

Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: <http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST>

Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Garam Pada Proses Quenching Baja Karbon Sedang S45C

Yunaidi^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Politeknik LPP, Jl. LPP No. 1A Balapan Gondokusuman Yogyakarta 55231

*Corresponding author :

E-mail: yunaidi@politeknik-lpp.ac.id

Abstract – *Quenching is heat treatment process to increase the hardness and strength of steel. Important factors in the quenching include design of the equipment, type of coolant, coolant concentration, bath temperature, and motion rate during cooling. There are several types of cooling media that can be used in the quenching including water and oil. This study discusses the influence of dissolved salt concentration as a coolant in the quenching of S45C steel. The concentration of salt solution made variation between 0% to 25% by volume solution of 10 liters each. Quenching starts from the heating of steel in the furnace up to the austenitizing temperature and held at that temperature for 30 minutes followed by rapid cooling. Salinity in quenching media greatly influence the value of tensile strength and the hardness of steel. The higher salinity will decrease tensile strength and ductility. The higher salinity can accelerate the cooling process, evidenced by the emergence of a growing martensitic structure and refined at the higher salinity. Steel hardness will increase with increasing salinity.*

Keywords – Heat treatment, Quenching, S45C, Salt solution, Hardness.

1. Pendahuluan

Quenching adalah proses pemanasan logam sampai dengan suhu austenitisasi, ditahan beberapa waktu agar austenit dapat lebih homogen, kemudian didinginkan secara cepat sehingga akan membentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan struktur perlit dan ferit. *Quenching* merupakan salah satu proses perlakuan panas yang cukup penting dan banyak dilakukan dalam proses manufaktur di industri logam. Meskipun *quenching* dapat memperbaiki sifat mekanik baja, tetapi di sisi lain akan menimbulkan tegangan dalam yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk dan ukuran sehingga bisa mengakibatkan adanya retakan (Totten, 1997).

Tujuan utama *quenching* adalah meningkatkan kekerasan logam, sedangkan faktor utama dalam proses *quenching* adalah pengaturan laju pendinginan pada logam. Jika laju pendinginan terlalu lambat, logam menjadi lebih getas dan kekerasan akan berkurang. Jika laju pendinginan terlalu cepat, maka akan terjadi distorsi dan retak pada logam.

Faktor-faktor penting dalam proses *quenching* antara lain, disain peralatan, media pendingin, konsentrasi

pendingin, temperatur bak, dan laju gerakan pendinginan. Masing-masing faktor tersebut dapat mempengaruhi sifat akhir dari bahan logam sehingga harus diatur selama proses pendinginan berlangsung. Oleh karena itu, yang menarik dari metode *quenching* adalah bagaimana memilih media pendingin dan tahapan proses yang dilakukan sehingga akan meminimalkan beragam tegangan yang timbul yang dapat mengurangi terjadinya retak dan distorsi serta pada saat yang sama mampu menyediakan laju perpindahan panas yang cukup untuk mendapatkan sifat akhir hasil *quenching* seperti kekerasan (Chaves, 2001).

Quenching secara isothermal pada baja karbon sedang dapat menghasilkan kombinasi kekuatan dan perpanjangan maksimum, serta ketahanan impak yang cukup baik dengan struktur mikro bainit dan martensit. Proses ini sangat cocok untuk baja kekuatan tinggi sehingga dapat mengurangi bobot yang signifikan untuk komponen mesin/alat yang berukuran besar (Safi dan Givi, 2014).

