

## PENGARUH PROSES ANNEALING PADA HASIL PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH

Oleh:

Prihanto Trihutomo

Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang;

E-mail: prihantotrihutomo@gmail.com

**Abstrak.** Proses perlakuan panas yang diberikan pada suatu logam atau paduan dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanik dari logam atau paduan tersebut. Salah satu proses perlakuan panas yang dapat diberikan pada logam atau paduan setelah pengelasan yaitu proses *annealing*. Proses *annealing* merupakan proses perlakuan panas terhadap logam atau paduan dengan memanaskan logam tersebut pada temperatur tertentu, menahan pada temperatur tadi beberapa saat dan mendinginkan logam tadi dengan laju pendinginan yang sangat lambat. Proses perlakuan panas yang diberikan bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik dari logam atau paduan. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan pada baja St.42 setelah dilakukan pengelasan dan mengalami proses *annealing* terhadap kekerasan dan struktur mikro yang dihasilkan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Bahan yang digunakan yaitu baja St.42, diberikan perlakuan pengelasan kemudian di proses *annealing* pada variasi temperatur 500°C, 600°C dan 700°C dengan *holding time* 1 jam. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Hasil analisa data menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada temperatur *annealing* 500°C yaitu 170,03 HVN. Sedangkan pada temperatur *annealing* 700°C mempunyai nilai rata-rata kekerasan terendah yaitu 125,13 HVN.

**Kata Kunci:** pengelasan, *annealing*, kekerasan dan struktur mikro

Di masa kini industri logam berkembang cukup pesat, hal ini disebabkan oleh beberapa aspek yang mendukungnya terutama teknologi proses dan teknologi material. Jika dicermati segala kebutuhan manusia tidak terlepas dari unsur logam. Oleh sebab itu manusia berusaha untuk memperbaiki sifat-sifat fisik dan mekanik dari logam tersebut. Proses perlakuan panas pada logam sangatlah bermanfaat untuk memperbaiki sifat-sifat logam.

Metode pengelasan juga mengalami kemajuan yang didorong oleh peningkatan

ilmu pengetahuan dan teknologi. Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, ini menyebabkan logam pada sekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan yang dilaksanakan pada keadaan lumer atau cair (Wiryosumarto dan Okumura, 1996). Pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertum-

bahan dan peningkatan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hal ini disebabkan oleh banyaknya keuntungan yang diperoleh dari sambungan las (Suharto, 1991).

Dalam proses pengelasan, bagian yang di las menerima panas pengelasan setempat. Hal yang perlu diperhatikan pada hasil pengelasan adalah tegangan sisa. Tegangan sisa pada hasil pengelasan terjadi karena selama siklus termal las berlangsung di sekitar sambungan las dengan logam induk yang suhunya relatif berubah sehingga distribusi suhu tidak merata (Wiryosumarto dan Okumura, 1996).

Proses perlakuan panas dalam dunia industri merupakan proses yang cukup berpengaruh dalam menentukan sifat fisis dan mekanis suatu bahan logam. Melalui perlakuan panas sifat-sifat yang kurang menguntungkan pada logam dapat diperbaiki. Tujuan pengerjaan panas (*heat treatment*) adalah untuk membentuk keberhasilan tinggi dan seluruh tegangan sisa hasil pengelasan dapat dibebaskan (Wiryosumarto dan Okumura, 1996).

*Heat Treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik *furnace* (tungku) pada temperatur yang ditentukan selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Perlakuan panas adalah pro-

ses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu (Avner, 1987).

Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh logam yang keras, lunak, ulet, meningkatkan mampu mesin, menghilangkan tegangan sisa. Perlakuan panas yang dilakukan kadang sering diasosiasikan sebagai cara untuk menaikkan kekerasan material, sebenarnya dapat digunakan untuk mengubah sifat tertentu yang berguna atau dengan tujuan tertentu untuk kepentingan manufakturnya, seperti: menaikkan sifat *machining*, menaikkan sifat mudah dibentuk, mengembalikan elastisitas setelah proses *cold work*. Bahkan perlakuan panas bukan hanya sebagai penolong sifat manufaktur, tetapi juga dapat meningkatkan performa material dengan meningkatnya kekuatan atau karakteristik tertentu dari material yang telah diproses laku panas (Beumer, 1985).

Pada proses pelunakkan atau *annealing* merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlit yang kasar (*coarse perlite*) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenisasi dan didinginkan secara perlahan-lahan dalam tungku pemanas (*furnace*), yang bertujuan untuk memperbaiki ukuran butir serta dalam beberapa hal juga memperbaiki *machinability*. Disamping itu juga pelunakkan dilakukan untuk tujuan meningkatkan keuletan dan mengurangi tegangan dalam yang menyebabkan material berperilaku getas (Dieter, 1996).

