VARIASI WAKTU TAHAN PADA PROSES AUSTEMPERING BERPENGARUH TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON TINGGI

Asmadi Lubay

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas IBA, Palembang.

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan spesimen Baja Karbon Tinggi ASTM 1045 kemudian dilakukan proses Austempering. Spesimen dibagi dua bagian; yaitu: spesimen tanpa perlakuan dan spesimen di Austenisasi pada suhu 850 °C, kemudian diquench dengan Timah Cair pada suhu 350 °C dan ditemper dengan variabel waktu 20 menit, 40 menit dan 60 menit selanjutnya dilakukan pendinginan udara. Dari hasil perhitungan diperoleh temperatur Ms = 321 °C karena untuk proses Austempering diambil diatas temperatur MS sehingga diambillah temp.MS = 350 °C. Variasi waktu tahan ini akan memberikan nilai yang berbeda terhadap hasil uji kekerasan dan uji Impack, struktur mikro yang diharapkan dari proses austempering adalah struktur bainit. Dari hasil pengujian diperoleh; uji kekerasan dengan waktu tahan 60 menit memiliki angka kekerasan terkecil yaitu 195 VHN dan nilai kekerasan terbesar adalah 217 VHN untuk waktu tahan 20 menit. Kondisi sebaliknya nilai ketangguhan tertinggi 81,43 joule untuk waktu tahan 60 menit dan nilai ketangguhan terendah yaitu 55,18 joule untuk waktu tahan 20 menit. Dapat disimpulkan bahwa dengan variasi waktu tahan, nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai ketangguhan.

1. PENDAHULUAN

I.1.Latar Belakang

Perlakuan panas merupakan perlakuan pada material untuk mendapatkan sifat mekanik bahan yang lebih baik dari sebelumnya, melalui pemanasan logam mencapai temperatur austenisasi, lamanya waktu penahanan dan pendinginan melalui pemilihan media quench. Pengetahuan mengenai perlakuan panas pada baja didasarkan pada kehadiran fasa austenit dalam keseimbangan besi transformasi austenit ke temperatur ruang menjadi alasan untuk terbentuknya bermacam struktur mikro. Logam yang didinginkan dari temperatur austenit selain memperlihatkan bermacam variasi struktur mikro juga menunjukan perubahan sifat mekanik. Perlakuan panas dapat dipergunakan untuk memperbaiki sifat mekanik menjadi lebih baik dari sebelumnya.

Tetapi tidak semua baja punya respon yang baik terhadap perlakuan panas, hanya baja yang memiliki kandungan karbon diatas 0,3% karbon punya respon yang baik terhadap perlakuan panas, sedangkan untuk baja dengan persentase karbon dibawahnya sulit untuk dilakukan penerapan perlakuan panas karena kandungan karbon dalam paduannya lebih rendah.

Perlakuan panas austempering merupakan transformasi isotermal terhadap suatu material pada temperatur dibawah formasi perlit dan diatas formasi martensit. Objek dari proses austempering adalah untuk membentuk formasi bainit, dimana baja yang diaustempering akan mengalami perbaikan dalam hal keuletan dan ketangguhan pada pemberian nilai kekerasan tertentu, keuntungan lain yang dapat diperoleh dari proses ini adalah penurunan terjadinya distorsi dan retak dinding (quech cracking) yang dihasilkan oleh pendinginan cepat (rapid cooling)

Pengikatan nilai keuletan dan ketangguhan yang diperoleh pada baja karbon tinggi akan sangat bergantung pada pemilihan temperatur austempering dan lamanya waktu penemperan

baja pada keadaan isotermal dalam wadahtimah cair. Temperatur austemper akan membentuk besar dan kehalusan butir pada logam, sedangkan lamanya waktu austemper akan menetukan kecenderungan struktur mikro hasil proses austempering. Waktu penemperan pada keadaan isotermal yang lebih singkat cenderung untuk menghasilkan struktur mikro bainit dan martensit. Sedangkan waktu penemperan yang lebih panjang akan cenderung untuk menghasilkan struktur mikro akhir berupa campuran bainit dan perlit yang punya sifat lebih ulet dan tangguh.

Nilai kekerasan pada baja secara umum juga akan dipengaruhi oleh kehadiran dari pertikel karbida yang terlarut dalam paduan, dan akan semakin karut dengan bertambahnya temperatur austenisasi dan lamanya waktu tahan. Unsur-unsur pembentukan karbida yang mempengaruhi kekerasan pada baja diantaranya seperti silikon, mangan, krom, tembaga dan kobalt yang terlarut dalam ferit. Dengan larutnya unsur-unsur tersebut akan meningkatnya nilai kekerasan pada baja.

Untuk mencapai nilai keuletan dan ketangguhan yang paling baik, maka adalah penting untuk merencanakan temperatur dan lamanya waktu austempering pada media quench yang digunakan. Media pendingin yang digunakan pada proses austempering yang bisa digunakan adalah garam cair, oli dan logam cair (*molten metal*). Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi waktu penemperan pada saat terjadi transformasi isotermal pada pelakuan panas austempering dengan media austemper timah cair (*molten Tin*) yang dipanaskan pada temperatur tetap. Dengan dilakukan variasi waktu penemperan ini diharapkan diperoleh waktu penemperan yang paling baik pada baja karbon tinggi pada suhu konstan 350 °C.

I.2. Tujuan Penulisan

Adapun juga dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1. Untuk mengetahui bagaimana transformasi isotermal berpengaruh terhadap perubahan sifat mekanik material yaitu nilai kekerasan dan ketangguhan takik melalui pemberian variasi waktu penemperan pada suhu konstan.
- 2. Mempelajari nilai keuletan dan ketangguhan yang paling baik pada proses austempering sebagai pengaruh dari kehadiran variasi waktu penemperan pada keadaan isotermal dengan media pendingin timah
- Untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi antara variasi transformasi isotermal pada suhu 350⁰C terhadap adanya perubahan terhadap kenaikan atau penurunan nilai kekerasan dan ketangguhan pada logam.

