



**DIFUSI ATOM KARBON PADA PROSES PACK CARBURIZING  
BAJA KARBON DENGAN MEDIA CARBURIZER ARANG  
TONGKOL JAGUNG DAN CANGKANG KERANG MUTIARA**

**DISERTASI**

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK MESIN  
MINAT MATERIAL MANUFAKTUR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Doktor Teknik



**SUJITA  
NIM. 157069200111001**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN ORSINILITAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>SERTIFIKASI BEBAS PLAGIAT</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERUNTUKAN</b> .....	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR PUBLIKASI</b> .....	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xx</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	2
1.2. Rumusan Masalah.....	6
1.3. Batasan Masalah.....	7
1.4. Tujuan Penelitian.....	7
1.5. Manfaat Penelitian.....	8
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Proses <i>Carburizing</i> .....	9
2.1.1. Karburasi Padat ( <i>Solid / Pack Carburizing</i> ).....	10
2.1.2. Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	11
2.1.3. Karburasi Cair ( <i>Liquid Carburizing</i> ).....	11
2.1.4. Karburasi Media Gas ( <i>Gas Carburizing</i> ).....	12



2.2. Baja Karbon.....	12
2.3. Diagram Fasa Fe-C.....	14
2.4. Diagram Waktu-Temperatur-Peralihan Wujud ( <i>Time-Temperature Transformation</i> ).....	16
2.5. Difusi Atom.....	17
2.6. Kedalaman Lapisan Karburasi ( <i>case depth</i> ).....	20
2.7. Pengaruh Parameter Proses Pack Carburizing Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah.....	20
2.8. Pengaruh Parameter Proses Pack Carburizing Terhadap Kekuatan Fatigue Baja Karbon Rendah.....	26
2.9. Pengaruh Penggunaan Media Carburizer Alternatif Pada Proses Pack Carburizing.....	28
<b>BAB III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1. Kerangka Pemikiran Teoritis.....	34
3.2. Hipotesa.....	38
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>39</b>
4.1. Tempat Penelitian.....	39
4.2. Variabel Penelitian.....	39
4.3. Peralatan dan Bahan Penelitian.....	39
4.3.1. Peralatan penelitian.....	39
4.3.2. Bahan penelitian.....	40
4.4. Prosedur Penelitian.....	42
4.5. Rancangan Penelitian.....	43
4.6. Diagram Alir Penelitian.....	45
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>46</b>
5.1. Perhitungan Angka Kekerasan Permukaan Lapisan Karburasi.....	46
5.2. Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara Terhadap Angka Kekerasan Permukaan Lapisan Karburasi.....	48
5.2.1 Pada Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	48
5.2.2. Pada Proses <i>Pack Decarburizing</i> .....	53
5.3. Ketebalan Lapisan Karburasi.....	58
5.3.1. Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara Pada Proses <i>Pack Carburizing</i> Terhadap Ketebalan Lapisan Karburasi.....	58



5.3.2. Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara Pada Proses <i>Pack Dearburizing</i> Terhadap Ketebalan Lapisan Karburasi.....	60
5.4. Hasil Uji Komposisi.....	61
5.4.1. Kandungan Karbon Setelah Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	61
5.4.2. Kandungan Karbon Setelah Proses <i>Pack Decarburizing</i> .....	62
5.5. Perubahan Struktur Mikro Lapisan Permukaan Spesimen .....	64
5.5.1 Pada Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	64
5.2.1 Pada Proses <i>Pack Decarburizing</i> .....	67
5.6. Pengujian XRD Pada Spesimen.....	69
5.6.1. Hasil Pengujian XRD Spesimen Dengan Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	70
5.6.2. Hasil Pengujian XRD Spesimen Dengan Proses <i>Pack Decarburizing</i> .....	71
5.7. Pembahasan.....	73
<b>BAB VI. PENUTUP.....</b>	<b>80</b>
6.1. Kesimpulan.....	80
6.2. Saran.....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>84</b>



## BAB. I PENDAHULUAN

Keberhasilan pembangunan sektor pertanian propinsi Nusa Tenggara Barat tidak bisa lepas dari peran industri logam pembuat alat-alat pertanian. Industri logam pembuat alat pertanian yang ada di NTB 321 unit industri dengan omset rata-rata mencapai 696 juta /tahun. (Disperind NTB, 2015). Produk yang dihasilkan berupa bajak, cangkul, linggis, sabit dengan bahan dasar utamanya berupa baja karbon rendah. Selain proses pembentukan logam kegiatan yang biasa dilakukan di industri pembuat alat-alat pertanian berupa perlakuan panas untuk mengeraskan permukaan logam yang biasa disebut proses *carburizing*. Di industri pembuatan alat pertanian konvensional (pandai besi) proses *carburizing* dilakukan dengan cara alat pertanian yang sudah di bentuk di atasnya diberi arang kayu (biasanya arang kayu jati), kemudian dipanaskan di dapur terbuka. Kelemahannya produk yang dihasilkan ketebalan karbon pada permukaan tidak terkontrol/terukur, tidak merata sehingga kekerasannya tidak sama. Untuk industri alat pertanian yang lebih maju proses dilakukan pada dapur listrik dan diberi *energizer*/katalis berupa  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{BaCO}_3$  sehingga biayanya lebih mahal.

Untuk menurunkan biaya dan meningkatkan kualitas proses *carburizing* dilakukan dengan mencari media *carburizing* alternatif yang berasal dari limbah yang ada di wilayah tersebut. Di wilayah Propinsi NTB sangat melimpah limbah seperti tongkol jagung dan cangkang kerang mutiara. Karena Propinsi NTB dikenal dengan daerah penghasil jagung dan sentra budidaya mutiara laut yang telah dicanangkan sejak tahun 2009. Hasil dari kedua komoditas ini telah mampu memberikan solusi yang nyata. Dampaknya berupa berkurangnya jumlah penduduk yang miskin, meningkatkan ketahanan dan swasembada bahan pangan daerah maupun nasional serta perluasan lapangan kerja. Hasil pertanian berupa jagung setiap tahunnya meningkat. Dibandingkan tahun 2013, pada tahun 2014 produksi jagung yang dihasilkan meningkat dari 196,3 ribu ton/tahun menjadi 456,915 ribu ton/tahun. Sentra penghasil jagung meliputi daerah, Lombok Utara, Lombok Timur, Sumbawa dengan areal mencapai 995.121 Ha (BPS Provinsi NTB, 2016). Pada tahun 2017 Pemprov NTB menargetkan akan membuka area tanam jagung seluas 400 ribu Ha di setiap kabupaten/kota. Langkah tersebut untuk mengejar target produksi jagung sebesar 2.5 Juta ton pertahun.

Budidaya mutiara tersebar di perairan sekitar Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat yang selama ini dikenal sebagai kawasan utama habitat asli kerang mutiara Indonesia jenis *Pinctada maxima*. Kerang tersebut dikenal dengan keindahannya dan menjadi

kerang unggulan untuk pasar internasional. Kerang mutiara di pasar internasional dikenal sebagai *The Queen of Pearl* atau ratunya mutiara. Kerang mutiara menjadi salah satu komoditi nonmigas bagi Propinsi NTB. Pada tahun 2011 ekspor kerang mutiara ke Negara Hongkong, Cina, dan Singapura mencapai 29,738 ton. Jumlah penerimaan atau devisa dari komoditi tersebut diperkirakan sebesar US\$ 1.118.587,500.. Selanjutnya untuk periode sampai akhir bulan Mei tahun 2012 volume ekspor ke negara tujuan yang sama sudah mencapai volume 0,155 ton, jumlah penerimaan devisa dari ekspor komoditi tersebut sudah menembus angka US\$ 498.803,864 (Disdag NTB, 2012). Karena sangat potensial, mutiara bisa dikatakan penghasil devisa bagi Propinsi NTB yang cukup besa. Kondisi daerah perairan sangat mempengaruhi pertumbuhan, perkembangan dan kualitas mutiara yang dibudi dayakan. Keadaan dari perairan di Wilayah Propinsi NTB sangat cocok untuk usaha budi daya kerang mutiara. Di perairan Wilayah Propinsi NTB terutama di tiga selat berada di Wilayah propinsi NTB yaitu, Selat Alas, Selat Lombok dan Selat Sape Arus laut dari lautan Samudera Hindia menyebabkan kandungan gas oksigen dalam air tinggi, menyebabkan tumbuhan dan hewan laut (*plankton, zooplankton*) berkembang dengan baik. Keberadaan *plankton* dan *zooplankton* sangat bermanfaat, yaitu sebagai makanan kerang mutiara. Melimpahnya makanan kerang mutiara berdampak pada peningkatan hasil mutiara yang dihasilkan.

Kedua komoditi (jagung dan kerang mutiara) terbukti dapat meningkatkan pendapatan, memperluas lapangan kerja, serta mensejahterkan penduduk. Walaupun demikian, limbah yang dihasilkan, yaitu berupa tongkol jagung, dan cangkang kerang mutiara, mengganggu dan mencemari lingkungan. Cara penanganannya dengan membakar tongkol jagung dan membuang cangkang kerang mutiara dipinggir-pinggir sungai akan menimbulkan masalah baru berupa pencemaran lingkungan hidup. Oleh karenanya pada kegiatan penelitian ini mencoba memanfaatkan tongkol jagung dan cangkang kerang mutiara sebagai obyek penelitian, sebagai katalis (*energizer*) dan sumber karbon yang digunakan pada karburasi padat, sehingga mempunyai nilai ekonomi yang lebih tinggi.

### 1.1. Latar Belakang

Melimpahnya produk jagung yang dihasilkan petani di provinsi Nusa Tenggara Barat menyebabkan kenaikan limbah tongkol jagung yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan sekitarnya. Pengetahuan masyarakat setempat limbah tongkol jagung hanya dapat dipakai sebagai bahan bakar, dan menganggapnya sebagai sampah



layak untuk dibuang. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian mengenai limbah tongkol jagung agar lebih bermanfaat, mengurangi volume dan dapat meningkatkan nilai tambahnya. Salah satu usaha yang sudah dilakukan adalah memanfaatkan limbah tongkol jagung diolah menjadi arang aktif. Arang aktif biasanya diaplikasikan sebagai bahan adsorben. Prosentase kandungan senyawa karbon berupa, selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%) yang cukup besar mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpeluang sebagai bahan pembuat arang aktif. (Suryani, 2009). Komposisi bahan yang terkandung di dalam tongkol jagung seperti tampak pada Tabel 1.1

Pada Tabel 1.1, tongkol jagung mempunyai kandungan pentosa yang tinggi, berguna sebagai bahan baku produksi furfural. Furfural berfungsi sebagai pelarut di industri pemrosesan minyak bumi, pabrik pelumas, dan pembuatan nilon. Fungsi lainnya adalah sebagai senyawa tambahan pada industri pembuatan furfural alkohol, tetrahidrofur, herbisida, dan aplikasi pengharum (Suryani, 2009). Bagian inti biji jagung merupakan bahan dasar pembuatan minyak jagung. Di daerah pedesaan masyarakat memanfaatkan tongkol jagung sebagai bahan bakar dalam bentuk biomassa (Antal, 2010). Karena kandungan C cukup tinggi sebesar 48.22 (wt %) dan unsur lainnya seperti terlihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.1

*Komponen yang terkandung dalam tongkol jagung*

No	Komponen	Prosentase (%)
1	Air	9,60
2	Abu	1,50
3	Hemiselulosa	36,03
4	Selulosa	41,02
5	Lignin	6,01
6	Pektin	3,02
7	Pati	0,014

Sumber: Suryani (2009, p.11)



Tabel 1.2

Analisis unsur (senyawa) dari berbagai sumber limbah

Sumber Limbah	C (% berat)	H (% berat)	O (% berat)	N (% berat)	S (% berat)	Abu (% berat)
Kerata Standart	0.61	0.07	0.26	0.03	-	0.02
Deviasi ( $\pm$ )						
Cayu Akasia	48.27	6.02	45.11	0.03	< 0.05	0.30
Culit Coklat	49.94	5.79	45.01	0.17	0.01	1.03
Bambu	47.65	5.77	44.23	0.27	0.11	3.91
Culit Kacang	48.07	6.00	45.56	0.17	< 0.05	0.20
Batok kelapa	52.37	5.91	42.34	0.23	0.06	0.74
Tongkol jagung	48.22	6.20	42.94	1.57	0.13	3.48
Cayu Eucalyptus	52.87	6.14	39.79	0.16	0.11	0.83
Culit Bawang Putih	37.85	4.97	43.12	0.49	0.22	17.07
Culit Kacang Kukui	55.76	5.60	37.99	0.34	0.03	1.45
Cayu Kenari	45.95	6.06	41.23	2.42	0.27	5.11
Cayu Jati	58.30	8.12	32.77	0.36	0.04	0.41
Cayu Nangka	50.13	5.98	44.76	0.08	0.03	0.19
Culit Gandum	46.00	5.91	43.49	1.13	0.15	4.91
Culit Kemiri	55.27	4.56	34.75	0.84	0.09	5.85
Cayu pinus	49.41	6.11	44.07	0.11	< 0.05	0.30
Rekan Padi	38.86	4.86	37.15	0.42	0.06	20.97
Cayu Cemara	48.91	6.02	44.65	0.12	< 0.05	0.30
Biji Bunga Matahari	50.37	5.62	42.64	0.33	0.05	1.62
Biji Kenari	49.95	5.87	42.52	0.62	0.13	2.02

Sumber: Suryani (2009, p.42)

Kerang mutiara Gambar 1.1 adalah hewan yang bercangkang. Angka kekerasan cangkangnya tinggi dan bentuknya tidak beraturan. Binatang laut adalah makhluk yang tidak bertulang belakang (*invertebrata*) masuk dalam klasifikasi *Phylum Mollusca species*

*Pictada maxima* (Permana, 2014). *Pictada maxima* adalah golongan tiram/kerang yang







- Bagaimana pengaruh proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing* dengan media karburasi campuran arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara terhadap difusi karbon ke dalam permukaan baja karbon ?
- Apakah perubahan parameter proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing* (suhu dan waktu) mempengaruhi difusi karbon pada permukaan baja karbon ?

### 1.3. Batasan Masalah

Fokus Penelitian yang akan dilakukan adalah pengaruh penggunaan SCKM pada proses *pack carburizing* baja karbon rendah dan *pack decarburizing* baja karbon tinggi dengan media karburasi campuran arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara. Tongkol jagung di peroleh dari tanaman jagung jenis Hibrida Petro Hi-Corn, yang menjadi primadona petani NTB. Cangkang kerang mutiara berasal dari kerang mutiara (*Pinctada maxima*) yang berasal dari Sekotong Kabupaten Lombok Barat. Baja karbon rendah tipe SS400 adalah spesimen yang dikenai perlakuan *pack carburizing* dan baja karbon tinggi AISI 420 untuk perlakuan *pack decarburizing* (sebagai pembanding) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari suplier baja Tira Austenit.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah :

- Untuk mengetahui pengaruh proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing*, media *carburizer* berupa arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara terhadap difusi karbon kedalam permukaan baja karbon.

Untuk mengetahui pengaruh parameter proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing* (suhu dan waktu) terhadap difusi karbon pada permukaan baja karbon.

Selanjutnya tujuan penelitian secara umum adalah untuk pengembangan ilmu pengetahuan, memanfaatkan limbah hasil pertanian dan perikanan sebagai sumber karbon dan kasium alternatif yang bisa digunakan sebagai media karburasi pada proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing*. Alasan utama penggunaan kedua limbah pertanian dan budi daya perikanan tersebut sebagai media *carburizer* alternatif adalah karena ATJ mengandung karbon, SCKM mengandung kalsium (Ca).

### 1.5. Manfaat Penelitian

Memanfaatkan bahan limbah hasil pertanian dan perikanan sebagai media karburasi (media *carburtizer*) alternatif yang semula dianggap limbah tidak berguna dan mencemari lingkungan. Bahan limbah yang dimaksud dalam bentuk ATJ-SCKM. Kedua bahan tersebut merupakan sumber karbon dan kalsium sebagai *energizer* yang sangat diperlukan pada proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing* untuk meningkatkan kualitas produk industri pembuat alat pertanian. Penggunaan media *carburtizer* berupa campuran arang aktif kayu jati dan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) cenderung meningkatkan biaya produksi. Berdasarkan informasi dari industri alat pertanian modern (PT Gerbang Mas NTB) berat media *carburtizer* yang digunakan adalah antara 10% - 12% berat material yang *dicarburizing*. Sebagai contoh untuk satu cangkul dengan berat 10 Kg, minimum diperlukan media *carburtizer* 1 Kg seharga Rp 40.000,-.

Proses *pack carburizing* dilakukan untuk meningkatkan angka kekerasan pada permukaan baja karbon rendah, sebaliknya proses *pack decarburizing* dilakukan untuk mengurangi angka kekerasan permukaan baja karbon tinggi agar keuletannya meningkatkan. Rekayasa untuk mengubah angka kekerasan permukaan baja sesuai dengan penggunaannya dengan biaya yang murah sangat diperlukan. Oleh karenanya sangat diperlukan penelitian penggunaan media *carburtizer* alternatif pada proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing*.



**BAB. II KAJIAN PUSTAKA**

**2.1. Karburasi Baja Karbon**

Kandungan karbon (C) di dalam permukaan baja karbon dapat ditingkatkan melalui proses karburasi (*carburizing*). Unsur karbon yang digunakan didapat dari bahan-bahan yang mengandung karbon. Pada logam pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan cara menambahkan unsur-unsur tertentu ke permukaan logam dasar tersebut. Unsur-unsur yang biasa digunakan adalah karbon, kalsium karbonat, dan nitrogen. Supaya proses reaksi kimia berlangsung lebih cepat maka ditambahkan *energizer*. *Energizer* yang biasa digunakan adalah, senyawa karbonat: BaCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, dan NaCO<sub>3</sub>. *Energizer* dimasukkan bersamaan dengan material ke dalam kotak *carburizing*. Kemudian dipanaskan di dapur listrik pada suhu *carburizing* yaitu suhu 850 °C - 950 °C (Aramide, 2010). Baja yang akan dikarburasi biasanya baja karbon rendah. Pada proses *carburizing* penambahan karbon dilakukan dengan mendifusikan karbon dari media *carburizer* ke permukaan baja sehingga permukaannya mengandung cukup banyak karbon menyebabkan permukaannya menjadi keras.

Untuk penambahan karbon, dilakukan pemanasan pada suhu tinggi didalam kotak karburasi yang berisi media *carburizer*, tujuannya agar karbon dapat mengalami difusi ke dalam permukaan baja sampai kadar dan kedalaman tertentu. Jika kandungan karbon permukaan baja sudah cukup baru dilakukan proses pengerasan.