Setelah melakukan proses pengelasan dan perlakuan panas yang dikerjakan dengan benar, maka dilakukan uji kelulusan terhadap hasil pengelasan tersebut. Untuk menentukan hasil pengelasan atau pengujian las adalah dengan pengujian kekerasan bahan dan merusak bahan. Pengujian kekerasan suatu bahan dilakukan setelah proses pengelasan dan perlakuan panas pada bahan.

Kekerasan suatu material harus diketahui, khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri adalah suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula (Suherman, 1988).

Berdasarkan hal diatas maka penelitian ini difokuskan untuk mempelajari tentang pengaruh proses *annealing* pada hasil pengelasan terhadap kekerasan dan struktur mikro baja St.42.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Untuk menguji secara eksperimental pengaruh variasi temperatur proses *annealing* pada hasil pengelasan terhadap kekerasan dan struktur mikro baja St.42.

Material yang digunakan adalah baja St.42 dengan komposisi kimianya : 0,07-0,10%C, 0,035%S, 0,30-0,60%Mn, 0,15-0,25%Si dan 0,15-0,03%P.

Sampel untuk penelitian dibuat dengan ukuran panjang 200mm, lebar 100mm dan tebal 8mm sebanyak 2 buah dan kemudian akan dilakukan pengelasan. Tiap perlakuan terdiri dari 3 spesimen sehingga total terdiri dari 12 spesimen.

Penandaan diberikan pada tiap sampel sesuai proses yang dilakukan.

**Tabel 1. Penandaan Sampel Penelitian**

No.	Spesimen	Nilai Kekerasan		
		1	2	3
1	<i>Raw Material</i>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>
2	<i>Annealing 500<sup>0</sup>C</i>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>
3	<i>Annealing 600<sup>0</sup>C</i>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>
4	<i>Annealing 700<sup>0</sup>C</i>	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>

Tempat yang digunakan untuk penelitian adalah :

1. Pengelasan di BLKI Singosari Malang.
2. Proses *heat treatment* dan pengujian material dilaksanakan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

Tahapan penelitian yaitu pelaksanaan pengelasan SMAW, pemanasan *annealing*, pendinginan dalam dapur dan pengujian sampel.

Baja St.42 sebanyak 2 buah dibentuk sesuai spesimen pengelasan dengan kampuh model V bersudut 30<sup>0</sup> dipotong menggunakan gerinda. Kemudian dilakukan pengelasan SMAW dengan pendinginan udara luar.

Proses perlakuan panas *annealing* dilakukan pada spesimen hasil pengelasan dalam dapur listrik dengan variasi temperatur 500<sup>0</sup>C, 600<sup>0</sup>C dan 700<sup>0</sup>C kemudian ditahan (*holding time*) selama 1 jam. Kemudian didinginkan didalam dapur

listrik. Sedangkan yang normal dibiarkan tanpa perlakuan panas.

Setelah proses *annealing*, kemudian dilakukan pengujian terhadap sampel meliputi pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Data yang didapat kemudian dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui sejauh mana tingkat kekerasan baja ini akibat proses *annealing*. Setelah sampel selesai diproses, dibersihkan kemudian dilakukan pengujian kekerasan pada daerah HAZ masing-masing spesimen dengan menggunakan *Vickers Hardness Tester*, dengan beban 100kg. Alat pengujian ini dapat memberikan hasil berupa kekerasan yang kontinu untuk suatu bahan tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak yaitu 5 HV hingga logam yang sangat keras dengan 1500 HV tanpa perlu mengganti gaya tekan. Rumus mencari kekerasan Vickers (HV)

$$HV = 1,854 \frac{P}{L^2} \quad (\text{Surdia, Tata. 1985})$$

dengan : HV = kekerasan Vickers

P = gaya tekan

L = diagonal tapak

Pengamatan struktur mikro dilakukan agar diperoleh gambaran perubahan struktur mikro setelah proses *annealing*. Sampel yang akan dilakukan pengujian struktur mikro diampelas halus hingga 2000 mesh, kemudian dietsa netal 2% agar terjadi pengikisan pada permukaan logam untuk memisahkan batas butir tiap fase. Pemotretan dilakukan dengan pembesaran 400 kali.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Pada penelitian ini pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers Hardness* dengan pembebanan 100kg. Dari pengujian didapat data-data seperti pada tabel berikut,

