

**PENGARUH KECEPATAN TORCH DAN JENIS NYALA API  
TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN BAJA KARBON  
PADA PROSES *AUTOMATIC FLAME SURFACE HARDENING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



Oleh :

**DANANG SEPTIANTO NUGROHO**

**NIM : I 0404027**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2009**

**PENGARUH KECEPATAN TORCH DAN JENIS NYALA API  
TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN BAJA KARBON  
PADA PROSES *AUTOMATIC FLAME SURFACE HARDENING***

Disusun oleh :

Danang Septianto Nugroho  
NIM. I0404027

Dosen Pembimbing I

Eko Surojo, ST., MT  
NIP. 19690411 2000031 006

Dosen Pembimbing II

Dody Ariawan, ST., MT  
NIP. 19730804 1999031 003

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Jum'at tanggal 31 Juli 2009

1. Bambang Kusharjanta, ST., MT .....  
NIP. 19691116 1997021 001
2. Wahyu Purwo Rahardjo, ST., MT .....  
NIP. 19720229 2000121 001
3. Joko Triyono, ST., MT .....  
NIP. 19690625 1997021 001

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Koordinator Tugas Akhir

Dody Ariawan, ST., MT  
NIP. 19730804 1999031 003

Syamsul Hadi, ST., MT  
NIP.19710615 1998021 002

## **Effect of Torch Speed and Flame Type to Surface Hardness of Carbon Steel on Automatic Flame Surface Hardening Process**

**Danang Septianto Nugroho**  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sebelas Maret  
Surakarta, Indonesia  
email : [danang\\_mech04@yahoo.com](mailto:danang_mech04@yahoo.com)

### **Abstract**

Surface hardening of metal is a method to enhance the surface hardness of a metal. The surface-hardened metal possesses higher scale of hardness on the surface than in the core (the core remains ductile). The objective of the surface hardening in this research is to obtain the highest value of hardness of the carbon steel surface subjected to flame hardening. The output of this research could be applied to small scale industries of metal surface hardening to increase their product quality.

This research utilized an automatic flame surface-hardening device. The surface hardening is performed by heating the specimen surface followed by quenching. The flame of oxy-acetylene is utilized to heating up the metal's surface while the cooling is performed by water pumped from water reservoir. The speed and the flame of the torch are varied in this research. The speed of the torch and the cooling nozzle are regulated by inverter. The type of the flame is regulated through the oxygen and acetylene valves on the heating torch.

The result of the testing shows that the best hardness value of the surface achieved when the torch speed is 28 mm/min and the type of the flame was carburization. The hardness of the surface of the specimen are 879,10 HV and 232,80 HV under the surface. Case depth on this specimen reaches 1,4mm from surface. The microstructure imaging shows the martensitic phase on the surface of the specimen while the middle and the bottom of the specimen shows the pearlit and the ferrite phase respectively. That's why the specimen is hard on the surface while the core and the bottom of the specimen remain ductile.

**Keywords:** flame hardening, hardening, carbon steel, quenching, martensit

## Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Pada Proses *Automatic Flame Surface Hardening*

**Danang Septianto Nugroho**  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sebelas Maret  
Surakarta, Indonesia  
email : [danang\\_mech04@yahoo.com](mailto:danang_mech04@yahoo.com)

intisari

Pengerasan permukaan (*surface hardening*) pada logam merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada logam. Logam yang mengalami pengerasan permukaan akan mempunyai sifat keras di permukaan, sedangkan pada bagian tengah/inti logam akan tetap ulet. Tujuan dari proses pengerasan permukaan pada penelitian ini adalah mencari harga kekerasan tertinggi dari permukaan baja karbon yang dikenai perlakuan panas *flame hardening*. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu diterapkan pada industri perlakuan panas pada logam di tingkat menengah ke bawah sebagai upaya peningkatan kualitas produk

Penelitian ini menggunakan alat *automatic flame surface hardening*. Pengerasan permukaan dilakukan dengan cara memanaskan permukaan spesimen, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan secara tiba-tiba pada permukaan spesimen. Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan nyala api dari gas oksiasetylen, sedangkan pendinginannya menggunakan air yang di pompa dari bak penampung. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah variasi kecepatan gerak *torch* dan variasi nyala api pada *torch* pemanas. Kecepatan gerak dari *torch* pemanas dan *nozzle* pendingin diatur menggunakan inverter. Jenis nyala api diatur melalui katup aliran gas oksigen dengan gas asetilen yang ada pada *torch* pemanas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengerasan permukaan dapat terbentuk dengan baik pada spesimen dengan kecepatan *torch* 28 mm/menit dan menggunakan nyala api karburasi. Kekerasan permukaan pada spesimen ini mencapai 879,10 HV sedangkan pada bagian bawah spesimen kekerasannya adalah 232,80 HV. Kedalaman pengerasan yang terbentuk pada spesimen ini mencapai 1,4 mm dari permukaan. Hasil foto struktur mikro menunjukkan bahwa fasa martensit tampak pada permukaan spesimen sedangkan pada bagian tengah dan bawah spesimen mempunyai fasa perlit dan ferrit. Hal ini menyebabkan spesimen bersifat keras di permukaan, sedangkan pada bagian tengah dan bawah spesimen tetap lunak.

**Kata kunci : *flame hardening*, pengerasan, baja karbon, *quenching*, martensit**

## MOTTO

Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya padahal Allah tidak dilihatnya.  
(Q.S. Al Hadid. 25)

“ Maka sesungguhnya bersama kesulitan pasti ada kemudahan, maka bersama kesulitan pasti ada kemudahan”  
(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“ Mukmin yang kuat lebih baik dan lebih dicintai Allah daripada mukmin yang lemah; pada keduanya ada kebajikan. “  
(HR. Muslim)

“Jika engkau diberi kemudahan oleh Alloh SWT, maka bersyukurlah karena engkau adalah orang yang beruntung. Tapi jika engkau diberi ujian oleh Alloh, maka bersabarlah karena Alloh menghendakimu menjadi orang yang kuat”  
(Nur Eko Dahmayanti)

“ Bersyukur.. Karena dengan bersyukur, Alloh SWT akan menambah nikmatmu. “  
(Danang)

## PERSEMBAHAN

Kepada mereka yang telah berjasa, kepada mereka pula aku persembahkan hasil jerih payahku selama menempuh jenjang S-1 ini yaitu sebuah skripsi yang akan menjadi karya terbesarku sehingga aku lulus dari Universitas Sebelas Maret ini dengan gelar Sarjana Teknik. Mereka adalah:

