

**PENGARUH PERBEDAAN
UKURAN BUTIR ARANG TEMPURUNG
KELAPA-BARIUM KARBONAT TERHADAP
PENINGKATAN KEKERASAN PERMUKAAN
MATERIAL BAJA ST 37 DENGAN PROSES
PACK CARBURIZING**



TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Magister Teknik Mesin pada Program Pascasarjana
Universitas Diponegoro**

Disusun oleh:

**BAMBANG KUSWANTO
NIM. L4E 007 003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
2010**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PERBEDAAN UKURAN BUTIR ARANG TEMPURUNG
KELAPA-BARTUM KARBONAT TERHADAP PENINGKATAN
KEKERASAN PERMUKAAN MATERIAL BAJA ST 37
DENGAN PROSES PACK CARBURIZING**

Disusun oleh:

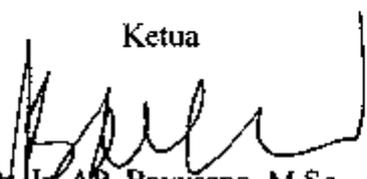
**Bambang Kuswanto
NIM. L4E 007003**

**Program Studi Magister Teknik Mesin
Program Pascasarjana Universitas Diponegoro**

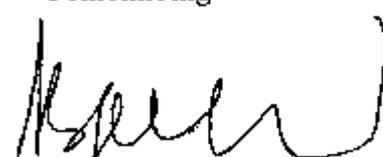
Menyetujui Tim Pembimbing

Tanggal, 28 Juni 2010

Ketua


**Dr. Ir. A.P. Bayuseno, M.Sc
NIP 196205201989021001**

Pembimbing


**Dr. Ir. A.P. Bayuseno, MSc
NIP 196205201989021001**

Co. Pembimbing.


**Dr Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT
NIP 196605212006041010**

ABSTRAK

Penambahan karbon ke dalam struktur baja karbon rendah sering disebut sebagai karburisasi, merupakan cara meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Cara ini salah satunya menggunakan arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon. Pertama-tama arang tempurung kelapa dihaluskan menjadi serbuk (*powder*) dengan ukuran yang berbeda. Penggunaan ukuran butir arang dalam proses karburisasi sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Namun untuk ukuran butir arang tempurung kelapa 0,09; 0,15; 0,212 dan 0,3 mm belum pernah digunakan sebelumnya. Dalam penelitian ini penggunaan ukuran butir arang tempurung kelapa seperti tersebut di atas, dicampur dengan barium karbonat sebagai zat pengaktif pembentuk gas CO_2 . Gas tersebut akan menghasilkan atom C dan jadi gas 2CO . Atom C berasal dari arang tempurung kelapa akan berubah menjadi gas setelah terjadi kenaikan temperatur. Perubahan zat padat menjadi gas sebagai fungsi kenaikan temperatur, dipengaruhi oleh ukuran luasan permukaannya. Arang tempurung kelapa dengan ukuran butir yang lebih kecil akan mudah menjadi gas lebih cepat dibandingkan dengan yang lebih besar. Kecepatan perubahan menjadi gas akan beda karena perbedaan ukuran butir arang tersebut, dan akan berpengaruh terhadap kekerasan permukaan *specimen* yang dihasilkan. *Specimen* yang digunakan adalah material dasar (*raw materials*) baja St 37, yang termasuk dalam kelompok baja karbon rendah. Percobaan ini menggunakan temperatur 900°C dan waktu pemanasan selama 2 jam. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tidak ditemukan pengaruh yang signifikan antara ukuran butir arang tempurung kelapa dengan kekerasan permukaan baja St 37 yang dihasilkan. Tetapi penggunaan butir arang tempurung kelapa dengan ukuran sebesar 0,15 mm, diperoleh harga kekerasan permukaan yang tertinggi dibandingkan lainnya.

Kata kunci : Baja St 37, *pack carburizing*, beda butir

ABSTRACT

Additional carbon into the structure of low carbon steel commonly defined carburizing, is method to improve hardness and strength. In this way charcoal is employer as a source of carbon. Coconut shell charcoal pulverized into powder with different sizes. The use of different charcoal particle size in carburizing has been done by previous researchers. However, the particle of grain size coconut shell charcoal 0.09, 0.15, 0.212 and 0.3 mm have not used before. In this research, using particle size coconut shell charcoal as described above, mixed with barium carbonate as a chiral activator to form CO_2 . Gas this will produce C atoms and 2 CO. C atoms derived from coconut shell charcoal for gas for heating temperature increases. Changes form solids into gas as a function of in temperature, also influenced by the size of its surface area. Coconut shell charcoal with a smaller grain size will be the gas faster than larger ones. Gasify speeds differentiated by differences in grain size of the charcoal, researched effect on surface hardness of specimens produced. Specimens using raw materials of steel St 37, which were included in the group of low carbon steel. This experiment uses temperatures of $900^\circ C$ and heating time for two hours. The assessment results we concluded that no significant effect was found between grain size coconut shell charcoal with a surface hardness of steel St 37 produced. But the use of coconut shell charcoal with a grain size of 0.15 mm, obtained surface hardness of the highest prices among others.

Keywords: Steel St 37, pack carburizing, different grain

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Diponegoro, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HAKI yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat, Taufik serta Hidayah-Nya sehingga tesis berjudul “ Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Media Arang Tempurung Kelapa-Berium Karbonat Terhadap Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material baja St 37 di dalam Proses *Pack carburizing*” dapat diselesaikan. Walaupun hasilnya tidak seberapa jika dibandingkan dengan karya-karya besar yang lain, namun hasil bukanlah tujuan utama , tetapi proses pembelajaran yang pernah dijalani menjadi suatu hal yang utama bagi penulis. Karena disana lah pengalaman dan nilai-nilai luhur itu ada, walaupun tidak dapat diukur dengan angka namun sangat bermakna .

Pengalaman yang telah terjadi mudah-mudahan dapat menjadi refleksi, internalisasi dan proyeksi bagi masa yang akan datang.

Penulisan tesis ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik yang secara langsung dan tidak langsung, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. A.P. Bayuseno, MSc, selaku ketua Prodi Magister Teknik Mesin UNDIP, dan Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak mengarahkan dan memberikan bimbingan serta masukan dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku Co. Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan koreksi serta bantuan selama penulis melakukan penulisan tesis ini.
3. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin UNDIP.
4. Bapak Dr. Totok Prasetyo, B.Eng, MT, Direktur Politeknik Negeri Semarang yang memberi ijin penulis melanjutkan studi di Magister Teknik Mesin UNDIP.
5. Seluruh rekan dosen jurusan teknik mesin Politeknik Negeri Semarang, yang telah memberi dorongan semangat bagi penulis.
6. Spesial buat istri tercinta dan anak-anak tersayang yang selalu setia dan tulus memberi doa, dorongan dan semangat bagi penulis.

7. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana jurusan Teknik Mesin UNDIP yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis.

Penulis menyadari sebagai manusia biasa bahwa masih banyak kekurangan dalam Tesis ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan tesis ini. Terakhir semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi para pembaca. Amin.

Semarang, 28 Juni 2010

Penulis

Karya ini Dipersembahkan Untuk :

Bapak dan ibuku (almarhum)

Istriku

Anak-anakku : Pipit, Adit, Ratih.

Mengingat jasa serta dukungan , cinta dan do`a nya telah menyemangati jiwa raga dan meringankan langkah kakiku dalam berkarya yang terbaik untuk agama, orang tua dan bangsa.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	
Bab I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Originilitas Penelitian	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
Bab II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Baja-Karbon	5
2.1.1 Struktur Besi Murni	5
2.1.2 Struktur Mikro Baja Karbon	5
2.1.3 Peralihan Wujud Struktur Pada Pemanasan Lambat	6
2.1.4 Kurva Laju Inverse.....	8
2.1.5 Diagram Waktu Temperatur Peralihan wujud	9
2.2 Pengerasan Permukaan	11
2.2.1 Difusi Atom	13
2.2.2 Penambahan Karbon	15
2.2.3 Karburasi Padat	16
2.2.4 Baja Karbon	19
Bab III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Bahan Penelitian	21

3.1.1 Bahan Pengamatan	21
3.1.2 Bahan Pendukung	21
3,2 Alat dan Peralatan penelitian	22
3.2.1 Mesin Perkakas	22
3.2.2 Dapur Pemanas	23
3.2.3 Kotak (<i>box</i>) <i>Carburizing</i>	24
3.2.4 Pengujian Sifat Material	25
3.3 Cara Percobaan	29
3.3.1 Persiapan Percobaan	30
3.3.2 Pembuatan Kotak <i>Carburizing</i>	30
3.3.3 Membuat bubuk (<i>powder</i>) arang Tempurung Kelapa	30
3.3.4 Membuat <i>Specimen</i>	30
3.3.5 Proses Pemanasan <i>Specimen</i>	31
3.3.6 Menguji <i>Specimen</i> hasil <i>pack carburizing</i>	33
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Percobaan	36
4.1.1 Material Sebelum <i>Pack Carburizing</i>	36
4.1.2 Material Setelah <i>Pack Carburizing</i>	38
4.2 Analisa dan Pembahasan	42
4.2.1 Material Sebelum <i>Pack Carburizing</i>	43
4.2.2 Material Sesudah <i>Pack Carburizing</i>	45
Bab V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN-LAMPIRAN	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Laporan Pengujian Komposisi Kimia	68
Lampiran B : Hasil Pemeriksaan Tarik.	69
Lampiran C : Hasil Pengujian Kekerasan	70
Lampiran D : Struktur Baja Karbon	71
Lampiran E : Cara Uji Keras VICKERS	75

DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar 2.1	Diagram besi-besi karbon sebagian.....	7
Gambar 2.2	Kurva laju inverse untuk baja SAE 1020	8
Gambar 2.3	Diagram Waktu-Temperatur-Peralihan wujud	10
Gambar 2.4	Pergerakan atom dengan energy aktivasi	13
Gambar 3.1	Mesin bubut	23
Gambar 3.2	Dapur Pemanas	24
Gambar 3.3	kotak carburizing dan tutupnya	25
Gambar 3.4	Micro Vickers Hardness Tester	26
Gambar 3.5	Rockwell Hardness Tester	27
Gambar 3.6	Metallurgical Microscope	28
Gambar 3.7	Diagram alir proses percobaan	29
Gambar 3.8	Specimen Penelitian	31
Gambar 3.9	Memasukan kotak carburizing ke dalam dapur	32
Gambar 3.10	Diagram pemanasan dan pendinginan specimen	33
Gambar 3.11	Sebagian specimen setelah di pack carburizing	34
Gambar 3.12	Menguji kekerasan permukaan specimen dengan metoda Rockwell “B”	35
Gambar 3.13	Specimen uji kekerasan Rockwell “B”	35
Gambar 4.1	Letak titik uji dan pengurangan permukaan	40
Gambar 4.2	Kekerasan mikro dengan titik pengukuran menggunakan metoda micro Vickers pada Material baku	43
Gambar 4.3	Struktur material dasar baja St 37 dengan pembesaran 200 X ...	44
Gambar 4.4	Korelasi kekerasan mikro dengan titik pengukuran menggunakan metoda micro Vickers pada Specimen “A”	46
Gambar 4.5	Struktur material specimen “A” dengan pembesaran 200X.....	47
Gambar 4.6	Perlit + Ferrit diambil dari gambar specimen “A”	48
Gambar 4.7	Korelasi kekerasan makro dengan titik pengukuran menggunakan metoda Rockwell B pada Specimen “A”	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baja konstruksi menurut ONORM M 3111	19
Tabel 2.2	Klasifikasi baja karbon	20
Tabel 4.1	Uji komposisi kimia specimen dasar.....	36
Tabel 4.2	Uji kekuatan tarik specimen dasar	37
Tabel 4.3	Uji kekerasan permukaan specimen dasar metoda mikro Vickers ..	37
Tabel 4.4	Uji kekerasan permukaan specimen dasar metoda Rockwell B	37
Tabel 4.5	Uji mikro Vickers specimen "A"	38
Tabel 4.6	Uji mikro Vickers specimen "B"	38
Tabel 4.7	Uji mikro Vickers specimen "C"	39
Tabel 4.8	Uji mikro Vickers specimen "D"	39
Tabel 4.9	Uji kekerasan makro pada specimen "A"	41
Tabel 4.10	Uji kekerasan makro pada specimen "B"	41
Tabel 4.11	Uji kekerasan makro pada specimen "C"	42
Tabel 4.12	Uji kekerasan makro pada specimen "D"	42
Tabel 4.13	Interpretasi nilai "R"	45

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

- BCC	= <i>body centered cubic</i>
- FCC	= <i>face centered cubic.</i>
- Fe	= <i>Ferro</i>
- Fe ₃ C	= besi karbon
- C	= karbon
- BaCO ₃	= Barium karbonat
- Ac (<i>A.chauffage</i>)	= memanaskan. [° C]
- Ar (<i>A.refroidissement</i>)	= mendinginkan [° C]
- <i>Carburizing</i>	= penambahan karbon.
- <i>Pack Carburizing</i>	= penambahan karbon padat didalam kotak baja.
- <i>case depth</i>	= jumlah kedalaman <i>carburizing</i> mulai dari permukaan sampai pada tercapainya kandungan karbon lebih tinggi dari baja asal. [Inchi]
- <i>Spectrometer</i>	= Alat pengukur komposisi kimia untuk material logam ferro dan non ferro. [% Berat]
- <i>Micro Vickers Hardness</i>	= kekerasan metoda mikro Vickers [HV]
- HV	= <i>Hardness Vickers</i> [Kg/mm ²]
- <i>Rockwell Hardness</i>	= Kekerasan metoda Rockwell [HR]
- HR	= <i>Hardness Rockwell.</i> [Kg/mm ²]
- HRB	= <i>Hardness Rockwell</i> skala B.
- Δt (delta t)	= pengurangan terhadap tebal “t”. [mm]
- <i>Metallurgical Microscope</i>	= alat untuk melihat dan mengambil gambar struktur logam.
- Jx	= aliran difusi atom [Atom/ m ² s]
- D	= koefisien difusi [m ² / dt]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja adalah material yang banyak digunakan dalam konstruksi mesin, karena memiliki sifat ulet mudah dibentuk, kuat maupun mampu keras. Selain itu baja dengan unsur utama Fe dan C bisa dipadukan dengan unsur lain seperti Cr, Ni, Ti dan sebagainya, untuk mendapatkan sifat mekanik seperti yang diinginkan.

Jumlah karbon dalam struktur baja dapat menentukan sifat mekanis dan unjuk kerja (*performance*) nya. Ada tiga kelompok baja bila ditinjau dari jumlah kandungan karbon yang terdapat dalam strukturnya, yaitu :

- (a) Baja karbon tinggi adalah baja dengan kandungan karbon 0,70 % – 1,70 %,
- (b) Baja karbon menengah adalah baja dengan kandungan karbon 0,30 % - 0,70 %,
- (c) Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon 0,04 % - 0,30 %.

Kandungan karbon didalam struktur baja akan berpengaruh terhadap sifat mampu keras. Sifat ini dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu. Selanjutnya kekerasan pada komponen mesin yang terbuat dari baja, dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas atau perlakuan permukaan. Proses peningkatan kekerasan menggunakan panas merupakan cara yang banyak dilakukan untuk baja karbon medium dan tinggi. Namun demikian tidak semua jenis baja bisa dikeraskan secara langsung dengan cara ini. Pengerasan langsung hanya dapat dilakukan pada baja dengan kandungan karbon di atas 0,35 %. Sementara untuk baja dengan kandungan karbon dibawah 0,35 %, harus melalui proses penambahan karbon. (Schonmetz, Gruber, 1985)

Baja dengan kadar karbon menengah sampai tinggi dengan kandungan karbon di atas 0,35 %, dapat ditingkatkan kekerasannya, dengan metode perlakuan panas (*heat treatment*). Seperti pengerasan (*hardening*) yang dilakukan dengan metode pengejukan (*quenching*) dilanjutkan temper (*tempering*). Pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja dalam dapur pemanas (*furnace*), sampai temperatur

austenit dan didinginkan secara tiba-tiba. Akibat pengejukan dingin dari daerah suhu pengerasan ini, dicapailah suatu keadaan paksa bagi struktur atom yang akan meningkatkan kekerasan. Sedangkan baja yang mempunyai kandungan di bawah 0,35 % C, hanya dapat dikeraskan melalui proses penambahan karbon.

Proses penambahan karbon (*Carburizing*) pada baja karbon rendah, bertujuan untuk menambah kandungan karbon agar bisa ditingkatkan kekerasannya. *Pack carburizing* adalah salah satu metoda yang digunakan untuk menambah kandungan karbon didalam baja dengan menggunakan media padat. Salah satu media pengkarbonan yang berbentuk padat adalah arang tempurung kelapa.

Arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon padat pada baja, dirubah terlebih dahulu dalam bentuk butiran. Bentuk butiran akan membantu proses perubahan karbon padat menjadi gas melalui pemanasan. Pemanasan yang dilakukan pada proses ini, menggunakan temperatur antara 850° sampai 950° C. Gas karbon yang dihasilkan akan berdifusi kedalam struktur baja sehingga kadar karbon meningkat.

Penelitian ini menggunakan baja St 37 sebagai material percobaan untuk *pack carburizing*. St 37 adalah jenis baja konstruksi yang mempunyai kekuatan tarik minimal 37 Kg/ mm² sampai 45 Kg/ mm². Baja ini mempunyai kandungan karbon (C) dibawah 0,35 %, jadi termasuk dalam baja karbon rendah. Peneliti terdahulu telah melakukan percobaan untuk meningkatkan efektifitas karburasi padat pada baja karbon rendah dengan optimasi ukuran serbuk arang tempurung kelapa. Percobaan pada ukuran butir 150, 250, 279, 600, 850 dan 2000 µm, diperoleh hasil yang paling efektif pada ukuran butir 250 hingga 600 µm. (Mujiyono dan Arianto, 2008). Penelitian tersebut tidak menghubungkan antara perbedaan besar butir arang tempurung kelapa dengan peningkatan kekerasan baja. Mengingat ukuran butir dapat berakibat pada terbentuknya rongga udara, maka pengaruhnya penting untuk dilakukan penelitian. Metoda penambahan karbon padat merupakan cara yang paling sederhana untuk meningkatkan kualitas baja St 37, agar dapat memperluas penggunaannya. Pada akhirnya melalui proses *pack carburizing* penggunaan baja karbon rendah untuk bahan baku (*raw materials*) dapat memperluas penggunaannya.

1.2 Tujuan

Arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon, akan dirubah menjadi gas karbon. Perubahan benda padat menjadi gas ini dilakukan dengan proses pemanasan. Panas dari dapur (*furnace*) pada temperatur *carburizing* akan menyebabkan butiran-butiran arang berubah menjadi gas. Perbedaan ukuran akan mengakibatkan berbeda pula volume dari masing-masing butir. Semakin kecil ukuran butir, semakin kecil pula volume butirnya. Benda padat dengan volume yang lebih kecil akan lebih cepat berubah menjadi gas, dibanding dengan volume yang lebih besar.

Perbedaan ukuran butir arang tempurung kelapa dengan penambahan zat pengaktif berupa barium karbonat, merupakan pokok pembahasan dalam penelitian ini, yang bertujuan untuk :

- (1) Mengkaji perubahan kandungan karbon di dalam permukaan baja St 37, dengan menggunakan ukuran butir arang tempurung kelapa-barium karbonat yang berbeda, sebagai fungsi temperatur dan waktu.
- (2) Mengkaji pencapaian harga kekerasan permukaan pada masing-masing *specimen* baja hasil *pack carburizing* sebagai fungsi temperatur dan waktu .

Disamping itu permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada :

- (1). *Specimen* menggunakan material baja dengan kekuatan tarik antara 37 Kg/mm² sampai 45 Kg/ mm² .
- (2). *Specimen* menggunakan material baja dengan kandungan karbon dibawah 0,2 %
- (3). Media karbon terdiri dari 90 % arang tempurung kelapa dan 10 % barium karbonat.
- (4). Temperatur dapur (*furnace*) untuk proses *pack carburizing* sebesar 900 ° C.
- (5). Waktu penahanan setelah mencapai suhu *carburizing* adalah 2 jam .