**Tabel 2** Data Pengujian Kekerasan Baja St.42 Hasil Pengelasan Tanpa Perlakuan *Annealing*

No	Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)
1	A <sub>11</sub>	142,6
2	A <sub>12</sub>	136,4
3	A <sub>13</sub>	134,6
Rata-rata		137,8

**Tabel 3** Data Pengujian Kekerasan Baja St.42 Hasil Pengelasan setelah Proses *Annealing* pada Suhu 5000C

No	Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)
1	X <sub>21</sub>	167,3
2	X <sub>22</sub>	166,2
3	X <sub>23</sub>	176,6
Rata-rata		170,03

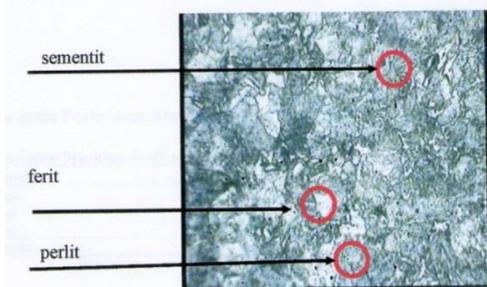
**Tabel 4** Data Pengujian Kekerasan Baja St.42 Hasil Pengelasan setelah Proses *Annealing* pada Suhu 6000C

No	Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)
1	X <sub>31</sub>	164,6
2	X <sub>32</sub>	162,2
3	X <sub>33</sub>	170,6
Rata-rata		165,8

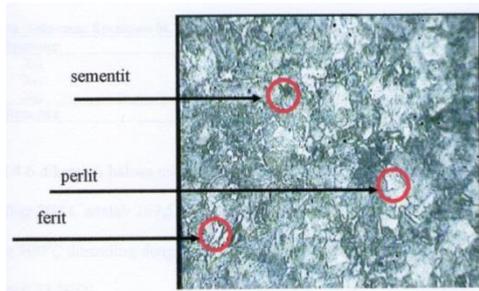
**Tabel 5** Data Pengujian Kekerasan Baja St.42 Hasil Pengelasan setelah Proses *Annealing* pada Suhu 7000C

No	Spesimen	Nilai Kekerasan (HVN)
1	X <sub>41</sub>	134,1
2	X <sub>42</sub>	128,3
3	X <sub>43</sub>	113,01
Rata-rata		125,13

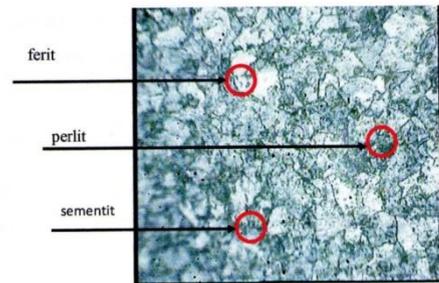
Dari Tabel 2 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata spesimen hasil pengelasan tanpa perlakuan *annealing* adalah 137,8 HVN. Pada Tabel 3 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata spesimen hasil pengelasan mengalami kenaikan setelah proses *Annealing* pada suhu 500°C yaitu 170,03 HVN. Sedangkan pada Tabel 4 didapat bahwa nilai kekerasan rata-rata spesimen hasil pengelasan mengalami penurunan setelah proses *Annealing* pada suhu 600°C yaitu 165,8 HVN. Pada Tabel 5 diketahui bahwa nilai kekerasan rata-rata spesimen hasil pengelasan semakin mengalami penurunan yang drastis setelah proses *annealing* pada suhu 700°C yaitu 125,13 HVN. Foto struktur mikro dilakukan pada baja St.42 yang sebelumnya dipoles sampai halus dan kelihatan logam las dan logam induk sehingga dapat diketahui daerah HAZ-nya.



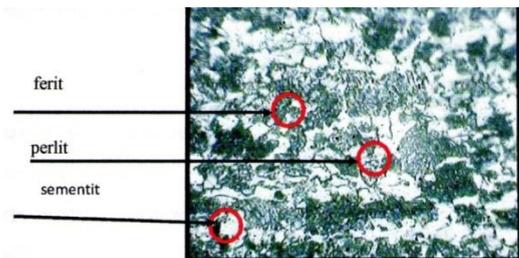
Gambar 1 Struktur Mikro pada Raw Material dengan Perbesaran 400x



