

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI POLIMER DARI MEDIA PENDINGIN PADA PROSES *QUENCH-TEMPER* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KETANGGUHAN IMPAK DARI BAJA AISI 4140

Susri Mizhar^{1,*} dan Sugianto Simatupang²

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Medan
Jl. Gedung Arca No. 52 Telp.(061) 7363771 Fax. (061) 734794 Medan 20271 Sumatera Utara

*E.mail : susrimizhar@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketangguhan (*toughness*) dan struktur mikro dari baja karbon menengah paduan rendah (*low alloy medium carbon steel*) AISI 4140 setelah proses *Quench-Temper* dengan variasi konsentrasi polimer dari media pendingin dan variasi temperatur *tempering*. Pada penelitian ini material terlebih dahulu di bentuk menjadi spesimen impak dan kemudian di panaskan (*heat treatment*) pada temperatur 860°C dan di tahan selama 1 jam lalu didinginkan dengan cepat (*quench*) pada media pendingin polimer dengan variasi konsentrasi 20%, 30% dan 40% sampai mencapai temperatur kamar. Kemudian di *Tempering* dengan variasi temperatur 400°C dan temperatur 500°C dengan waktu penahanan (*hold time*) selama 1 jam. Hasil pengujian impak tertinggi setelah proses *tempering* pada temperatur 500°C pada konsentrasi 40% polimer yaitu 1J/mm². Pengamatan struktur mikro memperlihatkan fasa martensite setelah proses *quench* dan perubahan fasa *temper martensite* terlihat setelah proses *temper* pada temperatur 400°C dan temperatur 500°C.

Kata kunci ; AISI 4140, Mikrostruktur, Ketangguhan impak, *Quench*, *Tempering*.

PENDAHULUAN

Mengendalikan sifat mekanis bahan yang terbuat dari baja adalah penting sebab sifat mekanis baja dapat berubah secara drastis bahkan di kelompok yang sama setelah penerapan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Salah satu jenis baja yang sering digunakan dalam dunia industri adalah tipe AISI 4140, baja tersebut banyak digunakan pada komponen mesin karena sifat mekanis yang dimiliki baja ini dapat direkayasa sesuai dengan penggunaan.

Dalam pembuatan komponen yang baik harus ada hubungan antara sifat mekanis yang dibutuhkan dengan manufaktur yang akan dilakukan. Sering terjadi kesalahan seperti hasil produksi yang tidak sesuai dengan perencanaan (*design*), kemungkinan

pada saat melakukan pembuatan komponen mengalami kesulitan yang disebabkan kurangnya data - data pendukung yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan perencanaan (*design*).

Untuk dapat mengatasi hal tersebut perlu dilakukan penelitian awal agar data - data pendukung yang dibutuhkan saat melakukan proses produksi (*manufacture*) dapat digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas (*quench*) dengan variasi media pendingin terhadap sifat mekanis (*mechanical properties*) dan struktur mikro pada baja karbon sedang tipe AISI 4140 .

Proses perlakuan panas meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu,

dipertahankan pada waktu tertentu, dan didinginkan pada media pendingin tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir Kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik dan sebagainya, tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanas dan media pendingin yang digunakan (Wibowo, 2006).

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan bajad dari kerapuhan disebut dengan memudahkan (tempering). Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur tempering (dibawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan (Koswara, 1991).

Penggunaan pelumas sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung dari besarnya viskositas pelumas. Atas dasar untuk memperbaiki sifat baja tersebut, maka peneliti memilih perlakuan panas dengan quenching media polimer dan dilanjutkan perlakuan panas tempering. Peneliti ini memanfaatkan baja karbon menengah paduan rendah AISI 4140 untuk mengetahui sifat mekanik melalui uji ketangguhan serta sifat fisis melalui uji mikro struktur.

George Krauss (2005), ketika kekuatan tinggi dan dibutuhkan ketangguhan yang cukup, tempering dilakukan pada temperatur rendah sekitar 200°C (390°F) dan ketika kekuatan cukup dan kebutuhan ketangguhan yang tinggi, tempering dilakukan pada temperatur tinggi sekitar 500°C (930°F). Woei-Shyan Lee dan Tzay-Tin Su (1997), Variasi kekuatan dan kekerasan dari baja AISI 4340 mengindikasikan penurunan kekuatan sebagai kenaikan temperatur dan waktu penahan selama tempering. Keuletan dari material meningkat dengan peningkatan temperatur dan waktu penahanan, tetapi

ketangguhan dan keuletan merosot ketika ditemper pada temperatur 300°C.