Tebal lapisan karburasi (*depth of carburizing*) adalah jarak dibawah permukaan yang mencapai konsentrasi karbon tertentu, atau tebal total penetrasi karbon. Sebagaimana halnya dengan proses difusi yang lain, tebal karburasi ini tergantung pada temperatur dan waktu yang dapat dirumuskan sebagai berikut, (Aramide, 2009) :

$$DC = k\sqrt{t} \dots \dots \dots (2-1)$$

Keterangan : DC = Tebal kulit setelah *carburizing* (mm)

k = Konstanta difusi, besarnya tergantung temperatur

t = Lamanya karburasi (jam)

Temperatur °C	875	900	925
Konstanta k	0,34	0,41	0,52

Makin tinggi karbon potensial makin tinggi konsentrasi karbon dipermukaan (setelah mencapai kesetimbangan reaksi), makin dalam karburasi yang terjadi. Karbon potensial

dapat didefinisikan sebagai kadar karbon yang terdapat pada suatu foil baja karbon setelah mencapai kesetimbangan reaksi antara media karburasi dengan baja tersebut.

Karbon potensial banyak tergantung pada konsentrasi CO pada media karburasi pada temperatur proses *carburizing*. Karburasi diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan bentuk fisik dari bahan media karburasi, yaitu karburasi padat, karburasi cair, dan karburasi gas.

### 2.1.1. Karburasi Padat (*Solid/ Pack Carburizing*)

Material yang dikarburasi dimasukkan kedalam kotak yang berisi bahan karburasi (*media carburizer*). Bahan karburasi berbentuk padat, terdiri dari campuran arang kayu dan garam karbonat seperti ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$ ) berfungsi sebagai *energizer* yang akan mengaktifkan karbon. Prosentase *energizer* sebesar sekitar 10% - 40%. Pemanasan biasanya dilakukan pada range suhu *pack carburizing* dan waktu *carburizing (soaking time)* selama 4 sampai 8 jam (Aramide, 2010). Reaksi kimia permulaan karbon bereaksi dengan oksigen dari udara dalam kotak karburasi menjadi  $\text{CO}_2$  pada suhu tinggi :

Selanjutnya terjadi reaksi kimia yang terjadi adalah :



Semakin naik suhu karburasi kesetimbangan reaksi kimia bergeser ke kanan, akibatnya gas CO hasil reaksi semakin banyak .

Gas CO akan terurai, menjadi gas  $\text{CO}_2$  dan C, melalui reaksi kimia sebagai berikut



Gas karbon yang aktif masuk kedalam baja dalam bentuk fase *austenit*, secara difusi.

Penggunaan barium karbonat sebagai *energizer* reaksi kimia akan berlangsung lebih cepat. Reaksi kimia selanjutnya, berupa reaksi adalah



Begitu juga dengan menggunakan *energizer* kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) akan mengalami reaksi :



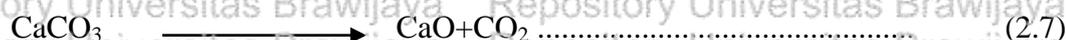
Selanjutnya terjadi reaksi seperti reaksi kimia sebelumnya.



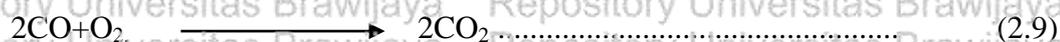
### 2.1.2. Proses *Pack Decarburizing*

*Pack decarburizing* adalah kebalikan dari proses *pack carburizing*. *Pack decarburizing* dilakukan untuk mengurangi unsur karbon (C) pada permukaan baja karbon tinggi, dengan tujuan untuk meningkatkan keuletannya. Pada proses *pack decarburizing* pengurangan karbon dilakukan dengan mendifusikan karbon dari permukaan baja ke media *carburizer* dengan pemanasan pada range suhu 900 °C - 1200 °C (Ren, F., 2014). Akibatnya kadar karbon permukaannya berkurang menyebabkan angka kekerasan permukaannya menurun tetapi keuletannya meningkat

Pada suhu range suhu 800 °C - 900 °C (range suhu *carburizing*)  $Fe_3C$  (baja karbon) dan  $CaCO_3$  terurai seperti dengan reaksi kimia sebagai berikut:



Karbon dioksida bereaksi dengan karbon dari baja dengan reaksi kimia seperti dibawah ini



Gas CO akan berubah menjadi  $CO_2$  dan reaksi akan terulang lagi.

### 2.1.3. Karburasi Cair (*Liquid Carburizing*)

Karburasi cair adalah metode pengerasan permukaan baja dengan menggunakan media karburasi cair, berupa larutan garam. Larutan garam berupa larutan sianida, klorida, dan karbonat. Larutan garam menghasilkan gas karbon dan nitrogen yang mengalami difusi masuk ke dalam permukaan baja. Kualitas lapisan karburisasi dipengaruhi oleh kadar natrium sianida dan barium sianida, yang menghasilkan gas karbon dan nitrogen. Suhu karburisasi cair berkisar antara 1500 °F sampai dengan 1750 °F. Semakin tinggi difusi berlangsung eblil cepat, sehingga penetrasi karbon, nitrogen lebih dalam. Tetapi metode ini meningkatkan biaya material dan menyebabkan kerusakan peralatan yang cepat. Lapisan karburasi sedalam 0,30 inch dapat dihasilkan oleh proses karburasi cair pada suhu karburisasi antara 1550 °F sampai 1650 °F dengan menggunakan sianida 20% (Thehning, 2013). Kelebihan metode karburasi cair adalah kedalaman lapisan karburasi dan kandungan karbon seragam, waktu penetrasi cepat, mencegah terjadinya korosi, dan biaya instalasi rendah.

Kandungannya di dalam material yang dikarburasi sebanding dengan parameter karburasi. Angka kekerasan tidak berubah jika kadar karbon dipermukaan terlalu tinggi.

Sebaiknya baja langsung quenching setelah mengalami karburasi cair. Konsentrasi cianida dalam larutan garam dapat berubah, sehingga sifat larutan garam juga berubah selama pemakaian, sehingga harus selalu diperiksa dan dilakukan penambahan garam baru agar konsentrasi tetap seperti semula, jika terjadi perubahan yang drastic. Cianida merupakan senyawa yang sangat beracun, oleh karenanya pemakaiannya harus hati-hati dan tidak boleh membuang tempat bekas zat tersebut di sembarang tempat.

#### 2.1.4. Karburasi Media Gas (*Gas Carburizing*)

Ciri khas karburisasi gas adalah media karburasi berupa gas. Gas tersebut dialirkan ke tungku yang merupakan tempat material yang dikarburasi. Gas karbon berasal dari senyawa hidrokarbon seperti gas metana ( $CH_4$ ), propana ( $C_3H_8$ ), dan butana ( $C_4H_{10}$ ), atau dari cairan hidrokarbon yang diuapkan. Konstruksi fisik tungku yang digunakan pada proses karburasi dibedakan menjadi dua macam, tipe perbagian (*batch*) dan kontinyu.

Tungku tipe batch digunakan untuk proses karburasi kapasitas rendah dan sebaliknya tipe kontnyu untuk yang berkapasitas tinggi. Kualitas hasil karburasi gas dipengaruhi oleh suhu, waktu dan komposisi gas ditungku. Ketiga variabel tersebut mempengaruhi jumlah karbon yang masuk kedalam tungku. Kenaikan suhu mempengaruhi kecepatan difusi karbon dalam fasa austenit besi. Kecepatan difusi karbon pada suhu  $925\text{ }^\circ\text{C}$  adalah 40% lebih besar dibandingkan kecepatan difusi karbon pada suhu  $870\text{ }^\circ\text{C}$ . (Dhankar, 2015). Oleh karena itu suhu yang sesuai untuk karburisasi adalah  $925\text{ }^\circ\text{C}$ . Pada temperatur ini memungkinkan kecepatan karburisasi yang cepat tanpa menyebabkan kerusakan peralatan tungku. Pada kondisi tertentu temperatur karburasi dinaikkan menjadi  $955\text{ }^\circ\text{C}$  sampai  $980\text{ }^\circ\text{C}$  untuk memperpendek waktu.

#### 2.2. Klasifikasi Baja dan Penggunaannya

Baja merupakan paduan antara logam besi dan karbon, dengan persentase tertentu.. Persentase kandungan karbon tertinggi 1,67%, jika melebihi dinamakan besi cor (*Cast Iron*). Sehingga berdasarkan persentase kandungan karbon baja jenisnya bermacam-macam. Jika kandungan karbon di dalam besi antara 0,10% - 0,30% disebut baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon menengah (*medium carbon steel*) persentase karbon antara 0,30 - 0,85 %, dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mempunyai prosentase karbon berkisar antara 0,85 sampai 1,35 %.



Kadar karbon mempengaruhi angka kekerasannya, semakin besar kadar karbon maka angka kekerasannya semakin besar. (Thelning, 2013).

Berdasarkan kandungan karbon dan sifat fisiknya baja ringan (*mild steel*) masuk klasifikasi *low carbon steel*. Aplikasinya dari material ini sangat luas sekali seperti pada baja untuk konstruksi umum. Aplikasi baja karbon rendah dengan pertimbangan prosentase kandungan karbon adalah sebagai berikut:

- Plat body kendaraan (bidang otomotif) adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,1 - 0,14 % .
- Kerangka rumah, gedung bertingkat, kerangka jembatan adalah baja dengan persentase kadar karbon 0,15 -0,25 % .
- Baut dan paku keling dibuat dari baja dengan persentase kadar karbon 0,25 - 0,30%, karena mempunyai sifat-sifat mudah dikerjakan dengan mesin ataupun ditempa (Thelning, 2013).

Sifat utama baja karbon rendah adalah angka kekerasannya rendah, keuletan tinggi dan mudah dikerjakan dengan mesin produksi, meskipun umur pemakaiannya pendek. Untuk meningkatkan angka kekerasannya dilakukan dengan cara modern, seperti karburasi. Pengerasan dapat dikerjakan bila kadar karbon cukup tinggi, karena terlebih dulu harus ditambahkan karbon. Proses yang paling sering dilakukan adalah dengan melakukan proses karburasi padat (*pack carburizing*) karena proses pelaksanaannya mudah, dan limbahnya tidak mencemari lingkungan karena tidak beracun. Proses karburasi padat dengan media karburasi arang kayu jati serta energizer  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{BaCO}_3$  biayanya instalasi mahal dan kualitasnya belum baik (kecepatan difusi lambat, kedalaman lapisan karburasi mesin rendah dan tidak merata). Oleh karenanya sangat diperlukan penelitian penggunaan media karburasi alternatif untuk proses *pack carburizing* dan kebalikannya (*pack decarburizing*) dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas material yang di karburasi..

### 2.3. Diagram Kesetimbangan Fasa Besi Karbon (Fe-C)

Diagram kesetimbangan fasa (Fe-C) adalah grafik yang mendeskripsikan hubungan antara suhu dan persentase karbon (%C), yang menyebabkan perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat. Berbeda dengan besi murni (tanpa unsur paduan), baja sebagai senyawa paduan besi dan karbon pada saat dilakukan pemanasan dan pendinginan mengalami perubahan fasa tergantung pada temperatur dan persentase karbon (%C), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Diagram fasa sangat berguna untuk menentukan suhu pemanasan dan waktu pendinginan pada saat melakukan proses perlakuan panas pada logam baja agar mendapatkan fasa, struktur baja yang diinginkan.

Baja merupakan paduan besi dan karbon dengan prosentase tertinggi 2%, jika melebihi 2% disebut besi tuang. Kandungan karbon pada baja diklasifikasikan menjadi dua macam. Untuk prosentase karbon kurang dari 0,83%, disebut sebagai baja *hypereutectoid*. Kandungan karbon antara 0,83% - 2%, disebut baja *hypereutectoid*. Dalam diagram kesetimbangan besi karbon ada istilah titik A1, A2, A3,  $A_{cm}$ , dan A13. Titik A1 adalah titik *eutectoid*, pemanasan pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$ , komposisi karbon 0,8%. Fasa fasa *pearlit* dan *ferit* akan terbentuk jika pemanasan dilakukan pada titik *hypoeutectoid* (dibawah titik *eutectoid*). Sebaliknya akan terbentuk fasa *pearlit* dan *sementit* jika pemanasan dikerjakan dibawah titik *hypereutectoid*, selanjutnya jika melewati titik A1 (titik kritis bawah) akan terjadi perubahan fasa *pearlit* menjadi *austenite* (fasa  $\gamma$ ). Titik A2, (pada suhu  $769^{\circ}\text{C}$ ) merupakan titik Currie, pada posisi A2, sifat magnet besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik. Suhu  $910^{\circ}\text{C}$ , merupakan titik A3 (titik kritis atas), terjadi transformasi dari fasa  $\alpha$  (*ferit*) menjadi fasa  $\gamma$  (*austenit*). Bentuk kristal *ferit* BCC (*body centered cubic*) berubah menjadi FCC (*face centered cubic*) pada fasa *austenit*. Pada titik A3 batas kelarutan karbon naik sebanding dengan kenaikan temperatur. Titik  $A_{cm}$  (batas kelarutan karbon) adalah suhu transformasi fasa besi  $\gamma$  (*austenite*) ke fasa  $\text{Fe}_3\text{C}$  (*sementite*). Pada posisi titik  $A_{cm}$  unsur C yang terlarut berkurang sebanding penurunan suhu. Selanjutnya titik A13, suhu transformasi fasa *perlit* ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) menjadi fasa  $\gamma$  untuk baja *hypereutectoid*.

Berdasarkan uraian diatas logam besi (Fe) mempunyai bentuk struktur kristal yang berlainan (*polymorphism*) pada temperatur yang berbeda beda. Sebagai contoh fasa besi  $\alpha$  (*ferrite*) mempunyai bentuk kristal BCC, dipanaska melewati suhu  $910^{\circ}\text{C}$ , berubah menjadi fasa besi  $\gamma$  (*austenite*) dengan bentuk kristal FCC. Pada pemanasan lambat fasa-



fasa (struktur mikro) yang terjadi pada diagram kesetimbangan Fe-C adalah sebagai berikut :

**a. Fasa Ferrite**

Fasa *ferrite* (besi  $\alpha$ ) merupakan paduan besi dan karbon . Batas kelarutan maksimum karbon adalah 0.025% pada suhu 723 °C. Tetapi pada suhu kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0.008%. *Ferrite* mempunyai struktur Kristal BCC (*Body Centered Cubic*). *Ferrite* merupakan fasa seimbang pada suhu tinggi dalam bentuk ( besi  $\delta$  ). Sifat mekanik dari *ferrite* angka kekerasn rendah, keuletan tinggi dan ferromagnetik. Sifat *ferrite* juga dimiliki strip baja yang kadar kandungan karbon yang rendah, untuk memudahkan pada proses pembentukan.

**b. Fasa Austenite**

Fasa *austenite* (besi  $\gamma$  ) merupakan suatu larutan padat besi dan karbon dengan batas kelarutan karbon maksimum 2.11% pada suhu 1148 °C. Struktur kristalnya berbentuk FCC (*Face Centered Cubic*). Mempunyai keuletan yang tinggi dan bersifat paramagnetik. Kekerasan lebih tinggi dibanding *ferrite*.

**c. Struktur Cementite**

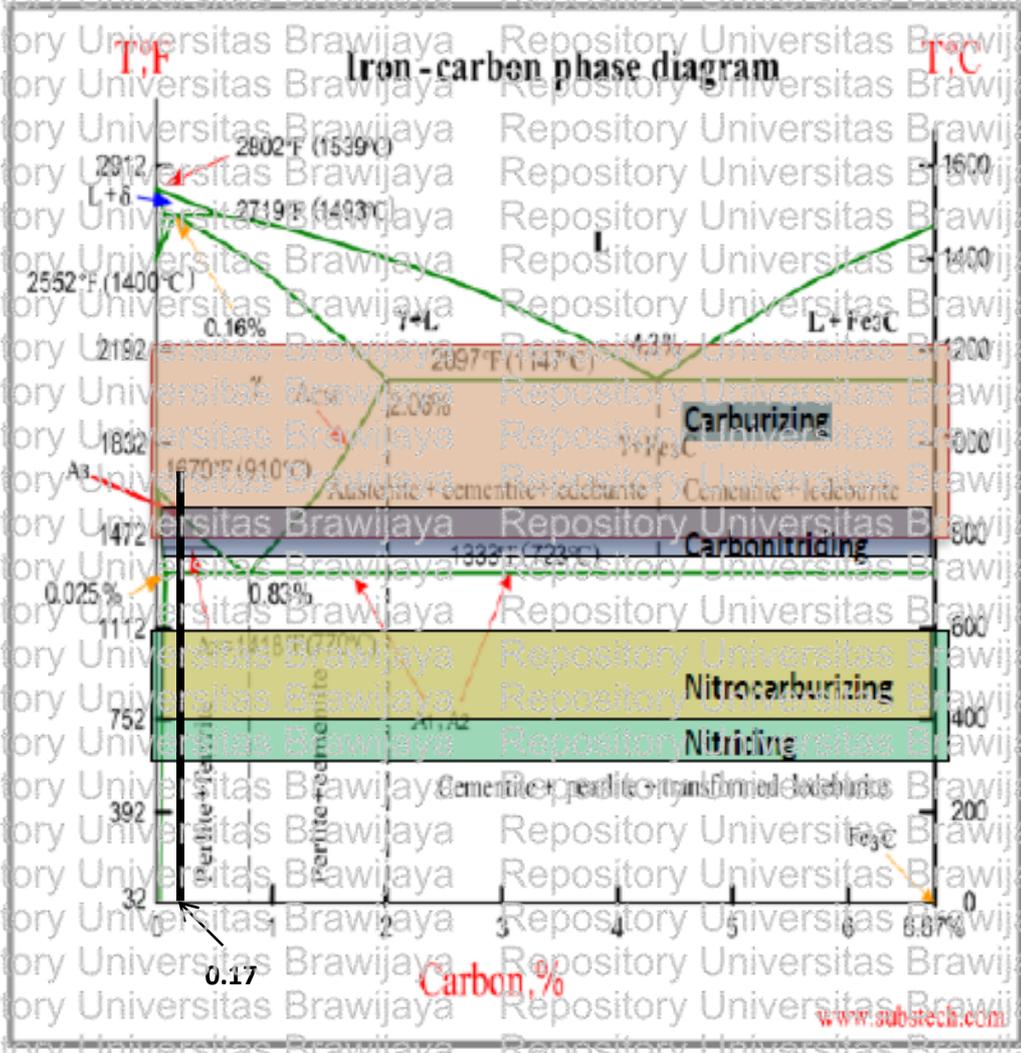
Struktur *cementite* adalah merupakan senyawa besi dengan karbon dengan rumus kimia Fe<sub>3</sub>C (karbida besi). Kandungan karbon maksimum adalah 6.67%. Mempunyai struktur kristal orthorombic. Mempunyai angka kekerasan yang tinggi, sehingga getas, keuletan rendah. Pada fasa ini sebetulnya bisa terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C, oleh karenanya *cementite* merupakan fasa metastabil.

**d. Struktur Pearlite**

Struktur pearlite adalah campuran *eutectoid* dari *sementite* dan *ferrite* (Fe<sub>3</sub>C +  $\alpha$ ). Reaksinya dinamakan reaksi *eutectoid*, terjadi pada suhu 723 °C , Kandungan karbonnya 0.8%.

**e. Struktur Ledeburite**

Struktur pearlite adalah campuran *eutectic* dari *sementite* dan *austenite* (Fe<sub>3</sub>C +  $\gamma$ ). Reaksinya dinamakan reaksi *eutectic*, terjadi pada suhu 1130 °C , Kandungan karbonnya 4.3%.