Gambar 2 Struktur Mikro Perlakuan Annealing 5000C dengan Perbesaran 400x



Gambar 3 Struktur Mikro Perlakuan Annealing 5000C dengan Perbesaran 400x



Gambar 4 Struktur Mikro Perlakuan Annealing 7000C dengan Perbesaran 400x

Pada *raw material* daerah HAZ terlihat perlit dan sementit lebih mendominasi. Hal ini terjadi karena masih kurangnya temperatur panas yang dapat merubah struktur dari baja. Struktur ini merupakan paduan dari ferit yang gelap dan sementit yang terang. Dan terlihat butiran masih keadaan halus. Pada proses *annealing* dengan suhu 500°C, tampak bahwa pertambahan temperatur perlakuan panas menyebabkan pada daerah HAZ, butir-butir ferit sudah berubah menjadi relatif bulat dibanding pada *raw material*. Pada proses *annealing* dengan suhu 600°C struktur ferit dan perlit semakin mendominasi. Dan setelah proses *annealing* pada suhu 700°C, perubahan semakin tampak, butir-butir ferit menjadi semakin bulat dan semakin besar, sedangkan perlit juga berubah menjadi relatif bulat.

## Pembahasan

Seperti pada umumnya sifat mekanik logam ditentukan dari struktur mikronya. Akibat dari pengelasan menyebabkan perubahan struktur mikro di daerah HAZ dan logam las (Adhinata, 2005). Dengan adanya perlakuan panas *annealing* diharapkan dapat membuat struktur butiran di semua daerah lebih seragam dan keuletannya meningkat sehingga diperoleh kesamaan sifat mekanik hasil pengelasan SMAW. Selama proses pemulihan, terjadi penurunan energi yang tersimpan dan penurunan tahanan listrik. Sedangkan terjadi pula penurunan kekerasan (Sonawan dan Rachim, 2004).

Pengukuran *Vickers* dengan peneakan intan berbentuk piramida lurus dengan alas bujur sangkar dan sudut puncak  $136^{\circ}$  (Dieter, 1996), ditekan ke dalam bahan dengan gaya tertentu selama waktu tertentu. Kekerasan *Vickers* diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan yang berbentuk piramida. Dan dapat langsung dibaca di monitor mesin *microvickers* (Beumer, 1995).

Nilai kekerasan baja St.42 paling tinggi hasil perlakuan panas yang dicapai sebesar 170,03 HVN dan terendah ditunjukkan dengan angka 125,13 HVN, sedangkan pada baja St.42 yang tanpa perlakuan mempunyai nilai kekerasan rata-rata sebesar 137,8 HVN. Hal ini membuktikan bahwa variasi temperatur yang digunakan berpengaruh terhadap nilai kekerasan dalam proses *annealing*. Kekerasan turun sangat tajam ketika *annealing* dilakukan pada temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  sampai  $700^{\circ}\text{C}$ . Hal ini menunjukkan

bahwa proses rekristalisasi yang diikuti oleh pertumbuhan butir memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap penurunan kekerasan baja. Dalam suatu proses laku panas, setelah pemanasan mencapai temperatur yang ditentukan dan diberi *holding time* secukupnya maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu. Sifat mekanik dan struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginan (Suherman, 1988).

Pada penelitian yang telah dilakukan didapat nilai kekerasan mengalami penurunan seiring semakin tingginya temperatur *annealing*. Penurunan nilai kekerasan terlihat setelah dilakukan proses *annealing* dari temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  sampai temperatur  $700^{\circ}\text{C}$ . Penurunan nilai kekerasan yang sangat tajam terjadi setelah di *annealing* pada temperatur  $700^{\circ}\text{C}$ . Penurunan nilai kekerasan baja setelah mekanisme rekristalisasi dan diikuti pertumbuhan ferit dan perlit (Ardra, 2011).

Proses rekristalisasi akan mengubah sifat struktur kisi yang terdeformasi diganti oleh kisi baru tanpa regangan melalui proses nukleasi dan pertumbuhan. Butir tumbuh dari inti yang terbentuk di matriks yang terdeformasi. Besarnya laju kristalisasi tergantung jumlah deformasi sebelumnya, temperatur *annealing* dan kemurnian bahan (Smallman dan Bishop, 1999). Pertumbuhan butir terjadi pada saat kristalisasi primer terhenti, kristal yang tumbuh telah menelan semua bahan yang mengalami regangan. Pada saat *annealing* berlangsung, butir yang kecil menyusut dan yang lebih besar tumbuh.