1.3 Originilitas Penelitian

Penelitian tentang penambahan karbon (C) kedalam struktur baja karbon rendah, telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Penggunaan media karbon padat pada proses *carburizing* merupakan metoda yang sederhana dibandingkan

dengan metoda lainnya. Metoda ini menggunakan media karbon berupa arang kayu, arang tempurung kelapa, kokas, briket batu bara dan grafit, ditambah zat pengaktif untuk menghasilkan proses *carburizing* yang lebih baik. Arang tempurung kelapa dibentuk serbuk (*powder*) untuk meningkatkan efektifitas pengkarbonan. Proses *carburizing* dibawah pengaruh panas, membutuhkan gas CO₂ untuk membentuk gas 2 CO yang dapat masuk kedalam struktur baja. Ketersediaan gas CO₂ selama proses berlangsung dipengaruhi oleh ruangan kosong antar butir arang dan zat pengaktifnya. Ruangan kosong yang terbentuk akibat susunan antar butir arang akan terisi oleh udara. Besarnya ruangan yang akan berpengaruh terhadap banyaknya udara yang tersedia tergantung pada ukuran butir arang. Ukuran butir arang juga menentukan cepat atau lambatnya butir arang padat menjadi gas. Ukuran butir yang kecil lebih cepat berubah menjadi gas dibandingkan ukuran butir yang lebih besar. Penggunaan butir arang tempurung kelapa dengan ukuran 0,3; 0,212; 0,15 dan 0,09 mm sepengetahuan peneliti selama ini belum pernah digunakan oleh peneliti lain. Penggunaan perbedaan butir arang tempurung kelapa seperti tersebut di atas, dengan menggunakan temperatur *carburizing* 900 ° C dan waktu pemanasan selama 2 jam, percobaan ini akan mengkaji pengaruhnya terhadap kekerasan permukaan *specimen* yang dihasilkan.

1.4 Sistematika Penulisan

Tesis disampaikan mengikuti sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, membahas tentang latar belakang, tujuan, metode pendekatan dan sistematika penulisan tesis.

Bab II Tinjauan Pustaka, membahas tentang kajian pustaka dan dasar teori terkait dengan materi .

Bab III Metodologi Penelitian, membahas tentang bahan atau material, mesin dan alat yang digunakan serta urutan proses percobaan.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan, membahas tentang proses pengujian *specimen* dan hasil yang diperoleh beserta pembahasannya.

Bab V Penutup, membahas tentang kesimpulan dari kajian materi yang telah dilakukan selama melakukan penelitian dan saran perbaikan guna meningkatkan hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Baja Karbon

2.1.1 Struktur Besi Murni

Struktur logam terdiri atas butir kristal yang saling mengikat kuat satu sama lain dalam bentuk dan ukuran yang berlainan. Kristal-kristal tersebut terdiri dari bagian-bagian terkecil suatu unsur atom. Atom besi tersusun di dalam sebuah “kisi ruang”, dimana terdiri atas jaringan berbentuk kubus. Peletakan atom dalam kubus dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu:

(1). Besi alfa (besi α)

Delapan atom berada pada pojok kubus dan sebuah atom ke sembilan ditengahnya (di pusat ruang). Susunan atom ini disebut juga kubik pemusatan ruang (*body centered cubic*). Sampai temperatur ruangan 708 ° C, besi α bersifat magnetis. Mulai 768 ° C sampai 911 ° C, *body centered cubic (bcc)* menjadi tidak magnetis lagi (Alois Schonmetz dkk, 1985).

(2). Besi gamma (besi γ)

Pada temperatur 911 ° C ikatan kubik pemusatan ruang berubah menjadi besi γ kubik pemusatan sisi (*face centered cubic*). Pada setiap sudut kubus terdapat satu atom dan enam atom lainnya berada di tengah ke enam bidang sisi kubus. Jadi sebuah kubus γ terdapat empat belas atom.

(3). Besi delta (besi δ)

Temperatur 1392 ° C besi γ yang berpusat sisi (*fcc*) berubah kembali menjadi kubik pemusatan ruang (*bcc*) yang disebut besi δ . Namun besi δ terakhir ini mempunyai jarak atom yang lebih besar.

2.1.2 Struktur Mikro Baja Karbon

Sifat baja-karbon seperti kekerasan, kekuatan dan mampu regang ditentukan oleh kadar karbon (C). Struktur mikro baja dapat dibedakan dalam tiga bentuk fasa sebagai berikut :

(1). Ferrit.

Kristal besi murni (Fe) saling terikat erat satu sama lain, tidak teratur baik bentuk maupun ukurannya. Ferrit merupakan bagian baja yang paling lunak. Dalam kondisi murni ferrit tidak bisa digunakan sebagai material dasar (*raw materials*) untuk komponen mesin yang menerima beban. Hal ini dikarenakan kekuatan yang dimilikinya kecil.

(2). Besi karbon (Fe_3C)

Senyawa antara besi (Fe) dengan karbon (C) sebagai unsur struktur tersendiri dinamakan sementit. Rumusan Fe_3C menyatakan bahwa senantiasa ada tiga atom besi yang membentuk ikatan dengan satu atom karbon (C). Ikatan ini menjadi sebuah molekul yang dikenal sebagai besi karbon. Peningkatan kandungan karbon akan berakibat membesar pula kadar sementit. Sementit didalam baja mempunyai sifat yang paling keras .

(3). Perlit.

Campuran antara ferrit dan sementit dengan kandungan karbon (C) seluruhnya sebesar 0,8 % disebut perlit. Di dalam Struktur perlit, semua kristal ferrit disusupi serpihan *sementit* halus. Serpihan sementit ini menempati lapisan tipis yang saling berdampingan, sehingga nampak kilapan mirip induk mutiara. Hal inilah yang menyebabkan dinamakan perlit.

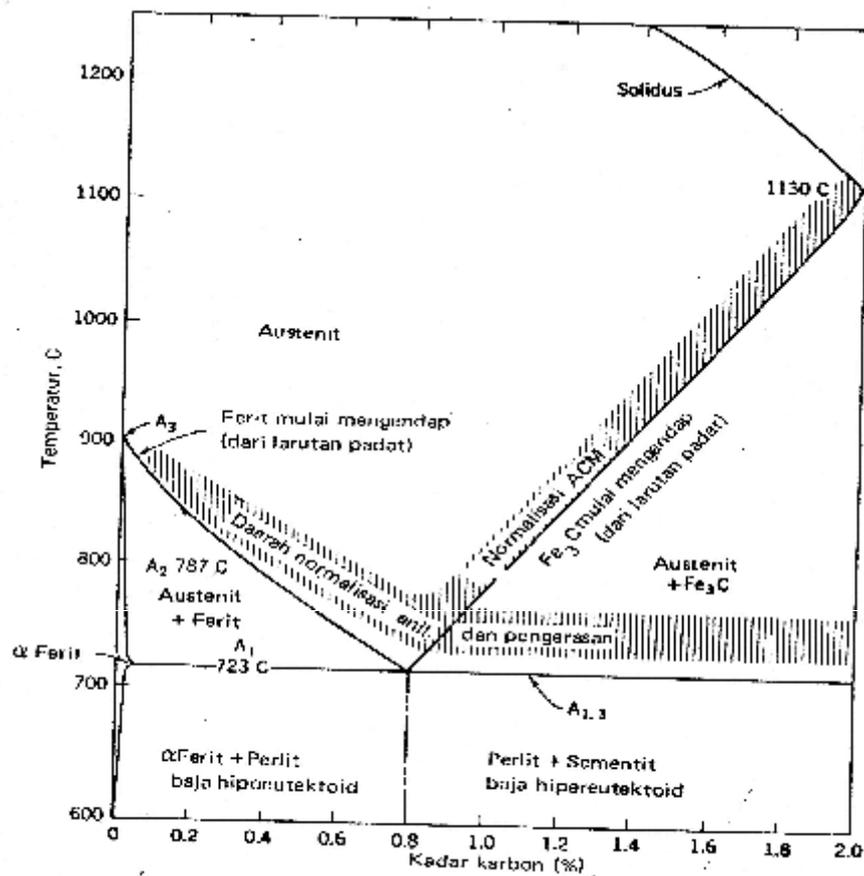
Selain tiga fasa tersebut di atas, di dalam baja karbon juga terdapat fasa: austenite, martensit, bainit dan sferoidit.

2.1.3 Peralihan Wujud Struktur pada Pemanasan Lambat

Jika baja dengan kandungan karbon (C) 0,8 % dipanaskan secara lambat, maka pada temperatur 723 ° C besi karbon terurai menjadi besi dan karbon. Akibatnya karbon pada saat itu menjadi bebas melarut didalam besi. Oleh karena untuk melarutkan karbon hanya dimiliki oleh besi γ , maka akibatnya temperatur peralihan wujud diturunkan dari 906 ° C menjadi 723 ° C. Pusat kubus kisi besi γ menjadi kosong, dan ditempati oleh sebuah atom karbon. Karena larutan terjadi pada temperatur ketika baja masih padat, struktur ini disebut juga larutan padat

atau austenit. Baja eutektoid (0,8 % C) beralih kelarutan padat (austenit) pada saat melampaui temperatur 723 ° C.

Baja bawah eutektoid yang mempunyai kandungan karbon (C) lebih kecil dari 0,8 %, austenit dan kristal ferrit berada di atas garis temperatur 723 ° C . Jika temperatur terus dinaikkan, maka kristal ferrit melarut didalam austenit. Pada waktu melampaui garis temperatur $A_3 - A_1$, semua kristal ferrit telah larut dan menjadi struktur austenit murni. Selanjutnya semakin tinggi temperaturnya semakin rendah kandungan karbon di dalamnya.



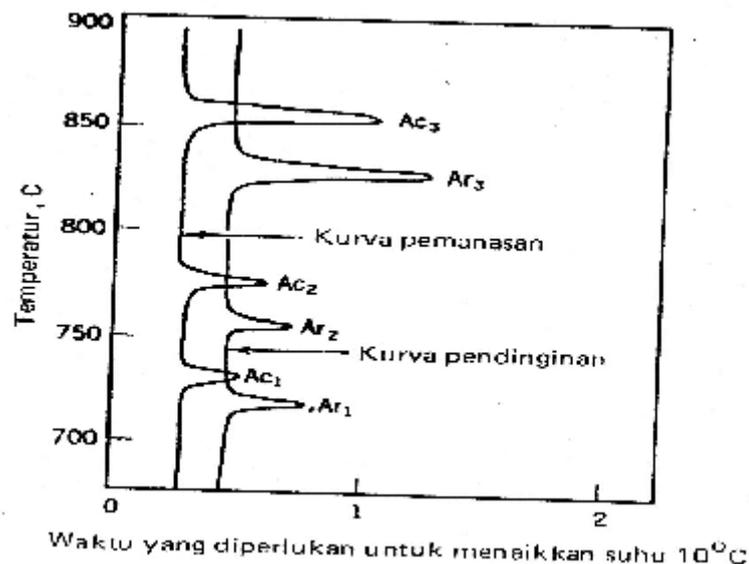
(Amstead, B. H dkk, 1985)

Gambar 2.1 Diagram besi-besi karbon (Fe₃C) sebagian

Baja dengan kandungan karbon di atas 0,8 % atau baja hyper eutektoid, austenit dan kristal baja karbon berada di atas garis $A_{1,3}$. Jika temperatur naik, maka kristal besi karbon (sementit) melarut di dalam larutan padat (austenit). Semakin tinggi temperaturnya, semua kristal karbon larut dan terbentuklah struktur austenit murni. Temperatur yang diperlukan semakin tinggi, semakin banyak karbon terkandung di dalamnya.

2.1.4 Kurva Laju Inverse

Disamping perubahan wujud struktur baja yang diakibatkan oleh pemanasan lambat, perubahan tersebut berlaku juga pada pendinginan lambat. Perbedaan keduanya terletak pada awal proses yaitu: untuk pemanasan lambat berawal dari baja padat dingin dan untuk pendinginan lambat dimulai dari baja cair padat (austenit). Sifat mampu balik dari kedua peristiwa tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2.



(Amstead B.H dkk, 1985)

Gambar 2,2 Kurva laju inverse untuk baja SAE 1020

Kurva ini untuk material baja karbon 0,20 % yang dipanaskan atau didinginkan secara merata dan perlahan-lahan, Perubahan temperatur dicatat

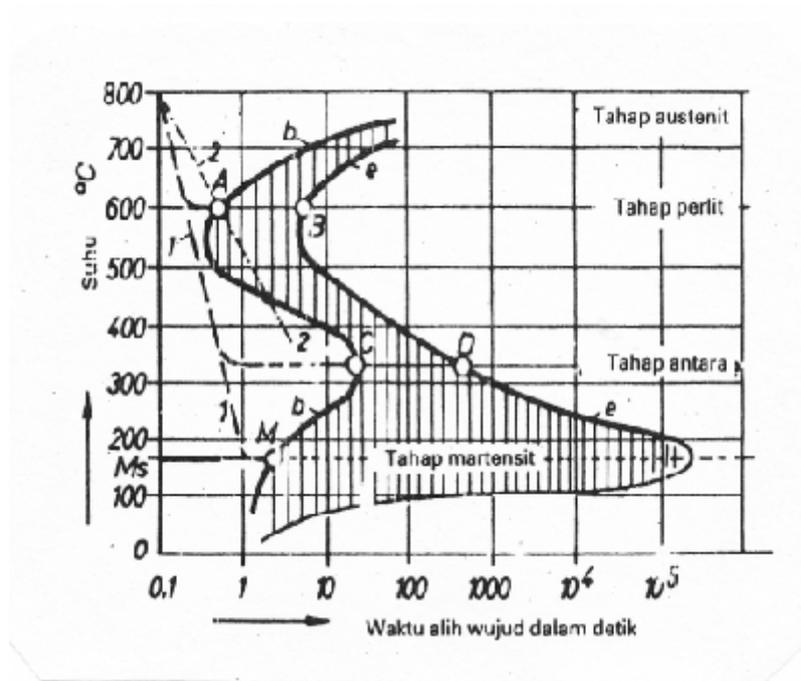
setiap kenaikan 10°C , akan diperoleh kurva seperti gambar 2.2. Sumbu mendatar (*horizontal*) merupakan waktu untuk memanaskan atau mendinginkan setiap perubahan 10°C . Sumbu tegak (*vertikal*) adalah besarnya temperatur yang dicapai selama pemanasan atau pendinginan secara perlahan-lahan. Hasil percobaan yang dilakukan pada baja dengan kandungan karbon 0,20 % ini, menunjukkan garis vertikal lurus kecuali pada titik-titik dimana laju pemanasan atau pendinginan yang mengalami perubahan. Terlihat ada tiga titik yang mengalami perubahan pada saat dilakukan pemanasan ataupun pendinginan. Titik ini yang bertepatan dengan terjadinya perubahan struktur disebut titik transformasi. Titik transformasi pada saat terjadi proses pemanasan diberi lambang Ac_1 , Ac_2 dan Ac_3 . Huruf "c" adalah huruf permulaan dari kata Perancis *chauffage* yang berarti memanaskan. Sedangkan untuk proses pendinginan disebut dengan memberi lambang Ar_1 , Ar_2 dan Ar_3 . Huruf "r" diambil dari kata *refroidissement* yang berarti mendinginkan.

Perubahan-perubahan yang terjadi pada titik-titik kritis tersebut, dinamakan perubahan "alotropik". Pada titik ini baja mengalami susunan kimia tetap, tetapi terjadi perubahan sifat seperti: tahanan listrik, struktur atom dan kehilangan sifat magnetik. Perubahan "alotropik" adalah perubahan mampu balik (*reversibel*) pada struktur atom logam yang diikuti dengan perubahan sifat. Titik-titik kritis tersebut harus diketahui, mengingat perlakuan panas pada baja meliputi pemanasan di atas daerah tersebut. Misalnya baja akan menjadi lebih keras bila dipanaskan di atas daerah kritis bawah (Ac_1) dan kadang-kadang di atas daerah kritis atas (Ac_3).

2.1.5 Diagram Waktu-Temperatur-Peralihan wujud (*Time-Temperature - Transformation*)

Hasil yang diharapkan dari perlakuan panas pada baja berupa meningkatnya kekerasan material dapat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginannya. Hal ini disebabkan karena kecepatan pendinginan tertentu dapat membentuk struktur yang dikehendaki. Perubahan bentuk struktur dan besar temperatur atau suhunya

dapat diperhatikan pada diagram *Time-Temperature-Transformation* (*T-T-T*) gambar 2.3.



(Alois Schonmetz dkk, 1985)

Gambar 2.3 Diagram Waktu-Temperatur-Peralihan wujud untuk baja karbon dengan kandungan 0,9 % C

Keterangan:

1. Garis pendinginan cepat menuju tahap martensit.
2. Garis pendinginan lambat melalui tahap perlit dan tahap antara.

Diagram ini memiliki skala suhu pada sumbu tegak dan sumbu mendatarnya adalah skala waktu. Pendinginan yang merupakan penurunan temperatur dari sebelumnya, terhadap waktu yang dibutuhkan adalah fungsi dari kecepatan. Kecepatan pendinginan dari suatu temperatur tertentu menjadi temperatur yang lebih rendah, akan berakibat pada perubahan wujud struktur. Jika baja panas didinginkan dari kondisi austenit ke temperatur yang lebih rendah dan dipertahankan disini, lintasan mendatar dari sumbu tegak hingga memotong garis liku “ S “ pertama (sebelah kiri) menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai awal terbentuknya austenit. Sedangkan titik potong kedua pada garis

liku “ S “ (sebelah kanan), menunjukkan saat berakhirnya perubahan wujud. Jarak antara titik potong pertama sampai titik potong ke dua pada garis liku “ S “ adalah waktu yang dibutuhkan untuk proses peralihan wujud.

Sebuah garis yang melintas dari kiri atas ke kanan bawah, menunjukan pendinginan merata. Waktu yang dibutuhkan untuk pendinginan merata ini dapat dibaca pada sumbu mendatar. Semakin pendek waktu yang dibutuhkan, akan semakin tinggi kecepatan pendinginannya. Hal ini nampak pada semakin curamnya garis pendinginan.

Komponen mesin yang memiliki bentuk besar, perambatan pendinginan untuk sampai ke bagian dalam membutuhkan waktu yang lebih lama. Perambatan pendinginan ini akan berakibat pada peralihan wujud akan berlangsung lebih perlahan-lahan. Pendinginan lambat ini diperlihatkan pada garis pendinginan nomor “2”, dimana garis ini tidak begitu curam dan memotong garis liku “ S “ pertama di dua titik. Nampak disini akan terbentuk sebagian peralihan wujud tahap perlit ataupun tahap antara termasuk dalam daerah temperatur yang terpotong.

Setiap jenis baja memiliki diagram T-T-T nya sendiri, diagram ini selalu menampilkan daerah temperatur yang mencerminkan kecenderungan terbesar austenit untuk melakukan peralihan wujud, dan kecepatan pendinginan yang dibutuhkan untuk membentuk martensit tanpa melalui tahap perlit. Bila hal ini dikehendaki, garis pendinginan tidak boleh memotong garis liku “ S “ pertama dititik manapun. Letak bentuk garis liku “ S “ untuk masing-masing jenis baja dipengaruhi jumlah kandungan karbon yang ada di dalamnya. Semakin sedikit kandungan karbon pada baja, akan semakin ke kiri letak garis liku “ S “ yang pertama. Akibatnya akan semakin curam pula garis pendinginannya. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan harus dilakukan lebih cepat agar terbentuk wujud martensit.

2.2 Pengerasan Permukaan (*surface hardening*)

Komponen mesin yang saling bergesekan dengan pasangannya pada saat mencapai fungsi rakitan (*assembly*), membutuhkan permukaan yang keras dan

tahan aus. Namun juga memerlukan bagian inti yang ulet agar mampu menerima beban dinamis. Sifat material seperti ini dapat diperoleh melalui pengerasan permukaan. Pengerasan permukaan terhadap material baja dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu :

(1). Pengerasan permukaan pada material baja yang mengandung serendah-rendahnya 0,35 % karbon. Baja ini telah memenuhi syarat untuk dikeraskan secara langsung. Pemanasan pada temperatur pengerasan dilakukan secara cepat, agar panas tersebut hanya mencapai kedalaman permukaan yang tipis. Selanjutnya dilakukan proses pendinginan kejut agar dicapai struktur martensit hanya pada permukaannya saja dan intinya masih ulet.

(2). Pengerasan permukaan pada material baja yang mengandung setinggi-tingginya 0,2 % karbon. Baja ini termasuk dalam kelompok baja karbon rendah, yang tidak bisa langsung dikeraskan. Penambahan unsur karbon dibutuhkan agar jumlah kandungannya meningkat sehingga memenuhi syarat permukaannya saja, karena hal ini tergantung pada hasil difusi karbon kedalam struktur baja (Schonmetz Alois dkk, 1985).