1. Dengan nama-Nya yang telah menciptakan alam semesta dan seisinya. Segala puji bagi Allah, tidak ada daya dan upaya kecuali dengan-Nya. Allah-lah pemilik segala keagungan, kemuliaan, kekuatan dan keperkasaan. Terima kasih Allah...
4. Bapak : Dahlan Harjo Prayitno, Ibu : Endang Sugiyanti, karena beliau adalah penulis terlahir didunia dengan kelebihan dan kekurangannya. Beserta saudara dari bapak dan ibu semua.
5. Kakakku : Mbak Nur dan Mbak Endah (Pemberi semangat dikala susah dan gundah , kalian adalah harta yang tak ternilai ).
6. Bapak Eko Surojo and Bapak Dody Ariawan, dosen-dosen hebat yang telah membimbing tanpa rasa letih dan menerangi jalan Ta-ku yang panjang serta berliku.
7. Ary Putri Suryani, pembimbing spiritual-ku, pemacu semangat-ku, dan teman sejati yang dengan setia menemaniku disaat susah maupun senang.
8. Mahriza Apriyanto, teman seperjuangan yang menemaniku bongkar pasang alat dan mengambil data TA-ku.
9. Joko Susilo, Mulyantara, Mas Maruto dan semua temen-temen di Laboratorium Material yang selalu menjadi keluh kesah-ku.
10. Temen-temen Emperor-ku yang menemaniku dikala suntuk dan jenuh (Futsal coy..!! ^\_^).

**11. Semua orang yang dekat dan kenal dengan penulis (mereka yang pernah bersama memberi pengalaman yang berarti, memberikan nasehat serta dukungan dalam kehidupan penulis ).**



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi “Pengaruh Kecepatan Torch Dan Jenis Nyala Api Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Pada Proses *Automatic Flame Surface Hardening*” ini dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam Penyelesaian Skripsi ini tidaklah mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini, terutama kepada:

12. Bapak Dody Ariawan, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNS Surakarta.
13. Bapak Eko Surojo, ST. MT, selaku Pembimbing I atas bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
14. Bapak Dody Ariawan, ST. MT, selaku Pembimbing II yang telah turut serta memberikan bimbingan yang berharga bagi penulis.
15. Bapak Rendy Adhi R, ST. MT, selaku Pembimbing Akademis yang telah menggantikan sebagai orang tua penulis dalam menyelesaikan studi di Universitas Sebelas Maret ini.
16. Bapak Syamsul Hadi, ST. MT, selaku koordinator Tugas Akhir
17. Seluruh Dosen serta Staf di Jurusan Teknik Mesin UNS, yang telah turut mendidik penulis hingga menyelesaikan studi S1.
18. Ayah, Ibu, Mbak Nur, dan Mbak Endah, atas do'a restu, motivasi, dan dukungan material maupun spiritual selama penyelesaian Tugas Akhir.
19. Ary Putri Suryani, teman sejati yang selalu ada disaat senang dan susah yang selalu memberikan do'a, dorongan semangat dan bantuan tanpa mengenal waktu. Jazakumullah....
20. Rekan Skripsi Makhriza Apriyanto (Riza), yang telah bersama-sama mengerjakan penelitian ini, terima kasih yang tak terkira atas bantuannya. Thanks Bro, Matur nuwun, Sukron, Arigatoo....!!!
21. Rekan Asisten Lab. Material, Joko Susilo (Susi), Mulyantara (Mbah Mul), Anzis (Afgan), Agung (Koplak) yang telah menemani dalam pembuatan alat penelitian ini, terima kasih yang



tak terkira atas bantuan kalian semua.

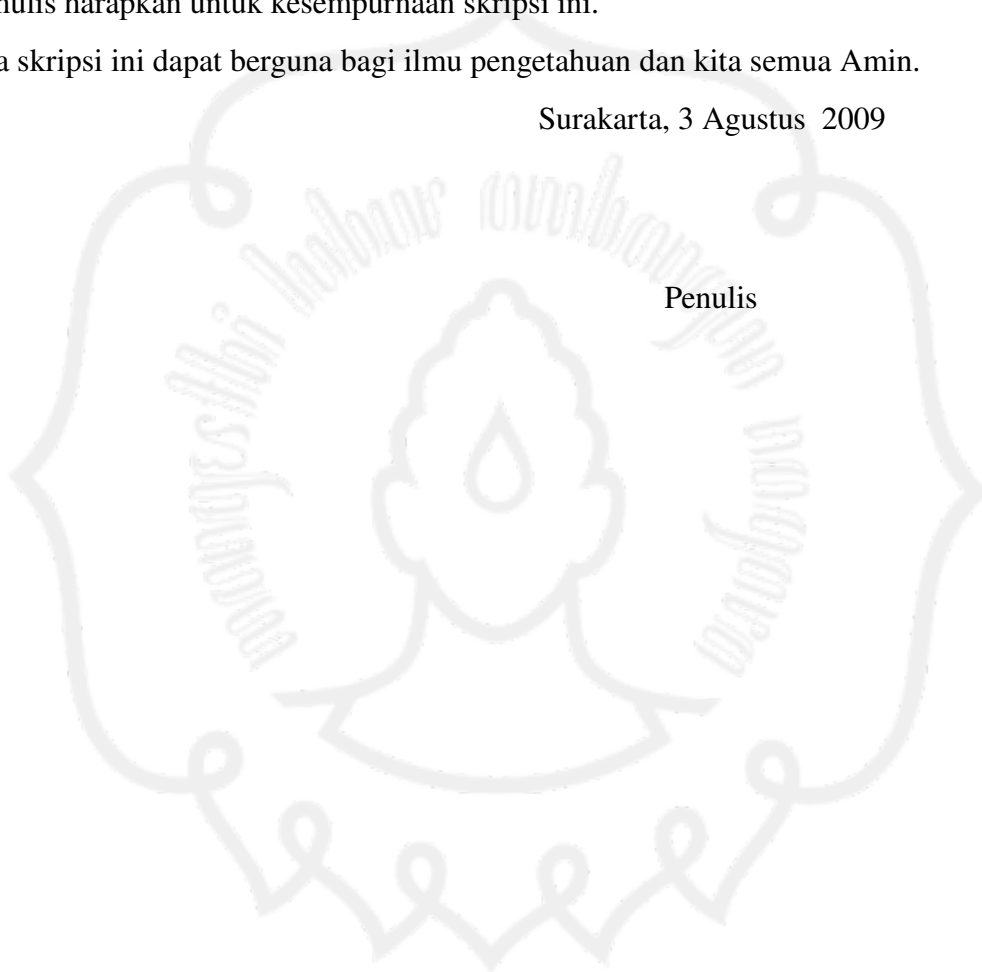
22. Rekan - rekan Teknik Mesin semua, khususnya angkatan 2004 terima kasih atas kerjasamanya selama ini.
23. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah membantu pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi ilmu pengetahuan dan kita semua Amin.