Proses *quenching* isothermal pada baja rel juga menghasilkan struktur lower bainite pada permukaan bajanya sehingga dapat meningkatkan kekuatannya jika dibandingkan dengan struktur perlit yang dihasilkan oleh

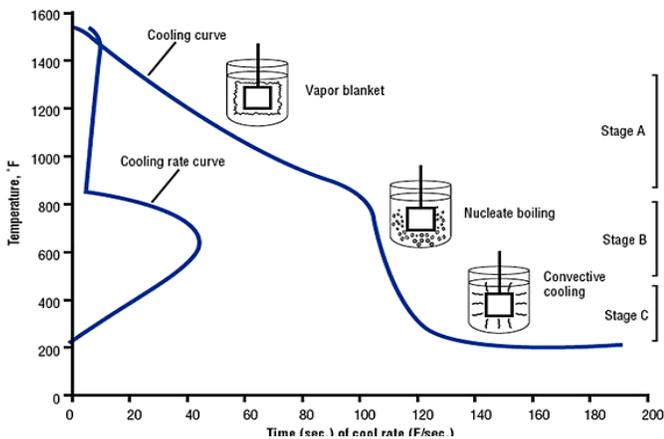
proses quenching secara konvensional dengan oli (Samoilovich, 2012).

Terdapat beragam media pendingin yang digunakan dalam dunia industri antara lain: air, larutan/air garam, minyak/oli, polimer encer, dan bak garam. Penggunaan larutan garam dalam proses *quenching* telah lama digunakan, bahkan sejak abad 18. Pada saat itu, penggunaan bak larutan garam mempunyai beberapa keuntungan, antara lain mudah dalam pengaturan dan pemeliharaan, serta hasilnya mempunyai kualitas yang konsisten/seragam. Garam digunakan sebagai media pendingin karena memiliki sifat mendinginkan yang lebih merata dan cepat. Bahan yang didinginkan dalam larutan garam akan mempunyai ikatan yang lebih keras karena pada permukaan logamnya memiliki kadar zat arang yang lebih tinggi.

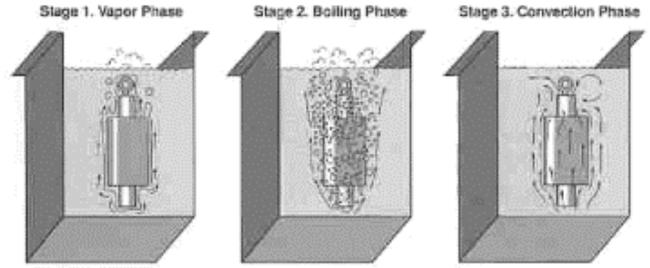
Proses quenching dengan larutan garam pada baja paduan rendah dapat meningkatkan keuletan sebelum patah dan ketangguhan impact tanpa mengurangi kekuatan tarik dan kekerasannya (Urbanec dkk, 2015). Hal ini tentu akan memberikan pengaruh yang berbeda bila hanya menggunakan media pendingin air tanpa garam.

Kemampuan media pendingin dalam mendinginkan logam dalam proses perlakuan panas berbeda-beda. Perbedaan kemampuan media pendingin dapat disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan, dan bahan dasar media pendingin (Murtiono, 2012). Kecepatan pendinginan maksimum larutan garam NaCl dengan konsentrasi 6% sebesar 65,8°C/dt melebihi kecepatan pendinginan air yang hanya mencapai 61,8°C/dt (Totten dkk, tanpa tahun).

Larutan garam mampu mengurangi pengaruh buruk proses pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam. Pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam dapat menyebabkan distorsi/perubahan bentuk dan retak. Distorsi akibat quenching dapat dikurangi dengan pemakaian larutan garam karena ketika logam dicelupkan maka garam yang mencair akan menutupi seluruh permukaan logam dan mencegah terjadinya perubahan suhu secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan distorsi (Dexter, tanpa tahun).



Gambar 1. Mekanisme pendinginan dalam proses *quenching* (Totten, 1993).



Gambar 2. Tahapan selama proses pencelupan (Houghton, 2000).

Proses *quenching* dalam larutan garam akan terlindungi dari oksigen dan karbondioksida sehingga kerusakan akibat oksigen, karbondioksida, dan uap air dari tungku dapat diminimalisir. Dekarborasi beberapa bagian logam akibat kontak dengan oksigen dan karbondioksida juga dapat dihilangkan dengan menggunakan larutan garam. Pemilihan garam harus memperhatikan beberapa hal diantaranya harus bekerja pada daerah kerja yang tepat sesuai dengan temperatur yang diinginkan, memiliki titik cair yang tepat, dan harus sesuai dengan garam lain atau oli yang digunakan dalam satu bak (Reid, 1996).

Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburisasi atau dekarburisasi (Gary, 2011).

Pemakaian larutan garam sebagai media quenching dianggap sebagai metode yang cukup baik diaplikasikan pada berbagai jenis logam dari besi tuang sampai dengan alat potong kecepatan tinggi. Jenis garam yang biasa digunakan untuk quenching alat potong kecepatan tinggi adalah barium klorida, sodium, dan potasium. Prosentase penggunaan garam disesuaikan dengan temperatur yang dipakai. Netralitas larutan garam harus dijaga untuk mencegah munculnya reaksi yang membahayakan antara garam dan baja (Dexter, 2011).

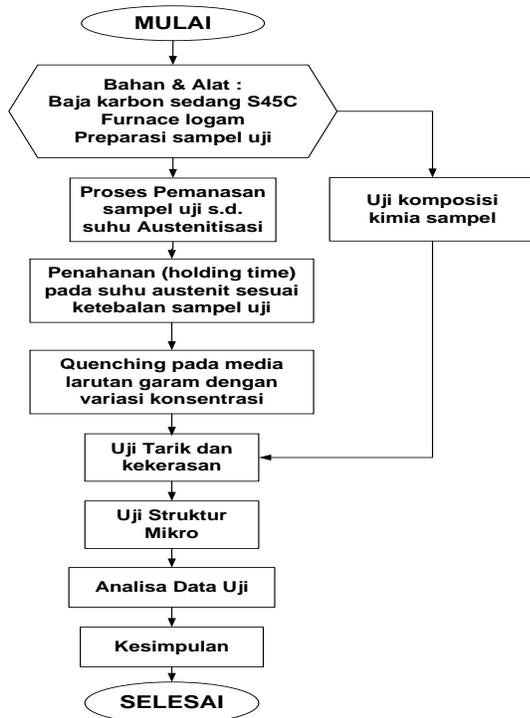
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara jumlah konsentrasi larutan garam sebagai media quenching terhadap sifat fisik dan mekanik baja karbon S45C. Sifat fisik dan mekanik yang akan diteliti meliputi perubahan kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro baja.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan alur penelitian seperti pada diagram alir pada Gambar 3.

2.1 Uji Komposisi Kimia Logam

Uji komposisi kimia logam baja dilakukan untuk memastikan bahwa sampel uji benar-benar merupakan baja S45C sesuai dengan standar yang berlaku. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat spektrometri.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

2.2 Proses Quenching

Proses *quenching* ini terdiri dari 3 (dua) tahap, yaitu proses pemanasan, proses penahanan dan proses pendinginan. Proses pemanasan specimen logam baja menggunakan mesin *furnace* dengan temperatur pemanasan sampai dengan 850° C kemudian ditahan sampai suhu tersebut selama kurang lebih 30 menit sesuai dengan ketebalan specimen. Penahanan bertujuan agar panas yang terjadi sudah merata di seluruh bagian specimen sehingga strukturnya homogen. Setelah itu specimen diambil dan langsung didinginkan (*quenching*) pada air garam dengan konsentrasi yang berbeda-beda yaitu 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 17,5; 20,0; 22,5 dan 25%. Jumlah air garam yang digunakan sebagai media pendingin sebanyak 10 liter/sampel uji. Sampel uji yang di *quenching* berupa specimen uji tarik dengan diameter terbesar adalah 14 mm.