Karmin (2009), Salah satu upaya untuk meningkatkan ketahanan aus, kekerasan dan kekuatan baja dapat dilakukan dengan proses pengerasan termal, pada proses ini baja mengalami beberapa tahap proses yaitu: pemanasan awal, pemanasan lanjut, penahanan waktu pada suhu stabil, dan pendinginan. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam logam baja dan unsur lainnya dalam baja, temperature pemanasan, *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan saat proses perlakuan panas, perlu dipahami pada proses pengerasan baja, bahan yang diproses rentan akan kejadian yang tidak kita inginkan, seperti distorsi, retak atau pun tidak tercapainya kekerasan, yang kita inginkan. Untuk menanggulangi hal ini perlu dilakukan perencanaan dan pengendalian yang benar, baik segi teoritis maupun pelaksanaan praktek dalam proses pengerasan.

Menurut Muhammad Zuchry (2012), Temperatur dan bentuk takikan akan berpengaruh terhadap kekuatan impak bahan dan ketahanan bahan yang mengalami tumbukan tergantung dari sifat mekanis bahan tersebut apakah bahan tersebut ulet, kuat, getas, ataupun rapuh.

Menurut Bayu Adie S Dkk (2013), media pendingin air dan oli menghasilkan mikro struktur berupa martensit dan retained austenite. Pada pendinginan celup polimer dihasilkan struktur mikro berupa campuran bainit bawah dan martensit. Sedangkan pada pendinginan udara struktur yang dihasilkan adalah ferrit dan perlit. Pendinginan dengan larutan PVA 20% paling mendekati standart kelayakan kekerasan yaitu 416 HBN, dibawah media pendingin air dan oli SAE 20W menunjukkan koefisien ekspansi yang lebih kecil dibandingkan polimer ataupun air. Dengan mempertimbangkan hasil pengujian, heat treatment dengan quench oli SAE 20W menunjukkan performa yang paling optimum

Tempering

Tempering adalah pemanasan kembali dari baja yang di keraskan pada temperatur dibawah temperatur kritis yang disusul dengan pendinginan untuk menghilangkan tegangan dalam (sisa) dari baja akibat proses *quenching*. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat di turunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Temperatur pemanasan pada proses tempering memiliki beberapa ingkatan:

Pengujian Impak

Baja karbon yang biasanya bersifat ulet dapat diubah menjadi getas bila berada dalam kondisi tertentu. Maka disini untuk menentukan kepekaan terhadap patah getas, sering digunakan pengujian impak. Benda uji disiapkan secara khusus, ukuran dan bentuknya ditentukan sesuai standart. Jenis pengujian impak yang dikenal ada dua macam yaitu dengan metode *Izop* dan *Charpy*.

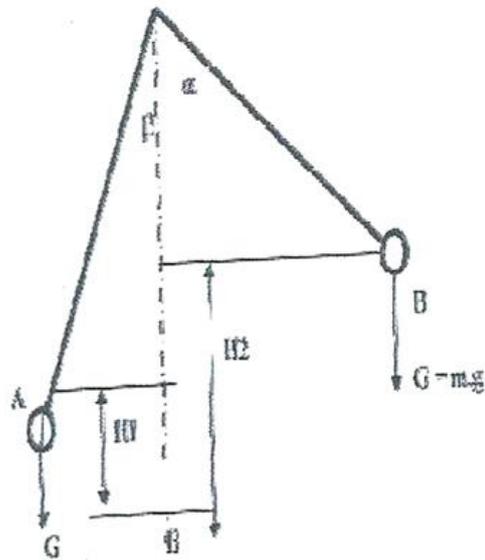
Pengujian ketangguhan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Pada bahan benda uji impak dibuat takikan atau dibuat beralur dan diputuskan dengan satu pukulan (kecepatan peretakan dan kecepatan perubahan bentuk). Fungsi dari takikan ini adalah untuk melokalisir energi patah, perpatahan pada spesimen uji *impact* itu. Oleh karena itu untuk mengetahui besarnya energi impak maka dibuat takikan pada spesimen serta kedalaman takikan telah ditentukan sesuai standarisasi ASTM mulai dimensi minimum sampai maksimum pengujian impak berdasarkan prinsip hukum kekekalan energi yang menyatakan jumlah energi mekanik konstan.