Surakarta, 3 Agustus 2009

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul .....	i
Halaman Pengesahan .....	ii
Halaman Abstrak .....	iii
Halaman Motto .....	v
Halaman Persembahan .....	vi
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Tabel .....	xii
Daftar Gambar .....	xiii
Daftar Notasi.....	xv
Daftar Lampiran .....	xvii
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
 <b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Tinjauan Pustaka .....	4
2.2. Dasar Teori .....	5
2.2.1. Perlakuan Panas pada Baja .....	5
2.2.2. <i>Annealing</i> .....	6
2.2.3. Proses <i>Quench (Quenching)</i> .....	7
2.2.4. Pengerasan Permukaan.....	7
2.2.5. <i>Flame Hardening</i> (Pengerasan Pembakaran /Api).....	8
2.2.6. <i>Case Depth</i> .....	
9	
2.2.7. Nyala Api Oksi-asetilen.....	

10

2.2.8. Uji Keras Mikro *Vickers* .....

12

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Diagram Alir Penelitian.....	14
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	15
3.3. Bahan Penelitian .....	15
3.4. Alat Penelitian .....	16
3.5. Parameter Penelitian.....	22
3.6. Pelaksanaan penelitian.....	23
3.6.1. Tahap Persiapan.....	23
3.6.2. Tahap Pengambilan Data.....	24
3.7. Metode Analisis Data .....	25

**BAB IV DATA DAN ANALISIS**

4.1. Raw Material .....	26
4.2. Pengaruh Kecepatan terhadap Kekerasan Permukaan.....	29
4.3. Pengaruh Jenis Nyala Api terhadap Kekerasan Permukaan.....	34

**BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	36
5.2. Saran .....	36

Daftar Pustaka ..... 37

Lampiran ..... 38

### DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Variasi Perlakuan Pada Spesimen.....	25
Tabel 4.1. Komposisi Unsur Spesimen.....	26



## DAFTAR GAMBAR

## Halaman

Gambar 2.1. Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	5	
Gambar 2.2. Diagram CCT pada proses annealing.....	6	
Gambar 2.3. Hubungan kadar karbon dengan kekerasan.....	7	
Gambar 2.4. Prinsip <i>Flame Surface Hardening</i> .....	9	
Gambar 2.5. Hasil pengukuran kedalaman pengerasan berdasarkan ISO...	10	
Gambar 2.6. Nyala api netral.....	10	
Gambar 2.7. Nyala api karburasi .....	11	
Gambar 2.8. Nyala api oksidasi.....	12	
Gambar 2.9. Skema uji keras vickers dan jejak pembebanannya.....	12	
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....		14
Gambar 3.2. Baja pegas daun.....	15	
Gambar 3.3. Gas asetilen .....	16	
Gambar 3.4. Gas oksigen.....	16	
Gambar 3.5. Skema instalasi alat <i>Automatic Flame Surface Hardening</i> .....	16	
Gambar 3.6. Instalasi <i>alat Automatic Flame Surface Hardening</i> .....	17	
Gambar 3.7. Motor listrik.....	18	
Gambar 3.8. <i>Inverter</i> .....	19	
Gambar 3.9. Termokopel.....	19	
Gambar 3.10. Data akuisisi.....	20	
Gambar 3.11. <i>Torch</i> pemanas.....	20	
Gambar 3.12. <i>Nozzle</i> pendingin.....	20	
Gambar 3.13. Pompa aquarium.....	21	
Gambar 3.14. Alat uji keras mikro <i>vickers</i> .....	21	
Gambar 3.15. Alat pendukung pengujian <i>automatic flame hardening</i> .....		22
Gambar 3.16. Dimensi spesimen.....		23
Gambar 3.17. Skema proses <i>annealing</i> .....		24
Gambar 4.1. Posisi titik uji keras.....		27
Gambar 4.2. Grafik hubungan kekerasan terhadap posisi pengujian pada raw material.....	27	

Gambar 4.3. Struktur mikro raw material sebelum dan sesudah anil.....	28
Gambar 4.4. Grafik pengaruh kecepatan terhadap kekerasan pada penggunaan nyala api karburasi	
29	
Gambar 4.5. Grafik pengaruh kecepatan terhadap kekerasan pada penggunaan nyala api netral	29
Gambar 4.6. Grafik pengaruh kecepatan terhadap spesimen pada penggunaan nyala api	
karburasi	31
Gambar 4.7. Struktur mikro spesimen variasi kecepatan 14mm/menit nyala karburasi.....	32
Gambar 4.8. Struktur mikro spesimen variasi kecepatan 28 mm/menit nyala karburasi.....	32
Gambar 4.9. Struktur mikro spesimen variasi kecepatan 42 mm/menit nyala karburasi.....	33
Gambar 4.10. Grafik pengaruh jenis nyala api terhadap kekerasan spesimen.....	34
Gambar 4.11. Grafik pengaruh jenis nyala api terhadap kekerasan spesimen.....	34
Gambar 4.12. Efek nyala netral pada spesimen dengan variasi kecepatan 28 mm/menit.....	35

## DAFTAR NOTASI

Teq  $\mathcal{V}$  = Temperatur *equivalen* ( $^{\circ}\text{C}$ )

P = beban yang diterapkan (Kg)

L = rata-rata diagonal bekas penekanan (mm)

P<sub>o</sub> = Tekanan gas oksigen (kg/cm<sup>2</sup>)

P<sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></sub> = Tekanan gas asetilen (kg/cm<sup>2</sup>)

Q = Debit air pendingin (m<sup>3</sup>)

V<sub>t</sub> = Kecepatan *torch*



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Grafik hubungan antara temperatur dan waktu proses variasi kecepatan 14 mm/menit dengan nyala api karburasi.....	38
Lampiran 2. Grafik hubungan antara temperatur dan waktu proses variasi kecepatan 28 mm/menit dengan nyala api karburasi.....	38
Lampiran 3. Grafik hubungan antara temperatur dan waktu proses variasi kecepatan 42 mm/menit dengan nyala api karburasi.....	39
Lampiran 4. Grafik hubungan antara temperatur dan waktu proses variasi kecepatan 28 mm/menit dengan nyala api netral.....	39
Lampiran 5. Grafik hubungan antara temperatur dan waktu proses variasi kecepatan 42 mm/menit dengan nyala api netral.....	40
Lampiran 6. Data Hasil Uji Keras Mikro <i>Vickers</i> .....	41
Lampiran 7. Persamaan Regresi Grafik Hubungan Kekerasan dengan Kedalaman Pengerasan .....	44
Lampiran 8. Hasil Uji Foto Struktur Mikro.....	47
Lampiran 9. Data Hasil <i>Trial</i> Eksperimen.....	53



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan industri di Indonesia tidak dapat dipisahkan dari perkembangan industri logam. Industri logam berperan sebagai industri dasar untuk kemajuan bidang industri lainnya. Studi tentang pengolahan logam menjadi penting untuk menghasilkan kualitas logam yang baik.