Pengerasan permukaan pada material baja karbon rendah dapat dilakukan melalui cara sebagai berikut :

(a) Karburasi (*carburizing*), adalah memanaskan baja di atas temperatur Ac_3 dalam lingkungan yang mengandung karbon. Baja pada sekitar temperatur kritis mempunyai afinitas terhadap karbon. Karbon diabsorpsi ke dalam logam membentuk larutan padat dengan baja dan lapisan luar memiliki karbon kadar tinggi. Bila dibiarkan lebih lama, karbon akan mempunyai kesempatan untuk berdifusi ke bagian lebih dalam. Tebal lapisan tergantung pada waktu dan temperatur perlakuan panas.

(b) Karbonitriding, adalah memanaskan baja di atas temperatur kritis didalam lingkungan gas dan terjadi penyerapan karbon dan nitrogen. Gas amonia atau gas yang kaya akan karbon bisa digunakan untuk proses ini.

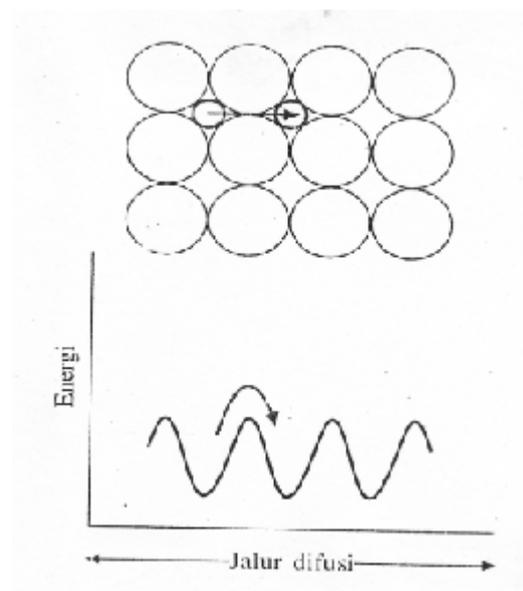
(c) Cyaniding, adalah memasukan baja kedalam dapur yang mengandung garam cyanida natrium, temperaturnya sedikit diatas daerah Ac_1 . Waktu penahanan

pemanasan tergantung pada permukaan yang akan dikeraskan. Selanjutnya baja dimasukan ke pendingin air atau minyak untuk mendapatkan permukaan yang keras.

(d) Nitriding, adalah memanaskan logam sampai sekitar 510°C didalam lingkungan gas amonia selama beberapa waktu. Nitrogen yang diserap oleh logam akan membentuk nitrida keras yang menyebar merata pada permukaan logam.

2.2.1 Difusi Atom

Ketika temperatur meningkat dan atom-atom di dalam cairan padat mengalami vibrasi yang lebih energetik, maka sebagian kecil fraksi dari atom-atom tersebut akan mengalami perubahan posisi dalam kisi.



(Van Vlack, 2004)

Gambar 2.4 Pergerakan atom dengan energi aktivasi.

Tidak hanya tergantung pada temperatur, tetapi juga tergantung pada seberapa eratnya atom-atom terikat pada posisinya. Energi yang diperlukan oleh sebuah atom untuk mengubah posisi disebut energi aktivasi (gambar 2.4).

Atom karbon mempunyai ukuran cukup kecil dengan $r \approx 0,07\text{ nm}$ (Van Vlack, 2004). Ukuran tersebut dapat menempati posisi interstisial diantara sejumlah atom besi *fcc*, jika atom karbon mempunyai cukup energi. Energi atom karbon untuk

melakukan difusi tersebut membutuhkan sekitar 34000 kal/mol (Van Vlack, 2004).

Konstanta proporsionalitas dari suatu atom disebut difusivitas atau koefisien difusi. Difusivitas bergantung pada sifat atom terlarut, sifat struktur padatan dan perubahan temperatur. Perbedaan harga difusivitas disebabkan karena :

- (1). Makin tinggi temperatur menyebabkan difusivitas semakin tinggi, karena atom-atom memiliki energi termal yang lebih tinggi dan dengan demikian probabilitas untuk diaktifkan hingga melampaui hambatan energi antara atom juga lebih besar.
- (2). Atom-atom karbon memiliki difusivitas yang lebih tinggi dalam besi dibandingkan dengan atom-atom nikel, karena atom karbon mempunyai ukuran lebih kecil.
- (3). Atom-atom tembaga lebih mudah berdifusi kedalam aluminium dibandingkan kedalam tembaga, karena ikatan Cu-Cu lebih kuat dari pada Al-Al.
- (4). Atom-atom memiliki difusivitas yang lebih tinggi didalam besi *bcc* dibanding dengan didalam besi *fcc*. Hal ini disebabkan karena faktor penumpukan atomik dalam besi *bcc* lebih rendah.
- (5). Difusi disepanjang batas butir berlangsung lebih cepat, karena batas butir merupakan zona cacat kristal dan memiliki penumpukan yang lebih rendah.

Aliran difusi atom dan gradient konsentrasi atom karbon didalam baja yang terkaburasi dapat dinyatakan dengan hukum I Fick (untuk kondisi *Steady*)

$$J_x = -D \frac{\partial c}{\partial x} \left(\frac{\text{Atom}}{m^2 s} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dinyatakan pula oleh hukum II Fick (untuk kondisi *Unsteady*).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

J_x = Fluks atau aliran atom netto .

D = difusivitas atau koefisien difusi [m²/ detik]

Cs = konsentrasi permukaan.

Co = Konsentrasi awal dari elemen.

Cx = konsentrasi elemen pada jarak x dari permukaan.

t = lamanya proses perlakuan [detik]

x = jarak dari permukaan.

erf = Gaussian error function

$\frac{\partial C_x}{\partial x}$ = Gradian konsentrasi [$\frac{atom}{m^4}$]

Pengaruh terhadap ketergantungan temperatur dari koefisien difusi dapat ditentukan dengan persamaan shackelford sebagai berikut :

$$D = D_0 \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right) \text{ m}^2 / \text{dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

(Shackelford, 1992)

dimana :

Do = koefisien difusi mula-mula [m²/dt]

Q = gaya penggerak/ energi aktivasi [J/mol]

R = konstanta gas universal [J/mol.K]

T = temperatur absolut [° K]

Persamaan (2.4) dan (2.5) menggambarkan bahwa proses difusi yang berlangsung dipengaruhi oleh faktor waktu dan temperatur. Oleh karena itu untuk menghasilkan pengkarbonan yang maksimal, diperlukan pengaturan waktu dan temperatur yang tepat.

2.2.2 Penambahan Karbon (*Carburizing*)

Penambahan karbon pada baja dilakukan menggunakan tiga cara yaitu: proses *solid* atau *pack carburizing*, proses *liquid carburizing* dan proses *gas carburizing*. Proses *pack carburizing* didefinisikan sebagai proses pelapisan permukaan baja dengan karbon padat di dalam kotak tertutup rapat, diikuti dengan pemanasan diatas temperatur kritis. Karbon padat yang biasa digunakan umumnya berupa arang kayu atau kokas, walaupun tidak menutup kemungkinan penggunaan dari sumber karbon lainnya.

Liquid carburizing (karburasi cair), baja dipanaskan di atas temperatur A_{c1} dalam dapur garam cyanida sehingga karbon dan sedikit nitrogen dapat berdifusi kedalam lapisan luar. Proses ini mirip dengan cyanida, hanya disini kulit luar mempunyai kandungan karbon yang lebih tinggi dan nitrogennya lebih rendah.

Gas carburizing (karburasi gas), adalah penambahan karbon dengan menggunakan media gas seperti gas alam atau hidro-karbon dan propan (gas karbit). Metode ini digunakan untuk penambahan karbon untuk komponen mesin yang berukuran kecil yang dapat didinginkan langsung setelah pemanasan dalam dapur.

2.2.3 Karburasi Padat (*Pack Carburizing*)

Sudah banyak penelitian tentang karburasi padat (*pack carburizing*) dilakukan oleh peneliti, diantaranya jenis arang yang digunakan sebagai sumber karbon. Arang kayu, kokas dan briket batu bara dengan campuran $BaCO_3$ sebagai zat pengaktif karbon, telah diteliti dan dari ketiga jenis sumber karbon tersebut diantaranya menghasilkan berturut turut hasil yang paling keras dengan menggunakan briket batu bara diperoleh kekerasan 680 HV, kokas mencapai kekerasan 554 HV dan arang kayu kekerasannya 475 HV (Syamsuir, 2002).

Waktu penahanan pada temperatur *carburizing* pernah pula diteliti, dan salah satunya menggunakan material baja AISI 1522 dengan sumber karbon arang tempurung kelapa dicampur dengan Na_2CO_3 sebesar 20 % sebagai bahan pengaktif, hasil yang diperoleh dari yang paling keras berturut turut 773 HV untuk waktu penahanan 4 jam, 753 HV untuk waktu penahanan 3 jam dan 570 HV untuk waktu penahanan 2 jam (Sudarsono, 2003).

Perlakuan *pack carburizing* terhadap baja St 37 mampu meningkatkan fungsi penggunaannya dari kelompok baja karbon rendah menjadi pahat bubut. Penelitian ini memperoleh kesimpulan bahwa pahat bubut yang terbuat dari baja karbon rendah St 37 yang dikarburasi menggunakan arang batok kelapa bisa dijadikan sebagai alat potong alternatif yang dapat memotong baja atau material

lainnya seperti aluminium, kuningan dan sejenisnya (Rumendi dan Purnawarman, 2006).

Guna meningkatkan efektifitas karburasi padat pada baja karbon rendah sudah pula dilakukan. Penelitian ini menggunakan temperatur 850 ° C dengan waktu penahanan selama 4 jam. Kesimpulan dalam penelitian ini menyatakan bahwa ukuran butir antara 250 µm sampai 600 µm adalah yang paling baik untuk melakukan proses karburasi padat. Pada ukuran butir ini diperoleh kekerasan permukaan baja meningkat 250 % dari kekerasan semula (Mujiyono dan Arianto Leman Sumowidagdo, 2008).

Pada penelitian ini melanjutkan hasil temuan peneliti terdahulu dengan cara mengkaji, bagaimana korelasi antara ukuran butir arang tempurung kelapa dengan harga kekerasan permukaan yang dihasilkan ?.

Pada temperatur kritis di atas A_{c1} baja memiliki kecenderungan untuk berafinitas dengan karbon, dimana karbon akan diabsorpsi kedalam baja membentuk larutan padat. Bila berlangsung pada waktu yang cukup lama, maka lapisan luar akan memiliki kandungan karbon lebih tinggi dibandingkan sebelumnya. Penggunaan panas dengan temperatur austenisasi antara 850 ° C sampai 950 ° C, media karbon akan teroksidasi menghasilkan gas CO_2 dan CO. Gas CO akan bereaksi dengan permukaan baja membentuk atom karbon (C), dan selanjutnya berdefusi ke dalam baja. Reaksi pengkarbonan dapat dijelaskan sebagai berikut :



(Surdia dan Shinroku, 1999)

Gas CO_2 ini sebagian akan bereaksi kembali dengan media karbon membentuk CO dan sebagian lagi akan menguap. Ketersediaan oksigen yang cukup di dalam kotak dapat membantu kelancaran reaksi pengkarbonan. Oksigen

didalam kotak tertutup membutuhkan ruang. Ketersediaan ruang-ruang tersebut berada diantara butir-butir media karbon padat yang digunakan di dalam proses *pack carburizing*. Ukuran butir yang besar akan tersusun dan menghasilkan rongga yang menyediakan ruang cukup besar untuk oksigen. Sebaliknya bila ukuran butirnya lebih kecil maka akan tersusun dan menghasilkan rongga yang lebih kecil pula.

Struktur ferrit (besi α) dan austenit (besi γ) memiliki kemampuan untuk menampung atom-atom penyisip seperti atom karbon untuk membentuk larutan padat. Ukuran atom karbon yang relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan atom besi, memungkinkan atom karbon masuk kedalam kisi besi α dan besi γ sebagai atom yang larut secara intersisi. Sebaliknya unsur paduan logam lain seperti mangan, nikel dan krom memiliki ukuran atom lebih besar sehingga bila masuk kedalam besi akan membentuk larutan padat substitusi (Abbaschian dan Robert, 1994)

Kemampuan atom karbon untuk masuk dan menyisip kedalam atom-atom besi pada bentuk larutan padat, menyebabkan kandungan karbon meningkat. Sehingga baja karbon rendah seperti St 37 dapat ditingkatkan sifat mekaniknya menjadi lebih baik. Seperti kemampuan untuk dikeraskan menjadi meningkat dan dapat digunakan sebagai material alternatif menggantikan baja karbon sedang maupun baja karbon tinggi. Sebagai material pengganti, baja St 37 melalui proses *pack carburizing* harus mempunyai kandungan karbon dengan kedalaman lapisan tertentu. Kedalaman lapisan karburasi (*Case depth*) dipengaruhi oleh kandungan karbon dari baja asal, temperatur dan waktu karburasi. Persamaan dari Harris dapat digunakan untuk rujukan mengistimasikan kedalaman lapisan karburasi :

$$\text{Kedalaman lapisan (Casedepth)} = \frac{31,6\sqrt{t}}{10^{(6700/T)}} \text{ inch} \dots\dots\dots (2.10)$$

(Boyer dan Gall, 1985)

dimana,

T = temperatur *carburizing* (Rankine)

t = waktu *carburizing* (jam)

Kedalaman lapisan (*case depth*) yang dapat dihasilkan oleh *pack carburizing* antara 0,75 hingga 4 mm. (Amstead, B.H, 1985)

2.2.4 Baja St 37

DIN 17-100 mengatur jenis baja karbon untuk keperluan pembuatan komponen mesin yang distandarkan menurut kekuatan tarik. Salah satunya adalah jenis baja St 37, dimana baja ini mempunyai kekuatan tarik minimal 37 Kg/mm² dan maksimal 45 Kg/mm². Sedangkan kandungan karbon yang dimilikinya sebesar 0,16 % berat. Data ini diambilkan dari tabel baja-baja konstruksi menurut ONORM M3111 sebagai berikut (Tabel 2.1),

Tabel 2.1 Baja Konstruksi menurut ONORM M 3111

Sebutan ONORM	DIN 17-100	σ_H Kg/mm ²	σ_s Kg/mm ²	C %	δ_s %	Ø pena
St 00 M	-	Sampai 50	-	0,12	30.....26	4a
St 34 M	St 34-2	34 – 42	19	0,12	3026	0,5 a
St 37 M	St 37-2	37 – 45	21	0,16	2623	a
St 42 M	St 42-2	42 – 50	23	0,25	25.....22	a
St 50 M	St 50 -2	50 -60	27	0`36	2219	-
St 60 M	St 60-2	60 – 70	32	0,45	1713	-
St 70 M	St 70-2	70 - 85	36	0,58	12 8	-

(Alois Schonmetz dkk,1985)

Jenis material baja juga ditentukan oleh jumlah kandungan karbon yang terdapat didalamnya. Oleh sebab itu sebutan lainnya dikenal juga sebagai baja karbon. Klasifikasi untuk mengelompokan jenis baja menurut jumlah kandungan karbon dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Carbon.

Metal	Typical Composition (Wt %)	Typical Uses
Low-Carbon ("Mild") Steel.	Fe: 0,04 to 0,3 C (\approx 0,8 Mn)	Low-stress Uses, General Konstruktional steel, suitable for welding.
Medium-Carbon Steel	Fe: 0,3 to 0,7 C (\approx 0,8 Mn)	Medium Stress Uses, machinery part, nut and bolt, shafts, gears
High-Carbon Steel	Fe: 0,7 to 1,7 (\approx 0,8 Mn)	High-stress uses: Springs, Cutting tool, Dies
Low-alloy Steel	Fe: 0,2, 0,8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-Stress Uses : Pressure Vissels, Air craft part.
High-alloy (Stain lest) Steel	Fe: 0,1 C 0,5 Mn 18 Cr, 8 Ni	High-Temperature or anti-Corrotion Uses, Chimical or Steam plants.

(Ashby and Jones, 1999)

Baja St 37 dengan kandungan karbon 0,16 % termasuk kedalam kelompok baja karbon rendah (*Low-Carbon Steel*). Kelompok baja ini masih mungkin untuk ditambah kandungan karbonnya, agar meningkat kemampuannya untuk bisa dikeraskan. Mengingat penggunaannya yang cukup luas untuk banyak komponen konstruksi mesin, termasuk kemungkinan sebagai material dasar komponen yang membutuhkan sifat keras dipermukaannya. Pengukuran kekerasan permukaan baja pada umumnya menggunakan metode *Brinell*, *Vickers* dan *Rockwell* .

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi dua macam yaitu : bahan sebagai obyek pengamatan dan pendukung kegiatan penelitian.

3.1.1 Bahan Pengamatan

Bahan utama sebagai obyek pengamatan adalah baja dengan kekuatan tarik 44 Kg/mm² (lihat lampiran). Baja ini masuk dalam kelompok baja St 37 dan memiliki kandungan karbon rendah. Hasil uji laboratorium untuk komposisi kimia menunjukkan unsur karbon (C) sebesar 0,044 % (lihat lampiran). Bahan dibentuk sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai untuk masing-masing pengujian. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat material baja *specimen* yang digunakan dalam penelitian ini, sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan *pack carburizing*. Pada penelitian ini hanya akan dilakukan pengujian sifat mekanik (*mechanical properties*). Sifat mekanik material yang akan diuji sesuai dengan tujuan *pack carburizing* adalah kekerasan (*hardness*) permukaan material.

3.1.2 Bahan Pendukung

Bahan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

(1). Arang tempurung kelapa.

Penggunaan arang tempurung kelapa dalam percobaan ini merupakan pilihan diantara sumber karbon lainnya. Sumber karbon merupakan media dalam proses *pack carburizing* untuk meningkatkan kandungan karbon pada baja. Arang tempurung kelapa yang digunakan berupa serbuk. Bentuk serbuk dipilih untuk memudahkan dalam membedakan ukuran butir. Perbedaan ukuran butir ini dilakukan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dalam percobaan ini. Serbuk arang tempurung kelapa diayak untuk mendapatkan beda ukuran butir dalam empat macam dengan katagori kelompok A, B, C dan D.

(2). Barium Karbonat ($Ba CO_3$).

Bahan aktivator dibutuhkan agar proses penambahan karbon dari media ke baja dapat berlangsung dalam keadaan gas. Aktivator atau unsur energizer yang digunakan adalah barium karbonat. Barium karbonat ($Ba CO_3$) akan dicampur dengan arang tempurung kelapa. Komposisi campuran arang tempurung kelapa 90 % dan barium karbonat ($Ba CO_3$) 10 %. Campuran ini bersama *specimen* dimasukkan kedalam kotak baja untuk selanjutnya dilakukan proses *pack carburizing*

3.2 Alat dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Mesin Perkakas

Pembuatan *specimen* sesuai dengan bentuk standar untuk suatu pengujian bahan, maupun bentuk lain yang disesuaikan dengan kebutuhan percobaan menggunakan mesin-mesin perkakas. Mesin perkakas yang digunakan adalah mesin bubut, mesin milling dan mesin gerinda. Mesin bubut dan mesin milling digunakan untuk membentuk *specimen* sesuai dengan standar uji bahan. Sedangkan mesin gerinda digunakan untuk proses *finishing* permukaan untuk mencapai tingkat kekasaran permukaan yang disyaratkan dalam pengujian. Salah satu mesin perkakas berupa mesin bubut yang digunakan untuk membentuk *specimen* percobaan dapat diperhatikan seperti pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Mesin bubut.

3.2.2 Dapur Pemanas

Proses pemanasan baja didalam kotak untuk mencapai temperatur austenisasi digunakan dapur pemanas. Dapur ini menggunakan arus listrik untuk memfungsikan elemen pemanas. Elemen pemanas akan memanaskan ruangan proses sesuai dengan pengaturan temperatur dan waktu. Dapur pemanas ini dilengkapi dengan pengatur temperatur yang sesuai dengan keinginan, dengan demikian tahapan pemanasan yang diperlukan dalam proses *pack carburizing* dapat diatur. Pengaturan dilakukan untuk memenuhi kebutuhan akan penahanan waktu maupun peningkatan temperatur. Dapur pemanas ini memegang peranan penting selama proses berlangsung. Kondisi dapur pemanas menjadi syarat utama berhasilnya proses karena temperatur yang ditunjukkan dan waktu penahan merupakan faktor yang dipertahankan. Dapur pemanas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Dapur Pemanas.