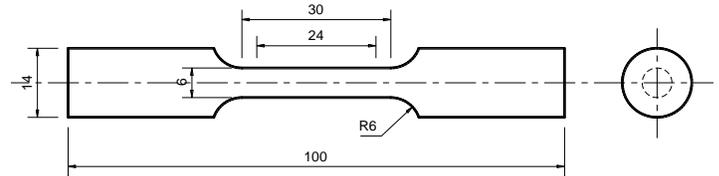
Garam yang digunakan adalah garam dapur dalam bentuk cetakan/bata yang banyak terdapat di pasaran. Komposisi rata-rata garam dapur menurut standar SNI yaitu NaCl minimal 94,9 %, air (H₂O) maksimal 5%, iodium 30-80 mg/kg sebagai KIO₃, Fe₂O₃ maksimal 100 mg/kg, Ca dan Mg maksimal 1 % yang dihitung sebagai Ca, SO₄ maksimal 2%, bagian yang tidak larut dalam air maksimal 0,5%. Ciri-ciri garam dapur adalah dibuat melalui proses sederhana dari penguapan atau evaporasi air laut, sehingga dianggap sebagai garam yang paling alamiah dengan tekstur yang lebih kasar serta mengandung yodium dalam jumlah yang sedikit.



Gambar 4. Proses *quenching* menggunakan *furnace*.

2.3 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik dilakukan pada specimen yang dibuat sesuai dengan standar ASTM E8/E8M small size specimen seperti dengan ukuran seperti pada Gambar 5 di bawah ini. Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan antara kekuatan tarik dari material dasar dan material setelah proses *quenching* sehingga diharapkan dapat mengetahui sifat mekanis dari benda uji yaitu kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan.



Gambar 5. Specimen uji tarik standar ASTM E8/E8M *small size specimen*.



Gambar 6. Specimen uji sebelum *quenching* (kiri) dan setelah *quenching* (kanan).

2.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers* dengan beban 30 kg untuk mengetahui kekerasan hasil *quenching*. Setiap specimen diambil tiga titik untuk diuji kekerasannya, kemudian diambil nilai rata-rata kekerasannya pada setiap specimen untuk mendapatkan nilai kekerasan spesimennya.

2.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mengamati daerah baja yang telah mengalami proses *quenching* pada penampang specimen dengan

melakukan foto mikro. Untuk mengetahui bentuk struktur mikro dilakukan dengan mengambil penampang permukaan spesimen untuk dipoles dan dietsa dengan larutan *Hydroflourid Acid* (HF).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Komposisi Kimia Logam

Hasil uji komposisi spesimen baja S45C menggunakan uji spektrometri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja S45C.

Unsur	Standar	uji
C	0.42-0.48	0.4620
Si	0.15-0.35	0.2596
Mn	0.6-0.9	0.7113
P	< 0.03	0.0121
S	< 0.035	0.0041
Cr	< 0.2	0.1067
Ni	< 0.2	0.0095
Cu	< 0.3	0.0058
Fe	sisanya	98.37

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia tersebut menunjukkan bahwa hasilnya sesuai dengan standar yang telah ditentukan (ASME dan JIS), sehingga dapat disimpulkan bahwa material yang diuji tersebut sudah sesuai dengan yang diharapkan.

3.2 Kekuatan Tarik

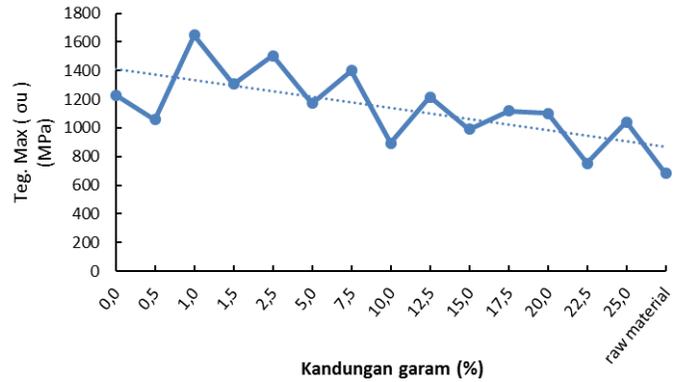
Pengukuran kekuatan tarik dan regangan dilakukan pada baja S45C yang belum mengalami *quenching* dan yang telah diberi perlakuan *quenching*. Kekuatan tarik dan regangan baja dapat dilihat pada Tabel 2, Gambar 7, dan Gambar 8 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil uji tarik baja S45C.