Dalam ilmu bahan, kekerasan suatu baja karbon berkaitan erat dengan kadar karbonnya. Semakin tinggi kadar karbon dalam suatu logam, maka kemampuan logam tersebut untuk dikeraskan akan semakin baik. Apabila ditinjau dari perubahan metalografi permukaan ada dua teknik yang dapat digunakan untuk mengeraskan baja karbon, yaitu *flame surface hardening* dan *induction hardening* (Amstead dkk, 1995).

Metode yang tepat digunakan untuk industri logam menegah ke bawah di Indonesia adalah metode *flame surface hardening*. Metode *flame surface hardening* merupakan metode pengerasan permukaan yang dilakukan dengan cara memanaskan permukaan komponen baja secara cepat hingga di atas temperatur titik kritis dari baja membentuk fasa austenit kemudian diquenching secara cepat untuk mengubah struktur austenit menjadi martensit yang kemudian akan merubah baja menjadi keras (Amstead dkk, 1995).

Metode *flame surface hardening* mempunyai beberapa kelebihan, antara lain:

1. Murah dalam biaya,
2. Mudah dalam prakteknya (menggunakan las gas oksi-asetilen).
3. Selective hardening (pengerasan daerah tertentu).
4. Bisa dioperasikan secara otomatis.

5. Tidak membutuhkan persyaratan kerja yang ketat.

Penelitian tentang pengerasan permukaan ini diharapkan akan melengkapi kekurangan dari sifat material yang sudah ada, sehingga jika penelitian ini berhasil, maka akan didapatkan nilai kekerasan permukaan yang optimal untuk baja karbon dan diharapkan hasilnya dapat bersaing dengan produk dari industri besar atau produk impor. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel dalam metode *flame surface hardening* yang dilakukan secara otomatis.

## 1.2 Perumusan Masalah

Harga kekerasan tertinggi dicari melalui proses pemanasan pada permukaan material dengan *torch* pemanas, yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan pendinginan secara tiba-tiba dengan *torch* pendingin. Proses pengerasan dilakukan secara otomatis dengan alat *automatic flame surface hardening* dengan melakukan variasi terhadap kecepatan gerak *torch* dan jenis nyala pada *torch*, sehingga akan didapatkan harga kekerasan tertinggi.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi sebagai berikut:

- .1 Material yang digunakan adalah baja bekas per daun pada mobil / truk.
- .2 Proses perlakuan panas yang dikenakan pada spesimen uji adalah *automatic flame surface hardening*.
- .3 Nyala api pada proses *flame hardening* dihasilkan dari gas oksigen dan asetilen.
- .4 Pengaturan kecepatan gerak *torch* pemanas dan *nozzle* air adalah menggunakan *inverter* untuk motor listrik 3 *phase*.
- .5 Proses *flame surface hardening* yang dilakukan menggunakan debit air pendingin sebesar 1000 cc/menit.
- .6 Pengujian yang dilakukan adalah pengujian komposisi, pengujian sifat mekanik dan pengujian metalografi. Sifat mekanik yang diuji adalah kekerasan bahan.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mencari harga kekerasan tertinggi dari permukaan baja karbon yang di kenai perlakuan panas *flame hardening* dengan variasi kecepatan *torch* pemanas dan variasi jenis nyala api pada *torch* pemanas.

Hasil dari penelitian yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mampu menambah pengetahuan yang dapat berguna dalam bidang perlakuan panas dalam aplikasinya sebagai *automatic flame surface hardening*.
2. Mampu diterapkan pada industri perlakuan panas pada logam di tingkat menengah ke bawah sebagai upaya peningkatan kualitas produk.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- BAB I : Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
- BAB II : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan pengujian alat penukar kalor, dan teori tentang perpindahan panas.
- BAB III : Metodologi penelitian, menjelaskan peralatan yang digunakan, tempat dan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah percobaan dan pengambilan data.
- BAB IV : Data dan analisa, menjelaskan data hasil pengujian, perhitungan data hasil pengujian serta analisa hasil dari perhitungan.
- BAB V : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.**

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Lee dkk (2003) melakukan studi eksperimen tentang pengaturan kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan dari baja 12Cr dengan menggunakan proses *flame hardening*. Pada percobaan ini, perubahan temperatur dari baja 12Cr dikontrol secara presisi untuk mengetahui temperatur permukaan dan pengaruh kecepatan pendinginan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, proses *flame hardening* meningkatkan kekerasan baja 12Cr dari kekerasan dasar, 250 HV sampai 420–550 HV. Semakin tinggi laju pendinginan, maka pengerasan pada material semakin dalam.

Sari dkk (2004) melakukan penelitian tentang pengerasan permukaan pada baja AISI 1050. Pada hasil penelitian dapat diamati bahwa jumlah keausan pada logam induk berkurang dengan *quenching* oli, tetapi ketahanan aus tidak meningkat jika menggunakan proses *induction hardening* dan *thermochemical* yang lain. Meskipun demikian, jumlah keausan pada logam induk berkurang secara signifikan dengan metode *thermal spraying*. Bahkan dengan penambahan *remelting threatment* setelah penyemprotan akan mengurangi keausan sampai jumlah yang kecil. Jadi penerapan *remelting treatment* setelah penyemprotan berperan lebih penting dalam mengurangi keausan.