Hal ini berarti *annealing* mempengaruhi sifat mekanis dari baja. Dengan dilakukannya *annealing* dapat menurunkan kekerasan dari sebuah baja. Hal ini terjadi karena dengan adanya *annealing*, maka terjadi penyusunan kembali dislokasi yang sebelumnya tersusun secara tidak teratur, dengan adanya penyusunan kembali dislokasi berarti membuat material tersebut menjadi kurang kuat. Selain itu, melalui *annealing* terjadi pertumbuhan butir yang terjadi dalam proses rekristalisasi. Seperti yang sudah dijelaskan bahwa pertumbuhan butir terjadi pada saat kristalisasi primer terhenti dimana kristal yang tumbuh telah menelan semua bahan yang mengalami regangan dan pada saat *annealing* butir yang kecil menyusut dan yang lebih besar tumbuh. Apabila butir menjadi lebih besar maka dislokasi semakin mudah bergerak karena tidak banyak yang menghalangi pergerakannya. Apabila dislokasi semakin mudah bergerak maka baja semakin tidak kuat sehingga kekuatan dan kekerasannya menurun (Sitorus, Jeremia 2011).

Setelah proses *annealing* di temperatur 500°C seperti terlihat pada gambar 2, butir-butir ferit sudah berubah menjadi semakin bulat, hal ini menunjukkan fasa ferit sudah mengalami rekristalisasi. Sedangkan butir-butir fasa perlit masih tampak terelongasi, yang menunjukkan proses rekristalisasinya masih belum menyebabkan perubahan pada bentuk butir. Seperti pada gambar 4, setelah proses *annealing* mencapai temperatur 700°C, perubahan semakin tampak, butir-butir ferit menjadi makin bulat

dan makin besar, dan fasa perlit juga berubah menjadi relatif bulat. Pada temperatur ini terjadi pertumbuhan butir-butir ferit dan terjadinya rekristalisasi pada butir-butir fasa perlit (Ardra, 2011). Pada baja hypoeutektoid bila pemanasan dilanjutkan ke temperatur yang lebih tinggi maka butir kristal feritnya mulai bertransformasi menjadi sejumlah kristal austenite yang halus, sedang butir kristal austenite yang sudah ada (yang berasal dari perlit) hampir tidak tumbuh. Perubahan ini selama pada temperatur kritis  $A_3$  (Suherman, 1988).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Perubahan nilai kekerasan baja St.42 hasil pengelasan terjadi setelah *annealing* dengan temperatur 500°C. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada *annealing* 500°C yaitu 170,03 HVN. Nilai kekerasan tidak banyak berubah ketika dilakukan *annealing* sampai 600°C. Kekerasan turun sangat tajam ketika *annealing* dilakukan pada temperatur 700°C yaitu 125,13 HVN. Hal ini menunjukkan bahwa proses rekristalisasi yang diikuti oleh pertumbuhan butir memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap penurunan kekerasan.
2. Setelah proses *annealing* pada temperatur 500°C, butir-butir ferit sudah berubah menjadi relatif bulat, hal ini menunjukkan fasa ferit sudah mengalami rekristalisasi. Sedangkan butir-butir fasa perlit masih tampak terelongasi, yang menun-

jukkan proses rekristalisasinya masih belum menyebabkan perubahan pada bentuk butir. Pada proses *annealing* temperatur 700°C, perubahan semakin tampak, butir-butir ferit menjadi semakin bulat dan semakin besar, dan fasa perlit juga berubah menjadi relatif bulat. Pada temperatur ini terjadi pertumbuhan butir-butir ferit dan terjadinya rekristalisasi pada butir-butir fasa perlit.

### Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan perlakuan panas yang lain pada baja St.42.
2. Pengujian yang berbeda dapat diterapkan pada baja St.42 hasil pengelasan setelah di *annealing*.
3. Penelitian terhadap hasil pengelasan pada material yang berbeda perlu dilakukan agar diperoleh sifat mekanik material hasil pengelasan yang lebih baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adhinata. 2005. *Pengaruh Temperatur Annealing Terhadap Kekerasan Hasil Lasan Pada Proses Underwater Welding*. Artikel. Malang: Teknik Mesin Brawijaya
- Ardra. 2011. *Proses Perlakuan Panas Anil-Annealing* (Online) (<http://ardra.biz/metalurgi/perlakuan-panas-logam/proses-anil-annealing>)
- Avner. 1987. *Introduction to Physical Metallurgy, 2<sup>nd</sup>ed. Mc.Graw-Hill Book Company, New York*
- Beumer. 1985. *Ilmu Bahan Logam Jilid II*. Jakarta: Bharata Karya Aksara
- Dieter. 1996. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga
- Mubarok, Fahmi. 2008. *Metallurgy I*. Laboratorium Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Sitorus, Jeremia. 2011. *Pengaruh Annealing Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon dan Besi Tuang*
- Smallman dan Bishop. 1999. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*
- Sonawan dan Rachim. 2004. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta
- Suharto. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Pertama. Jakarta: PT. Rineka Cipta
- Suherman. 1988. *Ilmu Logam III*. Surabaya: Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Surdia, Tata. 1985. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Wiryosumarto dan Okumura. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.