Pada gambar 1. menunjukkan palu godam dilepas dengan ketinggian H1 dari pusat benda uji yang bersudut α dan

setelah menabrak benda uji palu mengayun sampai ketinggian H2 dari pusat benda uji yang bersudut β . Pada kondisi ini besar tenaga kinetic Ek1 dan Ek2 sama dengan nol karna kecepatan V1 dan V2 sama dengan nol yaitu berada pada kondisi berhenti. Besarnya tenaga potensial Ep1 = m.g.H1 dan tenaga potensial Ep2 = m.g.H2. jadi tenaga yang diserap benda uji atau tenaga untuk mematahkan.

$$W = Ep1 - Ep2$$

$$W = GR (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ (joule)}$$



Gambar 1. Prinsip pengukuran pengujian ketangguhan

Nilai impak bahan (K) merupakan hasil bagi tenaga untuk mematahkan benda uji (joule) dengan luas penampang patah benda uji (mm²), dirumuskan dengan

$$K = \frac{W}{A} \dots\dots\dots 1$$

Dimana :

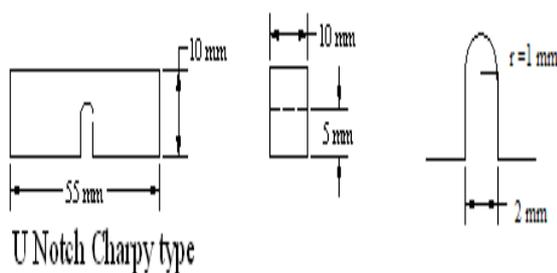
- K = nilai pukulan tarik (J/mm²)
- W = energi terserap (J)
- G = massa berat palu godam (kg)
- R = jarak titik pusat ke titik berat palu godam (m)
- α = sudut jatuh dalam

METODE PENELITIAN

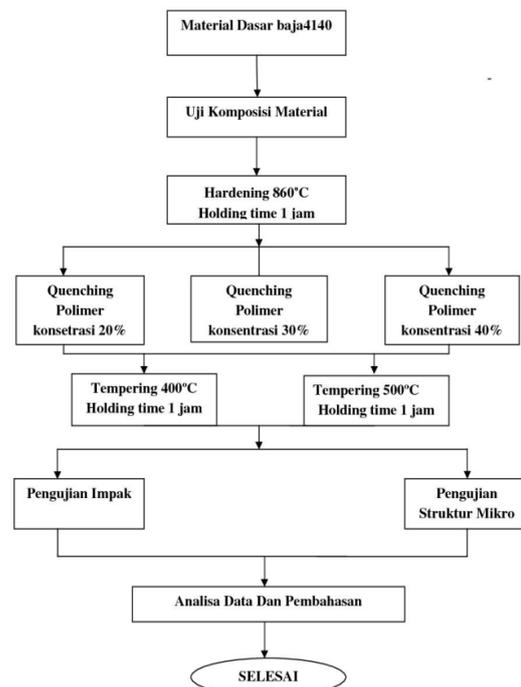
Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium Institute Teknologi Medan (ITM), laboratorium Universitas Negeri Medan (UNIMED). Kategori rancangan percobaan yang dipilih adalah Pre-Eksperimental Designs bertipe static comparisons, jadi ada kelompok material percobaan /eksperimen dan kontrol. Kelompok eksperimen terdiri dari spesimen yang telah mengalami quench dengan variasi media pendingin polimer konsentrasi rendah, polimer konsentrasi menengah dan polimer konsentrasi tinggi dan masing- masing kelompok berjumlah 3 spesimen. Eksperimen untuk kelompok kontrol setelah proses tempering dilakukan sebagai pembandingan, bagaimanakah perbedaan yang terjadi antara material yang telah mengalami Quench dengan yang mengalami tempering.

Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah baja karbon menengah paduan rendah (low alloy medium carbon steel) AISI/SAE 4140 berbentuk spesimen impak E23 tipe C



Gambar 2. Spesimen impak standarisasi type C E23



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Hasil dalam penelitian ini berupa data angka, gambar, grafik dan foto-foto penelitian. Pengujian dilakukan pada spesimen sesudah diberikan perlakuan panas (*heat treatment*). Hal ini dilakukan agar mengetahui perubahan yang terjadi pada spesimen dengan pengujian impak dan struktur mikro.

Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Berbagai jenis macam baja ditentukan berdasarkan atas unsur karbon yang terkandung dalam suatu material tersebut. Begitu juga dengan pengklasifikasian baja paduan (*Alloy steels*). Tabel berikut ini menunjukkan data komposisi kimia unsur-unsur yang ada dalam material AISI 4140 menurut standar American Iron and Steel Institute.

Tabel 1 menunjukkan hasil dari pengujian komposisi material uji yang akan digunakan pada penelitian, dan termasuk dalam baja AISI 4140 yaitu baja karbon menengah paduan rendah (Low Alloy Medium Carbon Steel) material uji mengandung.

Tabel 1 Komposisi kimiabaja AISI 4140.

| No. | Nama Unsur | Simbol | Kandungan (%) |
|-----|------------|--------|---------------|
| 1. | Carbon | C | 0,4129 |
| 2. | Silicon | Si | 0,2303 |
| 3. | Sulfur | S | 0,0048 |
| 4. | Phospor | P | 0,0131 |
| 5. | Manganese | Mn | 0,6812 |
| 6. | Nikel | Ni | 0,0313 |
| 7. | Chromium | Cr | 0,9473 |
| 8. | Molybdenum | Mo | 0,1809 |
| 9. | Vanadium | V | 0,0093 |
| 10. | Copper | Cu | 0,0138 |
| 11. | Seng | Sn | 0,0016 |
| 12. | Alumunium | Al | 0,0154 |
| 13. | Ferro | Fe | 97,458 |

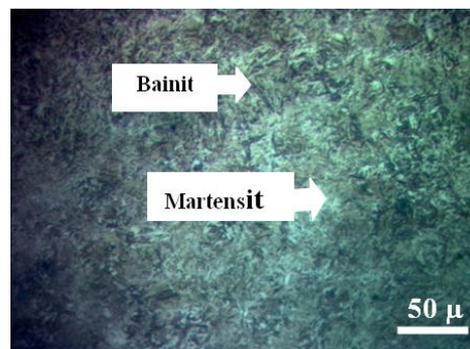
Dari pengujian komposisi kimia diatas menunjukkan bahwa spesimen yang digunakan untuk pengujian ini merupakan baja AISI 4140.

Analisa Struktur Mikro

Pengujian foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur yang terkandung dalam spesimen. Struktur mikro yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat mekanis bahan. Sebelum dilakukan pengamatan setelah proses pengamplasan, polishing dan pengetsaan dengan HNO₃, pada spesimen uji baja AISI 4140, struktur mikro dimanati melalu mikroskop optik dengan pembesaran 400 X.

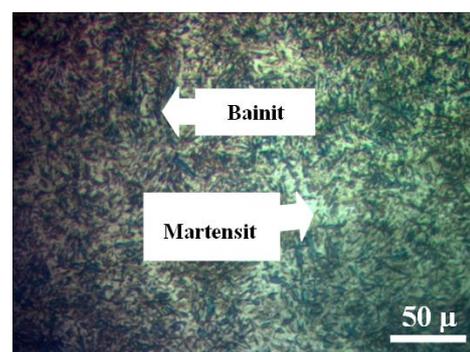
Hasil Foto Mikro Struktur *Hardening 860°C Polymer 20%, 30%, dan 40%*
 Dari gambar 4-6 (a), (b), dan (c) terlihat struktur martensit telah terbentuk,

perubahan struktur ini disebabkan karena proses *hardening* pemanasan dengan temperatur yang cukup tinggi 860°C, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang cepat quench dengan variasi konsentrasi *polymer*.