Lee dkk (2004) melakukan penelitian tentang pengaruh laju pendinginan dan temperatur permukaan pada tegangan sisa dalam suatu *flame hardening* baja 12 Cr. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bentuk tegangan sisa yang dihasilkan oleh *flame hardening* didominasi oleh dua faktor, yaitu tegangan tarik dan tegangan tekan. Ketika temperatur permukaan dan laju pendinginan meningkat sampai di atas temperatur  $T_{eq}$ , tegangan tarik mengalami kenaikan. Hal ini

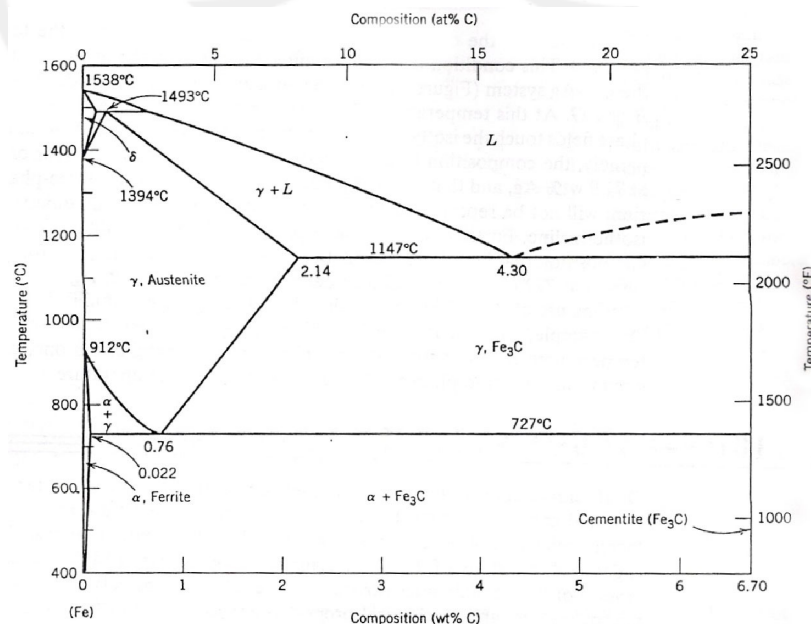
menjadi jelas, lagi pula ditemukan bahwa cacat mulai mengintip dan menyebar melewati batas butir *austenit* selama temperatur permukaan masih tinggi ( $\approx 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan laju pendinginan masih tinggi ( $\approx 250\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ). Oleh sebab itu, temperatur proses yang optimal untuk tegangan sisa dan kekerasan yang diinginkan yaitu ditemukan pada kisaran  $870\text{-}960\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Nurkhozin (2006) melakukan penelitian tentang pengaruh proses *flame hardening* pada baja tempa. Dari pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan tertinggi (yaitu  $865.8\text{ HVN}$ ) pada spesimen dengan kombinasi perlakuan tempa, *anneal* dan *flame hardening*. Pada pengamatan struktur mikro, spesimen dengan kombinasi perlakuan tempa, *anneal* dan *flame hardening* terbentuk struktur martensit dan ferrit.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Perlakuan Panas pada Baja

Untuk memperoleh sifat mekanik dan struktur mikro yang diinginkan dari suatu baja, dapat dilakukan dengan perlakuan panas. Perlakuan panas didefinisikan sebagai suatu proses yang terdiri dari pemanasan dan pendinginan logam atau paduan dalam keadaan padat (*solidstate*) untuk tujuan memperoleh kondisi atau sifat bahan yang diinginkan (Clark dan Varney, 1962). Perlakuan panas dapat mengubah baja dengan cara mengubah ukuran dan bentuk butirnya serta mengubah struktur mikronya. Diagram fasa besi-karbon seperti pada gambar 2.1 menunjukkan hubungan antara temperatur dan fasa yang terbentuk dan batas antara daerah fasa dapat terlihat dengan jelas.

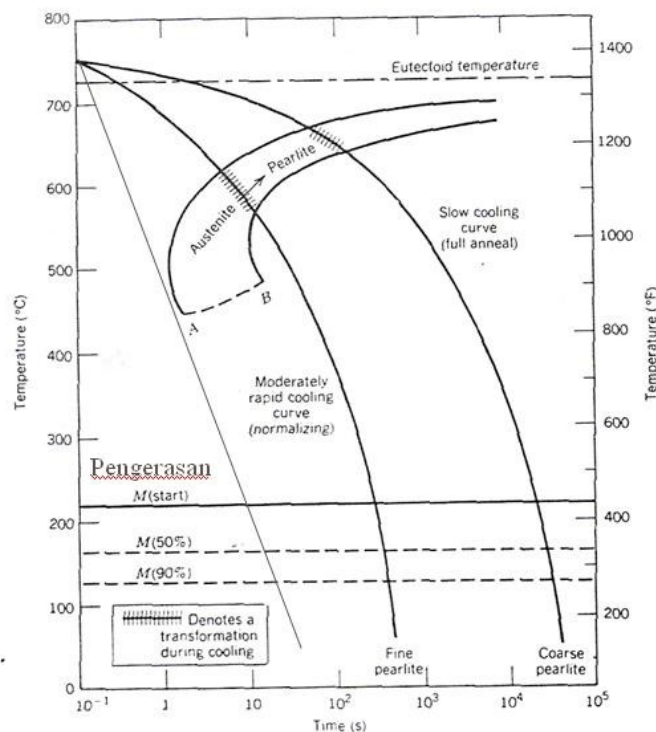


Gambar 2.1. Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C  
(Callister, 1994)

### 2.2.2 Annealing

Proses perlakuan panas dengan cara *annealing* sering digunakan pada baja karbon rendah dan baja karbon tinggi yang akan dikenai proses permesinan setelah mengalami proses deformasi platis. Logam yang akan dianil diaustenisasi dengan cara memanaskan logam sebesar 15-40°C (30-70 °F) di atas temperatur *eutectoid* (gambar 2.2) sampai keseimbangan tercapai. Logam kemudian didinginkan dengan cara perlahan-lahan dengan cara mematikan *furnace* sehingga temperatur logam turun dengan rata-rata penurunan yang sama, yang mana hal ini membutuhkan waktu yang lama. Struktur mikro hasil dari proses *annealing* dari baja karbon adalah perlit kasar yang mempunyai sifat relatif ulet (Callister, 1994)

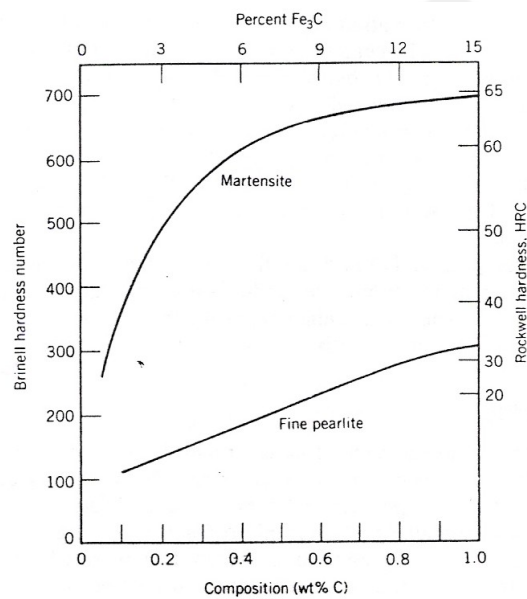
Tujuan utama dari proses anil adalah pelunakan, sehingga baja yang keras dapat dikerjakan melalui permesinan atau pengerjaan dingin. Bila logam yang dikeraskan dipanaskan di atas daerah kritis, fasanya kembali menjadi austenit dan pendinginan perlahan-lahan memungkinkan terjadinya transformasi dari austenit menjadi fasa yang lebih lunak. Baja *hipoeutectoid* bertransformasi perlit dan ferrit (Amstead dkk, 1995).