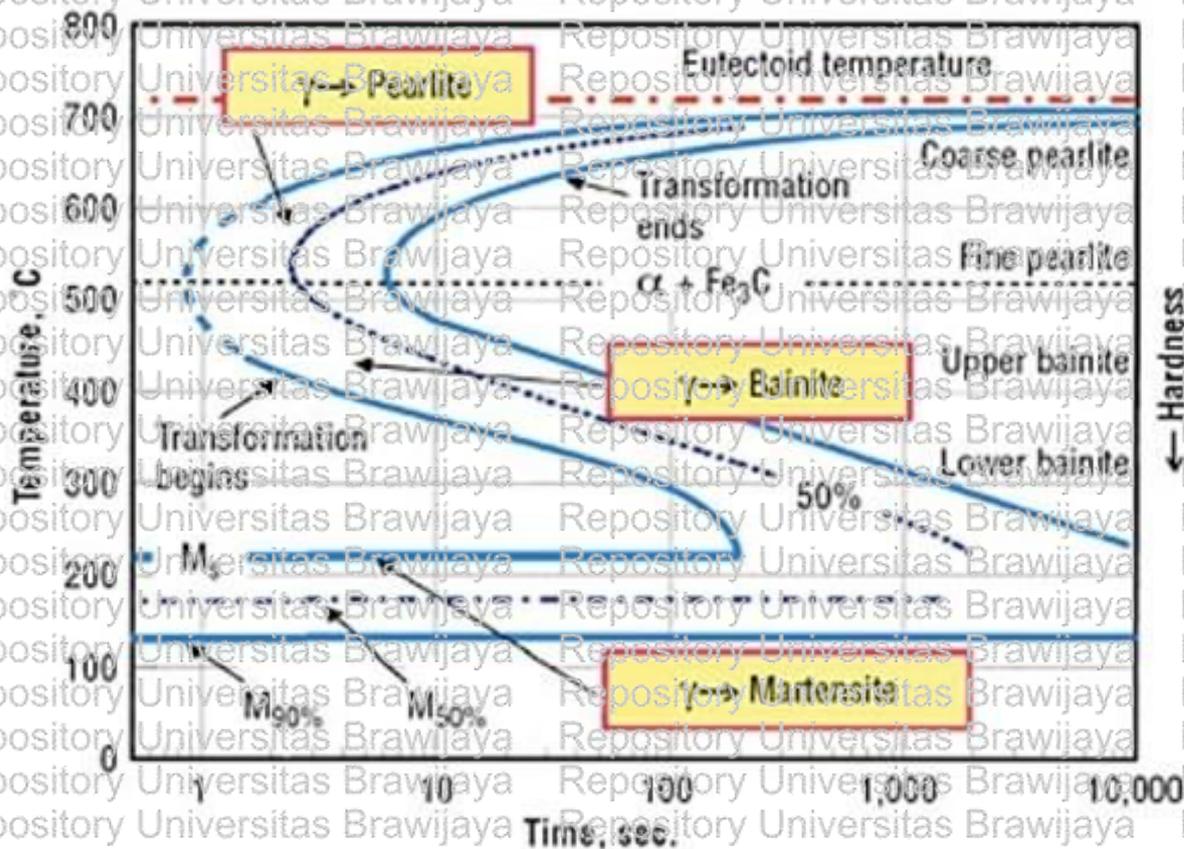


Gambar 2.1 Diagram kesetimbangan fasa besi karbon

Sumber: (Theining, 2013)

2.4 Diagram Hubungan Waktu Suhu dan Perubahan Fasa (Time-Temperature - Transformation)

Kecepatan pendinginann pada perlakuan panas mempengaruhi angka kekerasan material baja. Penyebabnya adalah karena terbentuknya struktur yang diinginkan tergantung dari kecepatan pendinginan yang terjadi. Sehingga ada hubungan antara waktu, suhu, dan perubahan bentuk struktur seperti tampak pada grafik Gambar 2.2.

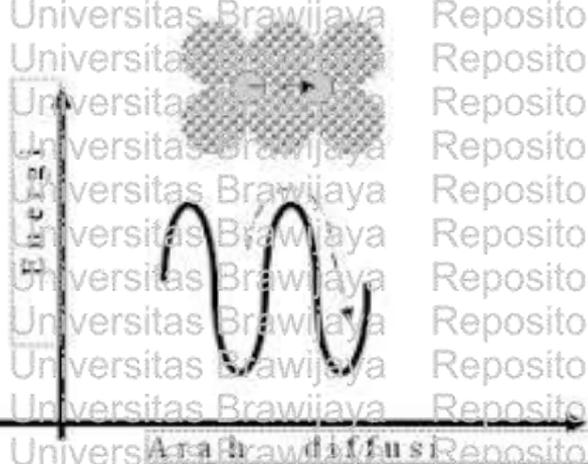


Gambar 2.2 Grafik hubungan waktu suhu dan perubahan fasa

Sumber: (Thelning, 2013)

### 2.5 Difusi Atom

Pada waktu terjadi kenaikan suhu atom akan bergetar lebih agresif. Getaran menyebabkan perpindahan atom atau fraksi atom yang menyebabkan perubahan posisi fraksi atom pada kisi-kisinya.



Gambar 2.3 Hubungan antara arah difusi atom dengan energi aktivasi

Sumber : (Vlack, 2004)

Pergerakan atom tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur, tetapi juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar atom pada posisinya. Energi aktivasi adalah energi yang diperlukan atom mengubah posisinya. Energi aktivasi juga bisa diartikan energi yang diperlukan untuk melepas ikatan antar atom, sehingga atom bisa berpindah. Jika berpindahnya menuju materi lain maka disebut difusi. Jadi syarat terjadinya difusi adalah gerakan atom yang disebabkan kenaikan suhu, perbedaan ukuran atom dan perbedaan konsentrasi.

Atom carbon bisa mengalami difusi masuk kedalam celah antar atom besi, karena ukuran atom jari jari atom karbon lebih kecil dibandingkan ukuran atau jari jari atom besi. Untuk berdifusi atom karbon memerlukan energi aktivasi sekitar 34.000 Kal/mol (Vlack, 2004).

Arah dari atom yang mengalami difusi sebetulnya tidak beraturan, tetapi secara keseluruhan arahnya beraturan ditandai meningkatnya *entropi*. Difusi bisa terjadi pada fasa padat, cair, dan gas. Pada fasa cair dan gas lebih mudah terjadi daripada fasa padat, meskipun difusi fasa pada memerlukan waktu yang lebih lama. Pada kristal, cacat kristal *vacancy*, berupa kekosongan posisi atom memberikan atom lain untuk berdifusi. Atom lain menyusup menempati posisi *interstitial*, dengan syarat ukuran jari jari atom asing tersebut lebih kecil dari pada atom tujuan difusi. Faktor penyebab lain terjadinya difusi perbedaan konsentrasi, sesuai analogi gerakan muatan listrik yang menyebabkan arus listrik.

Difusivitas atau koefisien difusi adalah merupakan konstanta proporsionalitas atau kesebandingan yang menandakan suatu material untuk mendifusikan gas atau ion karena adanya gradien konsentrasi dan perbedaan tekanan. Atau bisa dikatakan dengan kecepatan difusi suatu materi. Koefisien difusi dipengaruhi oleh kelarutan atom, perubahan suhu, ukuran atau jari jari atom, energi ikatan antar atom, cacat kristal dan bentuk kristal.

Difusi pada kondisi *steady*, zat yang mengalami difusi bergerak karena perbedaan kandungan zat yang terlarut pada sistem larutan. Zat yang mengalami difusi konsentrasinya bervariasi secara linier. Pada posisi  $x_0$  konsentrasinya sebesar  $C_0$  dan pada  $x$  besarnya konsentrasi sebesar  $C_x$  secara matematik dirumuskan dengan Hukum I Fick.

$$J_x = -D \frac{\partial c}{\partial x} \left( \frac{\text{Atom}}{m^2s} \right) \dots \dots \dots (2-10)$$

Untuk kondisi *Unsteady* dinyatakan dengan hukum II Fick :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c_x}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (2-11)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial^2 c_x}{\partial x^2} \dots \dots \dots (2-12)$$



$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (2-13)$$

Keterangan :

$J_x$  : Besar Fluks.

$D$  : Konstanta difusi [ $\text{m}^2 \cdot \text{detik}^{-1}$ ]

$C_s$  : Kandungan zat di permukaan spesimen

$C_0$  : Kandungan zat pada jarak  $x_0$

$C_x$  : Kandungan zat pada jarak  $x$ .

$t$  : Waktu proses perlakuan [detik]

$x$  : Tebal/kedalaman elemen.

$\operatorname{erf}$  : Fungsi Gaussian Error

$\frac{\partial C_x}{\partial x}$  : Perubahan kandungan zat [ $\text{atom} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]

Selanjutnya pengaruh suhu dan koefisien difusi dapat dirumuskan dengan persamaan matematika (Shackelford, 1992):

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) [\text{m}^2 \cdot \text{dt}^{-1}] \quad (2-14)$$

Keterangan :

$D_0$  : Konstantan difusi awal [ $\text{m}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$ ]

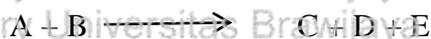
$Q$  : Energi [ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ]

$R$  : Tetapan fluida gas [ $\text{J} \cdot (\text{mol} \cdot ^\circ\text{K})^{-1}$ ]

$T$  : Suhu [ $^\circ\text{K}$ ]

Berdasarkan persamaan difusitas dan hukum II Fick parameter waktu dan suhu mempengaruhi proses difusi yang sedang berlangsung. Maka dari itu untuk menghasilkan lapisan karburasi dengan ketebalan maksimal diperlukan pengaturan waktu dan temperatur karburasi, yang sesuai.

Pada proses difusi juga berlaku hukum kesetimbangan. Apabila dalam suatu reaksi larutan yang memiliki jumlah prosentase larutannya sesudah dan sebelum reaksi sama yaitu 100%, sehingga dapat dikatakan bahwa reaksi dalam keadaan setimbang. Reaksi kesetimbangan kimia biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut :



Setelah larutan tercampur pada suhu tinggi, atom-atom yang terdifusi akan menyebar ke ruang antar atom. Untuk mengetahui prosentase berat unsur yang terdifusi, dilakukan pengujian unsur, salah satunya dengan menggunakan alat *Optical Emission Spectrometer*.

## 2.6 Kedalaman Lapisan Karburasi (*case depth*)

Akibat dari proses perlakuan *pack carburizing* adalah terbentuknya lapisan karbon atau lapisan karburasi pada permukaan spesimen. Terbentuknya lapisan karburasi disebabkan adanya fenomena difusi atom karbon pada atom besi. Kedalaman lapisan karburasi dipengaruhi oleh parameter proses *pack carburizing* seperti waktu dan temperatur karburasi, komposisi media *carburizer* serta kandungan karbon dalam baja itu sendiri.

Pendekatan kedalaman lapisan karburasi (*case depth*) merujuk pada persamaan Harris, yaitu (Ihom, 2013) :

$$CD = \frac{31,6\sqrt{t}}{10^{\left(\frac{6700}{T}\right)}} \quad (\text{in}) \dots\dots\dots (2-15)$$

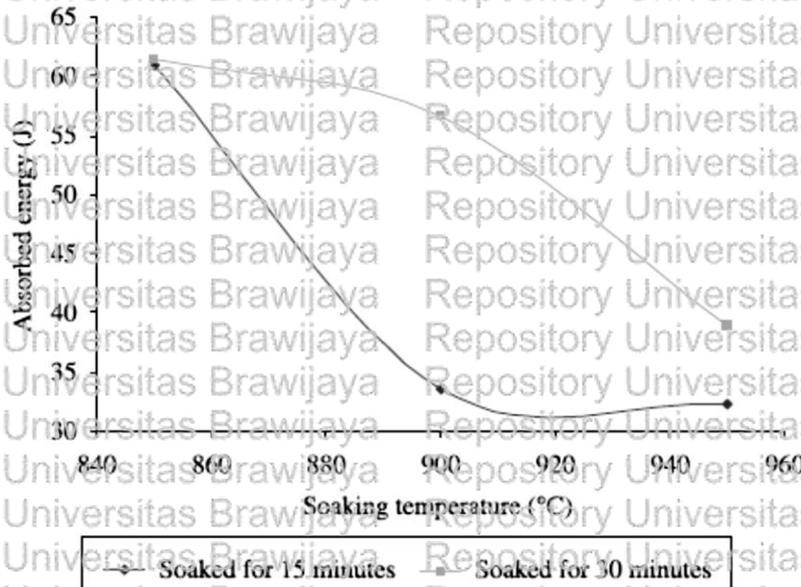
Keterangan, CD : *case depth*

T : temperatur karburasi (Rankine)

t : waktu (jam)

## 2.7 Pengaruh Parameter Proses *Pack Carburizing* Pada Sifat Mekanik Baja Karbon

Sifat mekanik baja terutama dengan kandungan karbon rendah (*mild steel*) yang mengalami proses *pack carburizing* dipengaruhi oleh suhu, waktu *carburizing* dan perlakuan panas lanjut (*post heat treatment*) (Aramide, 2009). Penelitian dilakukan dengan menggunakan media *carburizing* karbon aktif, dengan variasi suhu 850, 900 dan 950 °C, dan suhu *carburizing* 15 dan 30 menit. Perlakuan panas lanjut dengan proses *quenching* di oli, *tempering* pada suhu 550 °C dan *holding* 60 menit. Berdasarkan Gambar 2.4 energi *impact* yang diserap berkurang dengan kenaikan suhu karburasi, sampel yang dikarburasi selama 30 menit (0,5 jam) energi *impact* lebih tinggi daripada sampel yang dikarburasi selama 15 menit (0,25 jam). Kesimpulannya proses *pack carburizing* menurunkan energi *impact* (ketangguhan) baja karbon rendah. Dan ketangguhannya menurun dengan meningkatnya suhu *carburizing*. Sifat-sifat mekanik yang optimum di dapat pada kombinasi suhu *carburizing* 900 °C, selama 30 menit dilanjutkan dengan proses *quenching* di oli ditempering pada suhu 550° C dan waktu *holding* 60 menit.



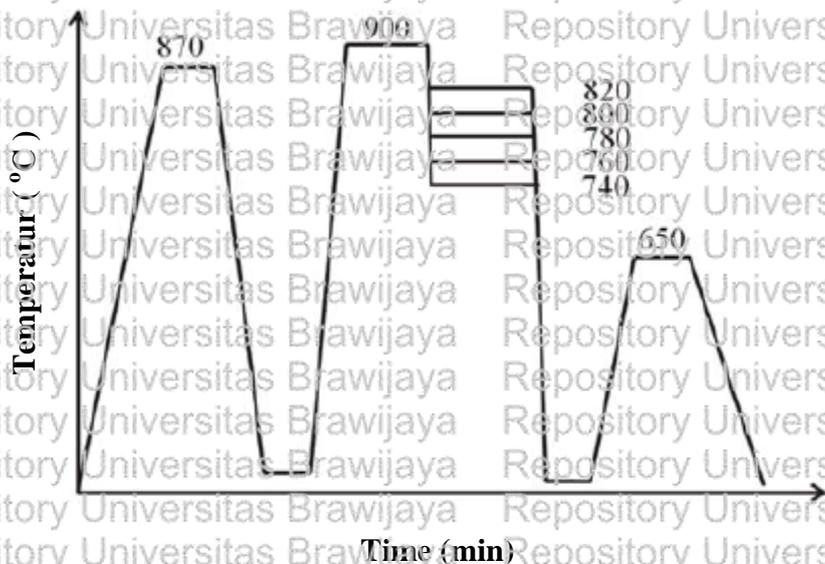
Gambar 2.4 Pengaruh suhu karburasi terhadap energi impact

Perkembangan teknologi pengerasan permukaan (*case hardening*), berdampak positif pada kemajuan industri manufaktur. Sifat mekanik material seperti angka kekerasan, kekuatan fatigue, kekuatan tarik dan keuletan bisa dimodifikasi dengan perlakuan permukaan. Dengan karburasi (*pack carburizing*) padat dapat menaikkan angka kekerasan permukaan baja karbon rendah, tetapi dalamnya masih tetap ulet. Sebaliknya untuk baja karbon tinggi bisa diturunkan angka kekerasannya, dengan cara mengurangi kadar karbonnya dengan *pack decarburizing*. Walaupun demikian perlakuan permukaan juga berdampak negati pada lingkungan, karburasi cair bekas cianida berbahaya karena sangat beracun, karburasi gas gas monoksida yang dihasilkan menimbulkan pencemaran udara. Jadi proses perlakuan panas karburasi masih merupakan pilihan utama karena paling aman dan biaya instalasi masih paling murah. Keberadaannya memudahkan pemilihan bahan untuk komponen mesin atau alat produksi untuk bisa dibuat di industri manufaktur sesuai kebutuhan, keinginan masyarakat. Material dengan sifat mekanik ganda, permukaan keras, tapi dalamnya ulet, kekuatan impact dan kekuatan faiguenya tinggi sangat diperlukan, terutama sebagai alat potong, peralatan pembuatan kerajinan dan peralatan pertanian.