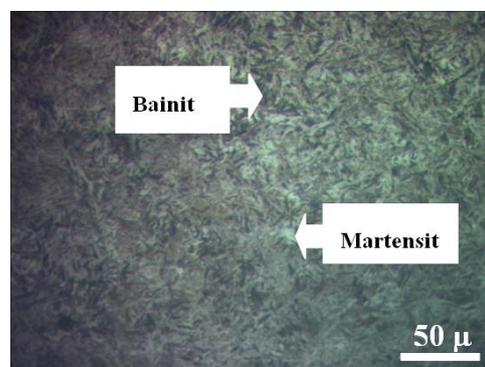
(a)

Gambar 4. Foto mikro specimen *Hardening 860°C Polymer 20%*



(b)

Gambar 5. Foto mikro spesimen *Hardening 860°C Polymer 30%*

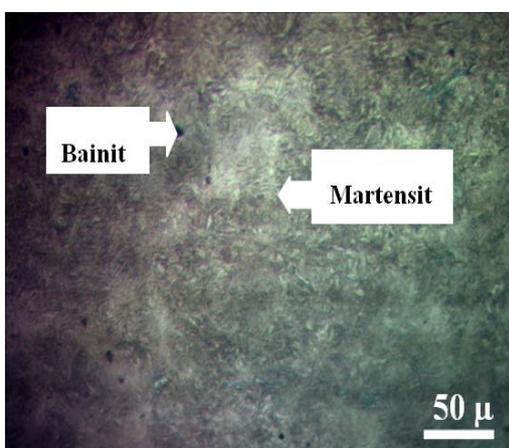


(c)

Gambar 6. Foto mikro spesimen *Hardening 860°C Polymer 40%*

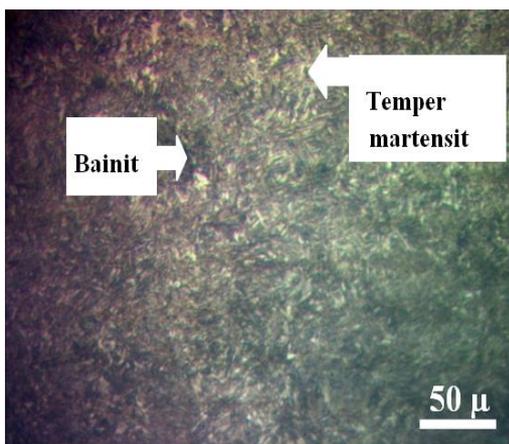
Struktur lain yang terlihat yaitu bainit yang berwarna hitam dan berbentuk garis-garis seperti lidi/jarum menandakan spesimen ini bersifat keras dan getas. Terlihat perbedaan dari gambar mikro diatas cenderung lebih getas terdapat pada gambar (b) dimana permukaannya terlihat kasar dibandingkan dengan gambar (a) dan (c) terbukti dengan penurunan harga impak mencapai 4.76%.

Hasil Foto Mikro Struktur Tempering 400°C Polymer 20%, 30%, dan 40%



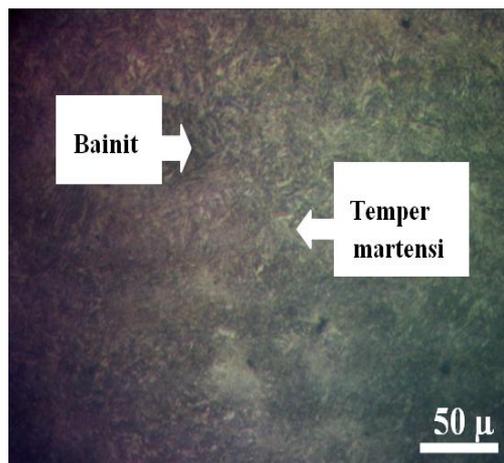
(d)

Gambar 7. Foto mikro spesimen *Tempering 400°C Polymer 20%*



(e)

Gambar 8. Foto mikro spesimen *Tempering 400°C Polymer 30%*

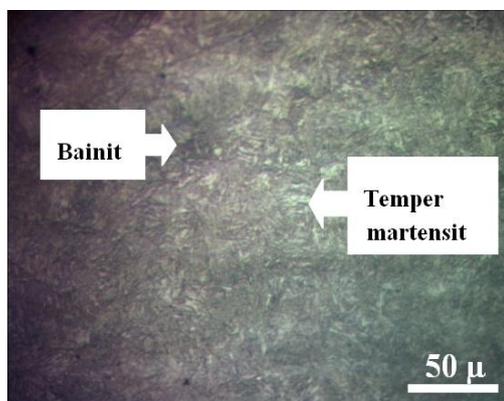


(f)