3.2.3 Kotak (*box*) *Carburizing*

Media karbon padat yang digunakan dalam proses *pack carburizing*, menggunakan kotak (*box*) baja. Kotak ini harus mampu menerima panas pada temperatur tinggi tanpa mengalami perubahan bentuk. Kotak baja yang dipilih sebagai tempat *specimen* bersama media karbon berbentuk silinder. Kotak silinder dilengkapi penutup yang diikat dengan dua buah baut dan mur. Baut dan mur ditempatkan pada sisi silinder berfungsi untuk mengunci rapat kotak pada waktu proses berlangsung. Kotak baja yang tertutup disyaratkan harus rapat, tidak boleh ada kebocoran sedikitpun. Karena proses karburasi didalam kotak harus berlangsung secara sirkulasi tertutup. Kebocoran akan mengakibatkan terjadinya oksidasi pada permukaan *specimen*. Oksidasi ini akan membentuk warna hitam sampai munculnya kerak dipermukaan, sehingga ini akan mengakibatkan kegagalan proses *pack carburizing* tersebut. Kotak yang digunakan pada proses *pack carburizing* dapat diperhatikan pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Kotak *carburizing* dan tutupnya.

3.2.4 Pengujian Sifat Material

Mesin-mesin uji material digunakan untuk menguji sifat material sebelum dan sesudah dilakukan proses *pack carburizing*. *Spectrometer* digunakan menguji komposisi kimia dari material dasar untuk pembuatan *specimen*. Begitu pula kekerasan permukaan dari *specimen*, sebelum dan sesudah dilakukan *pack carburizing* dilakukan pengujian. Kedalaman atom karbon yang masuk berdifusi kedalam struktur baja akan diketahui melalui pengambilan gambar struktur mikro dari *specimen*. Beberapa alat uji yang digunakan pada percobaan ini berturut-turut dapat dilihat pada bab berikut ini.

(1). Mesin uji kekerasan material.

Mesin uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini, dipilih menggunakan uji kekerasan cara mikro dan makro. Cara mikro dipertimbangkan terhadap kemungkinan seberapa jauh keberhasilan gas karbon berdifusi kedalam permukaan *specimen*. Pada kondisi panas temperatur karburasi gas karbon secara berangsur-angsur akan mendesak masuk mencapai kedalaman tertentu.

Kedalaman berapa dari permukaan terluar *specimen* yang belum diketahui mengharuskan tindakan yang hati-hati pada saat melakukan pengujian. Sedangkan uji kekerasan makro bisa digunakan sebagai barometer pembandingan hasil pengukuran mikro. Alat uji kekerasan mikro menggunakan metoda *Micro Vickers Hardness Tester*, menggunakan mesin uji seperti terlihat pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 *Micro Vickers Hardness Tester*

Sedangkan untuk uji kekerasan makro menggunakan metoda *Rockwell B*, dengan alat uji *Rockwell Hardness Tester* seperti pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 *Rockwell Hardness Tester*

(2). Mikroskop Metalurgi (*Metallurgical Microscope*).

Sejumlah atom karbon yang berhasil berdifusi kedalam struktur baja, adalah bukti keberhasilan proses *pack carburizing* yang dilakukan. Oleh sebab itu harus dapat diukur untuk diketahui dengan pasti seberapa keberhasilannya. Sehubungan dengan hal tersebut, pengambilan gambar struktur baja St 37 yang digunakan sebagai *sample* percobaan harus dilakukan. Pengambilan gambar struktur mikro baja dilakukan menggunakan alat *metallurgical microscope*. Alat ini dapat memperbesar gambar mikro struktur material *specimen* sehingga dapat dilihat dengan jelas. Hasil gambar mikro struktur dari *specimen* yang telah melalui proses *pack carburizing* dapat digunakan pula untuk mengukur seberapa jauh atom karbon yang telah berhasil berdifusi. Pengambilan gambar dari tepi terluar

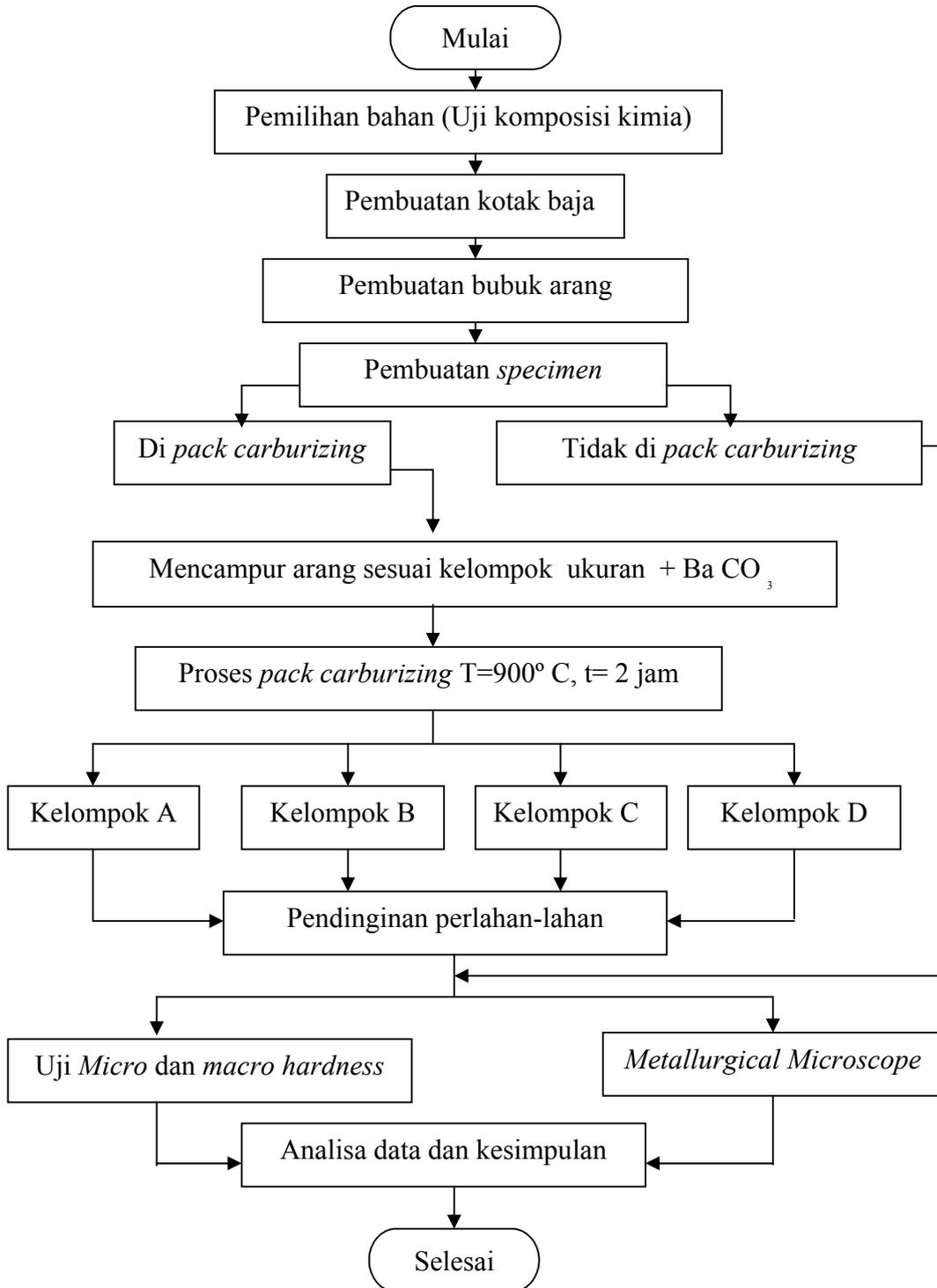
specimen dapat menunjukkan kedalaman yang diukur dari tepi sampai tidak ditemukan lagi karbon. Alat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 *Metallurgical Microscope*

3.3 Cara Percobaan

Urutan kegiatan penelitian mengikuti diagram alir sebagai berikut



Gambar 3.7 Diagram alir proses percobaan.

3.3.1 Persiapan Percobaan

Pemilihan material dasar (*raw materials*) dilakukan pada awal kegiatan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan material baja yang sesuai kriteria penelitian. Selanjutnya mempersiapkan mesin dan alat-alat yang digunakan untuk penelitian. Persiapan ini dilakukan untuk memastikan semua mesin dan alat-alat tersebut dalam kondisi siap digunakan. Selain itu pembelian arang tempurung kelapa, barium karbonat, baja untuk kotak *carburizing* dan ampelas halus dilakukan pula.

3.3.2 Pembuatan Kotak *Carburizing*

Kotak (*boxs*) *carburizing* dibuat terlebih dahulu, menggunakan konstruksi sambungan las. Perencanaan bentuk kotak dipertimbangkan terhadap kapasitas dapur pemanas yang digunakan. Konstruksi kotak dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter dalam 130 mm dan tinggi 80 mm. Kotak dilengkapi penutup, agar pada saat digunakan dapat terkondisi rapat tidak terjadi kebocoran. Penutup menggunakan pengunci dengan menggunakan pasangan baut dan mur . Ulir dari baut dan mur mempunyai ukuran M 8, agar penutup dapat terpasang kuat dan rapat dengan badan kotak.

3.3.3 Membuat Bubuk (*powder*) Arang Tempurung Kelapa

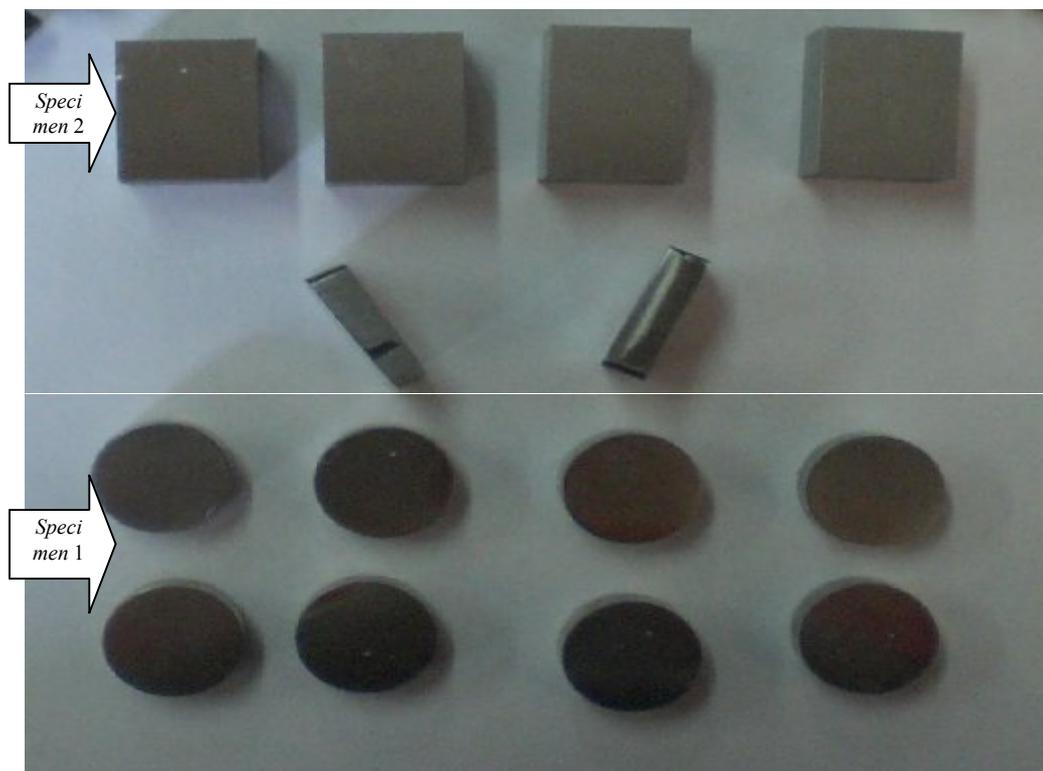
Arang tempurung kelapa diperoleh dengan ukuran keping yang tidak beraturan. Bentuk ini diseragamkan dengan cara menjadikan keping arang menjadi bubuk (*powder*). Bubuk arang tempurung kelapa dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan ukuran butir berturut turut : 170 mesh, 100 mesh, 70 mesh dan 50 mesh. Ukuran ini masing-masing sama dengan 0,09 mm, 0,15 mm, 0,212 mm dan 0,3 mm.

3.3.4 Membuat *Specimen*

Uji kekerasan dan micrografi menggunakan *specimen* yang sama, agar memperoleh data yang dapat dihubungkan antara gambar micrografi dengan hasil uji kekerasan permukaan.

Uji kekerasan material menggunakan metoda *Micro* dan *macro hardness*, pengujian ini meliputi material dasar yaitu dari baja St 37 sebelum dan sesudah dilakukan proses *pack carburizing*. Ada dua jenis bentuk material dasar yang digunakan yaitu, *specimen* berbentuk silinder dengan ukuran diameter 175 mm, tebal 100 mm dan kubus ukuran 20 x 20 mm dengan tebal 30 mm.

Specimen penelitian yang digunakan seperti terlihat pada gambar 3.8 di bawah ini:



Gambar 3.8 *Specimen* Penelitian

dimana :

- (a). *Specimen* 1 untuk uji kekerasan makro.
- (b). *Specimen* 2 untuk uji kekerasan mikro.

3.3.5 Proses Pemanasan *Specimen*

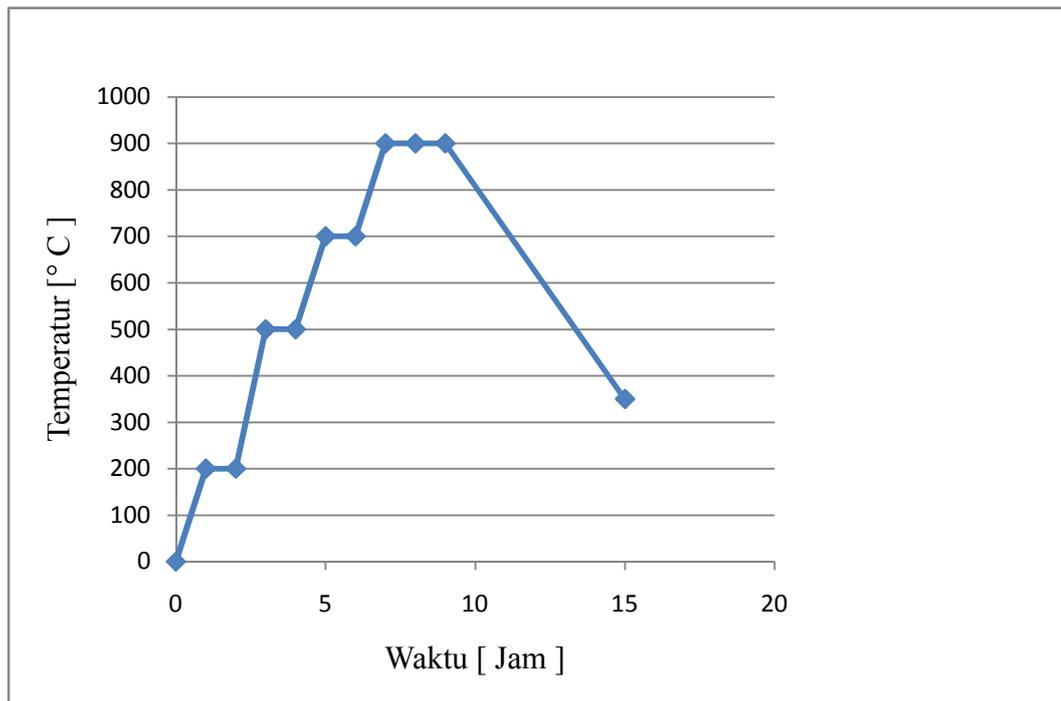
Specimen bersama media karbon disusun dan diletakkan di dalam kotak *carburizing*. Pengaturan posisi masing-masing *specimen* didalam kotak mengikuti susunan berlapis yaitu: lapisan dasar adalah bubuk arang, *specimen* dan bubuk arang. Kotak *carburizing* tidak terisi penuh sampai menyentuh tutup kotak, tetapi

tersedia ruang untuk udara 20 mm dari sisi dalam tutup. Tutup kotak dipasang dan dirapatkan menggunakan tanah liat. Selanjutnya kotak *carburizing* dimasukkan kedalam dapur. Seperti terlihat pada gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Memasukkan kotak *carburizing* kedalam dapur.

Pemanasan dalam ruangan dapur dilakukan secara bertahap, tahap pertama 200 ° C selama 1 jam, tahap ke dua 500 ° C selama 1 jam dan 700° C selama 1 jam, terakhir pada temperatur *carburizing* 900 ° C selama 2 jam. Selanjutnya dilakukan pendinginan secara perlahan-lahan, dimana dapur dimatikan dan ditunggu sampai turun pada temperatur 350° C. Setelah mencapai temperatur tersebut, pintu dapur dibuka untuk mengeluarkan kotak *carburizing*. Diluar ruangan dapur tutup kotak *carburizing* dibuka, semua *specimen* dikeluarkan untuk didinginkan secara terbuka. Proses pemanasan dan pendinginan *specimen* dapat digambarkan sebagai berikut .



Gambar 3.10 Diagram pemanasan dan pendinginan *specimen*.

3.3.6 Menguji *Specimen Hasil Pack Carburizing*

Setelah melalui pendinginan diluar kotak carburizing, akan nampak masing-masing permukaan *specimen* menjadi lebih hitam. Perubahan warna terang menjadi hitam ini, merupakan salah satu indikasi telah terjadinya perlakuan panas. Dalam hal ini perlakuan panas yang dilakukan adalah proses *pack carburizing*. Walaupun demikian permukaan *specimen* tidak boleh muncul kerak karbon. Karena kerak karbon ini menunjukkan telah terjadi oksidasi yang mengakibatkan karbon dipermukaan terbakar. Terbakarnya karbon meninggalkan bekas pembakaran berupa kerak. Oleh sebab itu salah satu pertanda keberhasilan suatu proses *pack carburizing*, bila pada saat *specimen* dingin permukaannya tidak berkerak. Gambar 3.11 berikut ini memperlihatkan *specimen* setelah diproses *pack carburizing*. Bisa dibandingkan permukaan *specimen* gambar 3.11 dengan *specimen* gambar 3.8.



Gambar 3.11 Sebagian *specimen* setelah di *pack carburizing*.

Specimen 1, untuk uji kekerasan makro menggunakan metoda *Rockwell B*. Sedangkan *Specimen 2* diuji menggunakan mikro dengan metoda *micro Vickers*. Metoda *Rockwell B* menggunakan penetrator dengan ujung bola baja berdiameter 1/16 inchi, menggunakan pembebanan 100 Kg. *Specimen* diletakkan pada landasan rata, diarahkan pada posisi penekanan. Selanjutnya dilakukan pembebanan awal sebesar 10 Kg. Jarum penunjuk pada ukuran kekerasan material diatur pada posisi 0 (nol), berikutnya pembebanan dilanjutkan sampai mencapai 100 Kg. Setelah tercapai beban maksimum ditunggu 20 detik sebagai waktu pembebanan dan dikembalikan pada beban awal. Pada saat itu kekerasan material bisa dibaca pada jarum penunjuk kekerasan material. Gambar 3.10 memperlihatkan waktu pengujian kekerasan menggunakan metoda *Rockwell B*. Sementara itu gambar 3.11 menunjukkan *specimen* yang telah diuji. Nampak terlihat bekas penetrasi dari penetrator selama dilakukan pengujian.



Gambar 3.12 Menguji kekerasan permukaan *specimen* dengan metoda *Rockwell B*



Gambar 3.13 *Specimen* uji kekerasan *Rockwell B*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Percobaan

4.1.1 Material Sebelum *Pack Carburizing*

(1). Hasil Uji Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia baja *specimen* dengan spectrometer disajikan dalam tabel 4.1. Dari tabel terlihat bahwa kadar karbon yang terkandung dalam baja tersebut sebesar 0,044 %. Sedangkan beberapa unsur lain terlihat seperti : Si, S, P, Ni, Mo, Mn terdapat pula didalamnya.

Tabel 4,1 Uji komposisi kimia *specimen* dasar

Unsur	Contoh uji	
	test 09/S-646 (%)	Standar deviasi
Fe	98,16	0,0297
C	0,044	0,0129
Si	0,233	0,009
Mn	0,951	0,0209
P	0,042	0,0022
S	0,03	0,0042
Mo	0,032	0,0064
Ni	0,055	0,0009

(2). Hasil Uji Kekuatan Tarik

Material dasar juga harus memenuhi syarat kemampuan menerima beban tarik sebagai kelompok baja St 37. Hasil pengujian diperoleh harga rata-rata $\sigma_{max} = 44,066 \text{ Kg/mm}^2$. Hasil ini diperoleh dari harga masing-masing sample yang dirata-rata seperti terlihat pada tabel 4.2 .Harga ini masih masuk dalam kelompok baja St 37, karena masuk dalam harga antara 37 Kg/mm^2 sampai 45 Kg/mm^2 .