Proses karburasi padat, baja yang telah ditaburi media karburasi padat dimasukkan ke dalam kotak karburasi. Kemudian dipanaskan didalam dapur listrik. Sebaliknya untuk penggunaan baja tahan karat (*stainless steel*) yang mempunyai angka kekerasan tinggi, juga diperlukan modifikasi agar lebih ulet dengan mengurangi kadar karbon pada

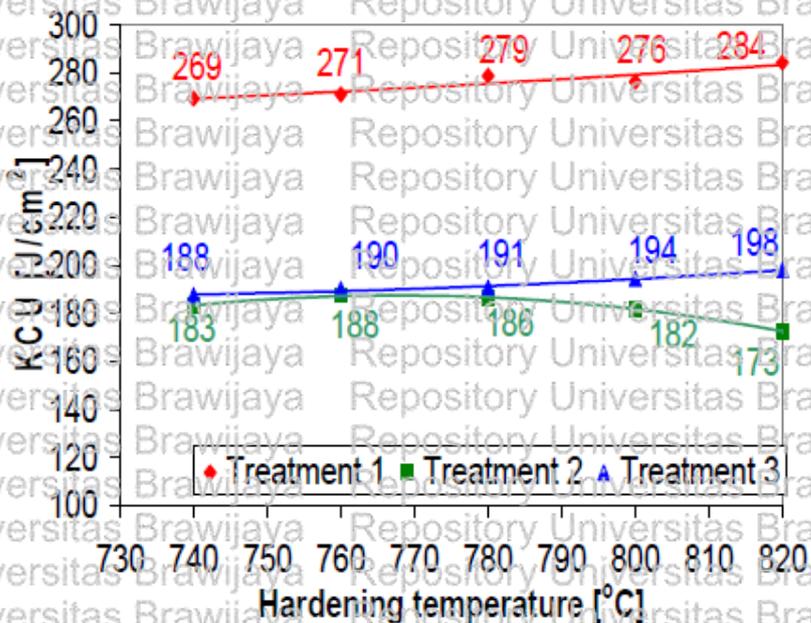
permukaannya yaitu proses *pack decarburizing* yang merupakan proses kebalikan dari proses *pack carburizing*. Proses *pack carburizing* ternyata dapat menyebabkan perubahan kekuatan atau tegangan luluh material, yang sangat diperlukan mendesain konstruksi mesin. Konstruksi mesin harus didesain sedemikian rupa sehingga bisa menahan beban atau beban yang diaplikasikan dikalikan faktor keamanan tidak melebihi kekuatan luluh, supaya aman dalam pemakaiannya. Menurut (Kuswanto, B., 2010) material baja karbon rendah yang mengalami proses *pack carburizing* pada temperatur 900° C dan waktu karburasi 2 jam mempengaruhi kekuatan *yield* baja karbon rendah. Kesimpulan yang didapat kekuatan luluh spesimen naik atau lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tanpa proses *pack carburizing*

Teknik *quenching* juga berpengaruh pada sifat mekanik baja struktur karbon rendah (Miernik, 2010). Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh didapatkan bahwa kombinasi terbaik sifat mekanik yang diperoleh untuk perlakuan panas seperti gambar 2.5 yang terdiri dari pemanasan suhu 900 °C, *holding*, *cooling* dua fase dan *cooling* dalam air. Selain itu, material tersebut terkena proses suhu tinggi. Dengan perlakuan panas ini, terjadi peningkatan kekerasan dua kali lipat, seperti terlihat pada Gambar 2.6. Proses perlakuan panas berkontribusi pada ketangguhan bahan, yang ditempering dan hampir mencapai dua kali lipat pada sampel yang *di tempering* pada suhu tinggi. Nilai tegangan *Yield* dan kekuatan tarik yang tinggi terjadi, pada sampel yang tempering dari suhu 800 °C – 820 °C kira-kira tiga kali lebih tinggi daripada sebelum perlakuan. Pada kasus tempering dan tempering suhu tinggi, hanya terjadi peningkatan yang kecil pada kekuatan *yield* dan kekuatan tarik. Peningkatan sifat kekuatan tarik berkontribusi sedikit pada penurunan perpanjangan relatif.



Gambar 2.5 Kombinasi Proses Perlakuan Panas

Sumber : Miernik, (2010, p.91)



Gambar 2.6 Angka kekerasan setelah proses *quenching* dan *tempering* pada suhu tinggi.

Sumber : Miernik, (2010, p.92)

Studi sifat mekanik baja ringan yang di *carburizing* dan akibat perlakuan panas telah dilakukan (Rai, 2016). *Carburizing* adalah salah satu metode pengerasan permukaan yang menyebabkan terbentuknya lapisan karbon pada permukaan suatu zat untuk meningkatkan sifat kekuatan dan kekerasan. Tujuan dari penelitian adalah untuk memperbaiki sifat mekanik sampel baja ringan dengan menggunakan teknik *pack*

*carburizing*. Dalam penelitiannya tentang perilaku mekanik baja ringan yang mengalami pengerasan permukaan, sample *dicarburizing* pada suhu tinggi yaitu pada kisaran suhu antara 900 °C dan 1000 °C. Tujuannya adalah untuk memeriksa pengaruh suhu tinggi dan kondisi karburasi yang berbeda pada sifat mekanik baja ringan.. Hasil percobaannya menunjukkan tebal lapisan karburasi dan angka kekerasan meningkat sebanding dengan meningkatnya suhu dan waktu karburasi, namun sebaliknya sifat ketangguhan menurun dan akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya suhu karburasi.

Kesimpulannya bahwa baja ringan yang di karburasi pada temperatur 1000 °C memberikan hasil sifat mekanik (angka kekerasan dan ketahanan aus) terbaik.

*Carburizing* adalah salah satu metode pengerasan permukaan yang menginduksi pembentukan lapisan karbon pada permukaan suatu material untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Metode pengerasan permukaan dengan *paste carburizing* berpengaruh terhadap sifat mekanik baja karbon rendah ASTM A516 (Khadijah, 2013). Sampel disiapkan dan dipoles sesuai dengan standart uji tarik (ASTM A370), uji kekerasan (Rockwell) dan uji struktur mikro. Proses *carburizing* dilakukan pada suhu 700, 750, dan 800 °C selama 6 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa sampel yang perlakuan *paste carburizing* memberikan peningkatan yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasan dibandingkan sampel yang tidak diberi perlakuan. Hal ini terkait dengan pembentukan lapisan karbon yang keras pada permukaan material.

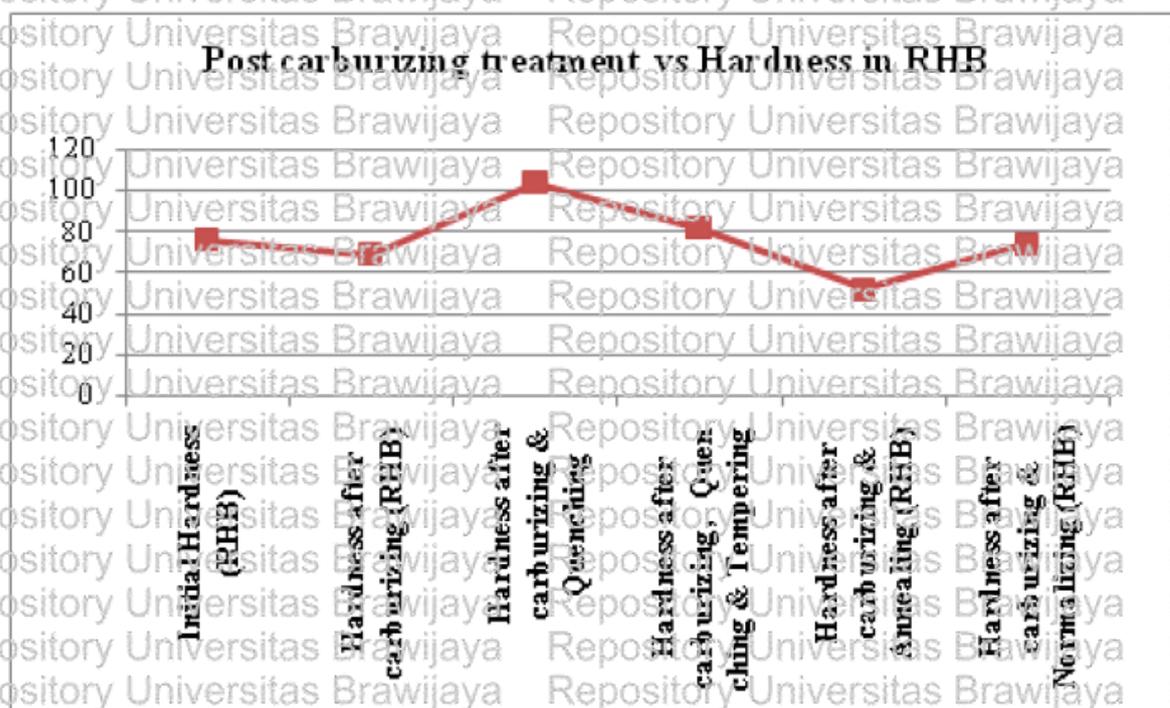
Peningkatan suhu *carburizing* sangat berpengaruh terhadap kenaikan angka kekerasan dan kekuatan tarik, karena adanya pembentukan lapisan karbon yang lebih dalam. *Paste Carburizing* dapat menginduksi pembentukan lapisan karbon pada waktu yang lebih singkat dan suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan metode *pack carburizing*.

Untuk meningkatkan kualitas lapisan karburasi pada baja karbon rendah dilakukan dengan perlakuan panas lanjut. Penelitian pengaruh perlakuan panas lanjut setelah *carburizing* terhadap kekerasan baja karbon rendah telah dilakukan oleh (Priyadarshini, Sharma, & Arora, 2014). Perlakuan panas seperti quenching dan tempering kurang berpengaruh pada logam baja dengan persentase kandungan karbon 0,15% sampai 0,3%, hampir tidak terjadi transformasi martensitik pada pendinginan. Dengan demikian, untuk memperbaiki angka kekerasan permukaan setelah perlakuan karburasi dilakukan dimana komposisi permukaan baja karbon rendah berubah dengan difusi karbon dan menghasilkan angka kekerasan pada permukaan yang tinggi dengan ketahanan aus yang baik. Baja karbon rendah itu di karburasi pada suhu 900 °C selama 5 jam. Setelah proses karburasi dilakukan proses *annealing*, *hardening*, *normalizing*, *quenching* dan *tempering*





dilakukan. Nilai kekerasan yang dihasilkan berdasarkan semua proses telah diukur dan dilaporkan dalam penelitiannya seperti Gambar 2.7. Berdasarkan hasil penelitiannya diperoleh kesimpulan berikut. Permukaan kekerasan sangat dipengaruhi oleh proses karburasi. Nilai kekerasan menurun dengan mendinginkan/menahan sampel di tungku untuk jangka waktu yang lebih lama karena pelepasan tegangan internal. Perlakuan panas lanjut setelah karburasi sangat mempengaruhi angka kekerasan spesimen. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada proses *quenching* dan nilai kekerasan terendah didapat pada proses *annealing* setelah dilakukan proses *carburizing*.



Gambar 2.7 Pengaruh perlakuan post carburizing terhadap angka kekerasan baja karbon rendah. Sumber: Priyadarshini, (2014, p.765)

Selain proses *pack carburizing*, perlakuan panas gas carburizing dengan menggunakan gas metana juga dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan baja ringan. Kelebihannya proses lebih sederhana dibanding dengan proses *pack carburizing*.

Pada penelitian perbaikan angka kekerasan baja ringan dengan gas metana *carburizing* yang telah dilakukan oleh (Dhankhar & Khokhar, 2015) spesimen dikarburasi pada kisaran suhu yang berbeda antara 860, 900, dan 940 °C. Tujuannya adalah untuk mengetahui efek suhu dan suhu gas carburizing yang berbeda pada kekerasan baja ringan karburasi. Untuk tujuan di atas, baja ringan di karburasi di bawah kisaran suhu yang berbeda seperti yang ditentukan di atas dan kemudian ditempering pada suhu 180<sup>0</sup> C selama setengah jam, setelah di karburasi, ditempering baja ringan di uji kekerasannya.

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa proses gas karburasi dapat meningkatkan kekerasan dan sebanding dengan suhu karburasi tetapi jika suhu dinaikkan lebih lanjut maka akan terjadi deformasi pada dimensi spesimen. Oleh karena itu, hasil percobaan menunjukkan bahwa baja ringan dikarburasi dengan gas metana pada kisaran suhu yang berbeda seperti yang dinyatakan di atas, didapatkan hasil bahwa baja ringan yang di karburasi pada suhu 940 °C akan memberikan hasil terbaik (Dhankhar & Khokhar, 2015) karena pada suhu ini memberikan kekerasan tertinggi.

Perlakuan panas permukaan juga bertujuan untuk meningkatkan sifat tribologi, seperti ketahanan keausan (Roy & Sundararajan, 2016). Tujuan dari penelitiannya adalah untuk mengetahui pengaruh kombinasi perlakuan panas carburizing dan quenching terhadap perilaku tribological baja AISI 8620 yang dikarburasi. Material ini biasanya digunakan pada komponen sistem kemudi yang mengalami sliding atau rolling di bawah kondisi tekanan kontak tinggi. Perbedaan tingkat *retained austenit* (RA) yang berbeda, kekerasan dan tegangan sisa dicapai dengan variasi potensi karbon (0,45% sampai 1,05%) selama proses karburasi dan juga quenching dengan media berbeda (dari pendingin udara hingga es). Uji keausan dilakukan dengan menggunakan *micro-trobometer* dengan sampel di bawah kondisi sliding kering. Sampel kemudian dianalisis menggunakan *profilometri* non kontak dan SEM mengamati perilaku keausan. Kekerasan dan RA memiliki efek yang signifikan terhadap ketahanan aus dibandingkan dengan tegangan sisa. Telah diamati bahwa sampel karburasi dengan potensial karbon yang lebih tinggi menghasilkan ketahanan keausan abrasif yang meningkat. Resistansi aus yang meningkat ini disebabkan oleh kekerasan dan kondisi yang lebih tinggi dan kondusif untuk transformasi RA menjadi martensit melalui mekanisme work hardening. Temuannya menunjukkan bahwa perlakuan permukaan yang menghasilkan kombinasi kekerasan tinggi dan tingkat RA tinggi secara signifikan menghasilkan ketahanan abrasif untuk baja AISI 8620.

## **2.8 Pengaruh Parameter Proses Pack Carburizing Terhadap Kekuatan Fatigue Baja Karbon Rendah**

Proses *pack carburizing* juga berpengaruh terhadap sifat mekanik dinamis seperti kekuatan fatigue. Penelitian perilaku perambatan retak lelah baja paduan rendah yang mengalami kasus perlakuan karburasi telah dilakukan (Saini & Gupta, 2012). Komponen dapat beroperasi dengan baik jika bekerja di bawah beban fatigue, kelebihan pembebanan selama masa operasi, mengakibatkan kegagalan kelelahan (fatigue failures).

Penelitian bertujuan untuk menyelidiki perilaku perambatan retak kelelahan (*fatigue crack*) dari baja paduan rendah yang biasa digunakan setelah mengalami proses *carburizing*. Mekanisme perambatan retak diselidiki melalui pengamatan *fractography* pada permukaan yang retak pada spesimen uji kelelahan standar, setelah gagal akibat uji *rotating-bending fatigue test*. Kesimpulannya adalah tegangan tekan sisa (*compressive residual stress*) diinduksi selama proses karburasi, sebagian besar retak kelelahan (*fatigue crack*) terbentuk mulai dari permukaan. Inisiasi retak diikuti oleh mode *transgranular* perambatan retak stabil untuk semua baja, sementara perilaku perambatan retakan selanjutnya ditemukan bergantung pada kandungan elemen paduan pada baja tertentu. Baja yang mengandung jumlah kromium yang lebih tinggi terlihat menunjukkan kecenderungan yang lebih besar terhadap peretakan *dekomposisi intergranular*.

Ketahanan lelah baja 16MnCr5 yang dikarburasi dipengaruhi oleh pengaruh suhu perlakuan panas *austenizing* dan *tempering* (Sultan, 2013). Spesimen uji kelelahan *rotating-bending* dari steel rod 16MnCr (ASTM 5117), dan diproses *pack carburizing* pada temperatur 900 °C selama waktu *carburizing* 2 jam, kemudian spesimen diberi perlakuan panas *austenizing* pada suhu 900 °C selama satu jam, *diquenching* dengan air, *diaustenizing* lagi (*reaustenizing*) pada suhu 750, 800, dan 900 °C selama satu jam, kemudian *ditempering* pada suhu 200 °C. Spesimen lainnya *ditempering* pada suhu 760 °C, *diquenching* di air dan pada suhu kamar, kemudian di *tempering* pada temperatur 200, 300, dan 400 °C selama satu jam. Spesimen diuji dengan mesin uji kelelahan *Rotating-Bending* dengan variasi beban yang berbeda (200, 250, 300, 350, 400) Mpa. Hasil percobaan menunjukkan bahwa ketahanan lelah spesimen baja dikenai perlakuan panas *austenizing* setelah proses karburasi meningkat, dan panjang retak yang terjadi pada permukaan spesimen mengalami penurunan, dengan peningkatan suhu *austenizing* sampai 800 °C.

Umur kelelahan spesimen baja yang telah dikarburasi dipengaruhi oleh besarnya beban dinamik tarik-tekan. Untuk meningkatkan umur kelelahan biasanya material baja dikenai perlakuan *nitriding*. Teknik lain yang digunakan adalah menggunakan perlakuan panas *plasma carburizing* seperti yang telah dilakukan oleh (Brysejn, 2014). Spesimen dikenai pembebanan tarik tekan dengan rasio R yang berbeda. Kesimpulan yang didapat bahwa penerapan perlakuan panas permukaan *plasma carburizing* dapat menyebabkan peningkatan ketahanan lelah sekitar 25% pada kondisi siklus tinggi (lebih dari 105 siklus).

Pengaruh media karburasi yang berbeda terhadap kekuatan lelah baja paduan karbon rendah sangat penting untuk aplikasi di industri. Secara umum semua uji fatigue rotatin-bending di laboratorium dengan menggunakan tegangan nominal nol. Karburasi dilakukan dengan menggunakan tiga media (padat, gas dan cairan) dengan kondisi temperatur dan waktu yang berbeda dilanjutkan perlakuan panas setelah karburasi seperti *quenching* dalam air dan *tempering*. Karburasi berkontribusi pada peningkatan kekuatan kelelahan dalam proporsi yang berbeda. Tingkat perbaikan tergantung pada kedalaman (ketebalan) lapisan yang mengeras dan pada struktur mikro dari baja yang dikarburasi. Ditemukan bahwa kekuatan kelelahan baja paduan karbon rendah dengan proses *pack carburizing* lebih tinggi daripada perlakuan *carburizing* dengan media gas dan cair pada suhu 925 °C selama 8 jam. (Rijab & Al-mosawi, 2014).

## 2.9 Pengaruh Penggunaan Media *Carburizer* Alternatif Pada Proses *Pack Carburizing*

Proses karburisasi atau *carburizing* adalah salah satu teknik pengerasan permukaan baja yang paling sering digunakan karena dapat memberikan kombinasi sifat mekanik (keras dan ulet) yang unggul. Secara umum, selama proses *carburizing*, logam baja bentuk *mild steel* dengan persentase kandungan C sebesar 0.10 – 0.25% dipanaskan pada suhu tinggi, yaitu pada kisaran suhu (900-1100 °C), didalam media karburisasi atau media *carburizer* yang mengandung unsur karbon. Atom karbon berdifusi kedalam permukaan besi asalkan besi berada dalam bentuk FCC ( $\gamma$ ) di atas suhu (910 °C) dan ditahan pada suhu yang cukup lama untuk menghasilkan lapisan karburasi pada kedalaman yang cukup. Lapisan karburasi yang mengandung unsur karbon selanjutnya dapat dikeraskan dengan pemanasan ulang, pendinginan, dan dengan pendinginan langsung dari suhu karburisasi. Media *carburizer* digunakan berbentuk padat, cair, dan gas, dapat digunakan tergantung pada sifat dan lingkup pekerjaan yang dilakukan. Fungsi media karburisasi adalah untuk melepaskan atom karbon di permukaan benda kerja sehingga, pada suhu karburasi, karbon akan diserap secara interstisial ke dalam baja (Rai, 2016). Contoh media *carburizer* berbentuk padat digunakan, yang biasa digunakan adalah arang kayu. Berdasarkan penelitian (Kuswanto. B., 2010), arang tempurung kelapa juga dapat digunakan sebagai media *carburizer* alternatif. Untuk media *carburizer* pada proses karburasi padat atau *pack carburizing*, arang tempurung kelapa yang digunakan, diproses terlebih dahulu sehingga berubah dalam bentuk serbuk. Pada penelitiannya serbuk arang tempurung kelapa yang digunakan ukurannya dibuat berbeda, yaitu: 0,09; 0,15; 0,212 dan 0,3 mm. Selanjutnya serbuk arang tempurung kelapa



dikombinasikan dengan  $\text{BaCO}_3$  (barium karbonat) sebagai *energizer* atau zat untuk mempercepat reaksi kimia agar segera terbentuk gas  $\text{CO}_2$ . Gas  $\text{CO}_2$  terurai atau berubah menjadi atom C dan menghasilkan gas karbon monoksida atau CO. Atom karbon yang bersumber dari arang tempurung kelapa berubah menjadi wujud gas karbon bila temperaturnya naik.