2. TINJAUAN PUSTAKA

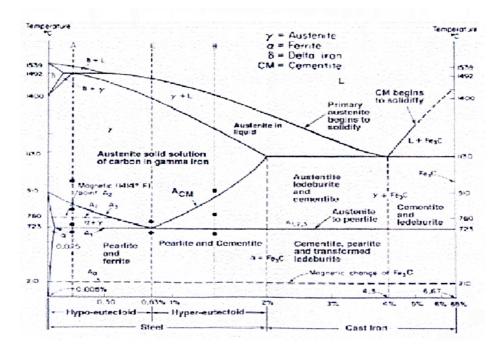
Dengan perlakuan panas kita dapat merubah dan memperbaiki sifat mekanik suatu material sesuai dengan yang kita butuhkan, untuk pekerjaan logam dengan jalan mengikatkan keuletan dan kekerasan, mengurangi sifat kegetasan, meningkatkan ketangguhan dan mengurangi cacat tanpa harus merubah bentuk dan dimensi benda kerja. Diharapkan baja yang mendapatkan proses perlakuan panas akan memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari sebelumnya.

Perlakuan panas adalah perlakuan yang diberikan pada material untuk merubah sifat mekanik dilakukan dengan jalan memanaskan material dari temperatur ruang mencapai temperatur austenit, diikuti waktu penahanan pada temperatur konstan dan pendinginan melalui media quench, dimana kecepatan pendinginan ditentukan oleh macam media quench yang digunakan. Tujuan akhir dari perlakuan ini adalah untuk memperoleh sifat mekanik yang paling baik.

2.1. Diagram Fasa Besi-Karbida

Diagram fasa besi-karbida adalah diagram yang menjelaskan bagaimana keadaan struktur mikro yang terbentuk pada paduan antara besi-karbida sebagai unsur pemadu utama pada komposisi kimia dan temperatur tertentu, dalam kondisi yang berada dalam keadaan seimbang. Dengan diagram dapat mengamati keadaan fasa-fasa pada material logam saat ini mempunyai

kelemahan karena tidak mampu memberikan banyak informasi pada saat material berada dalam keadaan keseimbangan tidak stabil.



Gambar 2-1 : Diagram keseimbangan fasa besi-karbida

Karakteristik Ferit, Austenit, Simentit dan Perlit pada diagram fasa:

1. Ferit, besi alpha, besi delta, BCC

Ferit adalah fasa dimana besi murni berada pada temperatur mencapai 910°C. Selain itu besi murni juga berada dalam bentuk pada temperatur tinggi antara 1392°C dan titik cair 1536°C. Ferit yang terbentuk pada temperatur lebih rendah adalah alfa ferit sedangkan pada temperatur yang lebih tinggi terbentuk delta ferit. Bentuk keduanya adalah identik, dimana sifat ferit adalah lunak dan ulet pada keadaan murni. Alfa ferit yang dapat terlarut hanya 0,02 %C, akan tetapi mempunyai kualitas yang baik terhadap elemen pemadu.

2. Austenit, besi gamma, FCC

Temperatur Antara 910-1392°C besi murni berada dalam bentuk fasa tunggal austenit, yang punya struktur kristal *face-centre-cubic*. Austenit dapat melarutkan karbon lebih baik jika dibandingkan ferit, mencapai 2%C pada suhu 1146°C, pemanasan baja karbon atau baja paduan rendah ke temperatur dimana seluruh austenit dapat melarutkan seluruh karbon diatas transformasi eutektoid, iniliah yang menjadi dasar dari pengetahuan tentang perlakuan panas pada baja. Austenit juga memiliki sifat lunak dan ulet.

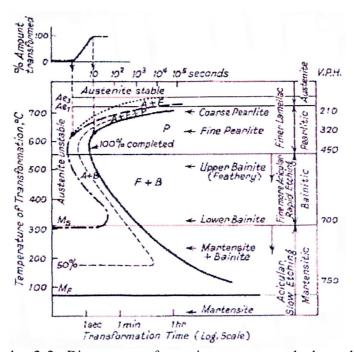
3. Simentit, besi karbida, Fe₃C.

Simentit adalah campuran dari besi yang dapat membentuk fasa stabil pada paduan besi dan baja. Simentit mengandung satu atom karbon dengan tiga atom besi dan mempunyai kandungan karbon 6,67%. Dalam bentuk fasa murni, simentit bersifat sangat keras (diatas 600 HB) dan getas. Kekuatan dan keuletan baja diakibatkan oleh sejumlah distribusi simentit dalam struktur mikro logam.

4. Perlit, lamellae, (α+Fe₃C)

Perlit adalah dua faca campuran antara ferit dan simentit tersusun sebagai pelat sejajar bolak-balik. Perlit selalu mengandung jumlah karbon tetap 0,83% pada baja karbon dan

terbentuk karena reaksi eutektoid saat austenit didinginkan. Struktur lamellae pada perlit sangat halus dan biasanya tidak dapat diresolusi dengan jelas pada mikroskop, bahan dengan perbesaran yang cukup tinggi. Perlit memiliki sifat keras dan kuat, meskipun tidak ulet seperti ferit atau austenit murni tetapi tidak sekuat martensit. Perlit ada pada baja dan memberikan nilai kekuatan pada baja.



Gambar 2-2 : Diagram transformasi temperatur terhadap waktu

Struktur mikro martensit dan bainit dapat dijelaskan pada diagram keseimbangan tidak stabil (Diagram TTT) yang mempunyai karakteristik sebagai berikut :

5. Martensit, BCT

Martensit adalah fasa metastabil yang terbentuk saat austenit didinginkan sangat cepat, dimana pengendapan karbida ditekan. Hal ini terjadi saat baja karbon ataupun baja paduan rendah yang didinginkan dengan cepat (*Rapid cooling*). Pendinginan cepat dilakukan dengan jalan mencelupkan baja didalam media pendingin yang mempunyai laju kecepatan pendinginan tinggi misalnya dicelup di air. Laju pendinginan bergantung pada media pendingin (brine, air, minyah, udara) dan ketebalan dari material. Laju pendinginan minimum untuk bertransformasi menjadi martensit sangat bergantung pada kandungan paduan pada baja. Keuletan dan ketangguhan martensit dapat ditingkatkan melalui proses penemperan yaitu pemenasan pada daerah temperatur 150-700°C, yang akan mengizinkan sejumlah relief tegangan (*stress releaving*) dan pengendapan karbida. Temperatur penemperan yang lebih tinggi akan menghasilkan keuletan yang lebih baik dengan mengorbankan sedikit angka kekerasan.