Gambar 9. Foto mikro spesimen *Tempering 400°C Polymer 40%*

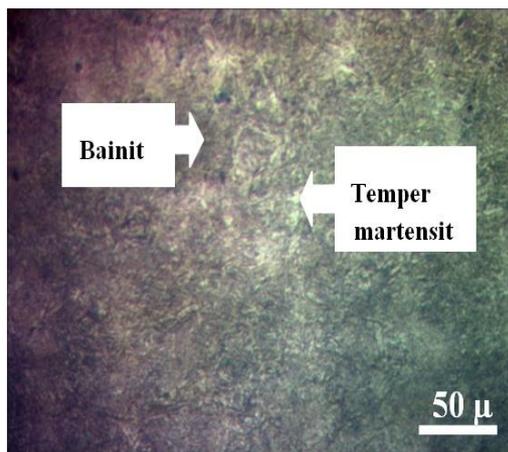
Dari gambar 7-9 (d), (e), dan (f) diatas terlihat spesimen *Tempering 400°C* konsentrasi Polymer memiliki struktur mikro bainit dan *temper martensit*. Struktur bainit terlihat gelap penyebarannya yang hampir menyeluruh menandakan spesimen ini bersifat keras dan getas. Struktur bainit bersifat keras akibat kandungan karbon yang dimiliki material, terbukti gambar (f) harga impaknya mengalami penurunan mencapai 8.77%. Struktur *temper martensit* terlihat berwarna putih, berbentuk seperti jarum/lidi.

Hasil Foto Mikro Struktur Tempering 500°C Polymer 20%, 30%, dan 40%



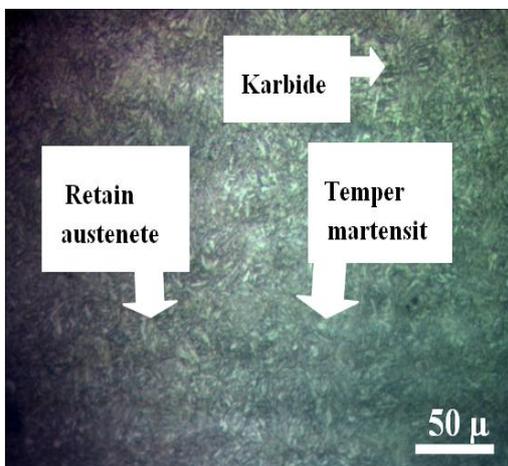
(g)

Gambar 10. Foto mikro spesimen *Tempering 500°C Polymer 20%*



(h)

Gambar 11. Foto mikro spesimen *Tempering* 500°C Polymer 30%



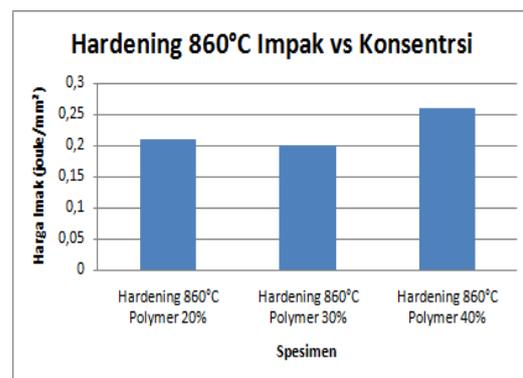
(i)

Gambar 12. Foto mikro spesimen *Tempering* 500°C Polymer 40%

Dari gambar 10-12 (g), (h), dan (i) diatas terlihat spesimen *Tempering* 500°C konsentrasi polymer memiliki struktur *temper* martensit dan bainit terlihat berbutir kasar. Struktur bainit yang kasar menandakan bersifat getas dan keras, terbukti pada gambar (h) harga impact mengalami penurunan mencapai 46.47%. *Temper* martensit merupakan struktur yang cenderung lebih tangguh/ulet. Hal ini ditandai dengan adanya kenaikan nilai ketangguhan pada gambar (i) mencapai 62%. struktur karbida dan austenit sisa (*retained austenite*) yaitu *austenite* yang tidak berhasil bertransformasi menjadi martensit pada proses *quench*.

Analisa Pengujian Impak

Pengujian impact bertujuan untuk mengukur ketangguhan atau keuletan bahan terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur perubahan energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Data hasil pengujian ini dikelompokkan menjadi 9 kelompok, yaitu data pengujian spesimen *hardening* 850°C dengan *quench* dan data spesimen *temper* dengan temperatur 400°C & 500°C Setiap kelompok terdapat 3 spesimen, rata-rata data hasil pengujian dijadikan sebagai hasil akhir. Secara umum, hasil pengujian impact yang didapat dari pengujian terlihat dalam tabel dan diagram berikut ini.