Tabel 4.2 Uji kekuatan tarik *specimen* dasar

Nomor	Specimen	σ_{yield} Kg/mm ²	σ_{max} Kg/mm ²	Regangan %	Kontraksi %
1	A	30,7	44,2	32,33	73,31
2	B	32,5	43,8	33,33	73,31
3	C	32,1	44,2	34	71,56
Rata-rata		31,766	44,066	33,22	72,726

(3). Hasil Uji Kekerasan Permukaan

Kekerasan permukaan material di uji dengan menggunakan dua metoda yaitu: secara *microhardness* dan *macrohardness*. Pada uji *microhardness* menggunakan lima titik sampel diberlakukan pada specimen 2. Pada cara ini menggunakan metoda mikro *Vickers* dengan beban (P) sebesar 0,3 Kg. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Uji kekerasan permukaan *specimen* dasar metoda Mikro *Vickers*.

Specimen	Jenis pengujian kekerasan	No	Diagonal 1 d1 (mm)	Diagonal 2 d2 (mm)	Diagonal rata-rata d (mm)	P Beban (Kg)	Harga kekerasan (Kg/mm ²)
Bahan baku	Mikro Vickers	1	0,062	0,062	0,06200	0,3	144,69
		2	0,062	0,062	0,06200	0,3	144,69
		3	0,0615	0,062	0,06175	0,3	145,87
		4	0,062	0,061	0,06150	0,3	147,06
		5	0,061	0,061	0,06100	0,3	149,48

Bila harga kekerasan yang diperoleh dirata-rata = 146,358 Kg/mm²

Sedangkan uji *macrohardness* menggunakan metoda *Rockwell* "B" dengan hasil seperti terlihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Uji kekerasan permukaan *specimen* dasar metoda *Rockwell* B

Specimen	Jenis pengujian kekerasan	Kekerasan tiap titik (HRB)								Rata-rata (HRB)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Material dasar	Rockwell "B"	71	73	72	72,5	50	65	73	72	68,56

Metoda ini menghasilkan harga kekerasan rata-rata sebesar = 68,56 HRB

4.1.2 Material Sesudah *Pack Carburizing*

Hasil proses *pack carburizing* terhadap material baja St 37, diuji kekerasan permukaan dan pengambilan gambar mikrofografi untuk keperluan analisa. Pengujian kekerasan menggunakan *microhardness* dengan metoda *micro Vickers* dengan besar pembebanan 0,3 Kg masing-masing menghasilkan data sebagai berikut.

(1).*Specimen* “A” dengan ukuran butir arang 0,3 mm.

Tabel 4.5 uji mikro *Vickers specimen* “A”

Spesimen	Jenis pengujian kekerasan	No	Diagonal 1 d1 (mm)	Diagonal 2 d 2 (mm)	Diagona 1 rata-rata d (mm)	P Beban (Kg)	Harga kekerasan (Kg/mm ²)
A	mikro Vickers	1	0,05	0,05	0,05	0,3	222,48
		2	0,051	0,0505	0,05075	0,3	215,95
		3	0,056	0,0565	0,05625	0,3	175,79
		4	0,059	0,059	0,05900	0,3	159,78
		5	0,061	0,0615	0,06125	0,3	148,26

(2).*Specimen* “B” dengan ukuran butir arang 0,212 mm.

Tabel 4.6 uji mikro *Vickers specimen* “B”

Specimen	Jenis pengujian kekerasan	No	Diagonal 1 d1 (mm)	Diagonal 2 d 2 (mm)	Diagona 1 rata-rata d (mm)	P Beban (Kg)	Harga kekerasan (Kg/mm ²)
B	mikro Vickers	1	0,067	0,067	0,067	0,3	123,90
		2	0,065	0,0655	0,06525	0,3	130,64
		3	0,0655	0,065	0,06525	0,3	130,64
		4	0,065	0,065	0,06500	0,3	131,64
		5	0,065	0,065	0,06500	0,3	131,64

(3). *Specimen* “C” dengan ukuran butir arang 0,15 mm.

Tabel 4.7 uji mikro *Vickers specimen* “C”

Specimen	Jenis pengujian kekerasan	No	Diagonal 1 d1 (mm)	Diagonal 2 d 2 (mm)	Diagonal rata-rata d (mm)	P Beban (Kg)	Harga kekerasan (Kg/mm ²)
C	mikro Vickers	1	0,049	0,049	0,04900	0,3	231,65
		2	0,049	0,49	0,04900	0,3	231,65
		3	0,0515	0,51	0,05125	0,3	211,76
		4	0,054	0,54	0,05400	0,3	190,74
		5	0,058	0,058	0,05800	0,3	165,34
		6	0,062	0,062	0,06200	0,3	144,69

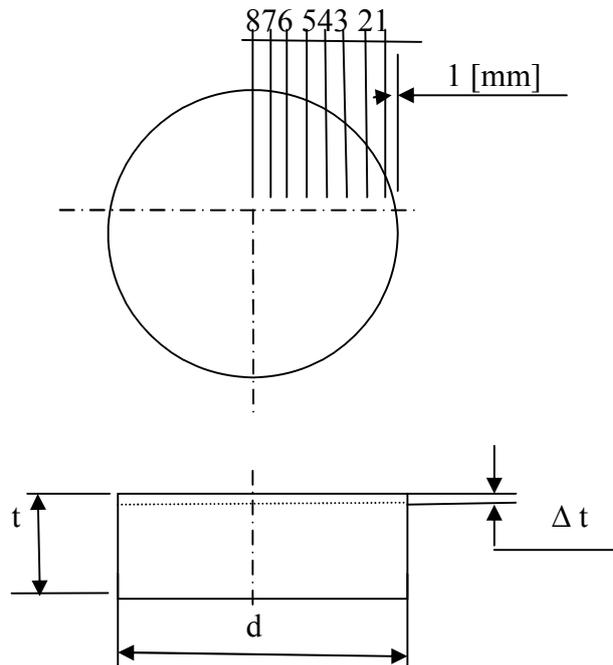
(4). *Specimen* “D” dengan ukuran butir arang 0,09 mm.

Tabel 4.8 uji mikro *Vickers specimen* “D”

Specimen	Jenis pengujian kekerasan	No	Diagonal 1 d1 (mm)	Diagonal 2 d 2 (mm)	Diagonal rata-rata d (mm)	P Beban (Kg)	Harga kekerasan (Kg/mm ²)
D	mikro Vickers	1	0,0575	0,057	0,05725	0,3	169,70
		2	0,061	0,061	0,06100	0,3	149,48
		3	0,061	0,061	0,06100	0,3	149,48
		4	0,061	0,061	0,06100	0,3	149,48
		5	0,0615	0,061	0,06125	0,3	148,26

Pengujian menggunakan *macrohardness* dengan metoda *Rockwell* “B” dilakukan dengan cara sebagai berikut.

Masing-masing kelompok *specimen* diuji kekerasan permukaannya secara bertahap. Mulai lapisan permukaan terluar dilakukan pengujian, selanjutnya berturut-turut setiap selesai pengujian dilakukan penggerendaan. Penggerendaan ini dimaksudkan untuk menghilangkan lubang penetrasi disetiap lapisan pengujian. Hal ini mengakibatkan tebal “ t “ berkurang sebesar Δt setiap dilakukan penggerendaan. Rencana pengurangan masing-masing lapisan seperti diperlihatkan pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Letak titik uji dan pengurangan permukaan.

Specimen yang berbentuk silinder dengan permukaan rata dan halus, mempunyai tebal “ t ” dan diameter “ d ”. Permukaan paling atas ditandai dari tepi menuju ketengah masing-masing berjarak 1 [mm]. Ditemukan delapan (8) titik pengukuran untuk setiap lapisan . Pengurangan ketebalan untuk mendapatkan lapisan berikutnya sebesar “ Δt ”, tergantung dari kedalaman penetrasi. Hasil pengurangan lapisan masing-masing permukaan dicatat sebagai data pengukuran. Pengurangan lapisan untuk masing-masing *specimen* mempunyai ketebalan kurang lebih 0,1 mm. Pengukuran kekerasan ini dilakukan sampai mendekati atau sama dengan harga kekerasan permukaan dari material dasar. Masing-masing *specimen* diperoleh hasil pengukuran antara tujuh (7) sampai delapan (8) kali pengukuran. Hasil pengukuran terhadap kekerasan permukaan ditabelkan sebagai berikut.

(1) *Specimen* “ A “ dengan ukuran butir arang 0,3 mm :

Tabel 4.9 Uji kekerasan makro pada *specimen* “ A “

Specimen "A"	Tebal (mm)	Kekerasan tiap titik (HRB)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	9,21	79,5	80	80	79	80	79,5	80	80
2	9,05	57	71,5	77	76	82,5	77,5	78	78
3	8,94	59	71	74	76	79,5	76,5	75,5	77
4	8,84	65	75,3	78,8	76,6	79,4	76	79,3	79,5
5	8,72	61,7	77,5	81,4	79,1	80,09	83,5	82,6	82,7
6	8,55	74,4	82,6	83,7	82,8	82	80,9	85,8	85,5
7	8,48	71,8	75,5	78	76,5	75	76,7	79,5	85

(2) *Specimen* “ B “ dengan ukuran butir arang 0,212 mm:

Tabel 4.10 Uji kekerasan makro pada *specimen* “ B “

Specimen "B"	Tebal (mm)	Kekerasan tiap titik (HRB)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	10,03	76	75,5	76,5	76,5	76,5	79,5	80	80
2	9,8	55	70,5	76,5	75,5	79,5	75,5	75,5	79
3	9,64	69,5	75,5	76,3	76,6	78,5	76	78	79
4	9,56	71	77,7	79,4	79,1	81	82,7	85	82
5	9,42	59,5	78,9	82,8	82,4	83,8	84,9	85,5	80,8
6	9,33	73,5	82,2	84,6	85,5	85	85,2	83,2	82,3
7	9,24	63,4	79	82,8	82,1	83,4	84,5	85,9	82
8	9,07	54	75	76,8	77,6	74	76,3	79	85,3

(3) *Specimen* “ C “ dengan ukuran butir arang 0,15 mm:

Tabel 4.11 Uji kekerasan makro pada *specimen* “ C “

Specimen "C"	Tebal (mm)	Kekerasan tiap titik (HRB)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	9,37	74,6	81	81,5	81,9	82,5	81,4	82	82
2	9,8	57	79	83	82,5	82	81,5	82	81
3	9,24	58,5	74,2	78,4	78,3	78,5	79,2	80,4	84,7
4	9,17	60,6	71,9	74,7	76,1	77,6	78,2	81,4	83,1
5	9,005	71	79,3	79,3	78,8	82,3	81,2	81,4	77,7
6	8,8	74,4	81,9	83,4	83,9	84,4	84	84,3	84,2
7	8,6	87,1	85,6	83,6	86,2	85	85,5	83,6	83,8
8	8,06	52	73,5	75,6	76,5	74,0	76	79,2	83,5

(4) *Specimen* “ D “ dengan ukuran butir arang 0,09 mm:

Tabel 4.12 Uji kekerasan makro pada *specimen* “ D “

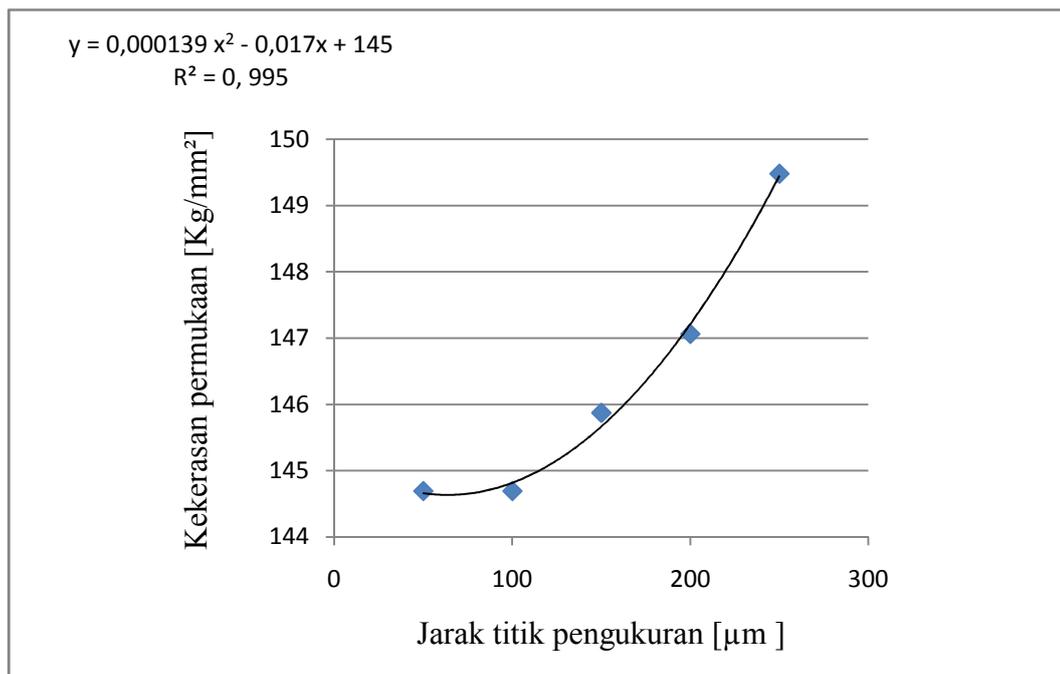
Specimen "D"	Tebal (mm)	Kekerasan tiap titik (HRB)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	9,4	69	74,6	76,9	76,8	77,4	77,6	78	76,8
2	9,36	69	79	78,5	79	79,5	78,5	78	77,5
3	8,79	60	66,6	75,6	76,2	78,5	77,7	77	79,2
4	8,62	76,1	80,06	78,8	78,6	81,5	80,4	81,6	84,4
5	8,4	52,7	72,9	75,7	74,7	74,5	75,4	79,2	81,5
6	8,32	62,4	74,8	77,5	80,4	81,5	80	79,4	81,2
7	8,16	76,5	81,1	82,8	84	83,1	83,2	82,9	82,7
8	8,05	55,2	75,6	76,7	77,2	75,0	78	79,5	83,8

4.2 Analisa dan Pembahasan

Analisa dilakukan pada *specimen* sebelum dan sesudah dilakukan proses *pack carburizing*, berdasarkan hasil uji kekerasan mikro dan makro dilengkapi dengan gambar struktur baja. Proses *pack carburizing* yang bertujuan untuk menambah atom karbon padat kedalam struktur baja, diharapkan dapat meningkatkan sifat mampu dikeraskan pada baja St 37 khususnya. Hasil percobaan dapat dijelaskan sebagai berikut.

4.2.1 Material Sebelum Pack Carburizing

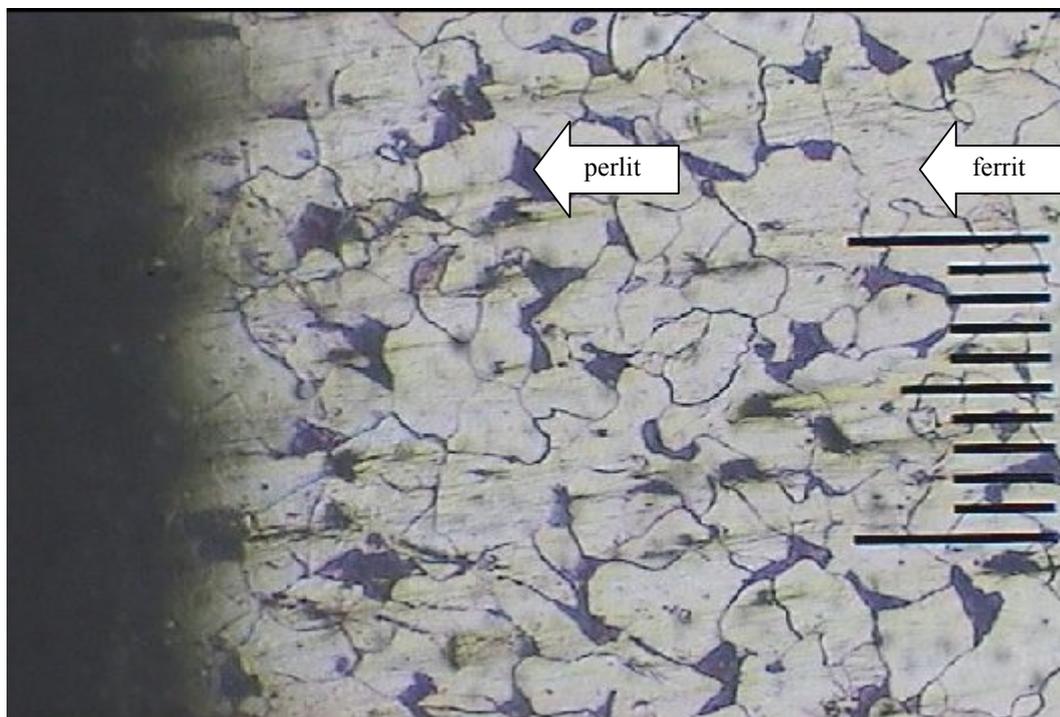
Data hasil pengujian yang dilakukan pada material baku seperti terlihat tabel 4.3 menggunakan metode *micro Vickers*, menunjukkan kecenderungan harga kekerasan permukaan naik pada setiap titik pengukuran. Pengukuran ini dimulai dari sisi terluar dengan jarak masing-masing titik 50 μm menuju ke arah bagian dalam. Hasil pengukuran masing-masing titik menunjukkan perbedaan harga kekerasannya. Walaupun berbeda kekerasannya tetapi masih terdapat korelasi diantara titik-titik tersebut. Hal ini dibuktikan dengan ditemukan garis korelasi *polynomial* yang kuat. Indikasi ini terlihat pada harga “R” hitung yang ditemukan sebesar 0,995. Harga tersebut menunjukkan adanya korelasi yang tinggi pada setiap titik pengukuran.



Gambar 4.2 Kekerasan mikro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *micro Vickers* pada material baku

Gambar 4.2 menunjukkan garis *Polynomial* yang menghubungkan antar titik pengukuran dengan harga kekerasan permukaan. Kecenderungan garis yang

terbentuk dapat diprediksikan bahwa bagian dalam dari struktur baja material baku lebih keras dibandingkan bagian tepi. Kemungkinan yang terjadi struktur kristal ferrit mendominasi permukaan, sehingga pengukuran dari arah tepi cenderung mengenai kristal tersebut. Oleh sebab itu hasil pengukuran diperoleh harga kekerasan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan bagian dalam. Hasil pengujian kekerasan tersebut selaras bila dibandingkan dengan gambar *micrografi* struktur baja yang dihasilkan seperti berikut ini.



Gambar 4.3 Struktur material dasar baja St 37 dengan pembesaran 200 X

Gambar 4.3 diambil dari tepi terluar *specimen* ditandai dengan warna hitam yang merupakan batas antara logam dan lingkungannya. Nampak disini lebih banyak kristal ferrit dibandingkan kristal perlite. Kristal ferrit yang mempunyai sifat lunak lebih banyak mendominasi struktur baja. Sementara kristal perlite berada diantaranya dengan jumlah yang lebih sedikit. Perlite yang mempunyai sifat lebih keras dibandingkan ferrit menempati posisi yang tidak teratur. Hal ini juga menyebabkan pengukuran kekerasan bila mengenai kristal ferrit akan ditemukan harga yang lebih rendah bila dibandingkan dengan perlit. Pengujian kekerasan

makro menggunakan metoda *Rockwell B*, juga menunjukkan hasil yang tidak sama harga yang diperoleh pada satu permukaan. Dimana harga rata-rata dari delapan titik pengukuran sebesar 68,56 HRB. Diduga ada kecenderungan perlit ini lebih banyak menempati posisi bagian dalam dari pada bagian luar dari struktur baja.

4.2.2 Material Sesudah *Pack Carburizing*.

Setelah mengalami proses *pack carburizing* dengan menggunakan perbedaan butir arang, masing-masing *specimen* diuji kembali dengan hasil sebagai berikut.