No.	Kandungan Garam (%)	Teg. Max (σ_U) (MPa)	Regangan (ϵ) (%)
1	0,0	1229,5	1,4
2	0.5	1059,2	5,0
3	1.0	1646,0	1,9
4	1.5	1305,3	6,7
5	2.5	1504,3	1,3
6	5.0	1171,2	0,6
7	7.5	1400,8	1,7
8	10.0	892,1	1,3
9	12.5	1214,0	1,2
10	15.0	989,3	1,2
11	17.5	1119,0	0,7
12	20.0	1102,6	0,9
13	22.5	754,3	0,9
14	25.0	1041,9	1,1
15	raw material	680,7	26,9

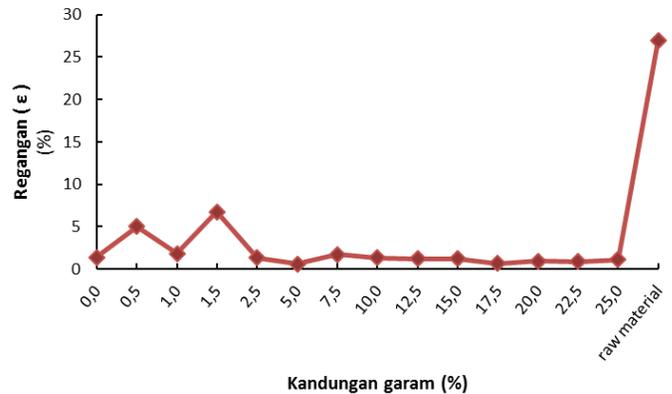
Secara umum pada proses *quenching* material S45C akan meningkatkan kekuatan tariknya. Dari Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat jelas bahwa kandungan garam pada

media pendingin sangat mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan regangannya.



Gambar 7. Grafik hubungan antara kekuatan tarik vs kandungan garam.

Perbandingan kekuatan tarik baja *raw material* dengan baja yang telah diberi perlakuan panas *quenching* semuanya mengalami peningkatan. Secara teori proses *quenching* akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan baja tetapi akan menurunkan keuletannya. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan kadar garam pada larutan *quenching* tidak akan meningkatkan kekuatan tariknya, bahkan apabila diambil garis *trendline* linearnya maka peningkatan kadar garam justru akan menurunkan kekuatan tariknya. Pada proses *quenching* kekuatan tarik tertinggi terjadi pada larutan garam 1% yaitu sebesar 1646,0 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada larutan garam 22,5% yaitu sebesar 754,3 MPa.



Gambar 8. Grafik hubungan antara regangan vs kandungan garam.

Dari grafik gambar 8 di atas menunjukkan bahwa proses *quenching* akan menurunkan nilai regangan atau keuletannya, dengan kata lain proses *quenching* akan membuat material menjadi lebih getas. Nilai regangan menjadi turun drastis yang semula 26,9% pada *raw material* menjadi di bawah 7% pada baja yang mengalami *quenching*. Pada proses *quenching* nilai regangan tertinggi

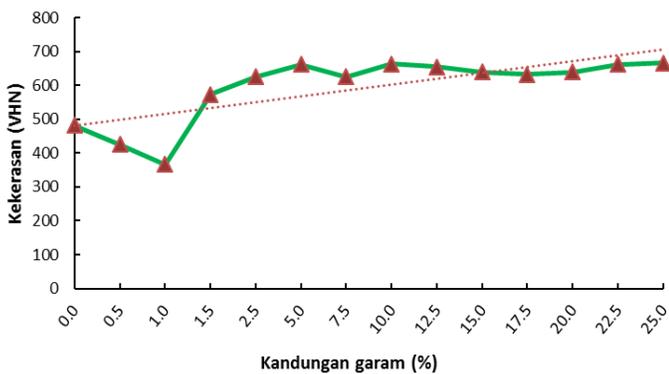
terjadi pada larutan garam 1,5% yaitu sebesar 6,7% sedangkan nilai regangan terendah terjadi pada larutan garam 5,0% yaitu sebesar 0,6%.