Ukuran luas permukaan serbuk tempurung kelapa memengaruhi, perubahan karbon padat menjadi wujud gas. Unsur karbon yang terkandung pada arang batok kelapa dengan ukuran luas penampang lebih kecil lebih mudah menjadi wujud gas, suhu yang sama. Kecepatan perubahan karbon padat menjadi wujud gas juga berbeda akibat perubahan ukuran luas penampang butiran serbuk arang tempurung kelapa dan juga menyebabkan perubahan angka kekerasan permukaan benda uji. Penelitian dilakukan pada temperatur  $900^\circ\text{C}$  dan waktu *carburizing* 2 jam. Kesimpulannya tidak berpengaruh secara nyata antara luas permukaan serbuk arang dan angka kekerasan. Angka kekerasan baja ST37 tidak berubah secara signifikan setelah dikarburasi dengan media karburasi arang batok kelapa.

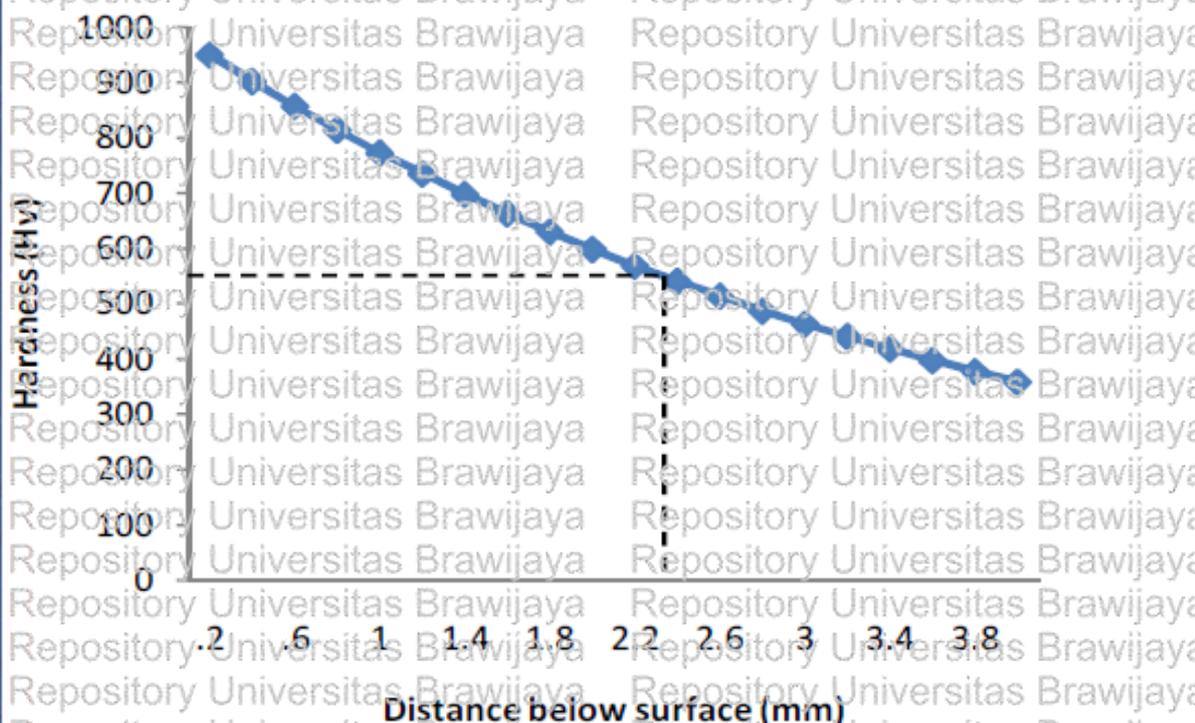
Didalam beberapa kajian penelitian, bermacam-macam bahan dicoba digunakan sebagai campuran media *carburizer*, yang berfungsi sebagai *energizer*. Antara lain pada penelitiannya (Sujita & Sinarep, 2010) menggunakan serbuk tulang sapi dan arang bambu sebagai media *carburizer*. Proses *pack carburizing* dilakukan dengan cara memanaskan material pada kotak *carburizing* yang telah terisi 30 % berat serbuk tulang sapi dan 70 % arang bambu di dalam dapur listrik, sampai suhu  $900^\circ\text{C}$ , ditahan (*holding*) selama 7 jam. Dari hasil penelitiannya didapat kesimpulan bahwa proses *pack carburizing* baja karbon rendah dengan media *carburizer* campuran serbuk arang bambu 70% dan tulang sapi 30% pada suhu  $900^\circ\text{C}$  dengan waktu *carburizing* 7 jam dan pemanasan kembali (*hardening*) pada suhu  $900^\circ\text{C}$  dengan waktu tahan 50 menit, dan proses pendinginan dengan media pendingin air + garam 30% akan menyebabkan difusi karbon sehingga kekerasan permukaan baja meningkat dari kekerasan semula yaitu  $120.08 \text{ kg/mm}^2$  menjadi  $257.80 \text{ kg/mm}^2$ . Tetapi kekuatan *impact* menurun dari  $2.022 \text{ J/mm}^2$  menjadi  $1.626 \text{ J/mm}^2$ .

Selanjutnya (Ithom, 2013) dan (Aramide, 2010) melakukan penelitian teknik perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon dengan menggunakan *energizer* serbuk tulang sapi. Eksperimen dilakukan dengan pemanasan *muffle furnace*, pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 8 jam. Pengujian angka kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan mikro *Vickers*. Hasil kajian menunjukkan bahwa pada



30

komposisi 60% wt% arang / 40% berat serbuk tulang lembu mempunyai hasil yang terbaik. Tebal lapisan difusi karbon pada permukaan spesimen mencapai kedalaman 2.32 mm dan juga didapat angka kekerasan tertinggi



Gambar 2.8 Profil angka kekerasan pada proses pack carburizing dengan 60% wt arang dan 40% wt serbuk tulang sapi. Sumber : Ihom ( 2013, p.101)

Pada Gambar 2.8 ditunjukkan pada proses *pack carburizing mild steel* dengan *energizer* serbuk tulang sapi dengan prosentase berat 40%, didapatkan angka kekerasan 358 HV pada kedalaman 4 mm dan 950 HV pada kedalaman 0,2 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tulang lembu dapat digunakan sebagai *energizer* dalam proses *pack carburizing mild steel*.

Selain arang kayu penggunaan arang bambu layak dipertimbangkan untuk mengurangi penggunaan kayu yang ketersediannya semakin berkurang. Penelitian penggunaan arang bambu sebagai penyedia unsur karbon juga telah dilakukan. *Energizer* yang digunakan berupa serbuk cangkang keong mas. Pemanfaat cangkang keong mas sangat membantu petani, karena hewan ini sering merusak tanaman padi yang masih muda. Selain itu cara membasmi keong mas tanpa bahan pestisida sangat dianjurkan karena tidak mengganggu ekosistem sawah. Berdasarkan penelitiannya (Zainuri & Setyawan, 2011) bahwasannya nilai kekerasan baja karbon rendah meningkat dari 144,08 HVN menjadi 262,26 HVN, pada penambahan 15% serbuk cangkang keong mas pada proses *pack carburizing* pada temperatur 950 °C dengan waktu selama 4 jam.



Pengerasan permukaan akibat difusi karbon kedalam spesimen dapat diketahui dengan pengamatan struktur mikro dan uji komposisi dengan menggunakan SEM.

Penelitian (Oyetunji & Adeosun, 2012) mengevaluasi kesesuaian penggunaan tempurung kelapa sawit, tulang binatang (tulang mamalia dari ternak) dan cangkang kerang laut sebagai media *carburizer* untuk pengerasan permukaan baja ringan dengan kandungan C 0,078%. Sampel baja ringan yang digunakan dalam penelitian berasal dari perusahaan baja universal, Ikeja Lagos Nigeria dipotong sesuai standart pengujian untuk uji tarik dan kekerasan. Media karburasi yang digunakan digiling menjadi bubuk halus dan ditambahkan ( $BaCO_3$ ) sebagai *energizer* dalam proses karburasi. Kotak *carburizing* terbuat dari pelat baja stainless persegi untuk menampung masing-masing sampel pada saat proses *pack carburizing*. Prosentase berat  $BaCO_3$  yang digunakan 20% ditambahkan kedalam ke dalam masing-masing kotak *carburizing*. Proses *pack carburizing* dilakukan dengan variasi suhu antara  $700 - 1.100^{\circ}C$  sedangkan waktu *carburizing* bervariasi antara 1-5 jam. Kotak dan isinya dibiarkan mendingin sampai suhu kamar di tungku setelah karburasi. Semua sampel dipanaskan sampai  $850^{\circ}C$  selama 30 menit pada suhu dan diquenching. Ini untuk meningkatkan kekerasan kasus ini. Sampel yang ditempering pada suhu  $350^{\circ}C$  selama 2 jam untuk mengurangi tegangan akibat proses *quenching*. Selanjutnya dilakukan Uji kekerasan, uji kekuatan tarik dan analisis kimia pada sampel.

Berdasarkan pengamatan bahwa nilai kekerasan sampel yang tidak ditempering lebih tinggi daripada yang ditempering, pada variasi suhu *carburizing* 700, 800, dan  $900^{\circ}C$ . Di sisi lain, kekuatan tarik sampel yang ditempering lebih tinggi dibandingkan sampel tidak ditempering pada variasi suhu *carburizing* yang sama. Hasil dari analisis karbon menunjukkan bahwa tempurung kelapa sawit dan tulang binatang berpotensi atau cocok untuk digunakan sebagai media karburasi daripada cangkang laut pada suhu tinggi (di atas  $1.000^{\circ}C$ ) dengan *holding time* di atas 1 jam.

Penelitian *pack carburizing* dengan spesimen baja karbon, kandungan karbon di bawah 0,3%, telah dilakukan oleh (Jatmiko, 2013). Media *carburizer* yang digunakan berupa serbuk arang kayu sengon. Penggunaan serbuk arang kayu sengon dengan ukuran diameter serbuk yang sangat kecil, berpengaruh pada transformasi unsur C padat dari arang menjadi C gas. Akibatnya difusi berlangsung lebih cepat akibatnya lapisan karburasi yang dihasilkan perentase kandungan karbonnya tinggi dan bersifat keras. r Proses *pack carburizing* dilaiukam pada temperatu  $900^{\circ}C$ , variasi waktu karburasi 2 jam dan 4 jam dilanjutkan pendinginann dengan media udara. Hasil peelitian, angka kekerasan permukaan berubah dari 247 VHN menjadi 250 VHN (waktu *carburizing*

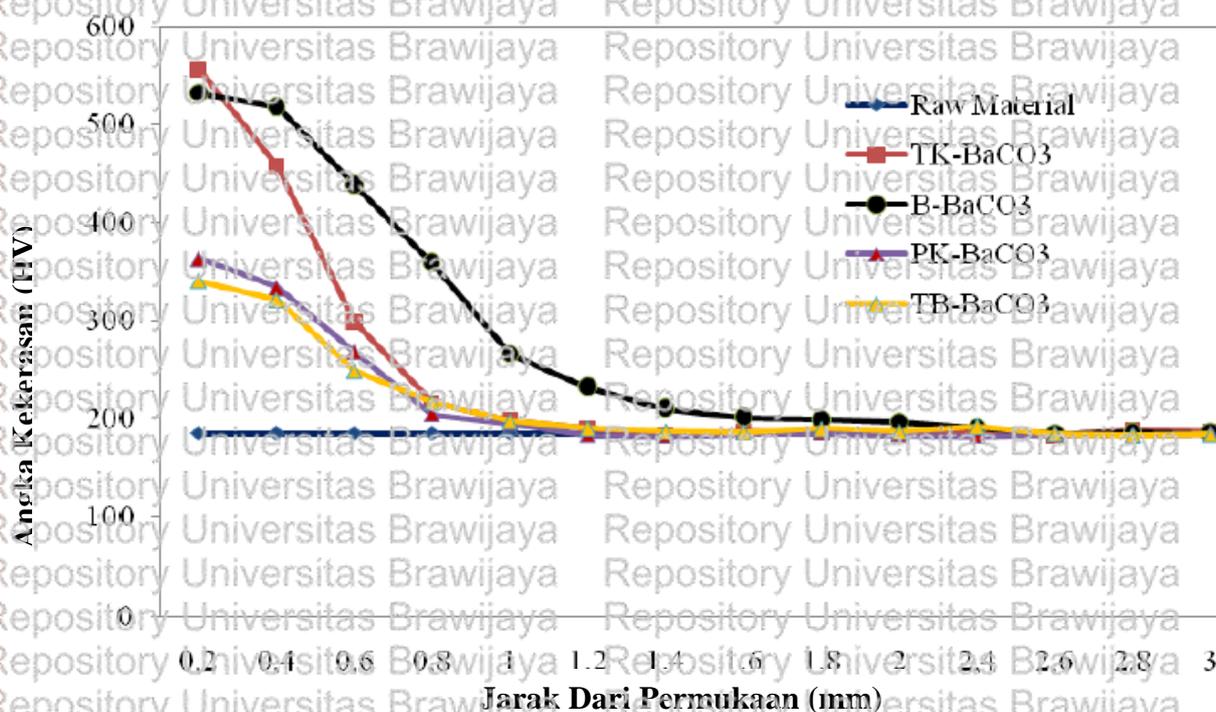
120 menit) dan 260 VHN ( waktu *carburizing* 240 menit). Kesimpulannya parameter karburasi yaitu waktu *carburizing* mempengaruhi angka kekerasan permukaan benda uji. Penyusupan unsur C akibat *difusi* pada baja dengan waktu karburasi 240 menit lebih dalam dibandingkan dengan waktu karburasi 120 menit, yaitu sekitar 480  $\mu\text{m}$  (waktu karburasi 240 menit) dan sekitar 310  $\mu\text{m}$  (waktu karburasi 120 menit). Berdasarkan hasil pengamatan dapat disimpulkan bahwa semakin besar waktu *carburizing* pada proses *pack carburizing*, maka akan semakin tebal lapisan karburasi dengan persentase kadar C tinggi sehingga angka kekerasan permukaannya meningkat. Berdasarkan penelitiannya, dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain proses karburasi padat dapat menghasilkan lapisan karbida pada sampel SS316. Selain lapisan karbida, lapisan oksida juga dapat terbentuk selama proses karburasi, oleh karena itu dibutuhkan proses isolasi sampel yang lebih baik. Variasi dari kedalaman lapisan karbida dan oksida yang terbentuk bergantung pada waktu dan temperatur karburasi, sesuai dengan teori difusifitas. Kedalaman difusi yang terjadi pada penelitian ini berkisar antara 100-300,5  $\mu\text{m}$ , dengan penambahan nilai kekerasan sekitar 34-60 HV.

Lilin parafin (yang tidak mengandung belerang dan Fosfor) dan minyak tanah juga bisa digunakan sebagai bahan media *carburizing* pada proses *liquid carburizing* baja karbon rendah (*Steel20*, *Steel3*, dan *Steel 20x*), (Ahmad, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan karburasi dengan media lilin lebih tebal daripada media minyak tanah untuk ketiga jenis baja tersebut, mis. untuk baja 20x kedalamannya adalah (masing-masing 1,336 0,001 dan 0,98 0,15 mm), dengan media lilin lapisan karburasi lebih homogen dibandingkan dengan minyak tanah, angka kekerasan lapisan karburasi lebih tinggi dengan media lilin daripada minyak tanah, untuk baja 20x (masing-masing 61,5 dan 59,5 *Rockwell*), lapisan karburasi dengan lilin mengandung 0,017% sulfur dan 0,98% karbon sedangkan dengan media minyak tanah 0,022% sulfur dan 0,93% karbon, tidak ada residu bahan lumpur yang tertinggal di permukaan baja yang dikarburasi seperti pada penggunaan media minyak tanah, dalam kondisi yang sama (suhu, tekanan, dan volume) media lilin memerlukan waktu yang lebih singkat daripada minyak tanah untuk mendapatkan kedalaman lapisan karburasi yang sama. Penggunaan lilin/*wax* lebih hemat daripada minyak tanah sebagai bahan berbahaya karena beracun dan mudah terbakar. Tidak ada efek korosi pada tungku dan alat pemanasnya jika menggunakan lilin dibandingkan dengan minyak tanah, minyak tanah mengandung sulfur 0,2%).

Arang yang dibuat dari pohon tumbuhan berkayu dan srbuk tulang hewan mempunyai kadar kandungan C yang berbeda-beda. Demikian pula jika diaplikasikan



sebagai media karburasi akan memberikan kualitas lapisan karburasi yang bervariasi. Seperti pada penelitian (Ngakan & Putra, 2016), pengaruh variasi sumber media karburasi terhadap kedalaman lapisan karburasi plat baja. Sumber media karburasi yang dijadikan sebagai obyek penelitian adalah: tulang bebek, kambing, arang pohon bambu dan dahan kelapa. Kesemuanya diarsir kemudian masing-masing dicampur dengan katalis barium karbonat dengan komposisi 20% : 80%. Parameter karburasi suhu 900 °C, waktu 180 menit, kemudian proses pendinginan dilakukan dengan mencelupkan ke air. Variabel yang diamati, terukur berupa angka kekerasan skala Vickers dan kedalaman lapisan karburasi (*total case depth*). Hasil kekerasan permukaan yang dihasilkan dengan urutan paling besar, secara berurutan adalah sebagai berikut : 556 HV, 532 HV, 363 HV, dan 340 HV. Masing-masing untuk sumber arang dari : tulang kambing, pohon bambu, dahan kelapa dan . tulang bebek (340,41 HV).



Gambar 2.9 Distribusi angka kekerasan permukaan yang dikarburasi dengan variasi media karburasi

Sumber: Ngakan & Putra (2016, p.8)



Ditinjau dari segi kedalaman tingkat kekerasan, seperti Tabel 2.1, tingkat kedalaman maksimal adalah 2.6 mm. Dihasilkan dari sumber media karburasi pohon bambu. Kemudian secara berurutan 1.4, 1.2 dan 1 mm, masing masing untuk media tulang kambing, tulang bebek, dan dahan kelapa, kesemanya dalam bentuk serbuk karbon.