Gambar 2.2. Diagram CCT pada proses annealing.  
(Callister, 1994)

### 2.2.3 Proses *Quench* (*Quenching*)

Dalam proses pengerasan, baja didinginkan dengan cepat dari temperatur austenit sehingga mencapai temperatur kamar dalam media *quench* air atau oli. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya transformasi fasa austenit menjadi fasa pearlit dan mendapatkan struktur mikro yang diinginkan, yaitu fasa martensit. Fasa martensit merupakan fasa dengan harga kekerasan yang paling tinggi bila dibandingkan dengan fasa-fasa yang lain. Harga kekerasan fasa martensit berkisar antara 450–750 VHN (folkard, 1984).



Gambar 2.3. Hubungan kadar karbon dengan kekerasan  
(Tata Surdia ,1999)

### 2.2.4 Pengerasan Permukaan

Bagian-bagian mesin yang meluncur satu sama lain membutuhkan suatu permukaan yang sangat keras dan tahan aus. Tetapi, agar bagian itu juga tangguh terhadap beban impak/kejut, maka diperlukan inti yang kuat dan ulet. Sifat ini dicapai melalui pengerasan permukaan (Gruber dan Schonmetz, 1977).

Pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu (Amstead dkk, 1995) :

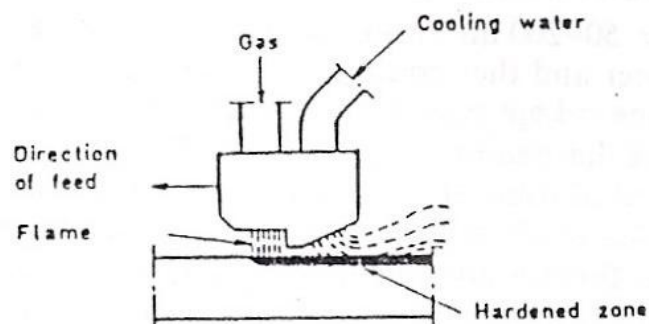
- Pengerasan permukaan material yang terbuat dari baja yang mengandung karbon di bawah 0,3 %, yang tidak dapat dikeraskan secara langsung. Agar dapat dikeraskan, maka komposisi kimia di permukaan perlu dinaikkan kadar karbonnya. Proses ini dapat dilakukan dengan cara merendam material di dalam campuran antara serbuk arang 60 % dan BaCO<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 40 %. Kemudian dipanaskan pada suhu 825-925 °C selama beberapa waktu. Semakin lama waktu perendaman, maka semakin dalam karbon yang masuk ke dalam permukaan material.

- b. Pengerasan permukaan benda kerja yang terbuat dari baja yang mengandung karbon di atas 0.3 %, yang dapat dikeraskan secara langsung. Disini, benda kerja dipanaskan secara tepat hingga mencapai suhu pengerasan sehingga suhu ini hanya mencapai kedalaman yang dangkal saja, bagian yang dipanaskan kemudian diquench. Lapisan atas yang telah dikeraskan hanya menjangkau ke sebelah dalam benda kerja dan hanya sejauh yang dicapai sampai suhu pengerasan tercapai. Tergolong ke dalam cara ini adalah pengerasan api dan pengerasan induksi.

### 2.2.5 Flame Hardening (Pengerasan Pembakaran /Api/Flame)

*Flame Hardening* menjadi metode pengerasan permukaan yang berguna banyak dan ekonomis. Proses dari flame hardening meliputi pemanasan permukaan daerah yang akan dikeraskan hingga temperturnya di atas temperatur kritis. Permukaannya kemudian didinginkan dengan air atau pendingin yang sesuai, dengan tujuan untuk meng-*quench* permukaan yang dipanaskan. Pemanasan *flame hardening* menggunakan gas yang dibakar dengan oksigen sehingga menghasilkan temperatur *flame* yang tinggi. Gas yang biasa digunakan untuk keperluan *flame hardening* adalah gas oksasi-asetilen, gas alam, gas *propana-butana*. Pengerasan permukaan *flame hardening* akan menghasilkan permukaan logam yang keras dengan inti yang ulet (Clark and Varney,1962).

Semakin lama *flame* bekerja maka tebal pengerasan akan semakin besar. Lamanya *flame* bekerja dapat diatur menurut kebutuhan melalui kecepatan laju atau jangka waktu di antara pemanasan dan pendinginan. Tingkat kekerasan yang dihasilkan akan meningkat dengan bertambahnya kadar C dalam baja dan kecepatan pendinginan media *quench*. Skema dari proses *flame hardening* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Prinsip *Flame Surface Hardening*

(Gruber dan Schonmetz, 1977)

Pengerasan permukaan *Flame hardening* memiliki beberapa keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari metode ini antara lain :



24. Waktu pengerasan yang singkat
25. Kedalaman pengerasan dapat diatur
26. Penyusutan benda kerja kecil
27. Hemat dalam pemakaian energi listrik maupun bahan bakar

Sedangkan kerugian dari metode ini adalah kurang cocoknya metoda ini untuk diterapkan pada benda kerja dengan ukuran besar.

### 2.2.6 Case Depth

Pengukuran dari total kedalaman pengerasan secara umum meliputi kedua daerah hipereutektoid dan eutektoid. Klasifikasi dari dasar kedalaman pengerasan total dapat ditunjukkan sebagai berikut :

Plat tipis : kurang dari 0,020 in.