(1) *Specimen "A"*

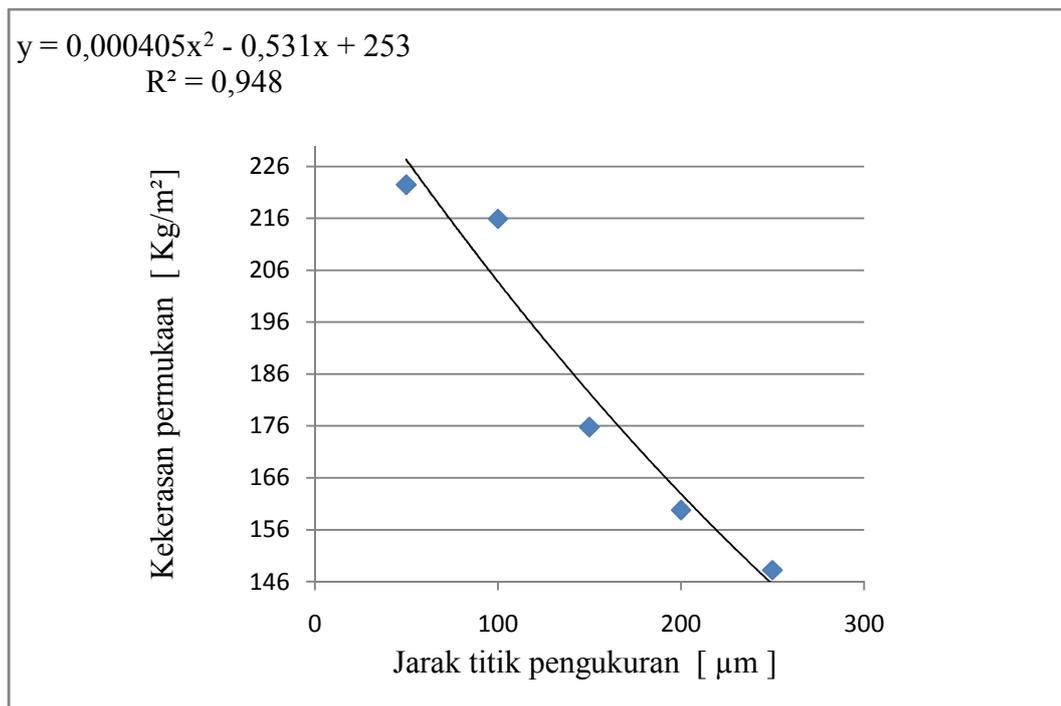
Specimen "A" menggunakan butir arang dengan ukuran 0,3 mm, terdiri dari dua bentuk *specimen*, yaitu bentuk kubus dan silinder . Bentuk kubus untuk pengujian kekerasan mikro dan silinder untuk makro. Hasil pengujian kekerasan mikro menggunakan metoda *micro Vickers* pada *specimen* berbentuk kubus diperoleh hasil seperti tabel 4.5. Pengujian dilakukan mulai dari bagian tepi ke arah bagian dalam. Hal ini dilakukan karena atom karbon akan masuk dari luar mulai dari bagian sisi yang terluar masuk ke dalam struktur baja. Interpretasi dari bobot korelasi yang terjadi pada hasil pengukuran mengikuti aturan sebagai berikut.

Tabel 4.13 Interpretasi nilai " R "

Besar nilai ' R '	Interpretasi
Antara 0,800 sampai dengan 1,000	Tinggi
Antara 0,600 sampai dengan 0,800	Cukup
Antara 0,400 sampai dengan 0,600	Agak rendah
Antara 0,200 sampai dengan 0,400	Rendah
Antara 0,000 sampai dengan 0,200	Sangat rendah (tidak berkorelasi)

(Sutrisno Hadi, 1984: p 275)

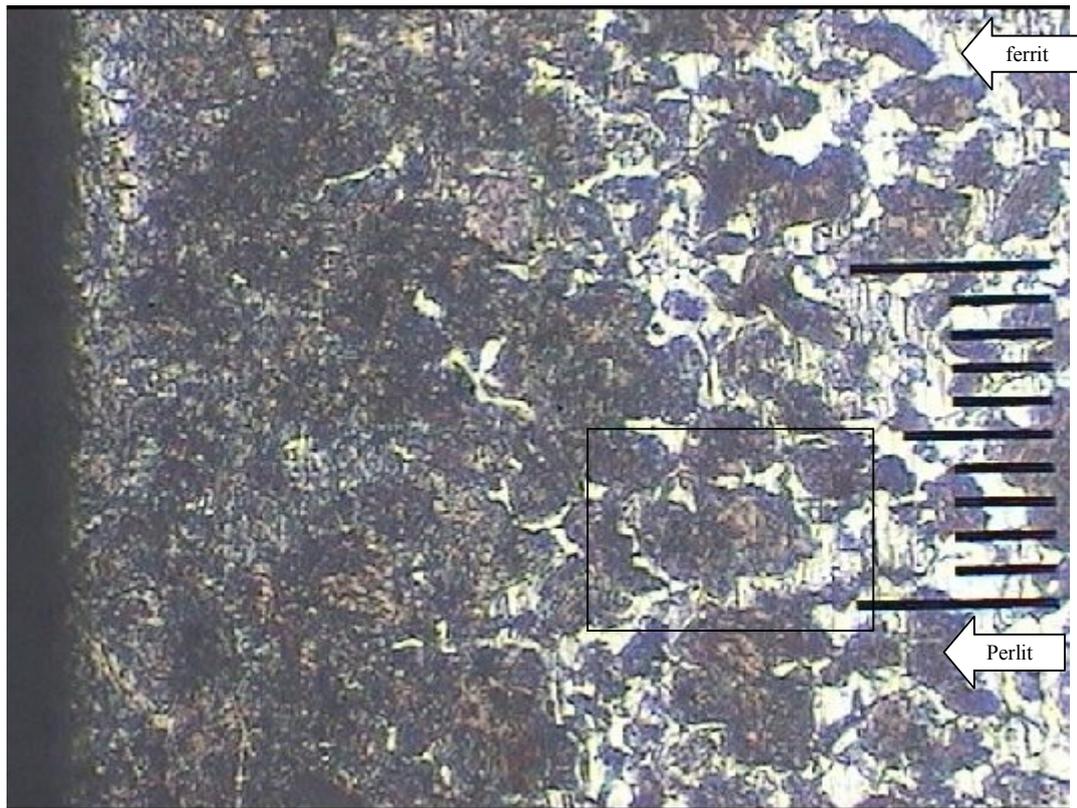
Hubungan antara titik pengukuran dengan masing-masing kekerasan permukaan yang terukur, dan paling mendekati korelasi tinggi adalah bentuk garis *polynomial*. Bentuk garis ini menghasilkan harga “R” hitung sebesar 0,948. Harga tersebut menunjukkan indikasi adanya korelasi yang tinggi diantara titik-titik pengukuran dengan harga kekerasan permukaan.



Gambar 4.4 Korelasi kekerasan permukaan mikro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *micro Vickers* pada *specimen* “A”

Garis *polynomial* yang terbentuk mempunyai kecenderungan dari atas ke bawah, atau dari harga kekerasan tinggi menuju ke kekerasan lebih rendah. Hasil ini bertolak belakang dengan hasil yang diperoleh pada material baku. Perbedaan ini disebabkan oleh masuknya atom karbon kedalam struktur baja. Sebuah atom karbon yang masuk dari tepi terluar ke bagian dalam akan diikuti oleh atom-atom karbon yang lain. Peristiwa ini berlangsung terus menerus selama berlangsungnya proses *pack carburizing*. Sampai pada saat waktu *carburizing* dihentikan, dan atom karbon terdepan akan berhenti. Kondisi ini akan berakibat lebih banyak

atom karbon yang berada dibagian tepi dari pada dibagian dalam. Peristiwa tersebut terlihat dengan dihasilkan garis *polynomial* yang menunjukkan kecenderungan menurun seperti diperlihatkan pada gambar 4.4. Prediksi ini dapat pula dilihat pada hasil pengambilan gambar struktur baja untuk *specimen* “A” seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut ini



Gambar 4.5 Struktur material *specimen* “A” dengan pembesaran 200 X

Gambar 4.5 bila dibandingkan dengan gambar 4.3 ada perbedaan yang disebabkan oleh masuknya atom karbon ke dalam struktur baja. Nampak disini atom karbon telah berhasil berdifusi ke dalam struktur baja St 37. Penambahan atom karbon menyebabkan terbentuknya sementit yang terdiri dari tiga (3) atom Fe mengikat satu (1) atom C. Ikatan ini membentuk sementit-sementit baru, tumbuhnya sementit bercampur dengan ferrit menjadi kristal perlit . Menggunakan pembesaran 200 kali dengan pengukur panjang 10 strip garis dan setiap strip berskala 50 μm , kedalaman atom karbon yang paling kuat dapat

diukur sekitar ± 20 strip garis. Hasil pengukuran ini dikalikan skalanya menjadi : $20 \times 50 \mu\text{m} = \pm 1000 \mu\text{m}$ atau $= \pm 1 \text{ mm}$. Pengambilan dan pembesaran yang diambil dari gambar 4.5, yang dilakukan dengan referensi garis bawah diperoleh gambar seperti gambar 4.6 berikut.

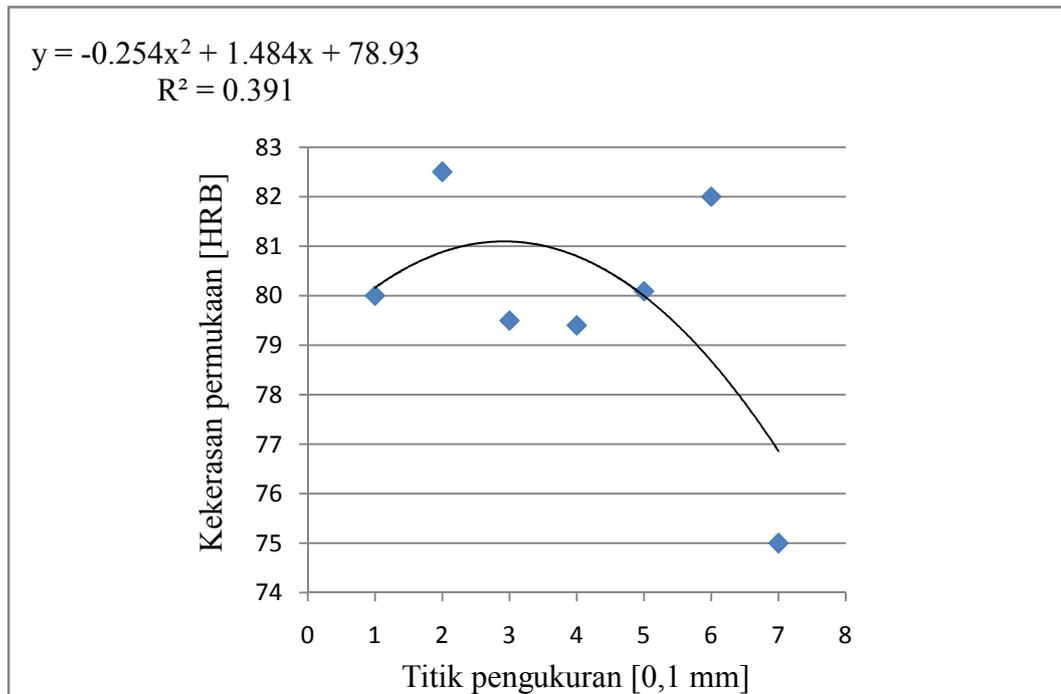


Gambar 4.6 *Perlit + ferrit* diambil dari gambar *specimen "A"*

Gambar 4.6 memperlihatkan perubahan fasa yang terjadi akibat perlakuan *pack carburizing*. Sebelumnya struktur baja lebih didominasi oleh kristal ferrit, hal ini dapat diperhatikan kembali pada gambar 4.3. Namun akibat perlakuan *pack carburizing* menjadi berubah dimana perlit menjadi lebih banyak dan lebih besar dibandingkan ferrit. Perlit yang lebih keras dibandingkan dengan ferrit menjadikan pengukuran yang dilakukan di lokasi tersebut akan menjadi lebih keras, dengan kandungan C diperkirakan sebesar 0,60 %.

Pengukuran kekerasan makro menggunakan metoda *Rockwell B* dilakukan pada *specimen* berbentuk silinder. Delapan lokasi pengukuran terhadap *specimen* hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.9. Salah satu dari delapan lokasi pengukuran

digunakan sebagai sampel, yaitu lokasi pengukuran 5 seperti terlihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Korelasi kekerasan makro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *Rockwell B* pada *specimen "A"*

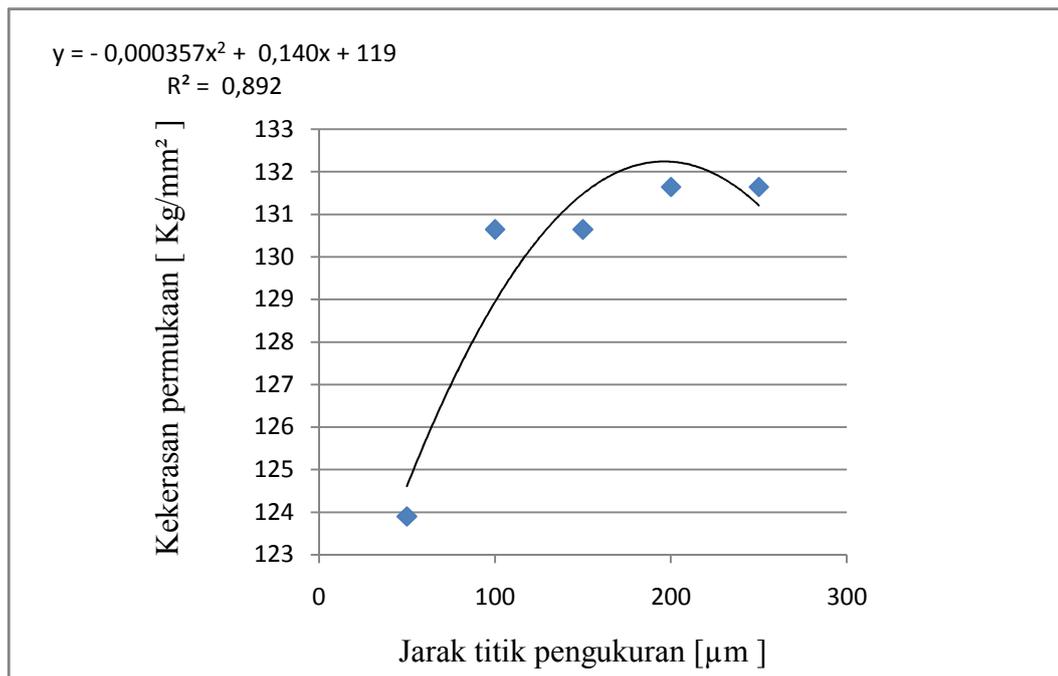
Pengukuran kekerasan dilakukan mulai dari permukaan luar berturut-turut dilanjutkan ke bagian dalam. Harga kekerasan yang dicapai oleh masing-masing titik berada di atas harga kekerasan material baku, dengan kenaikan kekerasan yang tidak beraturan. Akibat kenaikan seperti ini dapat ditunjukkan dengan garis *polynomial* untuk mengetahui korelasi hasil pengukuran tiap titik. Perolehan harga "R" = 0,391 artinya korelasi yang terjadi rendah.

Tumbuhnya sementit akibat terjadinya difusi atom karbon ke dalam struktur baja mengakibatkan meningkatkan kekerasan permukaan, peningkatan ini akibat dari intersisi atom karbon yang telah menempati daerah antara atom Fe. Posisi antar atom Fe yang menjadi renggang pada temperatur austenit memungkinkan mudah dimasuki oleh atom karbon. Keberadaan atom karbon ini mengakibatkan atom Fe

dalam kristal terdesak dan rapat satu sama lain, sehingga kekerasannya meningkat. Kecepatan masuknya atom C yang berbeda menyebabkan penambahan harga kekerasan berbeda pula disetiap titik pengukuran.

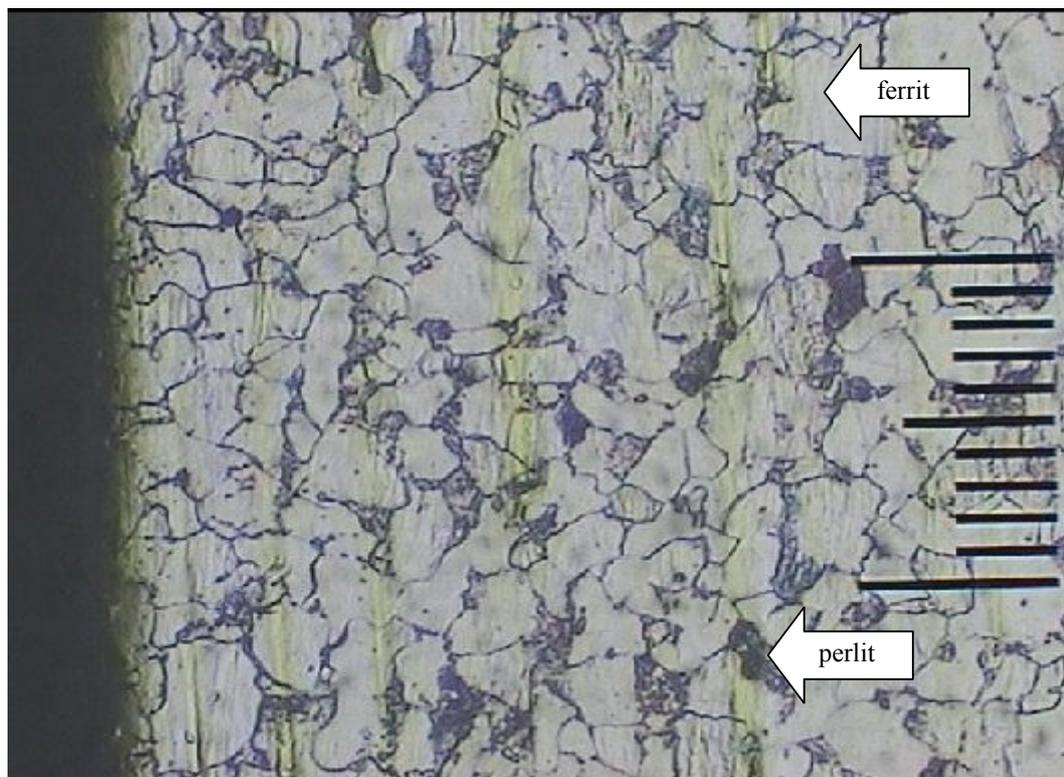
(2) *Specimen* “B”

Menggunakan ukuran butir 0,212 mm, *specimen* “B” juga terdiri dari dua bentuk, yaitu kubus dan silinder. *Spesimen* bentuk kubus digunakan untuk keperluan pengujian kekerasan mikro. Hasil pengukuran tiap titik menunjukkan adanya penambahan harga kekerasan yang beraturan. Artinya masing-masing harga disetiap titik pengukuran ini mempunyai hubungan satu sama lain. Garis tersebut membentuk *polynomial* dengan harga “R” hitung = 0,892 yang berarti harga kekerasan tersebut mempunyai korelasi tinggi.



Gambar 4.8 Korelasi kekerasan mikro dengan jarak titik pengukuran menggunakan metoda *micro Vickers* pada *specimen* “B”

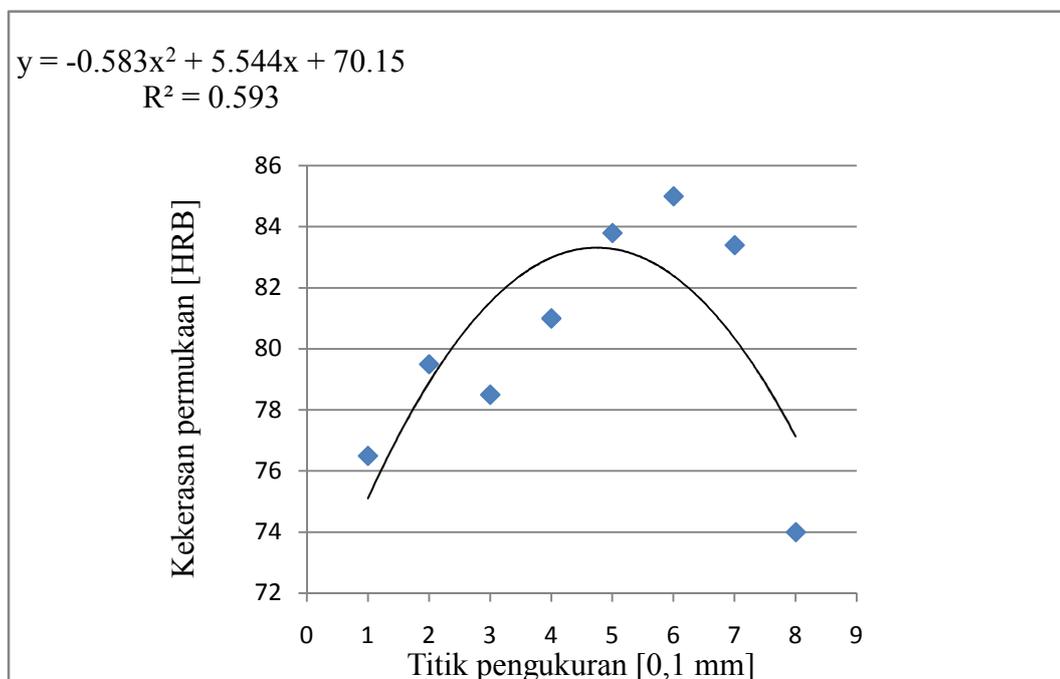
Pada gambar 4.8 menunjukkan garis *polynomial* yang terbentuk mempunyai kecenderungan naik, dari harga kekerasan yang kecil ke arah besar. Hasil ini mengindikasikan bahwa bagian luar lebih lunak dibandingkan bagian dalam. Grafik ini membentuk garis yang sama dengan grafik yang diperoleh pada material baku. Sehingga bisa diprediksikan bahwa pada *specimen* ini tidak terjadi difusi atom karbon. Perubahan yang terjadi diakibatkan oleh panas selama proses *carburizing* pada *specimen* telah menimbulkan peristiwa proses anelling, dan mengakibatkan turunnya kekerasan. Kecenderungan kekerasan permukaan lebih rendah dibandingkan bagian dalam, adalah akibat dari pendinginan yang dilakukan secara perlahan-lahan. Pendinginan secara perlahan-lahan yang dilakukan setelah selesainya proses, menyebabkan terbentuknya kristal ferrit lebih banyak berada di permukaan. Sementara kristal perlit menempati posisi dibagian lebih dalam.