Tabel 2.1

*Angka kekerasan permukaan dan kealaman kekerasan specimen yang dikarburasi*

Carburizer	Kekerasan permukaan [HV]	Total case depth [mm]
TK-BaCO <sub>3</sub>	556,37	1,4
B-BaCO <sub>3</sub>	532,01	2,6
PK-BaCO <sub>3</sub>	363,41	1,0
TB-BaCO <sub>3</sub>	340,41	1,2

Sumber : Ngakan & Putra (2016, p.9)

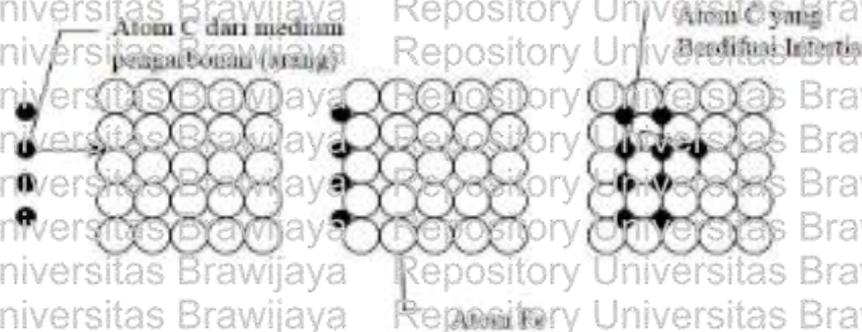


## BAB. III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Pemikiran Teoritis

Berdasarkan hasil penelitian diatas faktor yang mempengaruhi tebal lapisan karburasi adalah konsentrasi kandungan karbon dalam lingkungan yang menyerankan karbon, suhu, waktu karburasi dan *energizer* yang mempengaruhi kecepatan difusi. Proses karburasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu : proses karburasi padat, karburasi cair, dan karburasi gas. Mekanisme karburasi padat (*pack carburizing*) penyusupan atom karbon pada permukaan baja terjadi karena difusi *interitisi*. Pada mekanisme difusi *interitisi* atom karbon menyusup ke atom besi karena ada rongga diantara atom besi yang ditempati atom karbon yang mempunyai jari jari atom lebih kecil.

Gambar 3.1 adalah mekanisme difusi *interitisi*.



Gambar 3.1 Mekanisme difusi *interitisi* atom karbon pada besi

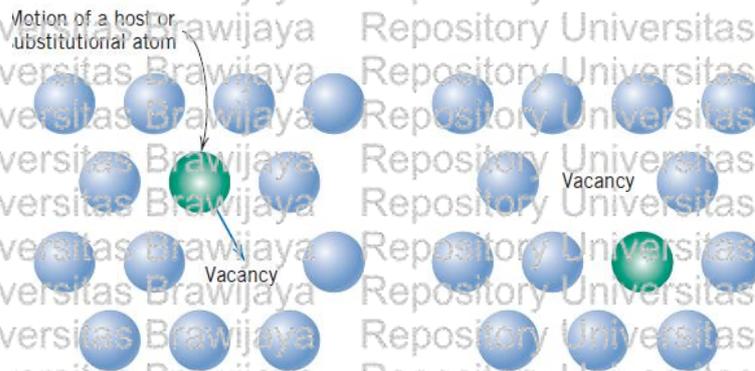
Mekanisme proses karburasi menurut (Oyetunji, 2012) yaitu proses pembebasan elemen difusi menjadi atom bermuatan listrik (ion), yang terjadi pada medium eksternal.

Tahap kedua terjadinya kontak antara elemen difusi dengan permukaan matrik (material yang di karburasi) sehingga elemen difusi menempati ruang kosong permukaan matrik...

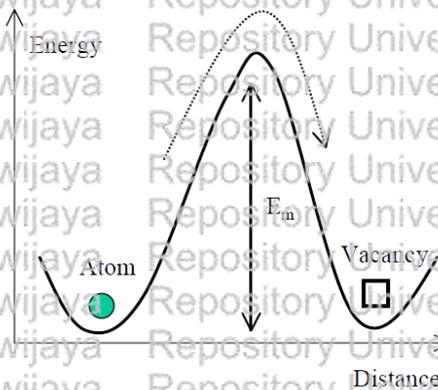
Tahap ketiga penyusupan zat terdifusi menuju inti, terjadi setelah permukaan matrik penuh dengan elemen difusi. Selanjutnya kecepatan penetrasi elemen difusi menuju inti di pengaruhi oleh *energizer* yang biasanya dicampur pada media *carburiizer*.

*Pack Carburizing* adalah proses karburasi dengan perantara zat padat yang dilakukan pada range suhu  $850^{\circ}\text{C} - 950^{\circ}\text{C}$ . Tujuannya untuk meningkatkan kadar kandungan karbon pada permukaan logam, kandungan karbon bagian intinya tetap, akibatnya angka kekerasan permukaan meningkat. Pada karburasi padat karbon berasal dari media karburasi. Pada suhu karburasi karbon padat media karburasi berubah menjadi gas sehingga difusi karbon ke permukaan baja berlangsung lebih mudah.

Secara umum difusi adalah berpindanya zat atau materi melalui zat lain, yang berkonsentrasi lebih tinggi ke bagian yang berkonsentrasi lebih rendah. Difusi bisa terjadi jika terdapat disebut gradien konsentrasi yaitu perbedaan konsentrasi antara dua larutan. Difusi terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan, transfer materi yang mengalami difusi sudah berhenti, suda terjadi kejenuhan. Proses difusi bisa terjadi antar zat yang jenisnya sama, dan juga pada materi yang berbeda. Yang biasa disebut dengan *self diffusion* dan *inter diffusion*. Berdasarkan mekanisme teerjadinya difusi, difusi dibedakan menjadi dua macam. Difusi kekosongan (*vacancy diffusion*), terjadinya gerakan atom disebabkan adanya tempat kosong diantara atom, sehingga bisa ditempati atom lain. Yang kedua difusi intersisi perubahan posisi atom didalam rongga atom, gerakan atom meloncat dari satu lokasi ke lokasi intersisi atom tetangga. Mekanisme difusi *intertisi* terlihat seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mekanisme difusi *vacancy*



Gambar 3.3 Energi atom pada mekanisme difusi *vacancy*



Pada Gambar 3.3 ditunjukkan bahwa kemampuan difusi setiap atom berubah. Penyebabnya adalah naiknya temperatur menyebabkan energi atom bertambah sehingga atom lebih aktif bergerak menyusup ke ruang antar atom tujuan difusi. Temperatur dan waktu merupakan parameter difusi utama yang dapat mempengaruhi kadar zat terdifusi, dan kedalaman materi difusi. Besarnya kedalaman materi yang mengalami difusi (karbon dalam proses karburasi) dirumuskan dengan persamaan (3.1)

$$x = 2\sqrt{D \cdot t} \quad (3.1)$$

Koefisien difusi (D) merupakan fungsi suhu, besarnya dapat ditentukan dengan persamaan (3.2)

$$D = D_0 \cdot e^{\left(-\frac{Q}{RT}\right)} \quad (3.2)$$

Keterangan:

D : Koefisien *difusi* ( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$D_0$  : Koefisien *difusi* awal ( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

t : Lamanya perlakuan permukaan (s)

Q : Energi untuk 1 *difusi* ( $\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

R : Tetapan gas ( $1,987 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

T : Suhu ( $\text{K}^0$ )

Tabel 3.1  
Konstanta difusi karbon

Element Difusi	Tujuan Difusi	$D_0$ ( $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )	$Q$ ( $\text{cal}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
Karbon	$\alpha$ - besi	0,0079	18.100
Karbon	$\gamma$ - besi	0,210	33.800
Nikel	$\gamma$ - besi	0,500	66.000
Mangan	$\gamma$ - besi	0,350	67.000
Chrom	$\alpha$ - besi	30,000	82.000
Chrom	$\gamma$ - besi	18,000	97.000

Sumber : Karl & Erik Thelning, (2015, p.25)

### 3.2 Hipotesa

- Apakah komposisi media *carburizer* dan perubahan parameter (suhu dan lamanya karburasi) pada perlakuan *pack carburizing* dan *pack decarburizing* mempengaruhi difusi atom C pada ruang antar atom Fe ?

Terjadinya difusi karbon sewaktu proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing* ditunjukkan dengan adanya perubahan angka kekerasan, lapisan karburansi, kandungan karbon dan struktur mikro pada permukaan spesimen. Perubahan angka kekerasan, lapisan karburasi, kandungan karbon dan struktur mikro pada permukaan spesimen dipengaruhi oleh suhu, waktu karburasi, komposisi sumber karbon dan *energizer* pada media *carburizer*.



## BAB IV. METODA PENELITIAN

### 4.1 Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian dengan metode eksperimental telah dilakukan di beberapa tempat yaitu: Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Mataram, Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Laboratorium Mineral dan Material Maju (Sentral) Universitas Negeri Malang dan Laboratorium Sentra Ilmu Hayati FMIPA Universitas Brawijaya.

### 4.2 Variabel Penelitian

Desain/rancangan penelitian adalah rancangan acak lengkap, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat perbedaan perlakuan yang dikenakan pada specimen, dengan cara memanipulasi satu atau lebih variabel dan melihat perubahan pada variabel lain. Adapun variabel penelitian adalah sebagai berikut

Variable independent (yang diubah-ubah/bebas) :

- Suhu karburasi (T), waktu karburasi (t) dan prosentase penambahan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara (SCKM) (P) pada media *carburizer*.

Variabel dependent (yang terikat/diamati) :

- Angka kekerasan, tebal lapisan karbon, kandungan karbon

### 4.3 Peralatan dan Bahan Penelitian

#### 4.3.1 Peralatan penelitian

- Dapur Listrik, kotak carburizing
- *Scanning Electron Microscop (SEM-EDX)*, XRD
- *Micro Hardness Tester*
- Timbangan *digital*, kertas gosok, penjepit, *screening*, kamera *digital*



Gambar 4.1 Dapur Listrik Merk OPENBAU HOFFMAN, E/90 dan Kotak Carburizing. Sumber: (Lab.Metalurgi Teknik Mesin Unram, 2017)



Gambar 4.2. *Micro Hardness Tester*, FUTURE-TECH CORP, FM-310 Series  
Sumber: (Lab.Metalurgi Teknik Mesin Unram, 2017)



a



b

Gambar 4.3 a. SEM-EDX Merk FEI, Type: Inspect-S50. b. XRD Merk Panalytical  
(Sumber: Lab.Sentral MIFA UNM, 2011)

#### 4.3.2 Bahan penelitian

Bahan penelitian yang digunakan berupa

- Baja karbon rendah Serie SS400 /JIS G3101/ASTM A3 dan baja karbon tinggi AISI 420
- Serbuk Cangkang Kerang mutiara
- Serbuk Arang Tongkol Jagung

Material untuk specimen berupa baja structural SS400 dikategorikan jenis baja karbon rendah. Sesuai standart JIS G3101 atau standart ASTM A36. Berdasarkan spesifikasi bahan dari PT.Tira Austenit Surabaya, komposisinya adalah : 98.34 % Fe, 0.17 % C,



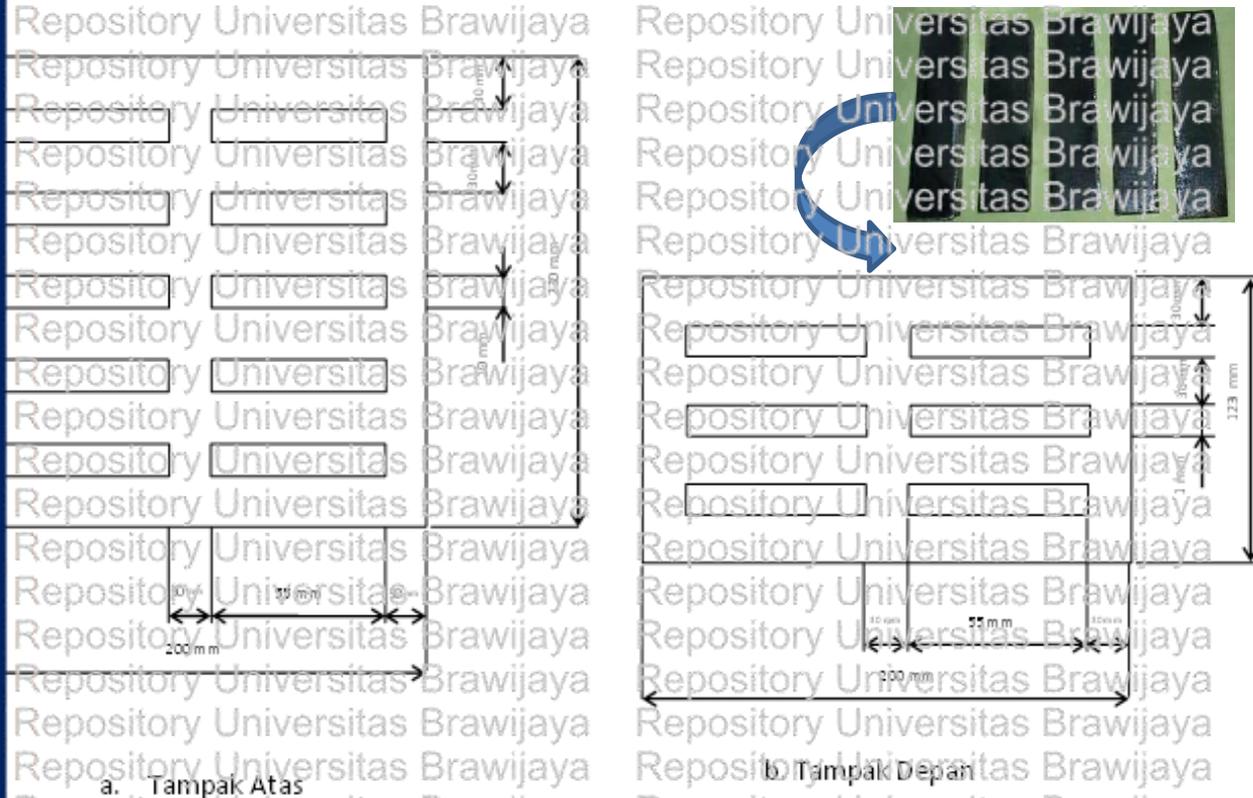
1.4% Mn, 0.045% P dan 0.045% S. Selanjutnya komposisi kimia baja karbon tinggi AISI 420 adalah : 0.72 - 0.85 % C, 0.17 - 0.37 % Si, 0.5 - 0.8 % Mn, max 0.03 % P, max 0.03 % S,  $\leq 0.25$  % Cr, 0.1 % Mo,  $\leq 0.3$  % Ni dan  $\leq 0.25$  % Cu.

Tabel 4.1  
Sifat-Sifat Mekanik Material

No	Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation min (%)
1	SS400/G3101.	235 - 245	400 - 510	17 - 21
2	AISI 420	345 - 680	655 - 895	12 - 15

Sumber : PT.Tira Austenit Surabaya

Spesimen dengan ukuran tebal 3 mm, panjang 55 mm lebar 10 mm dimasukkan ke kotak *carburizing* dibuat dari *mild steel* 5 mm, dimensi 230 x lebar 200 x 150 (p x l x t) dengan satuan mm. Semua spesimen tersebut dimasukkan kedalam kotak *carburizing* disusun seperti Gambar 4.4 dengan jarak antar spesimen 30 mm.



a. Tampak Atas

b. Tampak Depan

Gambar 4.4 Dimensi dan posisi spesimen pada kotak karburasi



#### 4.4 Prosedur Penelitian

##### a. Tahap Persiapan

- Persiapan bahan, pembuatan dan penandaan spesimen
- Persiapan media *carburizing*, meliputi pembuatan arang, serbuk, *screening* dengan ukuran 100 mesh (0.15 mm), penimbangan media karburasi dengan variasi prosentase berat yang telah ditentukan..
- Penyusunan spesimen pada kotak *carburizing* seperti Gambar 3.4.

##### b. Proses *Pack Carburizing*

Proses *pack carburizing*, kotak *carburizing* yang terisi, spesimen dan media *carburizer* dipanaskan di dapur listrik dengan variasi suhu *pack carburizing* (875 °C dan 900 °C), waktu *carburizing* ( 1 jam, 2 jam, 3 jam), dan komposisi media *carburizer* (10%, 20%, 30%) serbuk cangkang kerang mutiara dan (90%, 80%, 70%) arang tongkol jagung.

##### c. *Pack Decarburizing*

Untuk proses *pack decarburizing*, variasi suhunya adalah (800 °C dan 900 °C), variasi waktu (1jam, 2 jam dan 3 jam) dan komposisi media *carburizer* (10%, 20%, 30%) serbuk cangkang kerang mutiara dan (90%, 80%, 70%) arang tongkol jagung. Perbedaannya ditambahkan gas O<sub>2</sub> untuk mempercepat terbentuknya gas CO<sub>2</sub>.

##### d. Tahap Pengujian.

Percobaan dilakukan seperti diaganr alir Gambar 4.5, di beberapa laboratorium, di Universitas Brawijaya, Universitas Negeri Malang dan Universitas Mataram dengan uraian sebagai berikut :

- Semua specimen dikarburasi (*pack carburizing* dan *pack decarburizing*) sesuai parameter yang telah ditentukan.
- Pengujian angka kekerasan dengan metode *Vickers*
- Pengukuran ketebalan lapisan difusi carbon dengan mikroskop dari alat uji *micro hardness tester*.
- Pengujian komposisi dengan *Scanning Electron Microscopes-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*
- Pengujian karakteristik material dengan Uji XRD
- Dokumentasi dengan kamera digital



### e. Analisa Data pengujian

Dari hasil pengukuran didapatkan besarnya angka kekerasan, tebal lapisan karburasi (tebal lapisan karbon), kandungan karbon dan perubahan struktur mikro yang terbentuk setelah dilakukan proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing*. Dari data-data yang ada, kemudian diplot dalam bentuk grafik untuk tiap kondisi variasi variabel penelitian. Kemudian dilakukan analisa perubahan besarnya angka kekerasan perubahan struktur mikro, kedalaman lapisan karbon dan perubahan komposisi unsur karbon akibat perubahan parameter proses *pack carburizing*.

### 3.5 Rancangan Penelitian

Specimen baja karbon rendah SS400 dikenai perlakuan *pack carburizing* dan pecimen baja karbon tinggi AISI420 dikenai perlakuan *pack decarburizing* dengan desain penelitian faktorial, yang merupakan variasi suhu (T) dan waktu (t) *carburizing* sebagai berikut: T1t1, T1t2, T1t3, T2t1, T2t2, T2t3. Kemudian hasil penelitian ditabelkan seperti

Tabel 3.2 sampai Tabel 3.5.

Tabel 4.2

*Hasil Pengukuran Diagonal Pengujian Kekerasa Vickers*

No	Jarak Titik Pengukuran ( $\mu\text{m}$ )	Diagonal Rata Rata ( $\mu\text{m}$ )		
		P1 (%)	P2 (%)	P3(%)
1	0			
2	100			
3	200			
13	1200			

Tabel 4.3

*Angka Kekerasan Spesimen*

No	Waktu Karburasi (Jam)	Angka Kekerasan Vickers ( $\text{Kg/mm}^2$ )		
		P1 (%)	P2 (%)	P3(%)
1	1			



44

No	Waktu Karburasi (Jam)	Tebal Lapisan Karbon (µm)
2	2	
3	3	

Tabel 4.4.

*Tebal Lapisan Karbon Spesimen*

No	Waktu Karburasi (Jam)	Tebal Lapisan Karbon (µm)		
		P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)
1	1			
2	2			
3	3			

Tabel 4.5.