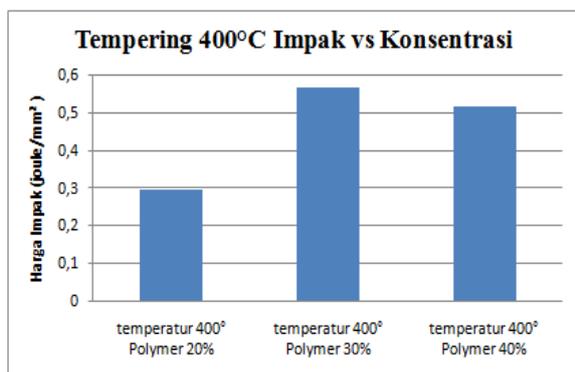


Gambar 13. Diagram *hardening* 860°C impact vs Konsentrasi

Menurut jurnal Alex Sandro dkk yang berjudul pengaruh proses *tempering* pada temperatur tinggi terhadap ketangguhan (*Toughness*) dan struktur mikro baja karbon tipe aisi/sae 1040, hasil yang diperoleh dari pengujian ketangguhannya pada *hardening* 900°C dengan media pendingin polimer adalah 0.4 joule/mm², *tempering* 400°C didapat nilai ketangguhan sebesar 0.94 joule/mm², sedangkan pada *tempering* temperatur 500°C dengan media polimer harga ketangguhan semakin naik menjadi 1.04 joule/mm².

Pada gambar 13 diagram ditunjukkan ketangguhan *hardening 860° C Polymer 20%* dengan rata - rata 0,21Joule/mm², ketangguhan di konsentrasi 30% kemudian mengalami penurunan menjadi 0.2 Joule/mm², hal ini di sebabkan satu dari 3 spesimen mengalami lajupendinginan tidak cepat, struktur bainit yang berwarna hitam dan berbentuk garis-garis kasar seperti lidi/jarum menandakan spesimen ini bersifat keras dan getas. Setelah proses *hardening 860° C Polymer 40%* maka harga impact mengalami kenaikan mencapai 30% menjadi 0.26 Joule/mm².

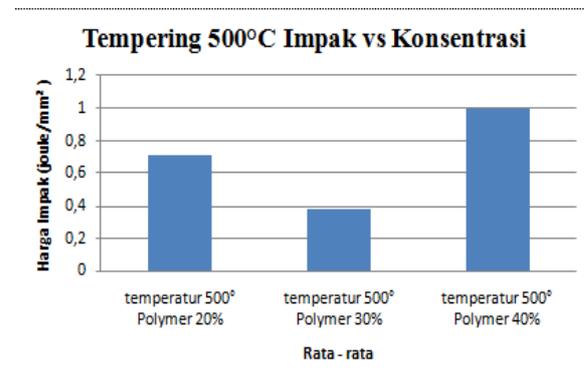
Pada gambar diagram 14 ditunjukkan ketangguhan *tempering 400° C polimer 20%* adalah 0,30Joule/mm², ketangguhan kemudian mengalami peningkatan mencapai 90% menjadi 0.57 Joule/mm². Pada proses *temper 400° C polimer 40%* ketangguhan mengalami penurunan mencapai 8.77% menjadi 0.52 joule/mm². hal ini di sebabkan spesimen memiliki struktur mikro bainit dan *temper martensit*.



Gambar 14. Diagram *tempering 400° C* Impact VS Konsentrasi

Struktur bainit terlihat gelap, memiliki ukuran butir besar dan kasar. Struktur bainit bersifat keras akibat kandungan karbon yang dimiliki material. Struktur *temper martensit* terlihat berwarna putih, berbentuk seperti jarum/lidi yang kasar penyebarannya yang

hampir menyeluruh menandakan spesimen ini bersifat keras dan getas.



Gambar 15. Diagram *tempering 500° C* Impact VS Konsentrasi

Pada gambar diagram 15 ditunjukkan ketangguhan *tempering 500° C polimer 20%* adalah 0,71Joule/mm², ketangguhan konsentrasi 30% kemudian mengalami penurunan menjadi 0.38 Joule/mm² setelah proses *tempering 500° C* polimer 40% maka harga impact mengalami kenaikan mencapai 163.15% menjadi 1 Joule/mm².