Gambar 4.9 Struktur material *specimen* "B" dengan pembesaran 200X

Pada gambar 4.9 sama seperti gambar 4.3 bersih tidak nampak atom karbon yang berdifusi kedalam struktur baja. Kristal ferrit nampak lebih banyak dibanding dengan perlit seperti pada gambar 4.3. Karena tidak ada atom karbon yang masuk kedalam struktur baja, jadi pada *specimen* ini tidak terjadi *carburizing*. Penyebabnya adalah tidak atau kurang bercampurnya secara sempurna antara arang tempurung kelapa dengan barium karbonat. Sehingga tidak terjadi reaksi kimia seperti yang diharapkan dapat mendorong terbentuknya gas CO₂ dalam proses *carburizing*. Oleh karena itu perubahan yang terjadi hanya disebabkan oleh pengaruh pemanasan dan pendinginan selama proses *pack carburizing*,

Berbeda dengan hasil uji kekerasan mikro, uji kekerasan makro diperoleh indikasi adanya peningkatan kekerasan. Lokasi pengukuran lima dipilih untuk sampel dari delapan lokasi pengukuran, mempunyai hubungan masing-masing harga kekerasan di setiap titik pengukuran perbedaannya cukup bervariasi. Hubungan tiap harga kekerasan membentuk garis *polynomial* dengan harga “R” hitung sebesar 0,593 artinya korelasinya agak rendah.

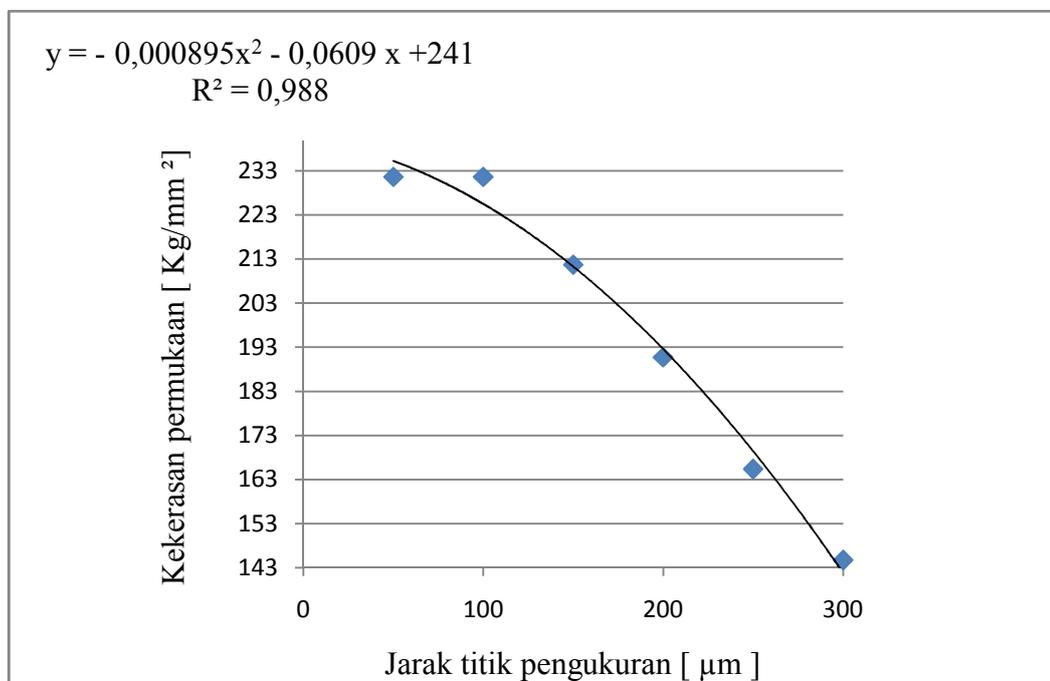


Gambar 4.10 Korelasi kekerasan makro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *Rockwell B* pada *specimen* “B”

Pada gambar 4.10 memperlihatkan hasil pengukuran harga kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan material bakunya. Korelasi yang agak rendah ini menunjukkan susunan kristal perlit tersebar tidak merata, yang mengakibatkan pada waktu pengukuran sampai kedalaman $\pm 0,8$ mm *specimen* ini mempunyai harga kekerasan yang tidak merata pula, walaupun harga rata-ratanya mencapai 80 HRB lebih tinggi dari 68,56 HRB.

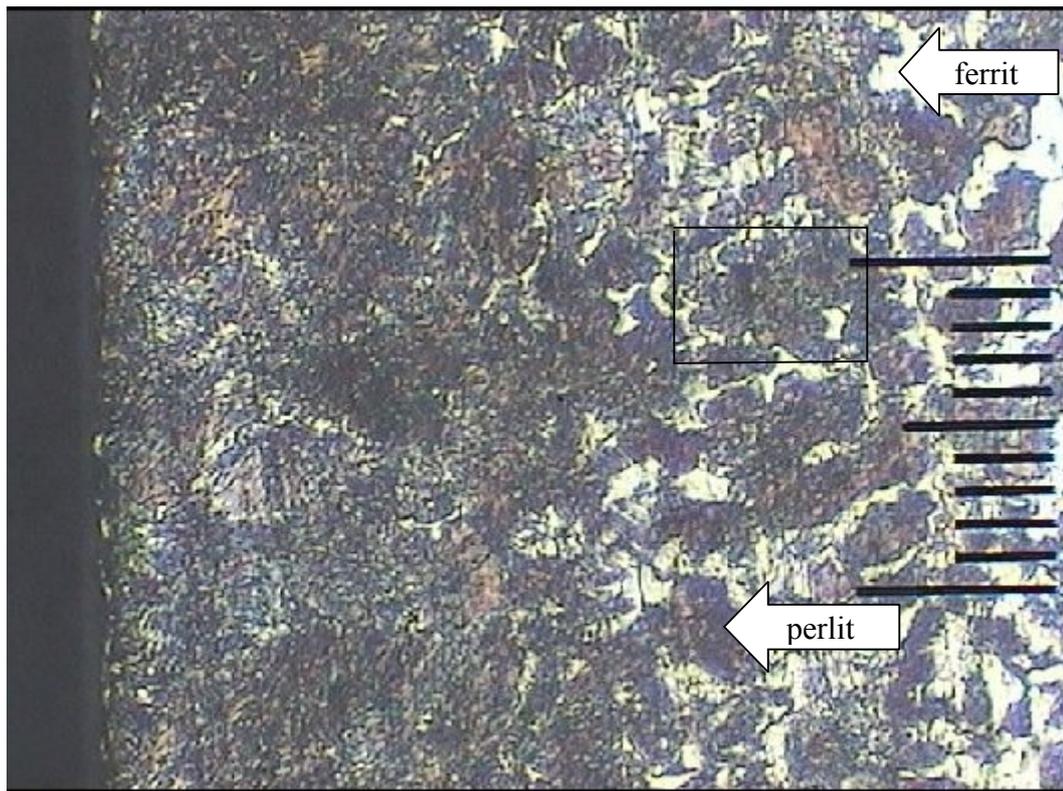
(3) *Specimen "C"*

Ukuran butir arang sebesar 0,15 mm bersama *specimen "C"* dimasukkan kedalam kotak *carburizing* dan dilakukan proses *carburizing*. Hasil pengujian kekerasan mikro menggunakan metoda *micro Vickers* seperti terlihat pada tabel 4.7 . Data tersebut dicari hubungan antara titik pengukuran dengan hasil pengukuran berupa kekerasan permukaan. Bentuk korelasi diperoleh dari garis *polynomial*, dengan harga "R" hitung sebesar 0,988



Gambar 4.11 Korelasi kekerasan mikro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *micro Vickers* pada *specimen "C"*

Gambar 4.11 memperlihatkan garis *polynomial* yang terbentuk cenderung dari harga kekerasan yang tinggi ke lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada kekerasan permukaan dibagian tepi dan bagian dalam. Korelasi titik pengukuran dengan harga kekerasan mempunyai korelasi tinggi karena berada pada harga antara 0,800 sampai dengan 1,00. Jarak pengukuran masing-masing titik pengukuran adalah 50 μm , sehingga enam titik memperoleh hasil pengukuran sampai kedalaman 300 μm . Disini juga menunjukkan adanya penurunan kekerasan dari permukaan bagian tepi luar dengan bagian dalam. Perbedaan ini disebabkan telah terjadi difusi atom karbon padat ke dalam struktur baja. Dugaan tersebut didukung pula oleh gambar struktur mikro yang dapat diperhatikan pada gambar 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Struktur material *specimen* "C" dengan pembesaran 200X

Menggunakan pembesaran 200 X Nampak atom karbon telah masuk ke dalam struktur baja. Kedalaman yang dapat dicapai diukur menggunakan skala garis

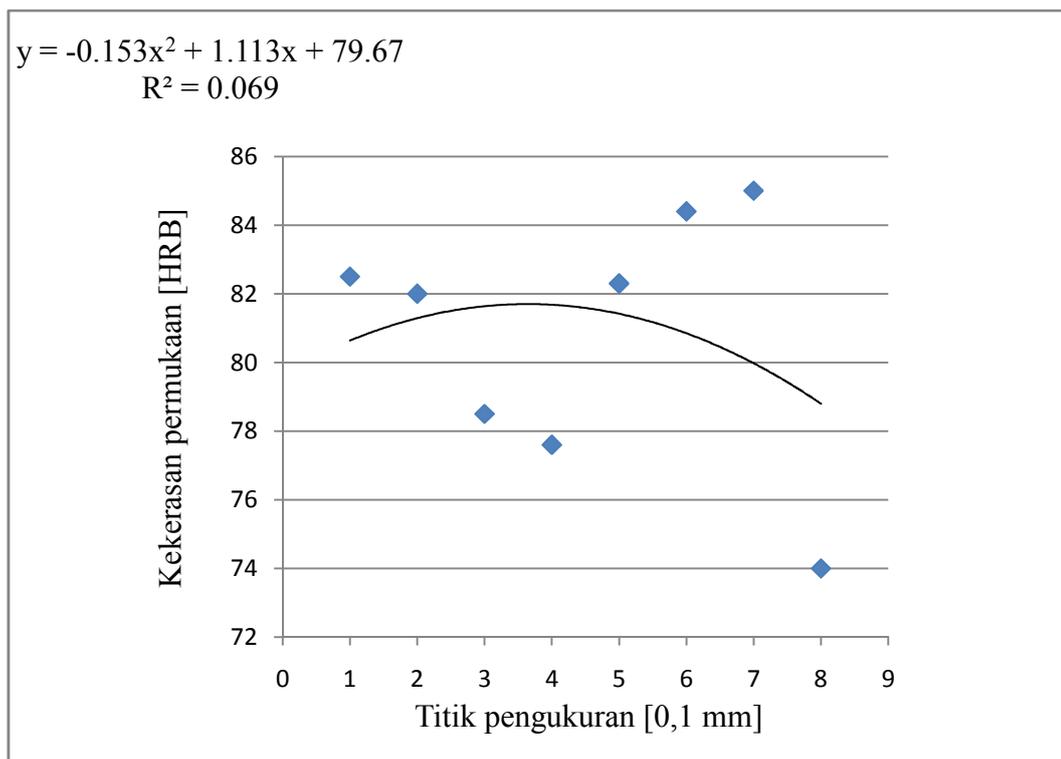
berjumlah sepuluh dengan ketelitian setiap jarak antar garis sebesar 50 μm , diperoleh hasil $\pm 1000 \mu\text{m}$ atau = 1 mm. Pengambilan sebagian dari gambar 4.12, di daerah referensi garis skala bagian atas seperti terlihat pada gambar menunjukkan gambar perlit dan ferrit. Dimana pada gambar tersebut kelihatan perlit yang merupakan campuran ferrit dengan sementit lebih mendominasi dibandingkan ferrit, menyebabkan pengukuran di lokasi tersebut akan lebih keras. Gambar 4.13 menunjukkan campuran antara ferrit + perlit, dimana nampak yang lebih hitam adalah perlit dan yang terang adalah ferrit kandungan karbon sekitar 0,60%. Penambahan karbon padat selama proses *pack carburizing* mengakibatkan perubahan tersebut.



Gambar 4.13 Perlit + ferrit diambil dari gambar *specimen "C"*

Pengukuran kekerasan makro yang dilakukan menggunakan metoda *Rockwell B*, diperoleh data seperti pada tabel 4.11, dengan menggunakan sampel dari titik pengukuran lokasi lima (5) diperoleh hubungan antara titik pengukuran dengan kekerasan permukaan seperti pada gambar 4.14.. Menggunakan garis *polynomial*

ditemukan adanya korelasi yang sangat rendah, dengan harga “R” hitung sebesar 0,069. Perbedaan yang sangat besar antara titik pengukuran dengan perolehan harga kekerasan sebagai penyebab utamanya. Namun demikian harga dari masing- masing titik pengukuran diperoleh di atas rata-rata kekerasan material baku. Disini kemungkinan yang terjadi disebabkan oleh letak kristal perlit diantara kristal ferrit tidak teratur. Sehingga pengukuran dibagian tepi terluar menunjukkan harga yang tinggi, selanjutnya terjadi penurunan kekerasan dan pada lapis berikutnya sebelum kembali kekerasannya menjadi tinggi lagi. Kondisi ini dapat diperhatikan pada gambar 4.14 yang menunjukkan antara letak dan jarak titik pengukuran dengan harga kekerasan permukaan.

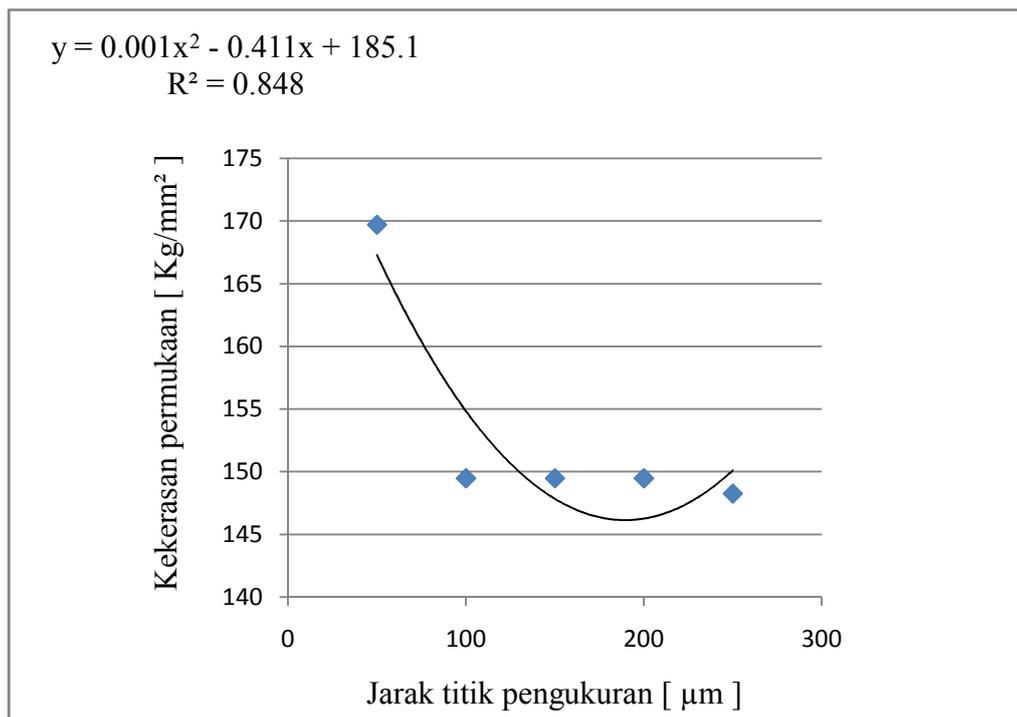


Gambar 4.14 Korelasi kekerasan makro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *Rockwell B* pada *specimen* “C”

Jarak pengukuran dari permukaan terluar pada kedalaman $\pm 0,3$ mm dan 0,4 mm diperoleh hasil 78,5 HRB dan 77,6 HRB dan naik kembali sebelum akhirnya turun di 0,8 mm

(4) *Spesimen "D"*

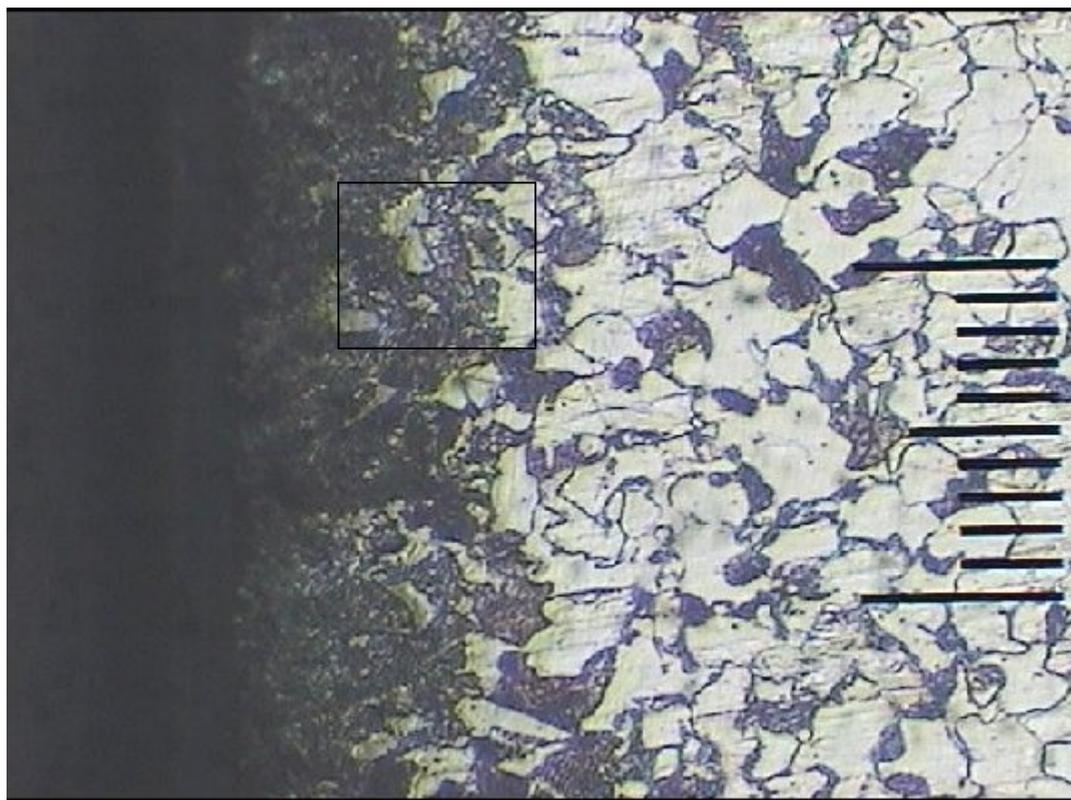
Menggunakan ukuran diameter arang tempurung kelapa sebesar 0,09 mm, *specimen "D"* dilakukan proses *pack carburizing*. Sama seperti lainnya *specimen "D"* mempunyai bentuk kubus dan silinder. Bentuk kubus diuji menggunakan kekerasan mikro dan bentuk silinder menggunakan kekerasan makro. Pengujian kekerasan mikro dengan metoda *micro Vickers* menghasilkan data, bila dicari hubungan dari masing-masing titik pengukuran dengan diperoleh seperti gambar 4.15. Dalam gambar tersebut didekati menggunakan garis *polynomial*. Hasilnya menunjukkan kecenderungan adanya korelasi tinggi, dengan hasil perhitungan harga "R" hitung = 0,848.



Gambar 4.15 Korelasi kekerasan mikro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *micro Vickers* pada *specimen "D"*

Garis *polynomial* yang terbentuk dengan kecenderungan dari atas ke bawah. Bentuk ini memprediksikan bahwa kekerasan permukaan yang diukur mulai dari

permukaan terluar ke arah bagian dalam menunjukkan penurunan. Dimana lapisan permukaan terluar mempunyai kekerasan tinggi akibat dari penumpukan atom karbon lebih banyak dan kedalam mempunyai kekerasan yang hampir sama. Hal ini dimungkinkan karena atom karbon mulai masuk dari permukaan terluar dengan waktu *carburizing* yang terbatas. Kondisi tersebut dapat pula dilihat dari gambar micrografi dari struktur baja setelah mengalami proses *pack carburizing*. Kedalaman dari masuknya atom karbon kedalam struktur baja dapat dilihat gambar 4.16. Pembacaannya dapat dilakukan dengan membandingkan garis skala yang ada dibagian sisi kanan gambar. Dimana disana terdapat sepuluh garis skala dengan harga setiap tenggang antar garis sama dengan 50 μm .



Gambar 4.16 Struktur material *specimen* "D" dengan pembesaran 200X

Hasil pengukuran diperoleh yang terpendek enam garis dan terpanjang sepuluh garis. Bila dikalikan dengan ketelitiannya yang terpendek $6 \times 50 \mu\text{m} = 300 \mu\text{m}$, dan terpanjang $10 \times 50 \mu\text{m} = 500 \mu\text{m}$.

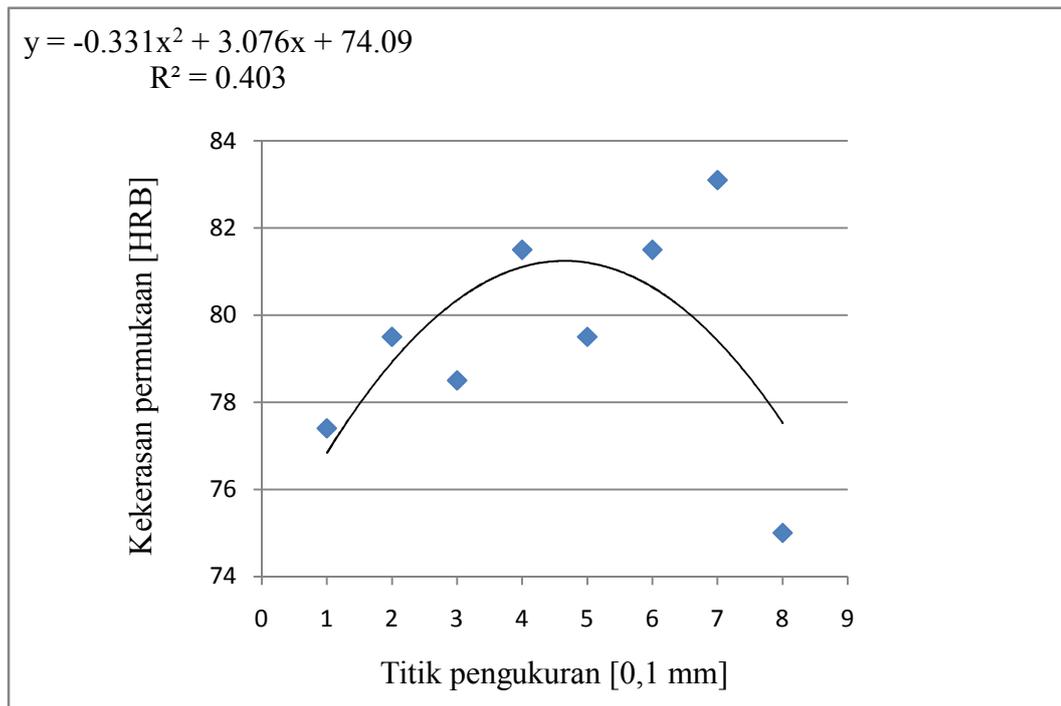
Gambar 4.17 adalah pembesaran yang diambil dari gambar specimen “D”, kelihatan disini difusi atom karbon dari arah tepi permukaan menunpuk lebih banyak.



Gambar 4.17 Perlit + ferrit diambil dari gambar *specimen* “D”

Penumpukan ini memungkinkan terjadi senyawa antara besi (Fe) dengan karbon (C) yang membentuk sementit. Campuran antara sementit dengan ferrit membentuk perlit yang mempunyai sifat keras. Perlit + ferrit pada gambar 4.17 kandungan karbon sekitar 0,45%. Diduga karena terkendala pada waktu *carburizing* dan kemungkinan kecepatan masuk atom tidak sama, maka terjadi perbedaan ketebalan.

Pengukuran kekerasan permukaan makro menggunakan metoda *Rockwell B* menghasilkan data seperti table 4.12, dengan menggunakan sampel dari titik pengukuran lokasi lima (5) diperoleh hubungan antar titik pengukuran seperti pada gambar 4.15.

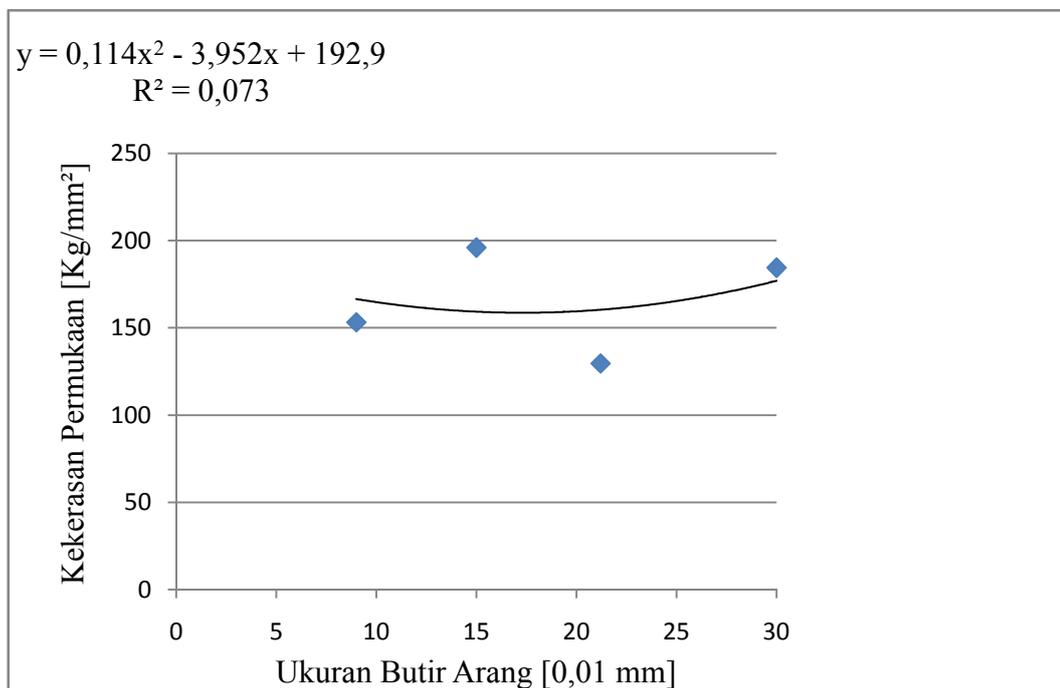


Gambar 4.18 Korelasi kekerasan makro dengan titik pengukuran menggunakan metoda *Rockwell B* pada *specimen* “D”

Pendekatan menggunakan garis *polynomial* diperoleh hasil korelasi dengan harga “R” hitung = 0,403. Harga kekerasan disetiap titik pengukuran diperoleh perbedaan yang cukup besar. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tidak meratanya atom karbon yang berdifusi kedalam struktur baja, menyebabkan terjadinya senyawa besi (Fe) dengan karbon (C) menjadi sementit hanya dibagian yang kaya atom karbon saja. Akibatnya perlit yang terbentuk karena adanya campuran ferrit dan sementit terdapat dibagian-bagian tersebut. Hasil pengukuran masing-masing titik menunjukkan di atas 68,56 HRB dengan hasil pengukuran terendah pada titik 0,8 mm sebesar 75 HRB. Berarti telah terjadi peningkatan kekerasan permukaan pada *specimen* “D”. Peningkatan kekerasan ini menunjukkan adanya difusi karbon kedalam struktur baja selama proses *pack carburizing* berlangsung.

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh yang disebabkan oleh penggunaan ukuran butir arang yang berbeda pada masing-masing kotak *carburizing*, data

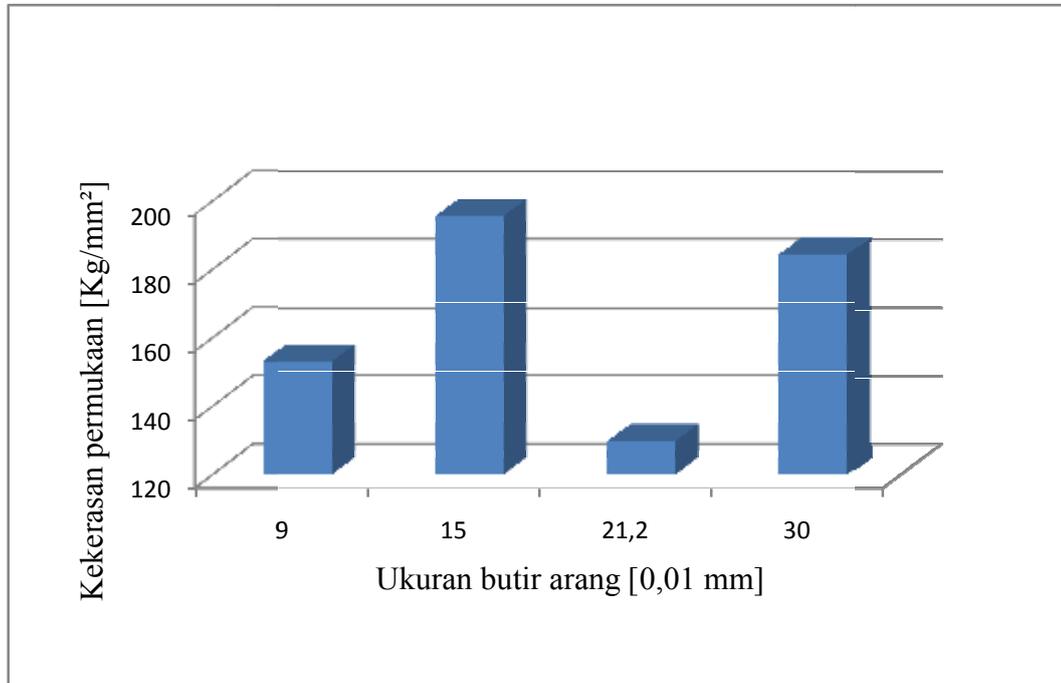
yang telah diperoleh dari masing-masing *specimen* dicari harga korelasinya. Hasil uji kekerasan mikro digunakan untuk mengkaji pengaruh beda butir terhadap kekerasan permukaan masing-masing *specimen*. Masing-masing hasil pengukuran kekerasan permukaan pada tiap butir arang dihitung rata-ratanya. Selanjutnya harga rata-rata setiap butir arang tersebut dicari hubungannya untuk mengetahui tingkat korelasinya.



Gambar 4.19 Hubungan ukuran butir arang dengan kekerasan permukaan

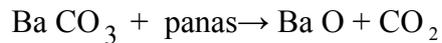
Gambar 4.19 menunjukkan hubungan antara ukuran butir arang yang digunakan dengan harga kekerasan permukaan yang diperoleh setelah proses *pack carburizing*, didekati dengan garis *polynomial* menghasilkan harga “R” hitung = 0,073. Hasil ini mengindikasikan bahwa tidak ada korelasi antara penggunaan ukuran butir arang yang berbeda dengan kekerasan permukaan yang dihasilkan dari proses *pack carburizing*. Tidak ditemukan korelasi ini mempunyai arti bahwa tidak ditemukan adanya pengaruh antara ukuran butir arang tempurung kelapa

dengan hasil kekerasan permukaan dari *specimen* proses *pack carburizing*. Perbandingan yang lebih jelas diperoleh dari diagram kolom berikut ini.



Gambar 4.20 Diagram kolom antara ukuran butir arang dengan kekerasan permukaan.

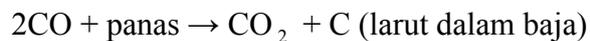
Gambar 4.20 menunjukkan kekerasan permukaan dari hasil proses *pack carburizing* yang tidak tentu harganya, atau sulit diprediksi harga kekerasan permukaan yang dihasilkan. Tinjauan ini dilakukan terhadap perbedaan butir arang tempurung kelapa yang digunakan sebagai media karbon padat. Pengaruh perbedaan ukuran butir agar mempercepat arang menjadi gas, tidak berpengaruh terhadap terbentuknya gas 2 CO . Salah satu kemungkinan supaya gas tersebut terbentuk ditentukan pula oleh zat pengaktif yang digunakan. Dalam hal ini adalah penggunaan barium karbonat yang dicampurkan ke dalam karbon padat. Dimana dari campuran tersebut terjadi reaksi selama pemanasan sebagai berikut, Barium karbonat (Ba CO_3) bila dipanaskan akan terjadi reaksi :



CO₂ akan memisahkan diri dari Ba O , selanjutnya CO₂ akan bertemu dengan arang yang merupakan karbon (C) dan akan terjadi reaksi :



Selanjutnya 2CO dalam lingkungan panas akan cenderung berubah kembali menjadi gas CO₂ dan melepaskan unsur C . Kalau reaksi pelepasan ini berada didalam struktur baja, maka C tersebut akan tertinggal. C yang ditinggalkan oleh gas CO₂ akan ditangkap oleh Fe. Peristiwa ini disebut sebagai unsur C larut didalam baja, reaksi yang terjadi seperti di bawah ini.



Peran penting barium karbonat pada saat bercampur dengan arang adalah sebagai penyedia gas CO₂ , dengan demikian adanya barium karbonat proses *pack carburizing* tidak lagi terlalu bergantung pada oksigen yang tersedia. Dimana diharapkan oksigen tersebut cukup tersedia didalam rongga antar butir arang. Oleh sebab itu tersedianya udara yang cukup selama proses *pack carburizing* harus didukung pula adanya zat pengaktif.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pembahasan dari analisa data yang diperoleh selama percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- (1). Tidak ditemukan hubungan yang signifikan antara ukuran butir arang tempurung kelapa dengan kekerasan permukaan sebagai hasil dari proses *pack carburizing*.
- (2). Percobaan yang dilakukan pada empat macam ukuran butir arang tempurung kelapa yang berbeda, ditemukan yang paling tinggi memiliki kekerasan permukaan adalah *specimen* yang menggunakan ukuran butir 0,15 mm dan diikuti berikutnya oleh ukuran butir 0,3 mm.
- (3). Pengukuran pada material baku baja St 37 menunjukkan kecenderungan garis *polynomial* dari harga besar menuju harga kecil. Hasil ini mempunyai arti bahwa kekerasan dibagian tepi permukaan rendah menuju kebagian dalam semakin besar, dengan korelasi tinggi.
- (4). Pengukuran terhadap kekerasan permukaan pada masing-masing *specimen* setelah proses *pack carburizing*, yang dilakukan pada lima titik sampel dari permukaan menuju ke bagian lebih dalam, menunjukkan adanya korelasi tinggi, dengan kecenderungan garis dari besar menuju ke kecil, kecuali untuk *specimen* “ B” khususnya untuk uji kekerasan mikro menggunakan *micro Vickers*. Hal ini menunjukkan bahwa di daerah bagian tepi lebih keras dibandingkan bagian dalam, berarti pula bahwa karbon padat telah berhasil berdifusi ke dalam struktur baja St 37 .
- (5). Hasil uji kekerasan permukaan makro menggunakan metoda *Rockwell B*, menunjukkan hasil semua *specimen* setelah proses *pack carburizing*, meningkat kekerasannya di atas harga rata-rata kekerasan material baku. Hasil ini mengindikasikan adanya penambahan atom karbon ke dalam struktur baja St 37 akibat proses *pack carburizing*.

5.2 Saran

- (1). Penggunaan bubuk (*powder*) arang untuk proses penambahan karbon padat (*pack carburizing*) pada baja karbon rendah direkomendasikan menggunakan ukuran butir 0,15 mm.
- (2). Keberhasilan tujuan agar terjadi difusi karbon (C) kedalam struktur baja melalui proses *pack carburizing* secara optimum, harus memperhatikan kerapatan dari konstruksi kotak (*box*).
- (3). Kesimpulan dari hasil yang diperoleh dalam kegiatan percobaan ini, masih perlu diulang beberapa kali untuk memastikan dan menguji validitas dari kesimpulan tersebut.
- (4). Perlu dilakukan pengamatan perubahan suhu terhadap hasil kekerasan baja karbon rendah untuk mendapatkan suhu yang efisien dalam proses *pack carburizing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbaschian, R., Robert, E., 1994, *Physical Metallurgy Principles, Universitas of Florida, USA* : PWS Publishing Company, Third Edition.
- Amstead B. H., dkk, 1992, Teknologi Mekanik (Alih bahasa: Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga, Edisi Ketiga, Jilid 2
- Boyer, H. E., dan Gall, T. L., 1985, *Metal hand book, Desk Edition*, ASM Ohio.
- Darmanto, 2006, Pengaruh Holding Time Terhadap Sifat Kekerasan Dengan Refining The Core Pada Proses Carburizing Material Baja Karbon Rendah, Jurnal Traksi Vol 4, No. 2, Desember 2006.
- Mujiyono dan A. L. Sumowidagdo, 2008, Meningkatkan Efektifitas Karburasi Padat Pada Baja Karbon Rendah Dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa, Jurnal Teknik Mesin, April 2008/vol 10/No:1
- Prabudev, K. H., 1988, *Hand Book of Heat Treatment of Steel, New Delhi*: Mc Graw-Hill Publishing Company Limited.
- Rumendi. U dan Purnawarman. O, 2006, Pahat bubut baja St 37 sebagai pahat alternatif pengganti pahat bubut HSS melalui proses karburasi arang batok, makalah Seminar on Application and Research in Industrial Technology, SMART 2006, UGM Yogyakarta.
- Rosfian Arsyah Dahar, 2003, Pengaruh Suhu Sementasi Dan Waktu Tahan Suhu Proses Sementasi Dalam Media Padat Terhadap Kekerasan Lapisan Pasca Pengerasan Dan Pemudaan Baja 15 Cr N16, Jurnal MESIN, Volume 5, Nomer 1, Januari 2003.
- Shackelford. J. F, 1992, *Introduction to Materials Science for Engineers, New York*: Macmillan Publishing Company, Third Edition.
- Surdia. T dan Shinoku, 1999, Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta: PT Pradnya Paramita, Cetakan keempat.
- Suryanto. H, Malau. V dan Samsudin, 2003, Pengaruh penambahan barium karbonat pada media karburasi terhadap karakteristik kekerasan lapisan

karburasi baja karbon rendah, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Unibraw, Malang*

- Sudarsono, dkk, 2003, Pengaruh temperatur dan waktu tahan karburasi padat terhadap kekerasan permukaan baja AISI – SAE 1522, Prosiding Seminar nasional aplikasi sains dan teknologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND.
- Sugondo., Mujinem dan M.M Lilis Windaryati, 2006, Difusi Karbon Akibat Pelapisan Grafit Pada Kelongsong Zircaloy – 2, Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol. 7.No. 2, Februari 2006.
- Suprpto., Sayono dan Lely Susita R. M, 2006, Karburasi Baja ST 40 Dengan Teknik Sputtering, Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol. 8, No.1, Oktober 2006.
- Supriyono dan Tri Widodo Besar Riyadi, 2002, Pengaruh Pengarbonan Dengan Media Limbah Kayu Mahoni Terhadap Sifat Lelah Spesimen Baja Karbon Rendah Bertakik – V, Jurnal POROS, Volume 5, Nomer #, Juli 2002
- Sutrisno Hadi, 1984, Metodologi Research, Jilid III, Yayasan penerbit Fakultas Psikologi universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Syamsuir, 2003, Pengaruh karburasi terhadap kekerasan baja DIN 15 Cr Ni6 (MS 7210), Tesis, UGM, Yogyakarta.
- Vlack, L. H. Van, 2004, Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material (Alih bahasa, Sriati Djaprie), Jakarta, Erlangga, Edisi keenam.