*Kandungan Karbon*

No	Waktu Karburasi (Jam)	Kandungan Karbon (%)		
		P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)
1	1			
2	2			
3	3			

Keterangan,

T : Suhu *Pack Carburiizing*, T1 = 875<sup>0</sup>C, T2 = 900<sup>0</sup>C,Suhu *Pack Decarburizing*, T1 = 800<sup>0</sup>C, T2 = 900<sup>0</sup>C

t : Waktu Karburasi, t1 = 1 jam, t2 = 2 jam, t3 = 3 jam

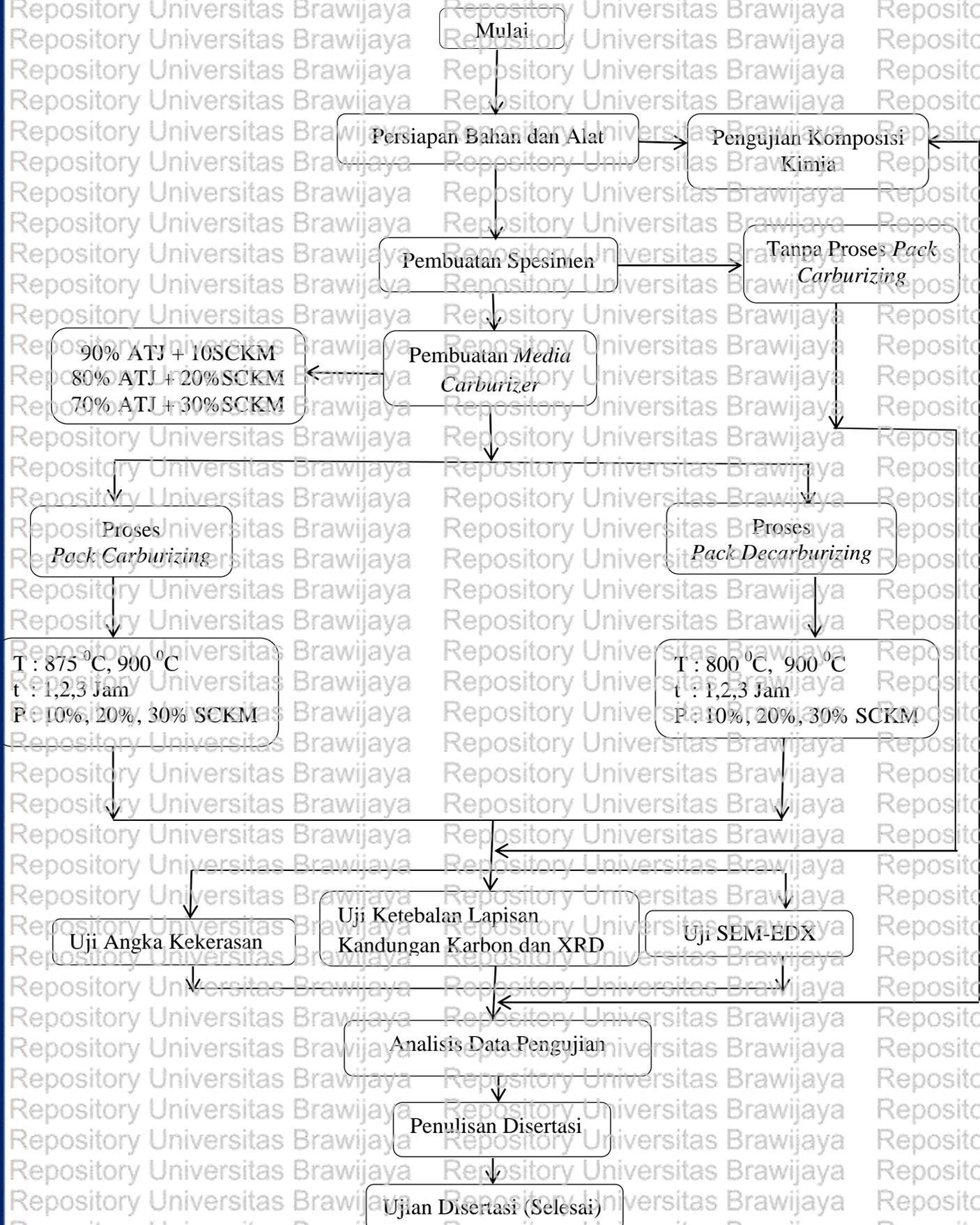
P : Prosentase Serbuk Cangkang Kerang Mutiara (SCKM),

P1 = 10%, P2 = 20%, P3 = 30%.



#### 4.6. Diagram Alir Penelitian

Secara umum kegiatan penelitian terlihat seperti diagram alir Gambar



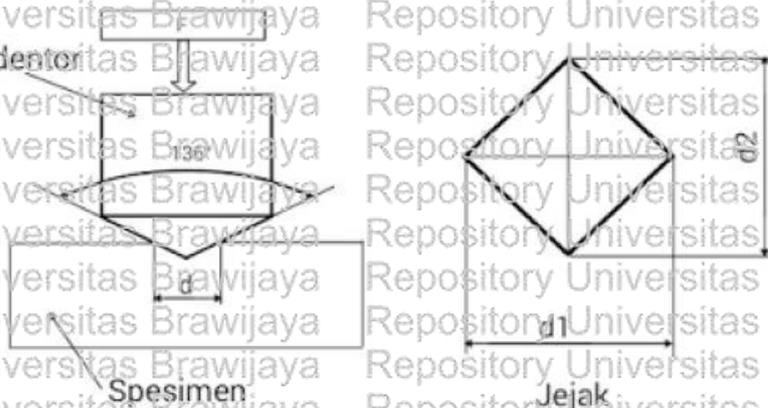
Gambar 4.5 Diagram Alir Penelitian



## BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Perhitungan Angka Kekerasan Permukaan Lapisan Karburasi

Metode untuk mengetahui terjadinya proses difusi karbon pada permukaan spesimen yang mengalami proses *pack carburizing* dengan cara pengujian angka kekerasan permukaan material benda uji. Metode pengujian angka kekerasan permukaan yang dipakai pada penelitian ini menggunakan metode *Micro Vickers*. Pengujian angka kekerasan dilakukan dengan memberi gaya tekan pada spesimen dengan *indenter*. *Indenter* yang digunakan berbentuk piramida, alas berbentuk segi empat, besar sudut permukaan yang berhadapan  $136^\circ$  dan terbuat dari intan. Hasil penekanan dengan *indenter* berupa jejak atau lekukan di permukaan spesimen.



Gambar 5.1 Penekanan indenter pada permukaan spesimen

Setelah pengujian dilakukan pengukuran diagonal rata-rata jejak/bekas penekanan *indenter* dengan mikroskop. Tujuannya untuk mendapatkan nilai angka kekerasan permukaan spesimen. Angka kekerasan Vickers dihitung dengan cara membagi besar beban atau gaya tekan yang digunakan dengan luas permukaan jejak *indenter* dengan menggunakan rumus (5.1).

$$HV = \frac{\{2.Gt.\sin(\alpha/2)\}}{d^2} = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2} \dots \dots \dots (5.1)$$

Keterangan : Gt : Beban tekan (Kg)

d : Rerata diameter jejak *indenter* (mm)

$\alpha$  : Sudut permukaan *indenter*  $136^\circ$

Standart uji angka kekerasan permukaan standart ASTM E 384, range gaya tekan (10Kg – 30 Kg). Gaya tekan *indenter* pada penelitian yang telah dilakukan 10 Kg.

Pengujian angka kekerasan *Vickers*, hasilnya tidak dipengaruhi oleh gaya tekan (seperti



pengujian metode *Brinell*), meskipun menggunakan beban indenter yang lebih besar angka kekerasannya dihasilkan tidak berubah. Kelebihannya, pengujian dengan metode ini dapat digunakan mendeteksi sembarang tingkatan kekerasan tanpa mengubah beban *indenter*.

Tujuan percobaan kekerasan *Vickers* untuk mengetahui angka kekerasan permukaan spesimen yang mengalami proses *pack carburizing*, *pack decarburizing* dan benda uji tanpa perlakuan. Dalam penelitian ini setiap spesimen diuji pada 13 titik, dengan pengulangan 3 kali pada setiap titik, jarak antar titik 100  $\mu\text{m}$ , jadi pengujian dilakukan sampai ketebalan 1200  $\mu\text{m}$  dari permukaan, seperti terlihat pada Gambar 5.2.



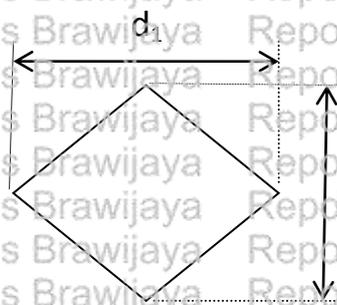
Gambar 5.2 Spesimen Uji Kekerasan

Keterangan :

● = Titik pijakan proses pengujian kekerasan metode *vickers* jumlah titik 13

Jarak antar titik = 100  $\mu\text{m}$

Setelah dilakukan pengujian kekerasan kemudian ditentukan diagonal rata-rata dengan menjumlahkan diagonal 1 dan diagonal 2, untuk mengetahui nilai kekerasan *vickers*. Hasil pijakan dari indenter yang diukur dengan menggunakan mikroskop, seperti terlihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 7.



Gambar 5.3 Diagonal hasil pijakan indenter

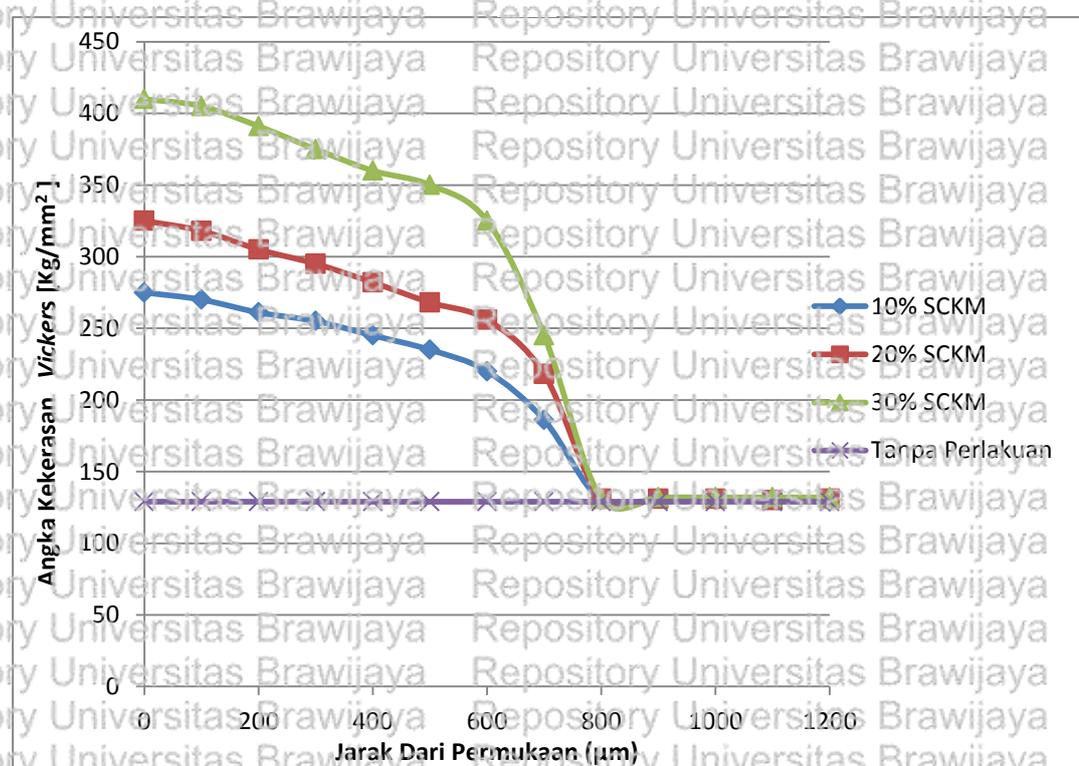
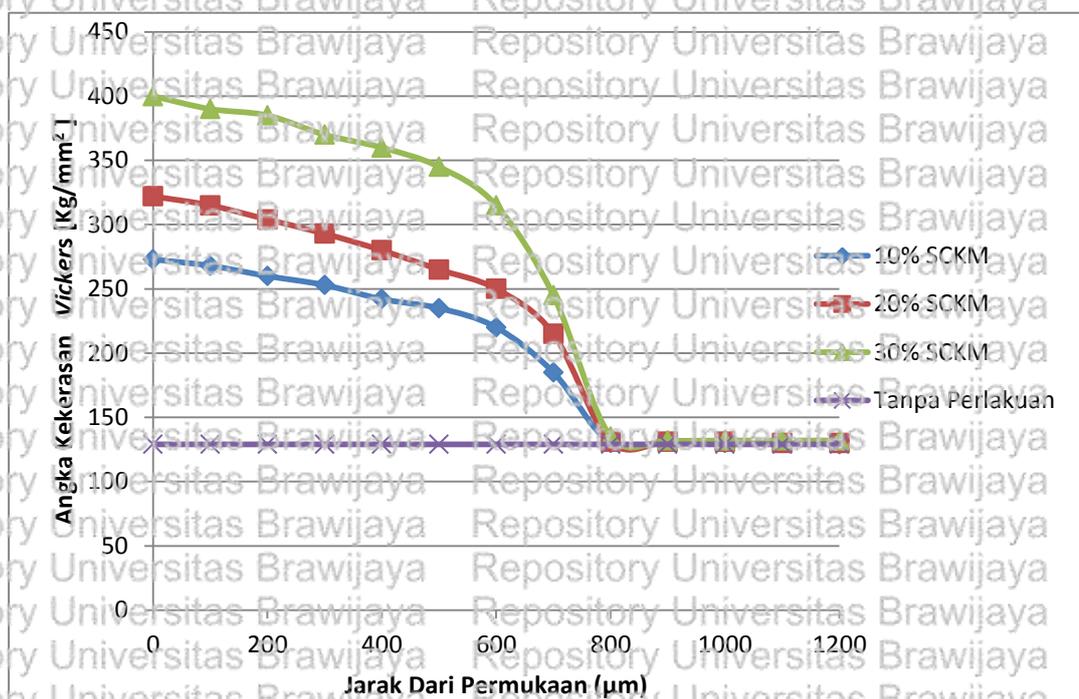
## 5.2. Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara Terhadap Angka Kekerasan Permukaan Lapisan Karburasi

### 5.2.1. Pada Proses *Pack Carburizing*

Agar proses *pack carburizing* menghasilkan kualitas lapisan karburasi yang baik biasanya ditambahkan  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{BaCO}_3$  pada media *carburizer*. Fungsinya, sebagai zat pengaktif karbon (*energizer*) agar unsur karbon lebih cepat terdifusi pada material yang dikarburasi. Pada pengujian ini digunakan serbuk cangkang kerang mutiara (SCKM) sebagai zat pengaktif karbon (*energizer*) ditambahkan pada media sebagai zat pengaktif karbon/katalis (*energizer*) serbuk arang tongkol jagung variasi penambahan 10%, 20%, dan 30% berat dicampur dengan arang tongkol jagung. Adapun hasil pengujian angka kekerasan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran II.

Hasil pengujian kekerasan lapisan karburasi pada suhu  $875^\circ\text{C}$  dan  $900^\circ\text{C}$  dengan variasi waktu *pack carburizing* 1, 2, 3 jam dan variasi penambahan 10%, 20%, 30% SCKM ditampilkan berturut-turut seperti oleh Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6. Angka kekerasan permukaan spesimen tanpa perlakuan *pack carburizing* adalah  $129 \text{ kg/mm}^2$ . Angka kekerasan lapisan permukaan karburasi pada suhu  $875^\circ\text{C}$ , waktu karburasi 1 jam, dengan variasi prosentase penambahan SKCM ditunjukkan pada Gambar 5.4a. Angka kekerasan permukaan lapisan karburasi dengan variasi penambahan 10%, 20%, 30% SCKM, berturut-turut sebesar 273, 322, dan  $400 \text{ kg/mm}^2$ . Terjadi kenaikan angka kekerasan permukaan lapisan karburasi sebesar 112%, 150%, 210%, dibandingkan spesimen tanpa perlakuan.

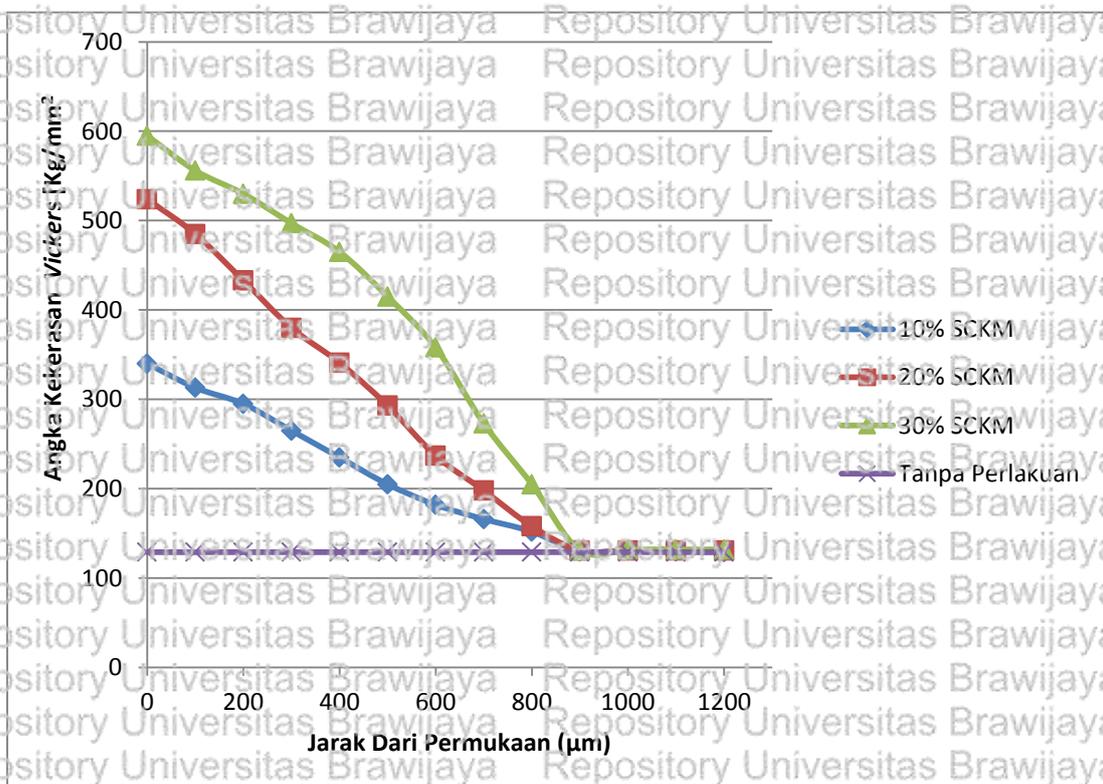
Setelah melalui proses *pack carburizing* pada suhu  $900^\circ\text{C}$  dan waktu 1 jam dengan variasi prosentase penambahan SCKM yang sama dihasilkan angka kekerasan permukaan lapisan karburasi berturut-turut adalah 275, 325, dan  $410 \text{ Kg/mm}^2$ , dengan peningkatan angka kekerasan permukaan lapisan karburasi sebesar 113%, 152%, dan 218%, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4b.