3.3 Kekerasan

Hasil pengukuran nilai kekerasan dapat ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 9 di bawah ini. Hasil pengujian kekerasan baja St 60 yang diberi perlakuan panas *quenching* semuanya mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Penambahan garam NaCl di atas 6% akan mampu meningkatkan laju pendinginan lebih cepat dibandingkan pada air tanpa penambahan garam (Totten dkk, tanpa tahun). Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran kekerasan yang didapatkan seperti yang terlihat pada Gambar 9 yang apabila diambil regresi linearnya maka semakin tinggi kadar garam akan meningkatkan nilai kekerasannya. Nilai kekerasan yang semakin tinggi disebabkan munculnya struktur martensit yang semakin banyak akibat proses pendinginan yang semakin cepat. Hal ini dapat dibuktikan pada struktur mikro yang diperoleh dari hasil uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik.

Tabel 3. Nilai kekerasan berdasarkan konsentrasi larutan garam.

kandungan garam (%)	kekerasan (VHN)
0,0	481,45
0,5	426,03
1,0	365,88
1,5	572,82
2,5	625,18
5,0	661,50
7,5	625,18
10,0	662,71
12,5	654,48
15,0	639,26
17,5	632,22
20,0	639,26
22,5	661,50
25,0	665,50



Gambar 9. Grafik nilai kekerasan baja S45C berdasarkan konsentrasi larutan garam.

Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada proses *quenching* dengan air garam 25,0% sebesar 665,50 VHN, sedangkan nilai terendah didapatkan pada air garam 1,0% yaitu 365,88 VHN. Nilai kekerasan terendah ini bahkan lebih rendah bila dibandingkan dengan *quenching* dengan air tanpa garam yaitu sebesar 481,45 VHN.