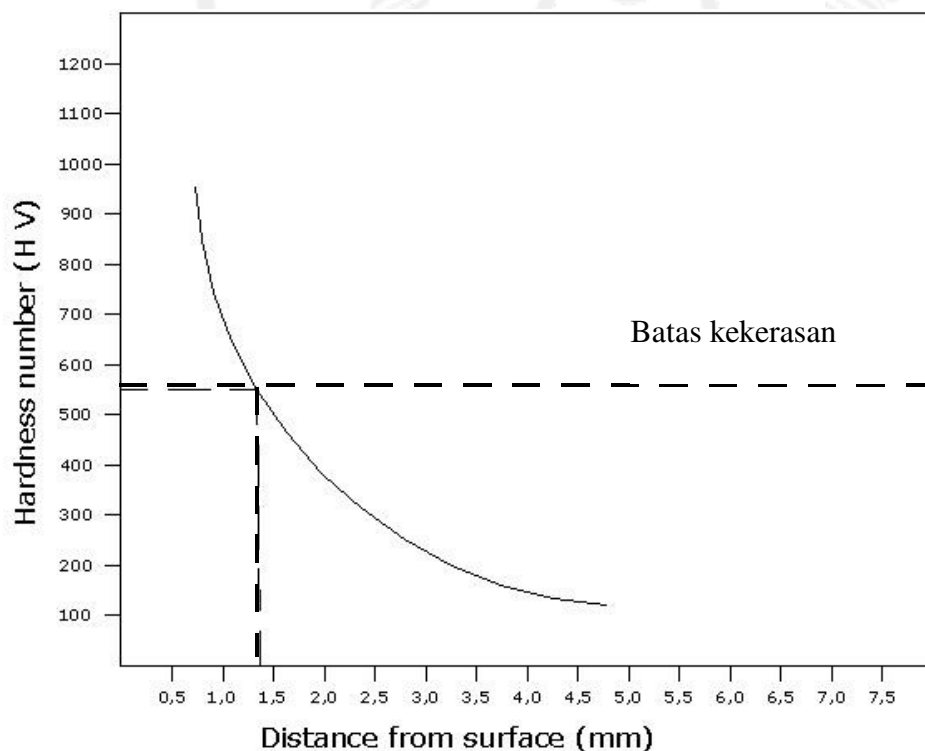
Plat medium : 0,020-0,040 in.

Plat agak tebal: 0,040-0,060 in.

Plat tebal : lebih dari 0,060 in.

Hal ini merupakan penetapan ke arah kecenderungan pengukuran "kedalaman pengerasan yang efektif" (*effective case depth*) sebagai kedalaman yang mana nilai kekerasan hasil pengerasan mencapai nilai 50 Rockwell C, yang dikonversikan dari survei data kekerasan mikro (Clark and Varney,1962)

Pengukuran dilakukan dari sisi luar ke bagian dalam dari benda kerja. Menurut standar ISO no. 2693 – 1973 : tebal lapisan didefinisikan sebagai jarak dari permukaan benda kerja ke suatu bidang yang memiliki kekerasan sebesar 550 HV. Jadi menurut ISO, pengukuran kekerasan dilakukan dengan metoda *vickers* (Suratman, 1994)



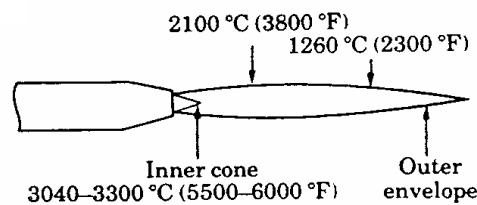
Gambar 2.5. Hasil pengukuran kedalaman pengerasan berdasarkan ISO

(Suratman, 1994)

## 2.2.7 Nyala Api Oksi-asetilen

Gas yang biasa digunakan untuk keperluan *flame hardening* adalah gas oksi-asetilen. Gas oksi-asetilen ini dapat diperoleh melalui perangkat las Gas Oksi-asetilen. Pengeluaran gas dapat diatur dengan mengatur kran dan *torch/brander* sehingga dapat menimbulkan 3 macam nyala api yang berbeda (Tan Lay Hing, ATMI) :

### 2. Nyala api netral

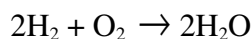
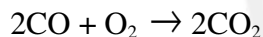


Gambar 2.6. Nyala api netral (Tan Lay Hing, ATMI)

Nyala api yang dihasilkan bila jumlah mol oksigen dan jumlah mol asetilen sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



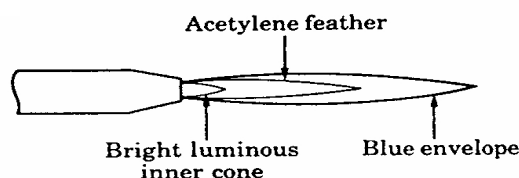
Reaksi ini membentuk kerucut inti (dalam) yang berwarna hijau kebiruan dan terang nyalanya. Selanjutnya karbon monoksida bersama hidrogen yang terbentuk bereaksi dengan oksigen yang berasal dari udara dengan suatu persamaan kimia :



Pembakaran ini membentuk kerucut luar yang berwarna biru bening. Nyala ini banyak digunakan, karena tidak berpengaruh terhadap logam yang dilas atau dipotong.

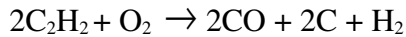
### 3. Nyala api karburasi (*Carburizing Flame*)

Nyala ini terjadi bila volume oksigen lebih sedikit dari volume asetilen, kemudian akan membentuk 3 daerah nyala api :

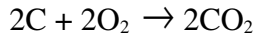


Gambar 2.7. Nyala api karburasi (Tan Lay Hing, ATMI)

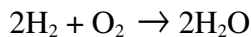
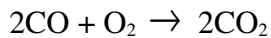
- a. Nyala api inti , yang akan menyebabkan terbentuknya karbon monoksida, karbon, dan hidrogen menurut persamaan :



- b. Nyala api tengah, yaitu teroksidasinya karbon dengan oksigen menurut persamaan :



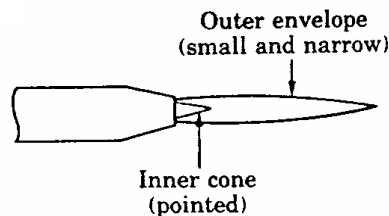
- c. Nyala api luar, yaitu hasil pembakaran  $CO_2$  dan  $H_2$  menurut persamaan :



Nyala api karburasi cenderung menimbulkan terak pada permukaan benda kerja dan dalam prakteknya nyala api ini banyak digunakan untuk mengelas logam-logam *non-ferro* (contoh: tembaga, kuningan, dll).

#### 4. Nyala api oksidasi (*Oxidizing Flame*)

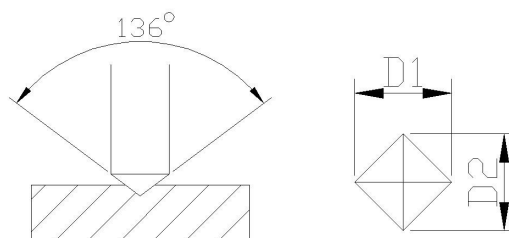
Nyala yang terjadi bila volume oksigen lebih banyak dari volume asetilen. Karena sifat oksidasinya kuat, maka nyala ini banyak digunakan untuk memotong logam.



Gambar 2.8. Nyala api oksidasi (Tan Lay Hing, ATMI)

### 2.2.8 Uji Keras Mikro *Vickers*

Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan mikro *Vickers*. Pengujian ini menggunakan alat uji keras mikro *vickers*, dimana penumbuk yang digunakan berupa piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. Beban yang biasa digunakan pada pengujian kekerasan *Vickers* berkisar antara 1 sampai 2000 gram (Dieter, 1998).