6. Bainit,

Bainit adalah struktur dua fasa yang dapat terbentuk pada baja karbon melalui pendinginan cepat austenit pada suhu antara 400° C dan 550° C, diikuti waktu penahanan pada temperatur ini sampai melewati batas kurva transformasi Martensit finis untuk terbentuknya formasi bainit. Pembentukan formasi bainit pada baja karbon umumnya dilakukan pada tungku penemperan dengan media pendingin timah cair atau Pb dan penahan isotermal baja pada bath ini.

Transformasi bainit terjadi karena pengendapan karbida dalam konfigurasi lebih halus. Seperti halnya perlit bainit adalah campuran ferit dan simentit. Beberapa baja paduan dapat bertansformasi menjadi bainit pada pendinginan lanjut. Seperti halnya pada martensit ferit pada bainit dapat terbentuk *lath* atau *plate* berisi dislokasi struktur. Sifat pada bainit mirip dengan penemperan martensit.

Bainit terbagi menjadi dua morfologi yaitu bainit atas dan bainit bawah. Bainit bawah yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi strukturnya lebih kasar dan tidak begitu keras atau ulet. Seperti halnya pada bainit bawah. Matriks adalah ferit pada baja yang bertransformasi secara isotermal, tapi bisa berubah martensit pada baja paduan dengan pendinginan lanjut.

2.2. Diagram Transformasi Isotermal dan Pendinginan Lanjut

Diagram isotermal atau "Time Temperatur Transformation" dan diagram pendingin lanjut ("Continous Cooling") sangat membantu untuk menjelaskan transformasi yang terjadi pada material saat berada pada keseimbangan tidak stabil. Diagram ini menjelaskan keadaan logam saat terjadi transformasi eutektoid dari temperatur austenit mencapai temperatur ruang dimana sifat mekanik yang diperoleh ditentukan oleh lamanya waktu penahanan pada keadaan isotermal dan tergantung pada kecepatan laju pendinginan dari media quench yang digunakan.

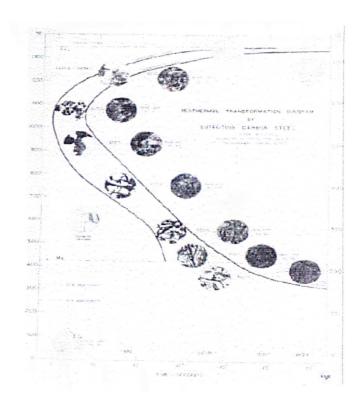
2.2.1. Diagram Transformasi isotermal (Diagram TTT)

Diagram TTT adalah diagram yang merupakan fungsi temperatur terhadap waktu. Diagram ini menjelaskan transformasi eutektoid logam dari temperatur austenit ke temperatur ruang pada keseimbangan tidak stabil. Material yang dipanaskan dari temperatur ruang pada keseimbangan tidak stabil. Material yang dipanaskan dari temperatur austenit dengan kecepatan pendinginan lambat. Cenderung untuk membentuk formasi ferit-ferit, sedangkan material dengan kecepatan pendinginan cepat akan cenderung membentuk formasi martensit pada keseimbangan tidak stabil. Dimana laju kecepatan pendinginan tergantung kepada media quench yang digunakan.

Kemampuan diagram ini sangat membantu untuk pemilihan material dan rencana perlakuan panas untuk menghasilkan struktur mikro yang diinginkan. Pengontrolan difusi yang terjadi pada material pada saat transformasi eutektoid berlangsung dari daerah austenit ke temperatur ruang merupakan alasan terbentuknya bermacam struktur mikro tertentu pada material.

Struktur ferit-perlit terbentuk oleh pengontrolan difusi austenit dengan pendinginan lambat terjadi pada waktu yang cukup lama menghasilkan material dengan nilai kekerasan rendah, sedangkan jika pengontrolan difusi tidak terjadi atau terlalu rendah pada saat transformasi austenit berlangsung, akan menghasilkan struktur mikro baru berfasa martensit dengan nilai kekerasan yang tinggi.

Terbentuknya martensit saat pendinginan cepat menjadi alasan tingginya kekerasan yang diperoleh pada baja karbon maupun baja paduan. Penampilan struktur mikro martensit pada mikroskop akan optik terlihat seperti bentuk jarum, acircular dengan orientasi yang berbedabeda. Fasa yang terbentuk akibat pendinginan cepat, yang berupa martensit ini akan mempunyai sifat yang keras dan getas.



Gambar 2-3: Diagram transformasi isotermal pada baja 1040

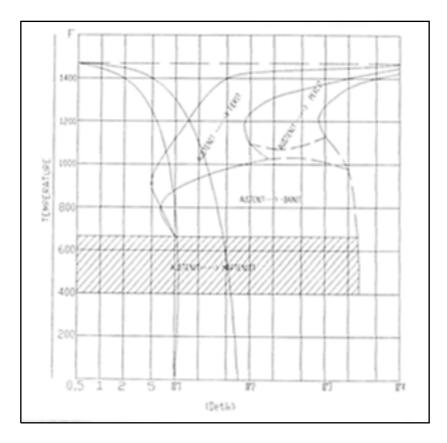
Kurva pertama menunjukan awal transformasi austenit menjadi martensit sedangkan kurva kedua menunjukan waktu yang diperlukan untuk terbentuknya austenit menjadi martensit secara sempurna. Daerah disebelah kiri menunjukan masa inkubasi (austenit tidak stabil) saat transformasi austenit belum dimulai.

Formasi perlit terbentuk pada daerah yang lebih tinggi yaitu diatas hidung kurva transformasi isotermal dan hanya bainit yang terbentuk pada tempertatur yang berada dibawah hidung kurva terdiri atas bainit atas dan bainit bawah. Bainit atas terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi dengan ukuran butir lebih besar dan kasar serta nilai kekerasannya lebih rendah dengan ukuran butir lebih kecil dan halus. Sedangkan jika transformasi austenit tidak sampai menyentuh hidung kurva, maka formasi martenis cenderung untuk terbentuk, dimana fasa pada martensit adalah berbeda dari fasa perlit dan bainit.