3.4 Struktur Mikro

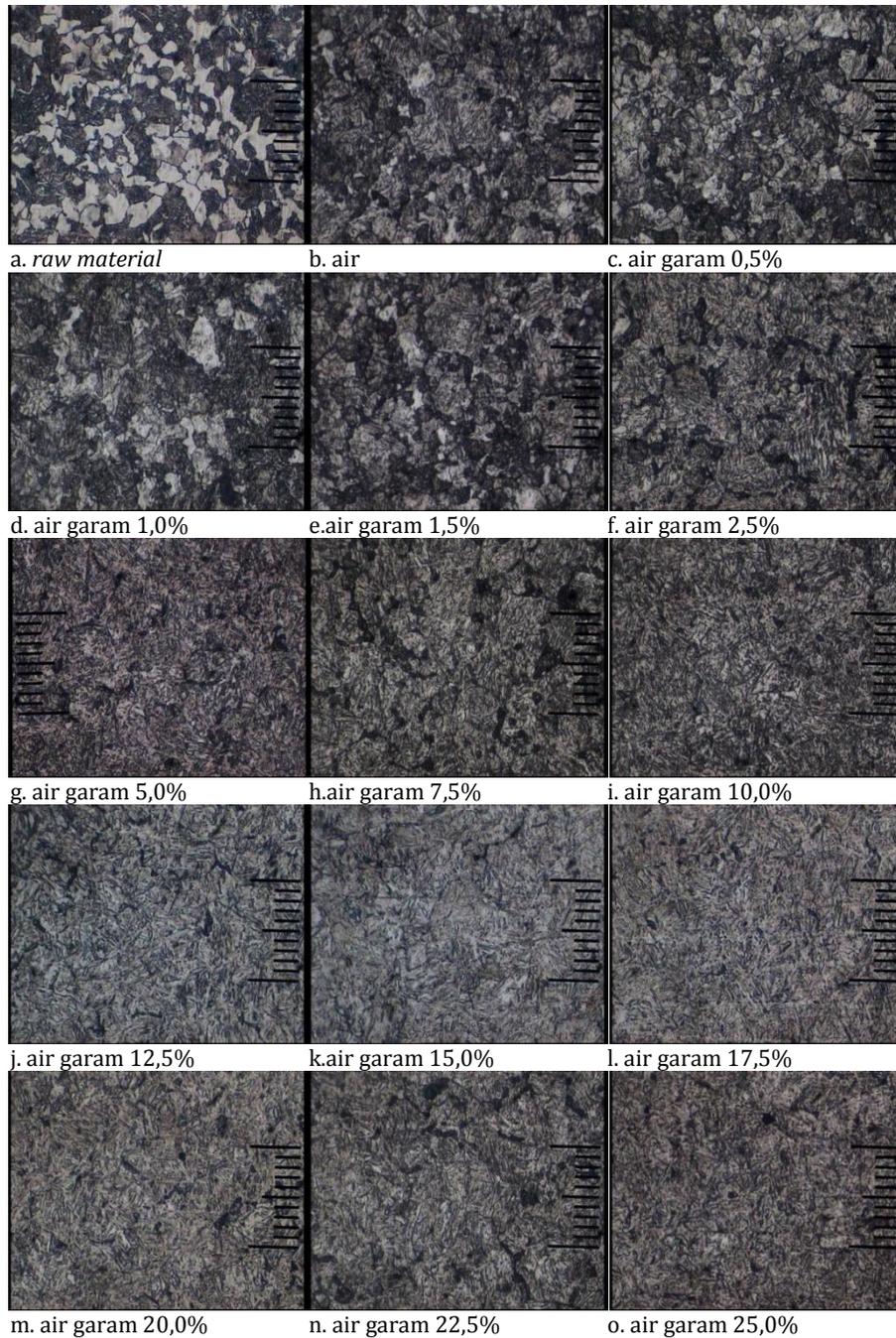
Struktur mikro yang diperoleh dari foto mikro memberikan keterangan yang dapat mendukung nilai uji kekerasan yang diperoleh. Struktur martensit yang terbentuk dapat dibandingkan untuk menjelaskan nilai kekerasan material baja S45C akibat proses *quenching*.

Berdasarkan hasil foto mikro menunjukkan bahwa baja S45C mempunyai struktur dasar berupa ferit dan perlit. Warna terang pada gambar 6.a adalah struktur ferit sedangkan yang warna lebih gelap adalah struktur perlit. Perlit merupakan campuran dari ferit dan sementit. Ferit mempunyai sifat lunak sedangkan sementit bersifat keras dan getas.

Baja yang telah mengalami proses *quenching* baik dengan air maupun air garam struktur mikronya mengalami perubahan dari ferit dan perlit menjadi sementit. Baja yang *diquenching* dengan air atau air garam dengan kandungan 0,5-1,5% struktur mikronya terdiri dari martensit, bainit, dan perlit dengan komposisi yang relatif berimbang. Struktur martensit terbentuk akibat proses pendinginan yang sangat cepat dari suhu austenitisasi. Struktur bainit merupakan kombinasi antara ferit dan sementit yang bersifat lebih keras dibanding perlit tetapi lebih lunak dibanding martensit. Struktur bainit bersifat relatif keras dan tangguh. Struktur bainit terbentuk akibat proses pendinginan yang lebih lambat dibandingkan pada laju pendinginan yang dibutuhkan untuk dapat membentuk struktur martensit, tetapi lebih cepat apabila dibandingkan pada pembentukan ferit dan perlit.

Hasil struktur mikro ini cukup memberikan penjelasan bahwa baja yang *diquenching* dengan air maupun air garam dengan kandungan 0,5-1,5% mempunyai kekuatan yang relatif lebih tinggi dengan kekerasan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan *quenching* air garam dengan kandungan 2,5-25,0%.