Gambar 2.9. Skema uji keras vickers dan jejak pembebanannya

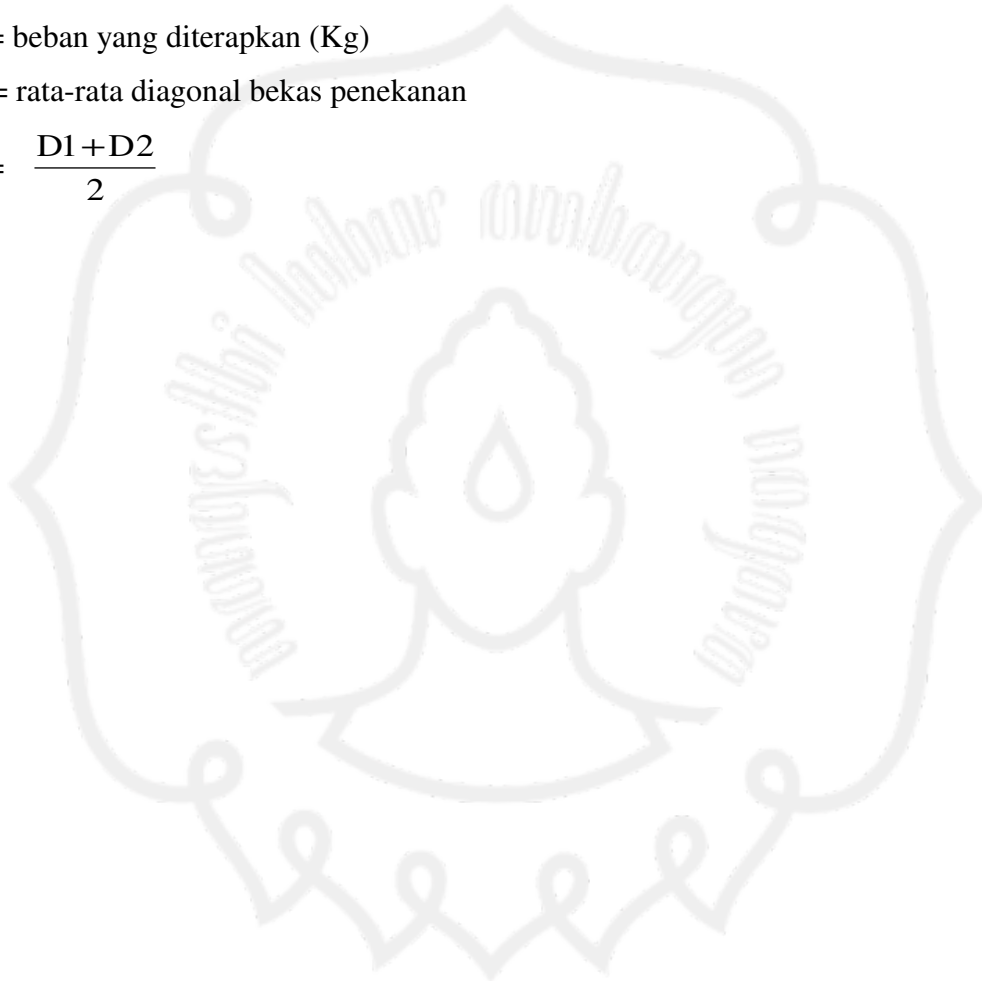
Besarnya angka kekerasan *Vickers* dapat ditentukan dari persamaan (JIS, 1981) :

$$\text{VHN} = \frac{1,854P}{L^2}$$

Dimana : P = beban yang diterapkan (Kg)

L = rata-rata diagonal bekas penekanan

$$= \frac{D1 + D2}{2}$$



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses *flame hardening* dengan variasi kecepatan 28 mm/menit dengan nyala api karburasi, dapat menghasilkan kekerasan pada permukaan spesimen yang optimal yaitu 879,10 HV pada permukaan dan 232,80 HV pada bagian bawah spesimen.
6. Kedalaman pengerasan pada spesimen dengan variasi kecepatan 28 mm/menit dengan nyala api karburasi mencapai 1,4 mm dari permukaan.
7. Pada kecepatan 42 mm/menit dengan nyala netral dapat menghasilkan kedalaman pengerasan sebesar 0,6 mm dari permukaan, sedangkan pada kecepatan rendah (28 mm/menit), nyala netral menyebabkan kerusakan pada permukaan spesimen.
8. Fasa martensit yang timbul pada permukaan spesimen akan menyebabkan material menjadi semakin keras.

#### 6. Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh dari penelitian ini, direkomendasikan beberapa saran sebagai berikut :

28. Perlu adanya pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi debit air pendingin untuk mendinginkan material uji.
29. Perlu adanya pengembangan penelitian mengenai pengaruh variasi jarak antara *torch* pemanas dan nosel pendingin.

## Daftar Pustaka

- Amstead, B.H dkk. 1995. *Teknologi Mekanik*. Erlangga. Jakarta.
- Calister, W.D. 1994. *Materials Science and Engineering an Introduction*. John Willy and Sons Inc. Canada.
- Clark, D.S. and Varney W.R.. 1962. *Physical Metallurgy For Engineering*. D.Van Nostrand Company. INC.
- Dieter, G.E. 1996. *Metalurgi Mekanik*. Alih Bahasa: Sriati Djapric. Erlangga. Jakarta.
- Folkhard, Erich. 1984. *Welding Metallurgy of Stainless Steel*. Spring-Verlig Wien. New York.
- Lee, M.K dkk. 2003. *Control of Surface Hardnesses, Hardening Depth, and Residual Stress of Low Carbon 12Cr Steel By Flame Hardening*. Surface and Coating Technology.
- Lee, M.K dkk. 2006. *Effects of the surface temperature and cooling rate on the residual stresses in a flame hardening of 12Cr steel*. Journal of Material Processing Technology.
- Nurkhozin, Muh. 2006. *Pengaruh Manual Flame Hardening Pada Baja Tempa*. Surakarta.
- Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pranandya Pratama. Bandung.
- Sari, N.Y. dkk 2005. *Investigation of Abrasive + Erosive Wear Behavior of Surface Hardening Methods Applied to AISI 1050 Steel*, Material and Design.
- Schonmetz, A. and Gruber K. 1985. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*. Alih Bahasa: Hardjapamekas Eddy D. Diplom-Ing. Angkasa. Bandung.
- Suratman, Rochim. 1994. *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Tan L. H. *Gas Welding*. ATMI. Surakarta.