2.2.2. Diagram Pendinginan Lanjut

Diagram Isotermal dan diagram pendinginan lanjut pada prinsipnya adalah sama, karena sama-sama menjelaskan transformasi eutektoid yang terjadi pada material dari temperatur austenit menuju temperatur ruang. Pada diagram ini dijelaskan bagaimana pendinginan lanjut baja dengan komposisi kimia tertentu pada temperatur terhadap waktu.

Perbedaan antara diagram Isotermal untuk baja hypoeutektoid dan eutektoid terletak pada perbedaan pada temperatur M_s , dimana kadar karbon yang lebih rendah menunjukan temperatur M_s , yang lebih tinggi dan kadar karbon yang lebih tinggi menunjukan temperatur M_s , yang lebih rendah, perbedaan lainnya adalah diagram Isotermal ini adalah percepatan transformasi austenit menjadi ferit proeutektoid dengan turunnya kadar karbon ditujukan oleh posisi hidung kurva, dimana transformasi pada baja hypo eutektoid yang lebih singkat jika dibandingkan baja eutektoid dan baja hyper eutktoid. Penurunan temperatur M_s dengan urutannya laju pendinginan pada baja struktur feritik atau bainitik yang terbentuk pada pendinginan lebih lambat, austenit yang tidak bertransformasi mempunyai konsentrasi kadar karbon tinggi dan menurunkan temperatur M_s



Gambar 2-4: Diagram Pendinginan Lanjut

Pada baja karbon tinggi kehadiran simentit juga sangat diharapkan karena tidak seluruh karbida dapat larut selama terjadinya austenisasi, sebagai hasilnya sejumlah karbon akan terikat pada partikel karbida, dan austenit mempunyai kadar yang lebih rendah dari harapan.

Perbedaan lain antara diagram isotermal dan pendinginan lanjut terletak pada adanya celah pada diagram pendinginan lanjut, celah ini menunjukan daerah temperatur dimana tidak ada transformasi terjadi pada saat pendinginan yang disebabkan oleh kayanya kandungan karbon pada austenit pada pendinginan temperatur tinggi sehingga terjadi perubahan waktu inkubasi untuk pengintian perlit dan bainit pada saat pendinginan.

2.3. Perlakuan Panas Pada Baja Karbon.

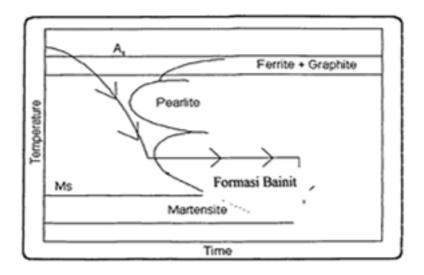
Pekerjaan perlakuan panas untuk menghasilkan ferit, perlit,bainit dan martensit diantaranya: Anneling, Homogenizing, normalising, Hardening, Martempering, Tempering dan Austempering.

a. Austempering

Austempering adalah transformasi isotermal pada temperatur dibawah formasi perlit dan diatas formasi martensit. Objek yang ingin dihasilkan pada austempering adalah terbentuknya formasi bainit. Penggunaan prinsip perlakuan panas austempering adalah untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan pada material.

Austempering dapat diterapkan untuk baja karbon yang memiliki kekuatan yang tinggi, yang membutuhkan perbaikan terhadap kualitas ketangguhan dan keuletannya. Pada austempering logam dipanaskan mencapai temperatur austenit kemudian didinginkan pada temperatur tungku austempering dengan laju cukup cepat agar tidak terjadi transformasi austenit selama pendinginan cepat. Kemudian dilanjutkan dengan penahanan pada temperatur konstan dengan waktu transformasi isotermal yang cukup lama untuk menyelesaikan transformasi austenit menjadi bainit.

Selanjutnya pendinginan mencapai temperatur ruang dilakukan melalui media pendingin udara. Proses austempering dilakukan pada daerah intermediet temperatur pada diagram TTT, yaitu antara 300 sampai dengan 750° C. Penjelasan mengenai proses austempering dijelaskan melalui gambar dibawah.



Gambar 2-5: Proses austempering baja

Austempering biasa digunakan untuk menggantikan proses pengerasan dan penemperan konvensional untuk memperbaiki sifat mekaniknya serta mengurangi distorsi dan retakan akibat quench. Komponen mesin yang diterapkan proses ini akan mencapai ketangguhan yang tinggi, memperbaiki kekuatan terhadap beban kejut, memiliki batas endurance yang lebih tinggi dan keuletan yang lebih baik jika dibandingkan dengan proses pengerasan dan penemperan konvensional dengan nilai kekerasan yang sama.

Waktu penahanan pada tungku austempering dilakukan untuk memberi waktu agar hidung kurva TTT dilewati hingga mencapai formasi bainit. Kemudian baja didinginkan dari tungku austempering diudara hingga mencapai temperatur ruang. Waktu penemperan bervariasi dari 5-30 menit, pada temperatur austempering yang lebih tinggi (sekitar 350-380°C) atau sekitar 1 jam pada suhu 250-270°C. Namun temperatur perlakuan panas dan waktu penemperan yang paling baik adalah dipilih dari diagram transformasi yang relevan pada baja.

Nilai kekerasan akhir akan bergantung pada temperatur austempering dan media penemperan. Temperatur austempering yang lebih tinggi dengan diikuti dengan waktu penemperan yang lebih singkat akan menghasilkan angka kekerasan lebih rendah.

Kekerasan pada bainit menyatakan temperatur transformasi partikular, kekasarannya sama dengan martensit temper pada temperatur yang sama. Selain itu struktur bainit lebih ulet dan lebih tangguh dari martensit temper. Sedangkan batas endurance baja austempering sama nilainya dengan baja martensit temper dengan kekuatan tarik yang sama.

Kekerasan pada bainit akan dipengaruhi oleh komposisi kimia baja dan temperatur penemperan. Dimana pada saat temperatur pengerasan naik diatas normal, hidung kurva TTTbergeser kekanan karena pengasaran butir. Dengan diagram TTT kita dapat memperkirakan struktur mikro akhir setelah perlakuan panas. Tujuan akhir dari perlakuan panas austempering selain meningkatkan keuletan dan ketangguhannya juga untuk mengurangi terjadinya distorsi dan retak quench.

2.4. Waktu Penemperan dan Media Pendingin Proses Austempering

Proses austempering akan melalui beberapa tahap yaitu pemanasan mencapai temperatur hardening, pendinginan langsung ke temperatur austempering, penahana pada suhu konstan dan

dilanjutkan dengan pendinginan pada udara. Biasanya batas atas temperatur hardening dipilih tapi jika luas permukaan menunjukan perbedaan yang besar daerah temperatur yang lebih rendah dipilih. Lamanya waktu penemperan pada keadaan isotermal tergantung pada pemilihan material dan pemilihan temperatur austempering yang tepat. Formasi bainit terbentuk pada saat pendinginan dari temperatur austempering menuju suhu ruang.

Waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur hardening tergantung pada peralatan pemanas. Pemeriksaan visual dapat dilakukan melalui lubang kecil pada dapur untuk memperkirakan apabila material telah mencapai temperatur hardening yang diinginkan. Saat permukaan komponen telah mencapai temperatur yang diinginkan waktu tahan harus dihitung.

Untuk mencegah dan butir yang buruk pada temperatur hardening maka pada baja paduan rendah waktu tahan harus dijaga untuk periode waktu yang lebih singkat dibandingkan untuk paduan tinggi. Baja yang mengandung karbida memerlukan waktu yang lebih banyak untuk melarutkan karbida utamanya untuk menyimpan kekerasan optimum.

Media pendingin yang biasa digunakan pada perlakuan panas austempering adalah media pendingin berbentuk liquid. Media pendingin cair tersebut digunakan dapat berupa garam dan logam cair. Perpindahan kalor yang terjadi pada dapur dari fluida yang dipanaskan kepada benda padat terjadi dengan laju yang sangat cepat. Penggunaan media pendingin pada garam cair pada tungku (bath) perlakuan panas yang paling umum digunakan karena memiliki pengontrolan terhadap temperatur yang lebih baik, diikuti dengan keseragaman tingkat kekerasan yang dicapai. Pada temperatur yang lebih rendah, dan garam tetap memberikan kapasitas pendinginan yang tinggi.

Penambahan 1-2% air pada garam cair pada tungku austemper akan meningkatkan kapasitas pendinginan garam cair pada suhu 400°C, dan kira-kira empat kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan udara. Konsentrasi campuran garam cair 45-55% sodiun nitrat dapat digunakan dan memberikan kecepatan dan keseragaman pendinginan yang baik. Garam ini sepenuhnya dapat larut dalam air, sehingga sangat mudah saat mencuci komponen. Garam ini efektif jika dibandingkan pada bentang temperatur antara 200-500°C.

2.4.1. Penggunaan garam sebagai media austempering

Garam cair banyak digunakan sebagai media pendingin pada penemperan perlakuan panas. Tungku garam sangat dibutuhkan untuk pemanasan baja tanpa menimbulkan karburisasi atau dekarburisasi, Garam mencair dapat bereaksi dengan udara dan membentuk oksi klorida atau oksida menghasilkan dekarburisasi pada benda kerja. Dekarburisasi dapat dideteksi oleh test kekerasan permukaan atau oleh pengamatan mikroskopis.

Garam yang berisi campuran 20-30% sodium klorida dan 70-80% barium klorida dengan titik didih 640°C dapat diterapkan pada daerah temperatur antara 750-950°C campuran garam ini dapat digunakan untuk baja karbon dan baja paduan rendah. Garam mengandung campuran 80% barium klorida dan sodium klorida dengan titik cair 750°C, cocok digunakan pada daerah temperatur 815-1095°C untuk hardening baja paduan tinggi.

Rektifikasi pada tungku dilakukan dengan penambahan 4-5% borax. Campuran garam 50% barium klorida dan 50% sodium klorida, punya titik cair 660°C, dapat digunakan pada daerah temperatur 700-1000°C untuk hardening baja perkakas dan baja konstruksi. Deoksidasi dilakukan dengan penambahan borax. Campuran garam 50-60% barium klorida, 15-25% sodium klorida dan 20-30% potasium klorida dengan titik cair 620°C, digunakan untuk daerah temperatur 650-1000°C. Campuran dapat digunakan untuk hardening, tempering temperatur tinggi, normalisasi.

Kadang garam bercampur dengan kuantitas yang cukup pada rectifier maka adalah penting untuk menambahkan 0,6-0,8% borax, 1-2% ferrosilikon, atau 0,6-0,8 magnesium florida setiap 8 jam. Penggunaan tungku garam mempunyai keuntungan yaitu:

1. Tungku garam menghasilkan keseragaman pemanasan untuk keseluruhan benda kerja dalam tungku, pemanasan konduksi yang dicapai pada tungku garam lebih tinggi daripada panas radiasi pada tungku atmosfir.

2. Tungku garam mudah untuk ditangani karena massa jenis yang tinggi pada medianya, yaitu menurunkan berat benda kerja,maka kecendrungan kearah distorsi dapat dikurangi. Sedangkan kelemahan pada tungku garam adalah limbah barium dan sifat garam yang sangat korosif. Korosif mengakibatkan merosotnya dimensi yang akan direncankan.

2.4.2. Penggunaan timah cair sebagai media austempering

Dari keseluruhan logam cair, timah dan timbal tanpa paduan yang paling umum digunakan sebagai media austempering yang menggunakan logam cair sebagai media austemper pada tungku komersial saat ini. Namun secara umum penggunaan tungku timah cair saat ini sudah digantikan oleh tungku garam, tetapi tungku timah cair masih sering digunakan untuk penerapan pengerasan dan peneperan lokal, untuk aplikasi khusus yang bembutuhkan pemanasan secara cepat. Karakteristik dari timah cair (molten tin bath) adalah tingginya berat spesifik, konduktifitas termal dan konduktifitas listrik, akan tapi rendah pada panas spesifiknya.

Temperatur kerja bath timah berkisar pada bentang temperatur kerja 650-1700°F. Sedangkan garam dengan kelas yang sama punya bentang temperatur kerja 350-2400°F. Karena berat spesifik yang tinggi maka baja akan mengapung pada timah kecuali jika ditenggelamkan oleh suatu alat atau *fixtures*. Konduksifitas termal timah yang tinggi adalah sifat yang paling baik untuk media pendingin logam cair karena dapat menghadirkan pemanasan cepat, dan keseragaman temperatur pada tungku.

Bentang temperatur kerja media austemper timah cair kurang lebih sekitar 650-1700°F. Timah cair segera teroksidasi oleh udara pada seluruh temperatur dan harus dilindungi oleh pelindung yang cocok untuk mencegah formasi oksida timah yang merugikan. Oksida timah tidak dapat terlarut dalam timah cair, sehingga diperlukan pelindung untuk menghindari terjadinya konstaminasi yang lebih besar dari tungku secara keseluruhan. Kecendrungan timah untuk beroksidasi akan sangat mengganggu, karena akan menghasilkan berkurangnya massa timah.

Laju pemanasan atau waktu yang dibutuhkan untuk membawa bagian logam ke temperatur tungku, bergantung terutama pada konduktifitas panas dan titik cair. Karena timah cair segera teroksida oleh udara pada keseluruhan temperatur, tungku timah harus dilindungi dengan material solid atau liquid, untuk mencegah timah yang secara berlebihan.

3. METO DE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan secara singkat oleh diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 3-1: Diagram alir penelitian

Komposisi kimia dan sifat mekanik Baja Karbon tinggi dengan kode material ASTM 1045 adalah sebagai berikut.

Tabel 3-1: Komposisi kimia baja ASTM 1045

Komposisi	C (%)	Mn (%)	S (%)	Si (%)	Cr + Mo +
Persentase berat	0,45	0,65	0,02-0,04	0,40	0,63

Tabel 3-2: Sifat mekanik baja ASTM 1045

Sifat Mekanik	N/mm ²	Kg/mm ²	
Kekuatan luluh	305	30	
Kekuatan tarik	580	58	
Renggangan	Min 16 %		

Tabel 3-3 Pengelompokan spesimen

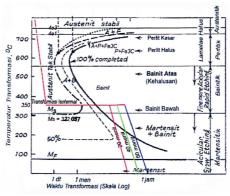
Kelompok	Waktu Tahan	Jumlah Spesimen	
A	20 mnt	3	
В	40 mnt	3	
С	60 mnt	2	
D	Tanpa perlakuan	1	

1.

- 2. Batangan baja karbon tinggi dengan ukuran dan dimensi 22x3x2 cm dipotong lagi menjadi beberapa buah spesimen yang lebih kecil dalam bentuk standar spesimen impak dengan ukuran 55x10x10 mm³ dan kedalaman titik 2mm yang jumlahnya sebanyak 9 buah spesimen.
- 3. Fluida pendingin Timah cair (titik cair 232 °C), temperatur operasinya 250-600 °C.
- 4. Perencanaan temp.Ms Austempering $Ms = 539 423 \ x \ \%C 30,4 \ x \%Mn 17,7 \ x \%Ni + 12,1 \ x \%Cr 7,5 \ x \%Mo \\ Ms = 322 \ ^{\circ}C$

Karena temperatur austempering harus berada diatas titik $M_{\rm S}$ jadi temperatur media austemper ideal paling kecil yang harus digunakan sebagai temperatur austempering adalahdiatas $350^{\rm o}$ C. Pada penelitian ini timah sebagai media austempering dipanaskan diatas temperatur cairnya mencapai temperatur yang direncanakan yaitu pada suhu $350^{\rm o}$ C untuk berlangsungnya transformasi isotermal. Pengujian dilakukan dengan menahan temperatur timah cair pada suhu konstan yaitu pada $350^{\rm o}$ C.

Kemudian pengamatan terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dilakukan pada temperatur ini. Penjelasan prosedur penelitian pada diagram TTT dapat dilihat dibawah (Gb 3-2).



Gambar 3.2. Temperatur titik M_S yang diplot pada diagram TIT untuk austempering baja karbon ASTM1045

5. ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Hasil Pengujian kekerasan

Tabel 5.1. Data pengujian kekerasan

Titik	D ₁ (mm)	D ₂ (mm	D _{avg} (mm)	D² (mm	VHN	VHN _{avg}
1	0,659	0,658	0,6585	0,4337	213,742	212,019
2	0,665	0,657	0,6610	0,4369	212,177	
3	0,662	0,657	0,6597	0,4352	213,005	
4	0,664	0,663	0,6635	0,4402	210,586	
5	0,662	0,665	0,6635	0,4402	210,586	

Nilai Kekerasan spesimen tanpa perlakuan Nilai Kekerasan spesimen anneling VHN $_{\rm avg} = 212$ VHN $_{\rm avg} = 177$ Nilai Kekerasan spesimen waktu tahan 20 mnt Nilai Kekerasan spesimen waktu tahan 40 mnt Nilai Kekerasan spesimen waktu tahan 60 mnt VHN $_{\rm avg} = 204$ VHN $_{\rm avg} = 195$

5.2. Data hasil pengujian impak

 $\label{lem:spesimen} \mbox{Jumlah spesimen untuk waktu tahan } 60 \mbox{ mnt } \mbox{ besarnya energi yang diserap untuk mematahkan logam adalah:}$

Tabel 5.2. Data pengujian impak spesimen untuk waktu tahan 60 menit

No. Spesimen	Sudut	Sudut β	Energi (J)	Energi _{avg}
I.	146,5	92,5°	97,478	81,4
II.	146,5°	99°	75,360	
III.	146,5°	101°	71,470	

Energi Impak penemperan 60 mnt rata-rata = 81,4 joule Energi Impak penemperan 40 mnt rata-rata = 62,7 joule Energi Impak penemperan 20 mnt rata-rata = 55,1 joule Energi Impak spesimen tanpa perlakuan = 97,47 joule

5.3. Pembahasan

5.3.1. Analisa pengujian kekerasan

Penurunan nilai kekerasan yang terjadi ini, disebabkan karena pada proses pendinginan dengan transformasi isotermal pada timah cair berlangsung pada waktu cukup lama sehingga atom karbon yang terdapat pada spesimen punya waktu yang cukup untuk berdifusi diantara perlit dan simentit.

Berdasarkan analisa pada diagram fasa, waktu tahan yang diberikan untuk bertransformasi secara isotermal akan memotong garis martensit start dan martensit finish. Sehingga terbentuklah fasa akhir hasil pengujian yaitu dan bainit, akibat waktu penahanan yang terjadi pada temperatur yang berada pada daerah formasi bainit, sehingga hasil akhir dari material yang diuji tersebut bersifat lebih ulet dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Ketahanan terhadap takik akan semakin meningkat dengan lamanya waktu tahan disebabkan terbentuknya fasa bainit.

Nilai kekerasan juga akan diperoleh oleh kecepatan pendinginan dari media pendinginan yang dipakai. Timah mempunyai kemampuan yang sangat baik untuk mentransfer panas karena

nilai konduktifitas, vikositas dan titik cair yang cukup rendah dibandingkan dengan media pendinginan logam lainnya. Selain itu timah mempunyai temperatur kerja yang lebih baik dari garam cair. Untuk material dengan dimensi yang lebih besar diperlukan volume media pendinginan timah cair yang lebih banyak. Volume media pendinginan juga akan berpengaruh pada nilai kekerasan. Nilai kekerasan untuk dimensi material uji yang lebih kecil akan mengalami penurunan dengan bertambahnya volume media pendingin dan demikian juga sebaliknya. Kondisi ini dapat terjadi karena pada volume media pendingin air yang lebih kecil, akan memberikan kecepatan pendinginan yang relatif lebih lambat. Laju pendinginan yang lebih tinggi akan memberikan waktu untuk lebih banyak atom karbon yang berdifusi, sehingga terjadinya penurunan nilai kekerasan.

Yang paling penting dalam keberhasilan proses austempering adalah tercapainya formasi bainit pada temperatur dibawah formasi perlit dan diatas formasi martensit. Dimana sifat mekanik yang dimiliki baja yang di panaskan pada temperatur ini akan lebih unggul dalam hal perbaikan nilai keuletan dan ketangguhan logam.

5.3.2. Analisa hasil pengujian impak

Pada pengujian impak pada spesimen yang dikenai proses austempering, menunjukan bahwa pada spesimen yang terbelah menjadi dua bagian. Pada bagian patahannya tampak berwarna abu-abu buram akibat pantulan cahaya dari permukaan belahan yang datar. Dengan kata lain patahan yang terjadi adalah patahan ulet atau granular. Patah granular merupakan permukaan patah yang menjalar dari takik, melewati batas butir. Laju regangan yang terjadi pada pengujian impak akan semakin tinggi pada material yang memiliki takik yang lebih tajam.

Pada pengujian impak besarnya energi yang diserap oleh material diperoleh dari ayunan bandul yang mengenai spesimen. Energi tertinggi untuk mematahkan logam dicapai pada pengujian dengan waktu tahan 60 menit yaitu 81,4 Joule dan energi yang terendah dicapai pada pengujian dengan waktu tahan 20 menit yaitu 55,186 Joule. Hal ini terjadi disebabkan oleh kehadiran fasa bainit.

5.3.3. Data dan analisa hasil uji metallografi

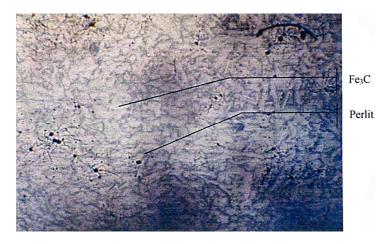
Perhitungan persen karbon ekuivalen pada baja karbon ini dapat dicari dengan formal sebagai berikut :

Berikut ini merupakan penampilan struktur mikro logam sebelum proses perlakuan yang ditunjukan oleh gambar 4-2. Struktur memanjang seperti jarum prosese pendinginan yang berlangsung secara cepat, sedangkan bagian yang berwarna bersih menunjukan adanya formasi karbida. Terbentuknya martensit pada pendinginan cepat terjadi karena proses hardening pada material pada spesimen asal sebelum perlakuan panas austempering.

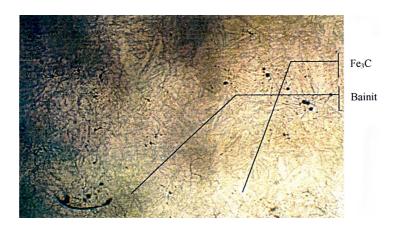
Penampilan struktur mikro hasil pemotretan pada mikroskop optik menunjukan kehadiran formasi perlit-simentit pada spesimen asal yang dikeraskan yang kemudian dianil untuk melihat struktur mikro pada logam saat dilunakan kekerasannya yang dijelaskan pada gambar (Gambar 4.3). Penampilan struktur mikro yang tampak ditandai oleh perbedaan warna yang cukup kontras. Perlit ditampilkan dengan warna hitam sedangkan warna dasar yang berwarna bersih menunjukan kehadiran karbida besi.



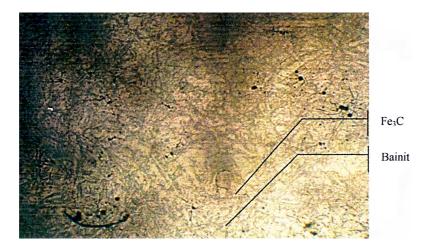
Gambar 4.1. : Struktur mikro baja ASTM 1045 sebelum proses perlakuan (Perbesaran 800X)



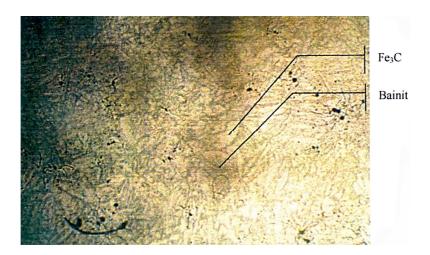
Gambar 4.2.: Struktur Mikro Baja ASTM 1045 Hasil Proses Anil (Perbesaran 800X)