Baja yang *diquenching* dengan air atau air garam dengan kandungan 2,5-25,0% struktur mikronya lebih dominan berupa martensit yang berbentuk jarum dan sedikit bainit. Semakin tinggi kandungan garam maka struktur martensit yang terbentuk juga semakin halus. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan kadar garam maka proses pendinginan pada proses *quenching* dapat berlangsung lebih cepat. Struktur martensit ini akan membuat baja menjadi lebih keras dan getas, tetapi kekuatan tarikannya akan cenderung turun.



Gambar 10. Perbandingan hasil foto mikro baja S45C hasil *quenching* air garam.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian, pengukuran, perhitungan dan pembahasan maka dapat disimpulkan :

1. *Quenching* air garam dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan baja S45C. Kadar garam dalam media *quenching* sangat mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan kekerasan baja S45C.
2. Semakin tinggi kadar garam dalam media *quenching* akan menurunkan kekuatan tarik dan keuletannya. Kekuatan tarik tertinggi didapat pada *quenching* dengan

3. Semakin tinggi kadar garam dalam media *quenching* akan meningkatkan kekerasan baja S45C. Nilai kekerasan tertinggi didapat pada *quenching* dengan kadar garam 25% yaitu sebesar 665,5 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada kadar garam 1,0% yaitu sebesar 365,88 VHN.

4. Semakin tinggi kadar garam dalam media *quenching* dapat mempercepat proses pendinginan, hal ini dibuktikan dengan munculnya struktur martensit yang semakin banyak dan halus pada kadar garam yang semakin tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula Tahun 2016.

Daftar Pustaka

- ASTM E8 / E8M-15 (2015) *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bates, C.E., Totten, G.E. (1992) *Application of Quench Factor Analysis To Predict Hardness Under Laboratory and Production Conditions*, The First International Conference on Quenching & Control Distortion, Chicago, Illinois.
- Dexter, G.W. (2011) *Hardening High Speed Steel: Metallurgical Benefits of Salts*.
- Chaves, J.C. (2001) *The Effect of Surface Condition and High Temperature Oxidation on Quenching Performance of 4140 Steel in Mineral Oil*, in *Manufacturing Engineering*, Worcester Polytechnic Institute.
- Gary, M. (2011) <https://id.scribd.com/doc/52386815/Perlakuan-Panas>.
- Houghton (2000) *Houghton On Quenching*, Houghton International, Inc.
- JIS, (1973) *Ferrous Metal*, Japanese International Standar.
- Murtiono, A. (2012) *Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*, Jurnal e-Dinamis, Vol. II, No. 2, 57-70.
- Reid, B. (1996) *Heat Treating In Molten Salt*, Park Thermal International Corporation, Georgetown, Ontario.
- Safi, S.M., Givi, M.K.B. (2014) *A New Step Heat Treatment for Steel AISI 4340*, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 56, Nos. 1-2, pp. 78-80.
- Samoilovich, Yu. A. (2012) *Extending Rail Life by Creating Compressive Stress in the Crown*, Steel in Translation, Vol. 42, No. 11, pp. 760-765, Allerton Press, Inc.
- Totten, G.E., Bates, C.E., Clinton, N.A. (1993) *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*, ASM International, p 62, 140-144.
- Totten, G.E., Howes, Maurice A.H. (1997) *Steel Heat Treatment Handbook*, Marcel Dekker, Inc.
- Totten, G.E., Webster, G.M., Blackwood, R.R., Jarvis, L.M., *Important of Quench Bath Maintenance*.
- Urbanec, J., Saastamoinen, A., Kiviviuri, S., Louhenkilpi, S. (2015) *Fast Salt Bath Heat Treatment for a Bainitic/Martensitic Low-Carbon Low-Alloyed Steel*, Metallurgical and Material Transactions A, Vol. 46A, pp 5343-5349.