Penurunana ketangguhan terjadi pada konsentrasi 30% yang mencapai 46.47% penurunan ini di sebabkan terbentuknya butir *temper martensit* dan bainit yang sangat kasar yang cenderung sangat keras dan getas. Ketangguhan kemudian meningkat setelah dilakukan proses *temper 500° C* konsentrasi 40% , di karenakan memiliki struktur *Temper martensit* merupakan struktur yang cenderung lebih tangguh/ulet. Hal ini ditandai dengan adanya kenaikan nilai ketangguhan pada spesimen yang mencapai 62%. struktur karbida dan austenit sisa (*retained austenite*) yaitu *austenite* yang tidak berhasil bertransformasi menjadi martensit pada proses *quench*.. Peningkatan *temperatur temper* konsentrasi 40% semakin menyeragam struktur *temper martensit* sehingga didapat ketangguhan maksimal pada proses *tempering 500° C* konsentrasi 40% yaitu 1 joule/mm².

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada baja AISI 4140, yang telah diberi perlakuan panas *heat treatment* untuk pengujian ketangguhan dan struktur mikro dapat di ambil kesimpulan bahwa, perlakuan panas dapat mengubah struktur mikro baja AISI 4140, dengan berubahnya struktur mikro maka sifat mekanisnya juga akan mengalami perubahan.

1. Pada proses hardening 860°C didapat nilai impak tertinggi pada konsentrasi polymer 40% dengan rata – rata 0.26 joule/mm². Pada proses temper 400°C nilai impak tertinggi didapat pada konsentrasi 30% dengan rata 0.57 joule/mm². Pada proses tempering 500°C harga impak mengalami kenaikan pada konsentrasi 40% mencapai 75.43% menjadi 1 joule/mm².
2. Pada proses hardening 860°C konsentrasi 40% harga impak didapat dengan rata –rata 0.26 joule/mm², pada proses tempering 400°C konsentrasi 40% harga impak dengan rata –rata 0.52 joule/mm².sedangkan pada prose tempering 500°C konsentrasi 40% mengalami kenaikan mencapai 140.3% menjadi 1 joule/mm². maka dari itu peneliti mendapat sains bahwa semakin bertambah konsentrasi dan temperatur tempering maka semakin tinggi harga impak yang di dapat.
3. Struktur mikro pada proses hardening 860°C konsentrasi 40% memiliki fasa martensit dan bainit menandakan spesimen bersifat gatas dan keras, sesudah proses temper 400°C dan 500° pada konsentrasi 40% struktur mikro didapat fasa bainit, temper martensit dan *retained austenite*menandakan spesimen bersifat ulet/tangguh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bayu, A, S, (dkk) Pengaruh Media Pendingin Pada *Heat Treatment* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik *Friction Wedge* AISI 1340, Surabaya.
- [2]. Gunawan dwi haryadi. *Pengaruh Kecepatan Air Sirkulasi Sebagai Medium Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja Aisi 4140*. 1 Januari 2008.
- [3]. Karmin, 2009, Pengendalian Proses Pengerasan Baja Dengan Metode *Quenching*.
- [4]. Koswara, Engkos, 1991, Pengujian Bahan Logam. Bandung, Humaniora Utama Press.
- [5]. Krauss G, 2005, Steel Processing, Structure, and Performance, Ohio.
- [6]. Lee, W.S, & Su T.T, 1997, Mechanical Properties and Mickrostructural Features Of Aisi 4340 High-Strength Alloy Steel Under Quenched and Tempered Conditions, journal Of Materials Processing Technology 87 (1997) 198-206.
- [7]. Muhammad, zuchry, M, 2012, Pengaruh Temperatur dan Bentuk Takikan Terhadap kekuatan Impak Logam, Palu.
- [8]. Pollack, H.W, 1988 "*Materials Science and Metallurgy*", 4th, New Jersey, Prentice Hall.
- [9]. Schonmentz. G. 1985, "Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam" Bandung Aksara.
- [10]. Wibowo, B. T. 2006, Pengaruh Temper Dengan Quenching Media Pendingin Oli Mesran SAE 40 Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Baja ST 60.Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- [11]. Willyanto, Anggono (dkk), Optimasi Proses Tempering Baja Aisi 4140 Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Roller *Cyclo Speed Reducer*. Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra *Product Innovation and Development Centre* Petra Christian UniversityJ1. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236.