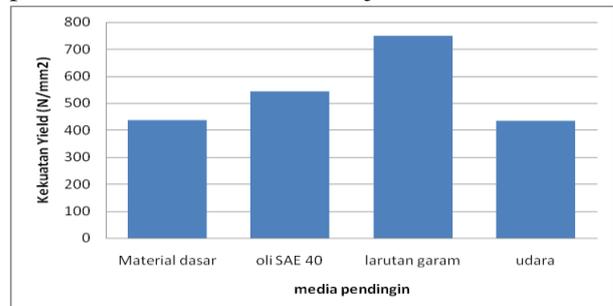
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari baja karbon AISI 1040, Hasil pengujian tarik berupa parameter kekuatan tarik (*ultimate strength*) maupun luluh (*yield strength*), parameter kaliatan/keuletan yang ditunjukkan dengan adanya prosen perpanjangan (*elongation*).



Gambar 4.1. Grafik Kekuatan tarik Vs media pendingin.

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa pengaruh media pendingin larutan garam terhadap kekuatan tarik menjadi lebih besar dari material dasar dan media pendingin lainnya. Sedangkan pengaruh media pendingin udara terhadap kekuatan tarik lebih rendah

dari material dasar. Hal ini terjadi karena laju pendinginan cepat (larutan garam) memungkinkan komposisi dan struktur material berubah lebih cepat pada posisinya masing-masing hal ini mengakibatkan kekuatan tarik menjadi lebih tinggi dari material dasar. Sedangkan proses pendinginan menggunakan udara memungkinkan lambat terjadinya perubahan fasa dari austenite ke ferit yang mengakibatkan perubahan kekuatan tarik menjadi lebih rendah.



Gambar 4.2. Grafik Kekuatan Yield Vs media pendingin.

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa pengaruh media pendingin larutan garam terhadap kekuatan yield (luluh) menjadi lebih besar dari material dasar dan media pendingin lainnya. Hal ini berarti juga bahwa daerah elastisitasnya meningkat dari material dasar. Sedangkan pengaruh media pendingin udara terhadap kekuatan Yield lebih rendah dari material dasar. Hal ini terjadi karena laju pendinginan cepat (larutan garam) memungkinkan komposisi dan struktur material berubah lebih cepat pada posisinya masing-masing hal ini mengakibatkan kekuatan yield (luluh) menjadi lebih tinggi dari material dasar. Sedangkan proses pendinginan menggunakan udara memungkinkan lambat terjadinya perubahan fasa dari austenite ke ferit yang mengakibatkan perubahan kekuatan yield menjadi lebih rendah.

Semakin keras suatu material atau mengalami proses pengerasan, maka keuletannya akan menurun dan cenderung rapuh dan mudah pecah, karena kepadatan struktur semakin rapat sehingga tegangan muka antar atomnya tinggi, tapi hal ini dapat diatasi dengan proses pemanasan ulang setelah proses perlakuan panas sampai titik transformasi, untuk menghilangkan tegangan antar atom juga mengembalikan struktur molekul ke bentuk awal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa kekuatan tarik spesimen baja karbon AISI 1040 yang paling tinggi diperoleh pada perlakuan panas dengan menggunakan media pendingin larutan garam sebesar 1106,05 MPa lebih tinggi dari kekuatan tarik material dasar sebesar 698,59 MPa.

Saran

Saran yang perlu diperhatikan adalah lama proses pemanasan (*tempering*) perlu divariasikan dengan interval 60 menit, 75 menit 90 menit dan 120 menit, untuk mengetahui pengaruh waktu tempering terhadap kekuatan tarik. Dan proses pembubutan spesimen diharapkan dengan hasil permukaan yang halus untuk mencegah efek takikan yang mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan yang menurunkan kekuatan material.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Huda, Mafudz.** (2008), *Perlakuan panas*, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Mercu Buana, Indonesia
- Bakri dan Sri Chandrabakty** (2006). "Jurnal SMARTek, Vol. 4, No. 2, Mei 2006: 97 - 102
- Hery Tristijanto** (2012). *Jurnal Foundry*, Vol. 2 No. 2 Oktober 2012 : 6 – 10
- Karl - Erik Themly**(1984). *Steel And Its Heat Treatment*. Head of research and Development, Sweden.
- Rochim Suratman**(1994). *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- R. Djoko Andrijono** (2005). " *Jurnal Ilmu – Ilmu Teknik DIAGONAL*." Unmer Malang.
- Rubijanto** (2006). " *Jurnal Traksi. Volume 4. No. 1, Juni 2006*": 12 – 19
- Sudjana** (1989). " *Desain Dan Analisa Eksperimen*", Bandung.
- Suprapti** (1989). " *Pengetahuan Bahan*". ITS Surabaya.
- Suheni** (2003). " *Jurnal IPTEK*, Vol. 5 Nomor 3." Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Wahid Suherman**(1988). " *Ilmu Logam 1*." Institut Teknologi Surabaya.
- Wardoyo, Joko Tri.** (2005), *Jurnal TEKNOIN*, Volume 10 No.3, September 2005, Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda.