

PENGARUH KADAR DROMUS OIL DALAM MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA ST 60 YANG MENGALAMI PROSES HARDENING TEMPERING

Oleh:

Wahyu Candra, Tuwoso, Rr. Poppy Puspitasari

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang¹⁾

Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang^{2,3)}

E-mail: Wahyucandramail@gmail.com

Abstrak. Baja St 60 adalah baja karbon sedang dengan 0,3-0,6% kadar karbon yang mempunyai kekuatan tarik 654 MPa. Proses *hardening* baja dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanis baja yakni kekuatan yang dibutuhkan dalam dunia industri sebagai bahan pembuatan komponen otomotif dan pemesinan. Proses *hardening* yang dilakukan pada suhu 850 °C selama 40 menit dengan pendinginan cepat menggunakan variasi kadar *dromus oil* dalam media pendingin akan menghasilkan baja yang kekuatan tariknya tinggi tapi getas. Untuk mengurangi kegetasaan baja akibat proses *hardening* maka dilakukan *tempering* pada suhu 400 °C selama 60 menit didinginkan di udara. Tujuan dalam penelitian ini adalah; (1) mengetahui pengaruh kadar *dromus oil* 10%, 20%, dan 30% dalam media pendingin terhadap kekuatan tarik pada proses *hardening tempering* baja St 60; (2) mengetahui pengaruh kadar *dromus oil* 10%, 20%, dan 30% dalam media pendingin terhadap struktur mikro pada proses *hardening tempering* baja St 60. Data hasil uji tarik berupa nilai rerata ditampilkan dalam bentuk tabel dan histogram. Pengamatan struktur mikro menggunakan SEM dilakukan dengan membandingkan hasil foto struktur patahan baja St 60 sehingga dapat dianalisis mengenai struktur dan bentuk butiran masing-masing kelompok perlakuan. 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, dengan kadar *dromus oil* 20% adalah 1546.402 MPa dan dengan kadar *dromus oil* 30% adalah 1528.353 MPa. Hasil pengamatan struktur mikro SEM baja St 60 dengan kadar *dromus oil* 10% dalam media pendingin pada proses *hardening tempering* menunjukkan struktur patahan getas terdiri dari dominasi *cleavage*, spesimen menggunakan kadar *dromus oil* 20% menunjukkan struktur patahan ulet getas terdiri dari dominasi *dimple* tapi masih terlihat banyak *cleavage* dan spesimen menggunakan kadar *dromus oil* 30% menunjukkan struktur patahan ulet terdiri dari dominasi *dimple*. Pada penelitian ini, penemuan yang penting adalah bahwa baja St 60 dengan kadar *dromus oil* 20% dalam media pendingin pada proses *hardening tempering* memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan perpatahan ulet. Hal ini dapat dijadikan sebagai pedoman produksi bagi praktisi ilmu logam dan dunia industri.

Kata Kunci: *dromus oil*, *hardening tempering*, kekuatan tarik, struktur mikro

Dalam dunia industri dibutuhkan baja dengan sifat dan karakteristik yang sesuai terhadap kondisi pada saat diaplikasikan. Salah satu aplikasi baja karbon menengah St 60 adalah penggunaannya sebagai bahan pembuatan roda gigi, poros, rel serta bagian-bagian konstruksi pemesinan dan komponen

otomotif lainnya. Permasalahan yang terjadi pada baja dalam aplikasinya terhadap konstruksi pemesinan dan komponen otomotif adalah keterbatasan pada pemakaian bagian-bagian yang mendapatkan beban yang tidak terlalu berat dan tidak menerima gesekan yang terlalu tinggi karena kurang keras.

Untuk memperoleh material dengan kekerasan dan kekuatan yang tinggi dapat dengan cara pengecoran dan metalurgi dengan mengatur komposisi dan unsur-unsurnya, tapi dianggap tidak efisien karena dilakukan untuk produksi dalam jumlah banyak (masal) dan mahal. Cara lain yang memungkinkan dilakukan adalah proses pengerasan (*hardening*) pada baja.

Proses *hardening* yang dilakukan pada suhu 850 °C selama 40 menit dengan pendinginan cepat menggunakan variasi kadar *dromus oil* dalam media pendingin akan menghasilkan baja yang kekuatan tariknya tinggi tapi getas. Untuk mengurangi kegetasaan baja akibat proses *hardening* maka dilakukan tempering pada suhu 400 °C selama 60 menit didinginkan di udara.

Penelitian terhadap baja St 60 ini bertujuan memperbaiki sifat material menggunakan media pendingin emulsi (air dan *dromus oil*) serta mempelajari efek lain dari penggunaannya. Dengan mempertimbangkan sifat kelarutan *dromus oil* yang mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air : *dromus oil* adalah 20:1 sampai 40:1 memungkinkan dimanfaatkan sebagai pendinginan pada proses *hardening* baja.

Pengujian tarik digunakan untuk menilai kemampuan spesimen hasil proses *hardening tempering* dalam menerima beban tarik sampai patah. Kekuatan tarik merupakan sifat mekanis yang paling penting dari logam terutama untuk perhitungan konstruksi. Pengujian tarik paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Sifat mekanis dan tingkat kekerasan material yang terjadi akibat proses *hardening tempering* dalam penggunaannya akan mengalami perubahan struktur mikro.

Berdasarkan uraian diatas bahwa laju pendinginan berperan penting pada proses pembentukan ikatan kompleks. Media pendingin *dromus oil* ditambahkan dalam media pendingin air yang kemudian akan meningkatkan laju pendinginan sehingga diharapkan material yang diperlakukan dengan media pendingin ini tingkat kekuatan tariknya akan meningkat.

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif, dan termasuk dalam kategori penelitian eksperimen, untuk memperoleh deskripsi tentang pengaruh variasi kadar dromus oil dalam media pendingin terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada proses *hardening tempering* baja St 60. Rancangan penelitian adalah sebagai berikut: 1) Perlakuan panas *hardening* dengan media pendingin air pada suhu 850 °C selama 40 menit kemudian tempering pada suhu 400 °C selama 60 menit didinginkan di udara. 2) Perlakuan panas *hardening* dengan media pendingin *dromus oil* 10% pada suhu 850 °C selama 40 menit kemudian tempering pada suhu 400 °C selama 60 menit didinginkan di udara. 3) Perlakuan panas *hardening* dengan media pendingin *dromus oil* 20% pada suhu 850 °C selama 40 menit kemudian tempering pada suhu 400 °C dengan selama 60 menit didinginkan di udara. 4) Perlakuan panas *hardening* dengan media pendingin *dromus oil* 30% pada suhu 850 °C selama 40 menit kemudian tempering pada suhu 400 °C dengan selama 60 menit didinginkan di udara.

Prosedur pengumpulan data dengan mempersiapkan bahan baja St 60, air dan *dromus oil*. Peralatan yang perlu disiapkan adalah gergaji, jangka sorong, mesin CNC

bubut, pahat CNC bubut, dapur pemanas listrik, mesin uji kekuatan tarik dan scanning electron microscope.

Pengambilan data dimulai dengan pembentukan spesimen yakni pemotongan baja St 60 dalam bentuk silinder dengan diameter 8,75 mm dan panjang 250 mm dilakukan menggunakan gergaji besi. Pembentukan spesimen berupa silinder sesuai dengan standar pengujian kekuatan tarik yang yaitu ASTM A370.

Proses penakaran media pendingin menggunakan dromus oil dan air. Volume media pendingin yang digunakan adalah 4 liter. 1) kadar dromus oil 10% dalam media pendingin terdiri dari 3600 ml air per 400 ml dromus oil. 2) kadar dromus oil 20% dalam media pendingin terdiri dari 3200 ml air per 800 ml dromus oil. 3) kadar dromus oil 30% dalam media pendingin terdiri dari 2800 ml air per 1200 ml dromus oil.

Langkah-langkah proses hardening: 1) menyiapkan media pendingin air dan kadar dromus oil dalam media pendingin pada tempat (wadah) pendingin dengan 10%, 20%, dan 30%. 2) Masukkan semua spesimen ke dalam dapur pemanas listrik kemudian mengatur temperatur pada 850 0C dengan holding time selama 40 menit. 3) Pengambilan benda uji dalam dapur pemanas listrik dengan penjepit yang dilanjutkan dengan pendinginan cepat dalam media pendingin yang telah dipersiapkan. Masing-masing tiga buah spesimen dicelupkan pada media pendingin air dan variasi kadar dromus oil 10%, 20% dan 30%.

Proses Tempering: 1) tandai spesimen uji terlebih dahulu sesuai dengan masing-masing kelompok perlakuan yaitu menggunakan media pendingin air dan kadar dromus oil dalam media pendingin 10%, 20%, dan 30%. 2) Spesimen uji dimasuk-

kan ke dapur listrik dengan suhu 400 0C dan ditahan (*holding time*) selama 1 jam, setelah itu didinginkan di udara luar. 3) Bersihkan spesimen hasil proses tempering, tandai sesuai dengan masing-masing kelompok perlakuan untuk selanjutnya spesimen akan diuji tarik.

Langkah-langkah pengujian kekuatan tarik adalah 1) menghidupkan mesin uji tarik. 2) pasang spesimen uji pada cekam mesin uji kekuatan tarik. 3) masukan data dimensi tebal dan lebar dari spesimen yang diuji tarik. 4) mesin uji tarik siap diooperasikan. 5) setelah spesimen uji patah, lepas spesimen uji pada cekam mesin uji tarik. 6) Perhatikan hasil uji kekuatan tarik masing-masing spesimen kelompok perlakuan. 7) Cetak dan simpan data hasil pengujian tarik spesimen uji.

Langkah-langkah pengamatan struktur mikro menggunakan SEM adalah 1) siapkan spesimen patahan hasil uji tarik yang akan diamati struktur mikronya menggunakan SEM. 2) potong spesimen patahan dengan dimensi panjang maksimal 0,5 mm. 3) Proses pelapisan untuk mengkonduktifkan spesimen uji dan dilanjutkan dengan memasukkan spesimen uji ke dalam SEM. 4) amati hasil foto struktur mikro dengan pembesaran sesuai yang di inginkan. 5) simpan dan cetak hasil foto pengamatan struktur mikro menggunakan SEM.

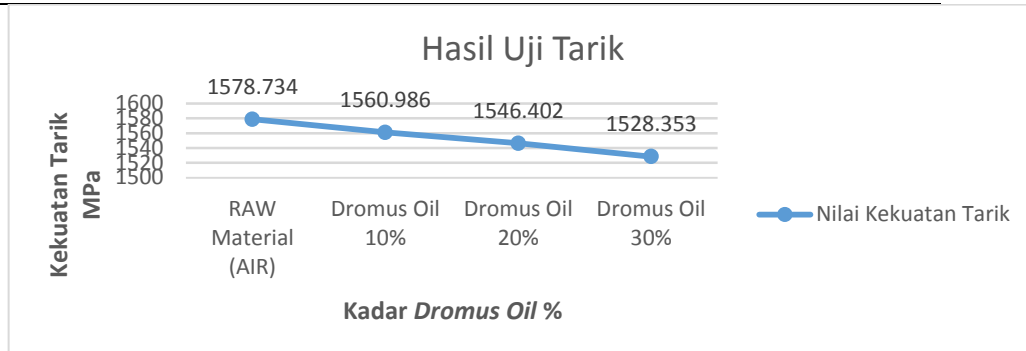
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kekuatan Tarik

Berikut ini adalah tabel dan grafik hasil kekuatan tarik baja St 60 yang mengalami proses *hardening tempering* menggunakan variasi *kadar dromus oil* 10%, 20% dan 30% dalam media pendingin.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik Baja St 60 dengan Perlakuan *Hardening Tempering*

No.	Spesimen Baja St 60	Kekuatan Tarik (MPa)			Rata-rata
		1	2	3	
1.	Raw Material (Air)	1606.229	1624.439	1505.533	1578,734
2.	Dromus Oil 10%	1606.305	1619.689	1456.964	1560,986
3.	Dromus Oil 20%	1490.929	1488.176	1660.102	1546,402
4.	Dromus Oil 30%	1460.015	1579.536	1545.508	1528,353



Gambar 1 Hasil Uji Tarik

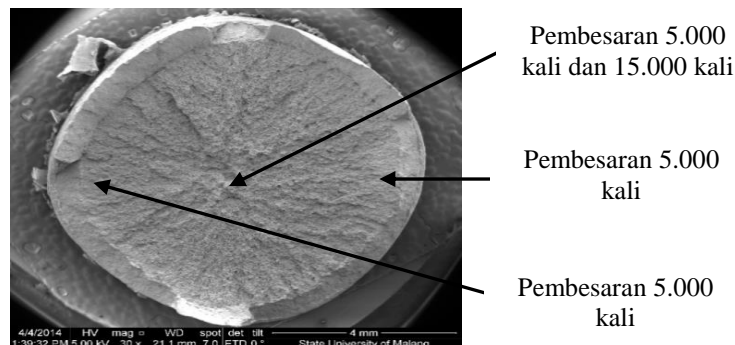
Nilai kekuatan tarik rata-rata baja St 60 paling tinggi adalah 1560.986 MPa, hasil ini diperoleh dari perlakuan *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* 10% dalam media pendingin dan nilai kekuatan tarik rata-rata baja St 60 paling rendah adalah 1528.353 MPa, hasil ini diperoleh dari perlakuan *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* 30% dalam media pendingin. Sebagai perbandingan pada *raw material* baja St 60 dengan perlakuan *hardening tempering* menggunakan media pendingin air menunjukkan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 1578.734 MPa. Nilai kekuatan tarik baja St 60 tanpa

perlakuan yang tertera pada sifat mekanik adalah 654 MPa.

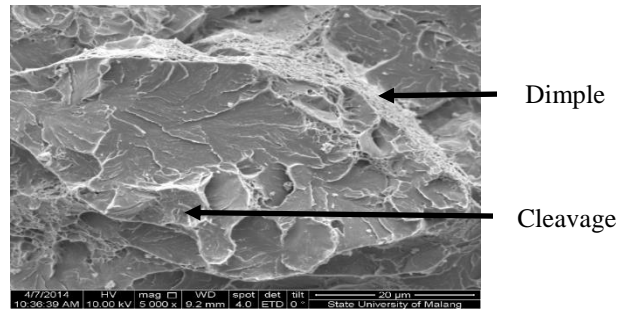
Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) maka akan dihasilkan data berupa foto struktur mikro dengan pembesaran 30, 5.000 pada bagian tepi kanan, tengah dan kiri, dan 15.000 kali pada bagian tengah. Spesimen yang diamati adalah baja St 60 yang mengalami perlakuan *hardening tempering* menggunakan variasi kadar *dromus oil* 10%, 20% dan 30% dalam media pendingin.

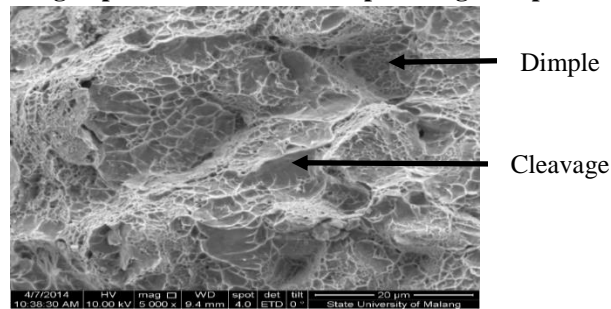
Struktur mikro spesimen dengan kadar *dromus oil* 10% dalam media pendingin



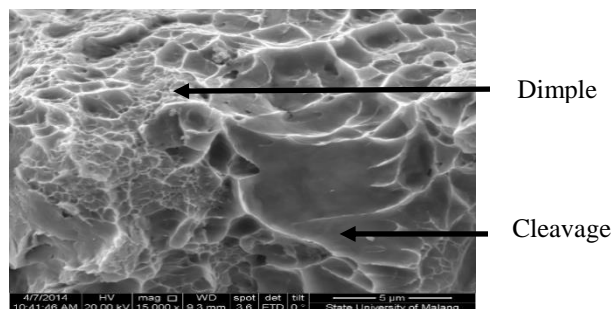
Gambar 1. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 10% dengan pembesaran 32 kali



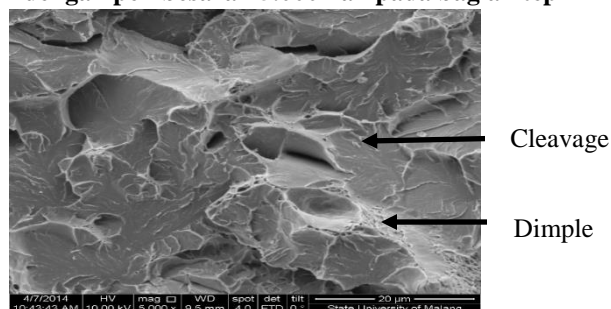
Gambar 1.a. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 10% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kanan



Gambar 1.b. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 10% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tengah

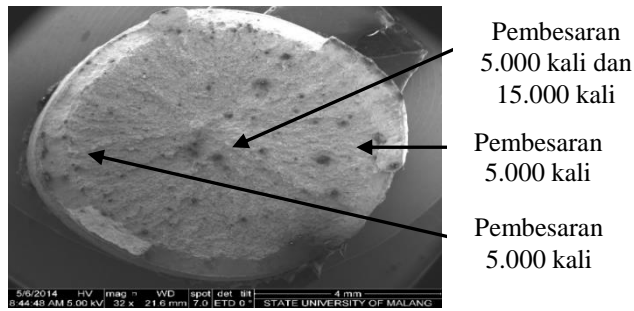


Gambar 1.c. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 10% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kiri.

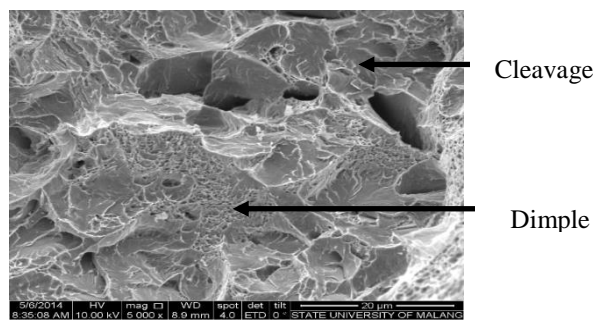


Gambar 1.d. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 10% dengan pembesaran 15.000 kali pada bagian tengah

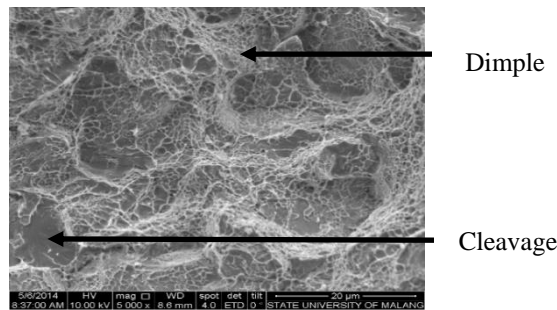
Struktur mikro spesimen dengan kadar *dromus oil* 20% dalam media pendingin



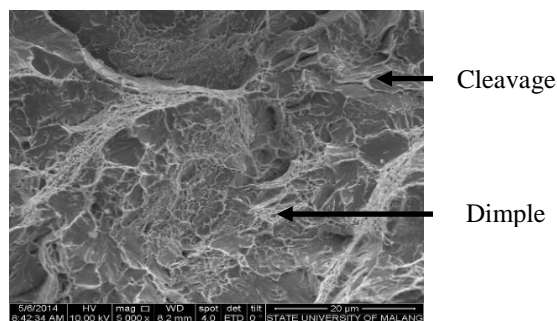
Gambar 2. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 20% dengan pembesaran 30 kali.



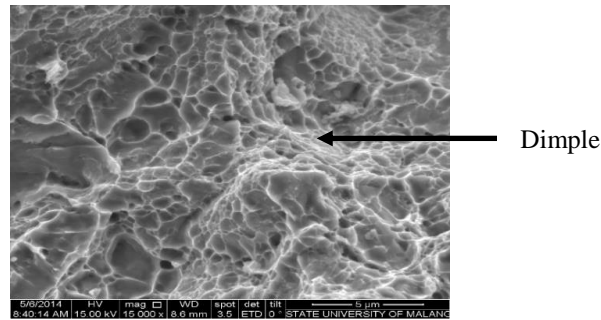
Gambar 2.a. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 20% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kanan



Gambar 2.b. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 20% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tengah

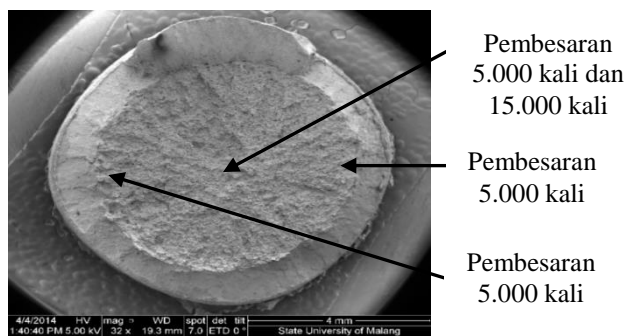


Gambar 2.c. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 20% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian kiri

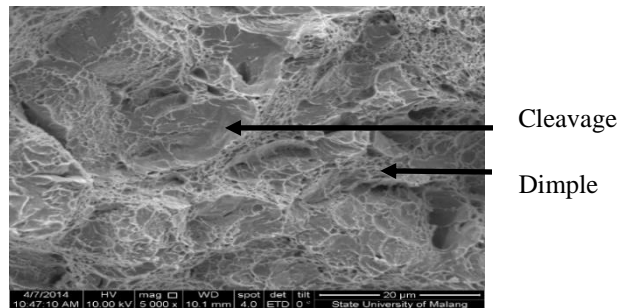


Gambar 2.d. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 20% dengan pembesaran 15.000 kali pada bagian tengah

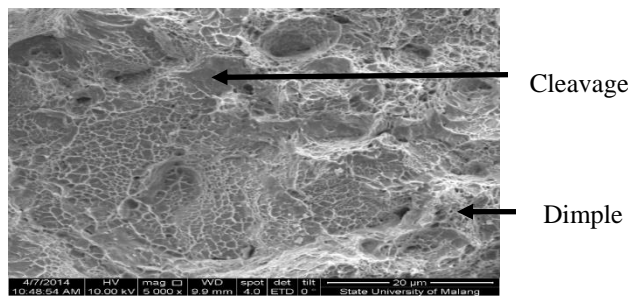
Struktur mikro spesimen dengan kadar *dromus oil* 30% dalam media pendingin



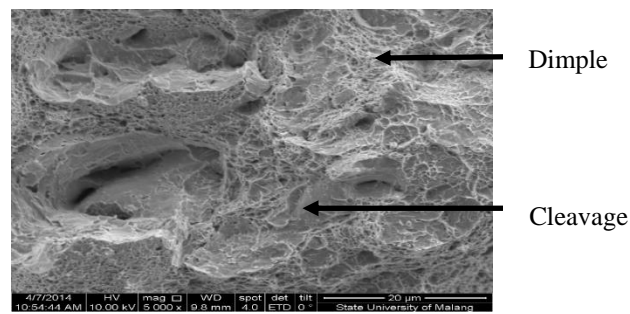
Gambar 3. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 30% dengan pembesaran 30 kali



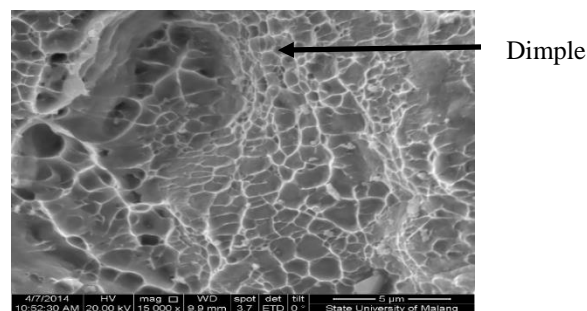
Gambar 3.a. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 30% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kanan



Gambar 3.b. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 30% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tengah



Gambar 3.c. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 30% dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kiri



Gambar 3.d. Hasil pengamatan struktur mikro (SEM) baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 30% dengan pembesaran 15.000 kali pada bagian tengah

Pengaruh Kadar *Dromus Oil* terhadap Kekuatan Tarik Baja St 60

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan teori yang ada, Robert (1991:232) dalam *ASM Handbook Volume 4* menyebut-kan bahwa dengan mengemulsikan air dan “*water soluble oil*” dengan berbagai kadar dapat diperoleh media pendingin dengan berbagai kapasitas pendinginan. Penelitian ini juga didukung oleh penelitian serupa sebelumnya yang dilakukan Karmin (2012:6) menggunakan media *quenching* emulsi minyak *dromus* dengan air mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap sifat mekanik baja amutit, semakin banyak menambahkan volume air kedalam minyak *dromus* cenderung meningkatkan kekerasan.

Pada penelitian Karmin (2012:5) menunjukkan grafik kekerasan menurun pada hasil *quenching tempering* seiring

dengan semakin banyaknya kadar *dromus oil* dalam media pendingin. Dari grafik tersebut diperoleh media pendingin dengan kapasitas pendingin paling rendah adalah 1:10 *dromus oil* per air. Hal ini sesuai jika dihubungkan dengan kurva pendinginan benda yang didinginkan cepat dengan berbagai media pendingin air, minyak dan campuran air minyak, terlihat pada grafik berbagai macam kadar dalam media pendingin emulsi pada pemanasan mencapai temperatur 800 °C dan diperoleh kapasitas pendinginan terendah adalah pada media pendingin emulsi 90% *soluble oil* dan 10% *water*.

Pada proses *hardening tempering* semakin banyak kadar *dromus oil* maka semakin rendah kapasitas pendinginannya, hasil ini didukung oleh grafik hasil kekerasan menggunakan perbandingan 1:30 *dromus oil* per air pada proses *quench*

temper. Suherman (2001: 130) menjelaskan bahwa kapasitas pendinginan dapat dinaikkan dengan menambah beberapa *additive*. Cara untuk menaikkan kapasitas pendinginan juga bisa dilakukan dengan *agitasi*, hanya saja harus dijaga agar jangan terlalu banyak gelembung udara yang terperangkap dalam minyak itu karena akan mengganggu pengaliran panas dari benda kerja. Cara lain untuk menaikkan kapasitas pendinginan adalah dengan menaikkan temperatur minyak menjadi 50-80 °C, sehingga kekentalan berkurang dan pengaliran panas akan lebih baik.

Pada hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekuatan tarik terjadi pada kadar karbon 0,4%, dan menunjukkan nilai kekuatan tarik sebesar 800 MN m⁻² dan *elongation* 25% pada proses *quenching*. Sesuai dengan hasil penelitian ini yakni pada proses *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* dalam media pendingin didapat hasil rata-rata kekuatan tarik 1545 MPa dengan *elongation* sebesar 22,14%. Selain kandungan karbon, Smallman (2000:326) menjelaskan bahwa Mn dan Cr meningkatkan kemampu kerasan dan menghambat pelunakan dan penemperan. Ni memperkuat ferit dan meningkatkan kemampu kerasan serta ketangguhan, tembaga memiliki sifat yang sama tetapi juga menghambat penemperan. Co memperkuat ferit dan menghambat pelunakan pada penemperan. Si menghambat dan mengurangi perubahan volume ketika terjadi transformasi martensit dan menghambat penemperan. Hasil data pengujian kekuatan tarik baja St 60 yang berbeda-beda pada masing-masing perlakuan, disebabkan ketidakmerataan kandungan komposisi kimia pada bagian baja.

Pada kurva pendinginan menggunakan media pendingin air dan oli bahwa proses pendinginan cepat yakni menggunakan air menghasilkan struktur martensit. Pada penelitian ini proses *hardening* dengan pendinginan cepat menggunakan variasi kadar *dromus oil* dalam media pendingin didapat hasil struktur martensit dan martensit pearlit. Diikuti dengan proses selanjutnya yakni *tempering* didapat hasil struktur martensit pearlit dan pearlit. Pada hasil uji kekuatan tarik dibuktikan dengan peningkatan kekuatan tarik yang signifikan dari sifat mekanik baja St 60 sebesar 654 MPa yang tertera pada sertifikat produk dibandingkan dengan perlakuan menggunakan media pendingin air yakni 1578.734 MPa dan menggunakan kadar *dromus oil* 10%, 20% dan 30%.

Van Vlack (2004:238) menjelaskan bahwa sifat martensit yang sangat keras dan kuat namun terlalu getas untuk digunakan hampir semua jenis aplikasi, perlu dilakukan pemanasan kembali (ditemper) sehingga menghasilkan martensit temper atau terbentuknya $\alpha+C$. *Tempering* juga dilakukan karena martensit ini tidak stabil (metastabil).

Perbandingan media emulsi air dan *dromus oil* menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi karena semakin rendah kadar *dromus oil* maka kapasitas pendinginan semakin tinggi, sehingga laju kecepatan pendinginan semakin bertambah (cepat) pada proses *hardening tempering* yang menghasilkan sifat spesimen kuat, keras, tapi getas (ketangguhan perpatahan rendah). Hal ini didasarkan pada hasil penelitian, nilai kekuatan tarik paling tinggi diperoleh pada perbandingan kadar *dromus oil* 10% dan nilai kekuatan tarik paling rendah diperoleh pada perbandingan kadar *dromus oil* 30%

Pengaruh Kadar *Dromus Oil* terhadap Struktur Mikro Baja St 60

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM baja St 60 dengan kadar *dromus oil* 10% dalam media pendingin diperoleh hasil perpatahan getas (*brittle fracture*). Hal ini berdasarkan Gambar 1 (pembesaran 32 kali), kegetasan spesimen terlihat dari hasil perpatahan uji tarik yakni struktur permukaan yang datar (*flat*), berbutir (*granular*) dan warna cerah yang menunjukkan karakteristik dari perpatahan getas (*brittle fracture*). Pada pengamatan ini juga terlihat ukuran lebar *shearlips* lebih kecil yang menunjukkan bagian luar spesimen getas. Spesimen dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kanan, tengah, dan tepi kiri (Gambar 1.a., Gambar 1.b., dan Gambar 1.c.) terlihat struktur perpatahan getas yang terdiri dari dominasi *cleavage* dan hanya sedikit struktur *dimple*. Pengamatan struktur mikro spesimen dengan pembesaran 15.000 kali pada bagian tengah (Gambar 1.d.) terlihat lebih jelas bentuk struktur *cleavage* yang mendominasi.

Hasil perpatahan getas yang diperoleh pada pengamatan struktur mikro menggunakan SEM dengan kadar *dromus oil* 10% ini memiliki ketangguhan perpatahan yang rendah. Hal ini disebabkan oleh pendinginan cepat baja St 60 menggunakan perbandingan kadar *dromus oil* 400 ml per 3600 ml air pada proses *hardening tempering*. Sehingga menghasilkan sifat baja kuat, keras, tapi getas. Hasil pengamatan ini sesuai dengan meningkatnya kekuatan tarik baja St 60 seiring dengan semakin sedikit kadar *dromus oil* dalam media pendingin pada proses *hardening tempering*.

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM baja St 60 dengan kadar *dromus oil* 20% dalam media pendingin

diperoleh hasil perpatahan ulet (*ductile fracture*). Hal ini berdasarkan Gambar 2 keuletan spesimen terlihat pembesaran 30 kali hasil perpatahan uji tarik yakni permukaan terlihat berserabut (*fibrous*) dan warna gelap yang menunjukkan karakteristik dari perpatahan ulet. Pada pengamatan ini juga terlihat ukuran lebar *shearlips* lebih besar yang menunjukkan bagian luar spesimen ulet. Spesimen dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kanan, tengah dan tepi kiri (Gambar 2.a., Gambar 2.b., dan Gambar 2.c.) dan pembesaran 15.000 kali pada bagian tengah (Gambar 2.d.) terlihat lebih jelas patahan ulet-getas terdiri dari dominasi *dimple* tapi juga masih banyak terlihat struktur *cleavage*. Hasil perpatahan ulet yang diperoleh pada pengamatan struktur mikro menggunakan SEM dengan kadar *dromus oil* 20% ini memiliki ketangguhan perpatahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar *dromus oil* 10%. Semakin banyak kadar *dromus oil* dalam media pendingin maka kapasitas pendinginan semakin rendah, laju kecepatan pendinginan berkurang menghasilkan sifat spesimen lebih ulet dan sifat kuat, keras tapi getas spesimen berkurang. Hasil pengamatan ini sesuai dengan menurunnya kekuatan tarik baja St 60 seiring dengan semakin banyak kadar *dromus oil* dalam media pendingin pada proses *hardening tempering*.

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM baja St 60 dengan kadar *dromus oil* 30% dalam media pendingin diperoleh hasil perpatahan ulet (*ductile fracture*). Hal ini berdasarkan Gambar 3, spesimen terlihat pada pembesaran 30 kali hasil perpatahan uji tarik yakni struktur permukaan terdapat banyak cekungan-cekungan atau terlihat berserabut dan warna gelap yang menunjukkan karakteristik

perpatahan ulet. Pada pengamatan ini juga terlihat ukuran lebar *shearlips* lebih besar yang menunjukkan bagian luar spesimen ulet. Spesimen dengan pembesaran 5.000 kali pada bagian tepi kanan, tengah dan tepi kiri (Gambar 3.a., Gambar 3.b., dan Gambar 3.c.) tampak perpatahan ulet terdiri dari dominasi *dimple* dan hanya sedikit terlihat struktur *cleavage*. Pada spesimen dengan pembesaran 15.000 kali pada bagian tengah (Gambar 3.d.) juga tampak jelas perpatahan ulet yang didominasi struktur *dimple*. Hasil perpatahan ulet pada pengamatan struktur mikro baja St 60 menggunakan kadar *dromus oil* 30% ini memiliki ketangguhan perpatahan yang tinggi.

Berdasarkan hasil tersebut terdapat kecenderungan bertambahnya kekuatan tarik yang terjadi seiring dengan pengurangan jumlah kadar *dromus oil* dalam suatu media pendingin emulsi ini. Bertambahnya tingkat kekuatan tarik material yang terjadi akibat proses *hardening tempering* diikuti dengan perubahan struktur mikro material. Hal ini berarti bahwa pengaruh kadar *dromus oil* dalam media pendingin terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada perlakuan panas *hardening tempering* dapat dipenuhi.

Tingkat kekuatan tarik dalam perlakuan panas dipengaruhi oleh banyak hal antara lain adalah komposisi kimia material, langkah perlakuan panas, media pendingin, temperatur pemanasan dan *holding time*. Sehingga dapat ditarik kesimpulan akhir yaitu ada pengaruh kadar *dromus oil* dalam media pendingin terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baja St 60 yang mengalami proses *hardening tempering*.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah disajikan pada uraian di atas, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

Berdasarkan data hasil uji kekuatan tarik baja St 60 yang mengalami proses *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* 10%, 20%, dan 30% dalam media pendingin, tingkat kekuatan tarik paling tinggi diperoleh pada perlakuan panas menggunakan kadar *dromus oil* 10% yaitu sebesar 1560.986 MPa, kekuatan tarik pada perlakuan panas menggunakan kadar *dromus oil* 20% sebesar 1546,402 MPa dan kekuatan tarik paling rendah diperoleh pada perlakuan panas menggunakan kadar *dromus oil* 30% sebesar 1528.353 MPa.

Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM, perpatahan getas (*brittle fracture*) diperoleh pada baja St 60 dengan perlakuan *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* 10% dalam media pendingin. Perpatahan ulet getas diperoleh pada baja St 60 dengan perlakuan *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* 20% dalam media pendingin. Perpatahan ulet (*ductile fracture*) diperoleh pada baja St 60 dengan perlakuan *hardening tempering* menggunakan kadar *dromus oil* 30% dalam media pendingin.

Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, beberapa hal yang perlu ditindak lanjuti antara lain sebagai berikut.

Bagi akademisi, perlu diadakan penelitian lanjutan dengan jenis baja kadar karbon rendah menggunakan variasi kadar *dromus oil* dalam media pendingin pada proses *hardening tempering* sehingga dapat

melengkapi hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Perlu diadakan pengujian impak (ketangguhan) menggunakan variasi kadar *dromus oil* dalam media pendingin pada proses *hardening tempering* untuk mengetahui sifat mekanik bahan karena secara teori tingkat ketangguhan berbanding terbalik dengan tingkat kekuatan tarik.

Bagi praktisi ilmu logam dan industri, dianjurkan untuk menggunakan kadar *dromus oil* 20% dalam media pendingin pada proses *hardening tempering* dikarenakan beberapa hal berikut ini: (1) Sebagai

alternatif media pendingin emulsi apabila memerlukan media pendingin dengan kapasitas pendinginan lebih rendah daripada air. (2) Terjadi peningkatan kekuatan tarik yang signifikan dari *mechanical properties* baja St 60 tanpa perlakuan yakni 654 MPa menjadi 1546,402 MPa. (3) Menghasilkan baja dengan ketangguhan perpatahan yang tinggi. Meskipun nilai kekuatan tariknya sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan kadar *dromus oil* 10% dalam media pendingin dan air. Sehingga tidak hanya keras dan kuat, tapi kerapuhan baja juga menurun dan menjadi lebih ulet.

DAFTAR RUJUKAN

- Amstead B.H., Ostwald P.F., & Begeman M.L. 1995. *Teknologi Mekanik, Edisi Tujuh*. Jakarta: Erlangga.
- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, edisi revisi VI*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Beumer, B.J.M. 1985. *Ilmu Bahan Logam*. Jakarta: Bharata Karya Aksara.
- Daryanto. 2006. *Ilmu Logam*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Elfendri. 2009. *Pengaruh Media Pendingin terhadap Kekerasan Makro dan Mikro Ni-Hard IV*. Skripsi tidak diterbitkan.
- Kamenichny. 1965. *Heat Treatment*. Moscow: Pervy Rizhsky Pereulok.
- Karmin dan Ginting, Muchtar. 2012. Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus. *Jurnal Austenit*, (Online), 4 (1): 1-7, (<http://jurnalpolsri.ac.id>), diakses 26 Oktober 2012.
- Lampman, Steven. 1996. *ASM Handbook Volume 19 Fatigue and Fracture*. United States of America: ASM International.
- Lampman, Steven. 2002. *ASM Handbook Volume 11 Failure Analysis and Prevention*. United States of America: ASM International.
- Lampman, Steven. 2004. *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructures*. United States of America: ASM International.
- Mc Murry, John. 2004. *Chemistry*. San Francisco: Pearson Education.
- Mills, Kathleen. 1987. *ASM Handbook Volume 12 Fractography*. United States of America: ASM International.
- Rizal, Taufan. 2005. *Pengaruh Kadar Garam Dapur (NaCl) dalam Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan pada Proses Pengerasan Baja V-155*. Skripsi tidak diterbitkan. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Robert. 1991. *ASM Handbook Volume 4 Heat Treating*. United States of America: ASM International.
- Rochim, Taufik. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: ITB
- Smallman. 2000. *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material, Edisi Enam*. Jakarta: Erlangga.

- Sugiono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta
- Suherman, Wahid. 1987. *Pengetahuan Bahan*. Surabaya: ITS.
- Suherman, Wahid. 2001. *Perlakuan Panas*. Surabaya: ITS.
- Suherman, Wahid. 2003. *Ilmu Logam I*. Surabaya: ITS.
- Tim Pengajar Metalurgi. 1992. *DIKTAT Petunjuk Praktikum Logam*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Universitas Negeri Malang. 2010. *PPKI: Skripsi, Tesis, Disertasi, Artikel, Makalah, Laporan Penelitian, Edisi 5*. Malang: Universitas Negeri Malang
- Van Vlack, Lawrence. H. 2004. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material, Edisi Enam*. Jakarta: Erlangga.
- Wahono. 2011. *Perlakuan Panas dan Permukaan*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Kurva Pendinginan*. [Http://www.azom.com](http://www.azom.com), diakses 5 Desember 2013.
- Scanning Electron Microscope*. [Http://central-laboratory.um.ac.id/](http://central-laboratory.um.ac.id/), diakses 4 Februari 2014.
- Mechanical Properties AISI 1045*. [Http://www.tatasteelnz.com](http://www.tatasteelnz.com), diakses 20 Januari 2014.