Gambar 4.3. : Struktur mikro baja ASTM 1045 waktu tahan 20 menit (perbesaran 800X)



Gambar 4.4.: Struktur mikro baja ASTM 1045 waktu tahan 40 menit (Perbesaran 800X)



Gambar 4.5.: Struktur mikro baja ASTM 1045 waktu tahan 60 menit (Perbesaran 800X)

Dari gambar struktur mikro material yang dikenai variasi waktu penahanan pada proses penemperan (Gambar 4.3, 4.4, 4.5) terlihat adanya struktur yang memanjang dan berwarna gelap, halus dan tidak beraturan (*acircular*) ini menunjukan kehadiran sejumlah bainit. Orientasi bainit pada gambar tersusun secara acak pada logam yang dietsa dan tidak membentuk suatu pola yang cukup jelas. Sedangkan pada bagian dasar yang berwarna terang menunjukan kehadiran karbida besi yang tersebar pada luas permukaan esta.

Kerapatan gambar berwarna gelap dan besar ukuran karbida menunjukan perubahan struktur mikro pada logam yang ditahan dengan variasi waktu tahan yang berbeda. Bainit merupakan campuran atas perlit dan karbida besi pada baja hyper eutektoid. Pada logam formasi bainit akan berkelompok-kelompok diantara partikel karbida. Kehadiran bainit yang punya bersifat lebih lunak dari martensit akan menurunkan nilai kekerasan logam. Semakin banyak sebaran bainit pada luas permukaan logam cenderung untuk menurunkan nilai kekerasan dan meningkatkan nilai ketangguhan logam.

Hasil struktur mikro setelah perlakuan panas austempering tidak terlihat batas butir yang cukup jelas setelah logam dietsa. Hal ini disebabkan karena struktur bainit yang mulai menginti pada batas butir logam. Perbedaan penampakan struktur mikro bainit pada proses perlakuan

panas austempering akan menunjukan perbedaan yang sangat kontras apabila pada pengujian dilakukan variasi temperatur austempering dan penggunaan material dengan komposisi yang berbeda.

5.4. Analisa Regresi Pengujian Kekerasan dan Pengujian Impak

Analisa regresi dilakukan untuk seriap kelompok data hasil pengujian, yang dimaksud untuk menguji seberapa kuatkah korelasi antara variabel variasi waktu tahan terhadap sifat mekanik pada logam berupa nilai kekerasan dan ketangguhan takik. Berdasarkan hasil analisis regresi dari masing-masing kelompok pengujian, didapatkan adanya korelasi yang cukup erat antara variabel-variabel yang dianalisa tersebut. Hal ini diperkuat dengan diperolehnya nilai koefisien korelasi yang cukup signifikan, sehingga dengan demikian dapat diprediksi besarnya angka kekerasan dan harga energi impak secara matematis dari persamaan regresinya.

Untuk mendapatkan gambaran secara visual dari analisis regresi yang telah dilakukan maka data-data hasil perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk grafik peta tebaran atau scatter diagram. Dari grafik ini dapat dilihat adanya bentuk korelasi yang positif antara angka kekerasan dan variasi waktu tahan pada baja ASTM 1045. Yang berarti bahwa bertambahnya waktu tahan, maka akan diikuti dengan penurunan angka kekerasan pada spesimen.

Sedangkan dari hasil analisis regresi energi terhadap waktu tahan didapatkan bentuk korelasi negatif. Bentuk korelasi negatif yang seperti ini didapatkan pada analisis regresi energi impak terhadap variasi waktu tahan ditandai dengan kenaikan nilai ketangguhan seiring dengan lamanya waktu tahan. Pada kondisi ini berarti bahwa setiap terjadi kenaikan waktu tahan akan selalu diikuti dengan peningkatan ketangguhan taktik pada spesimen.

Dari analisis regresi yang telah dilakukan pada masing-masing data hasil pengujian, maka dapat disimpulkan ternyata memang terbukti adanya korelasi atau hubungan yang erat antara variasi waktu tahan dengan sifat mekanik pada baja atau karbon tinggi. Analisis ini juga dimaksudkan untuk memperkuat secara hipotesis data-data yang didapat dari hasil observasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil dari analisis regresi ini secara garis besar mempunyai kesesuaian dan saling menunjang terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya.

6. KESIMPULAN

- 1. Nilai kekerasan tertinggi pada proses Austempering dengan fluida timah cair diperoleh dengan waktu tahan 20 menit, dan kekerasan terendah pada waktu tahan 60 menit.
- 2. Hasil uji impak nilai ketangguhan tertinggi pada waktu tahan 60 menit dan nilai ketangguhan terendah pada waktu tahan 20 menit.
- 3. Dari hasil pengujian nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai ketangguhan. Hal ini menunjukkan adanya korelasi waktu tahan terhadap nilai ketangguhan dan kekerasan. Hasil uji struktur mikro menunjukkan struktur bainit, hasil ini sesuai dengan teori proses Austempering.
- 4. Pengamatan permukaan patah terjadi patah non kristalin dan berserabut, indikasi ini menunjukkan patah ulet dimana tercapainya daerah temperatur Austempering yang berada diatas formasi bainit dan dibawah formasi perlit.

DAFTAR PUSTAKA

Diah Kusuma Pratiwi.DR.IR. (2003). "Panduan Praktikum Ilmu Logam", UNSRI, Palembang

George Krauss, Steel. (1995). "Heat Treatment and Processing Principles", ASM International, Penerbit AMAX foundation Profesor of Metalurgical Engineering Colorado School of mines, Edisi ke empat.

- Dieter, G.E. Japri, Sriati. (1990). "Metalurgi Teknik", edisi ketiga, jilid 1 dan 2 penerbit Erlangga.
- Prabhudev. (1989). "Hand Book Heat Treatment of Steel", penerbit Nagpur University, edisi kedua.
- Tata Surdia. (1992). "*Pengetahuan Bahan Teknik*", edisi kedua, penerbit Pradnya Paramita, Bandung.
- Wahid Suherman. (1987). "Pengetahuan Bahan". ITS. Surabaya