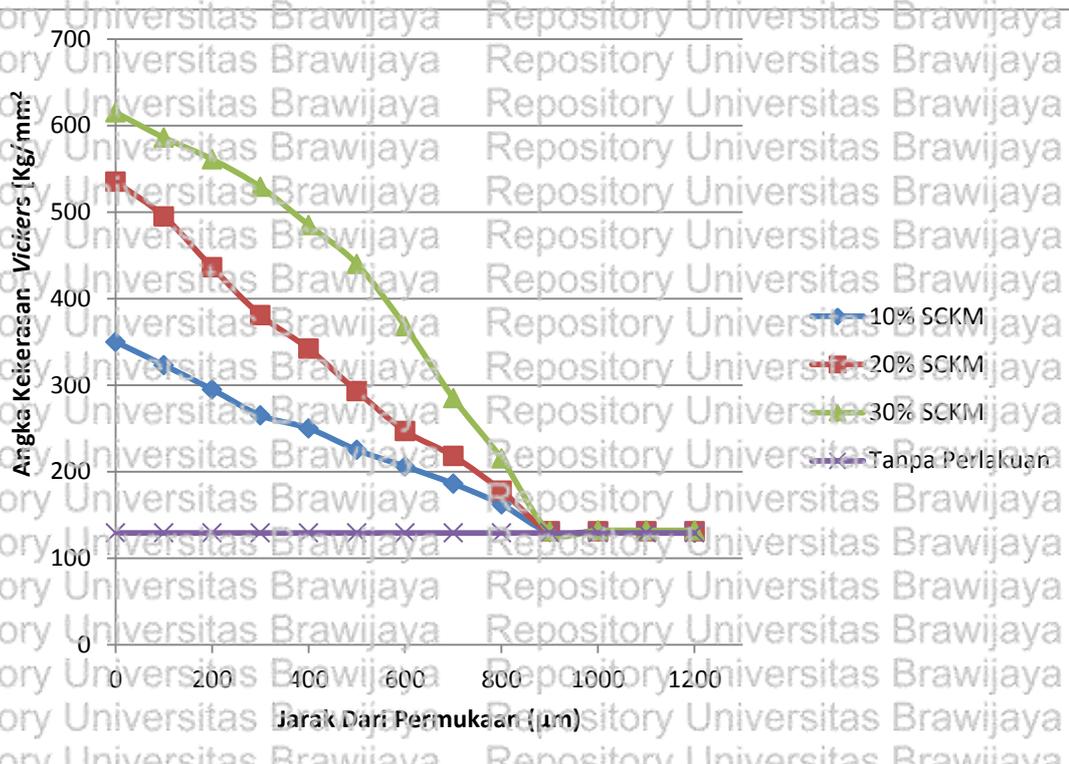
Gambar 5.4 Hasil Pengujian angka kekerasan lapisan karburasi pada waktu *pack carburizing* 1 jam dengan variasi suhu dan prosentase penambahan SCKM. a) Suhu 875 °C. b) Suhu 900 °C

Pada Gambar 5.5a proses karburasi pada suhu  $875^{\circ}\text{C}$  dan waktu 2 jam dengan variasi prosentase penambahan 10%, 20%, 30% SCKM menghasilkan angka kekerasan permukaan tertinggi berturut-turut sebesar 340, 524, dan  $595\text{ Kg/mm}^2$  dan peningkatan kekerasan sebesar 164%, 306%, dan 361% dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan.

Hasil pengujian kekerasan lapisan karburasi pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$  dan waktu *pack carburizing* 2 jam dan variasi prosentase penambahan SCKM yang sama ditunjukkan seperti pada Gambar 5.5b. Angka kekerasan lapisan permukaan tertinggi yang didapatkan berturut-turut sebesar 350, 535,  $615\text{ Kg/mm}^2$  terjadi kenaikan angka kekerasan berturut-turut sebesar 171%, 315%, dan 377 %



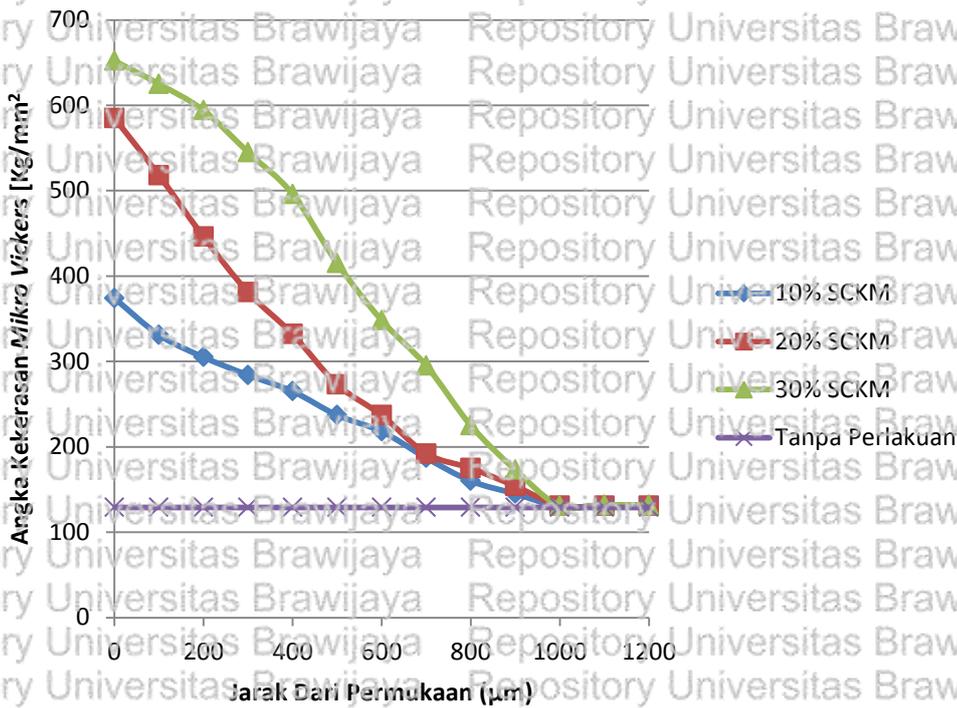
a



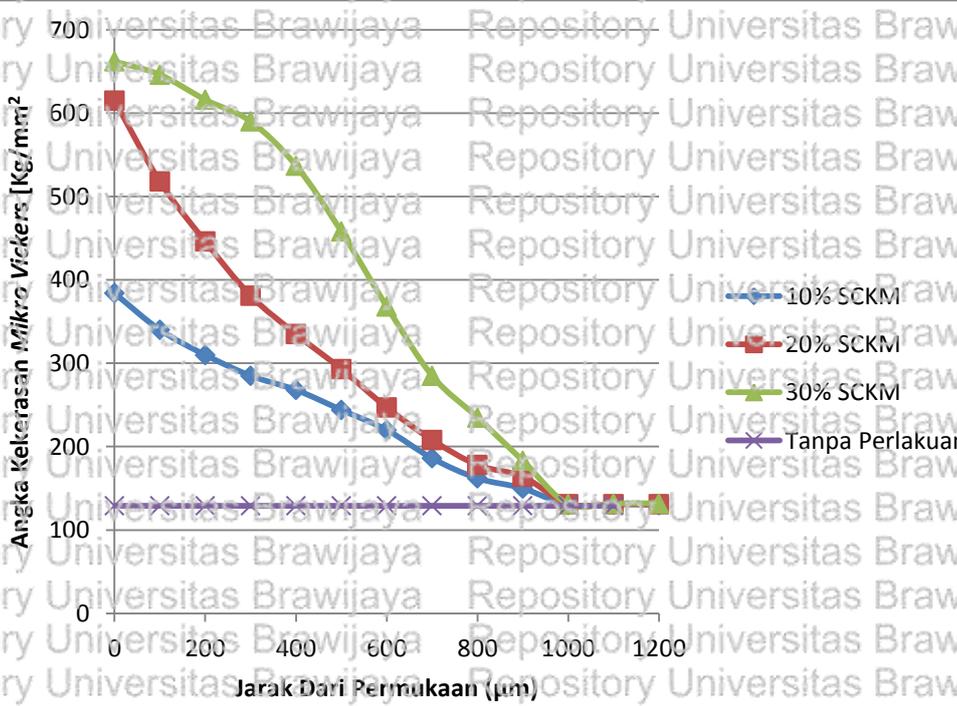
Gambar 5.5 Hasil Pengujian angka kekerasan lapisan karburasi pada waktu *pack carburizing* 2 jam dengan variasi suhu dan prosentase penambahan SCKM. a) Suhu 875 °C. b) Suhu 900 °C

Selanjutnya proses karburasi pada suhu 875 °C dan waktu 3 jam dengan variasi prosentase penambahan 10%, 20%, 30% SCKM diperlihatkan seperti pada Gambar 5.6a. Angka kekerasan permukaan tertinggi yang dihasilkan berturut-turut sebesar 374, 585, dan 652 Kg/mm<sup>2</sup>. Terjadi peningkatan angka kekerasan sebesar 190%, 353%, dan 405% dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan.

Hasil pengujian kekerasan lapisan karburasi pada suhu 900 °C dan waktu *pack carburizing* 3 jam dan variasi prosentase penambahan SCKM yang sama ditunjukkan seperti pada Gambar 5.6b. Angka kekerasan lapisan permukaan tertinggi yang didapatkan berturut-turut sebesar 384, 615, 662, Kg/mm<sup>2</sup> terjadi kenaikan angka kekerasan berturut-turut sebesar 198%, 377%, dan 413%.



a



b

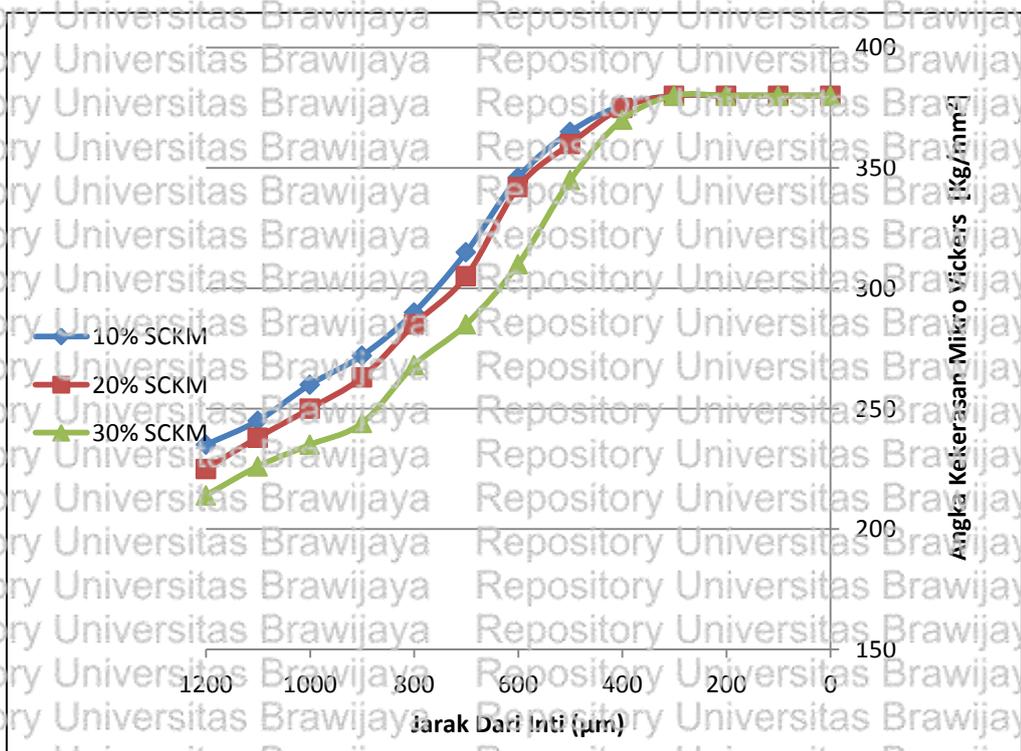
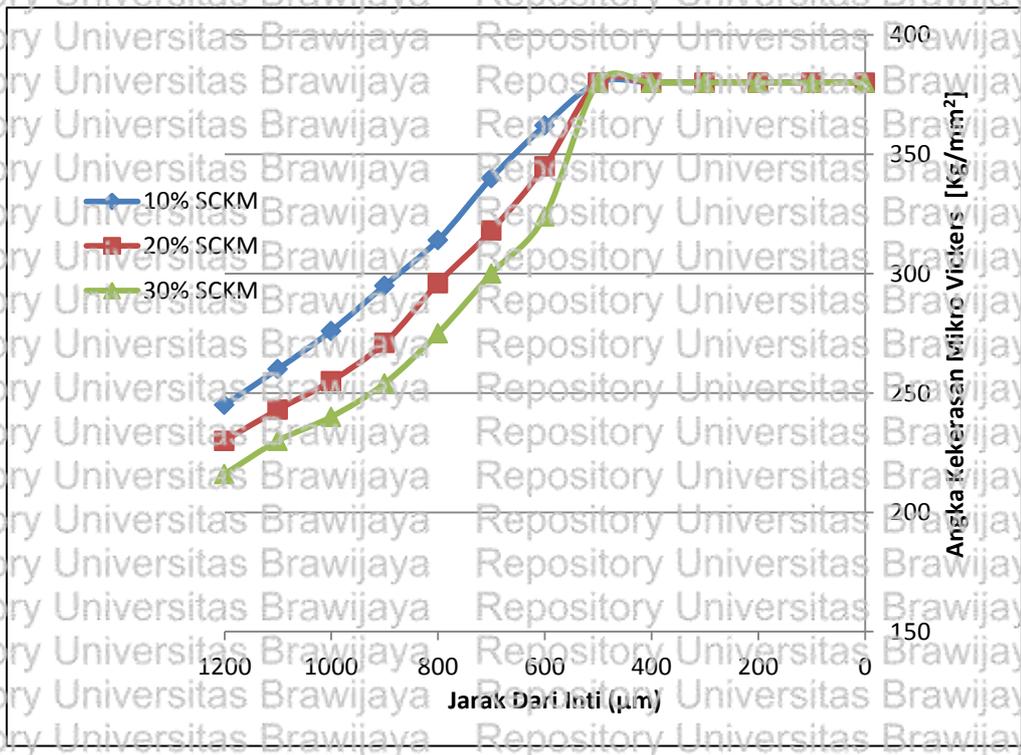
Gambar 5.6 Hasil Pengujian angka kekerasan lapisan karburasi pada waktu pack carburizing 3 jam dengan variasi suhu dan prosentase penambahan SCKM. a) Suhu 1875 °C. b) Suhu 900 °C



Berdasarkan hasil pengujian diatas ditunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang kerang mutiara menyebabkan terjadinya peningkatan nilai angka kekerasan permukaan spesimen. Peningkatan terbesar terjadi pada perubahan prosentase penambahan SCKM 10% ke 20%, dibandingkan prosentase penambahan SCKM 20% ke 30%. Secara umum, waktu, suhu karburasi juga berpengaruh peningkatan nilai kekerasan permukaan lapisan karburasi. Pada suhu 900 °C, prosentase kenaikan lebih tinggi dibanding suhu 875 °C, demikian pula untuk pengaruh waktu karburasi, waktu 3 jam prosentase kenaikannya paling tinggi dibandingkan waktu karburasi 1 jam dan 2 jam.

#### 5.1.2. Pada Proses *Pack Decarburizing*

Gambar 5.7 menunjukkan hasil distribusi angka kekerasan lapisan permukaan spesimen (baja karbon tinggi AISI 420), setelah perlakuan proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C dan 900 °C, variasi penambahan SCKM pada media carburizer 10%, 20%, 30% dan waktu carburizing 1 jam. Setelah setelah perlakuan proses *pack decarburizing*, terjadi penurunan angka kekerasan permukaan spesimen. Penurunan angka kekerasan dimulai pada jarak 500 µm dari inti. Semakin jauh dari inti atau dekat permukaan, penurunan angka kekerasan meningkat. Pada suhu proses *pack decarburizing* 800 °C dan waktu 1 jam, terjadi penurunan angka kekerasan permukaan sebesar 35%, 39%, 43%, seperti terlihat pada Gambar.5.7a dibandingkan dengan angka kekerasan permukaan spesimen sebelum perlakuan 380 Kg/mm<sup>2</sup>. Masing masing terjadi pada penambahan penambahan SCKM pada media carburizer 10%, 20%, 30%. Pada suhu *pack decarburizing* 900 °C penurunan angka kekerasan permukaan spesimen semakin besar yaitu sebesar 38%, 41%, 44%. Penurunan terbesar dari angka kekerasan permukaan adalah 44%, untuk suhu 900 °C, waktu carburizing 1 jam dan penambahan 30% SCKM pada media carburizer, seperti terlihat pada Gambar.5.7b

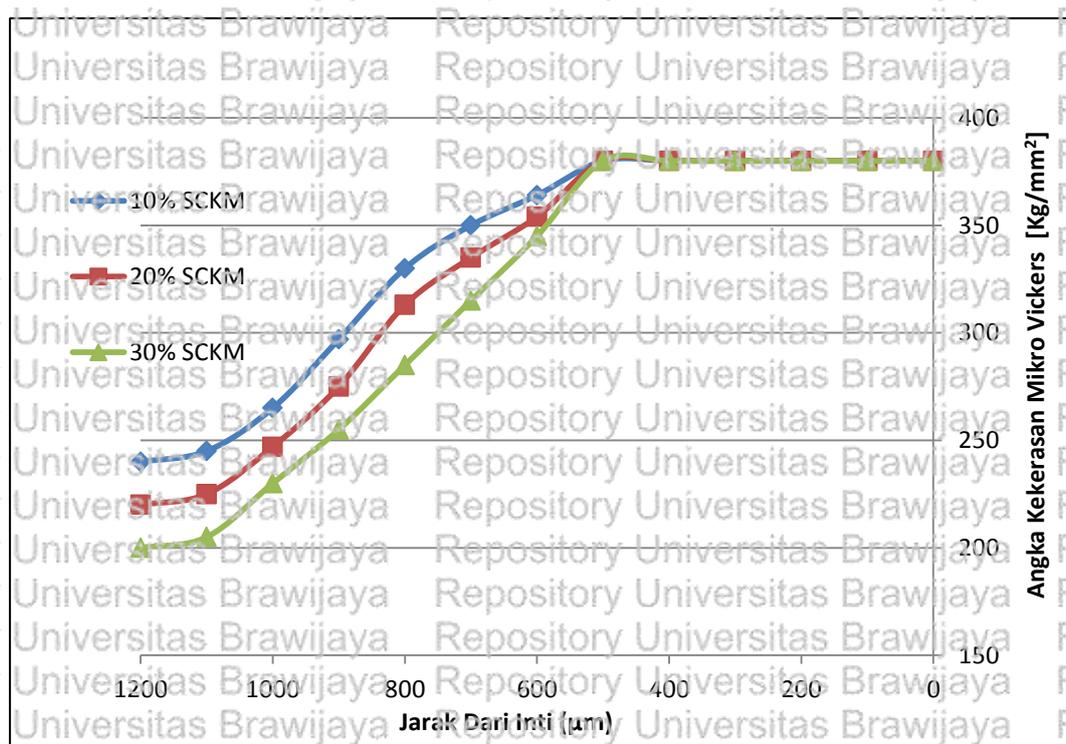


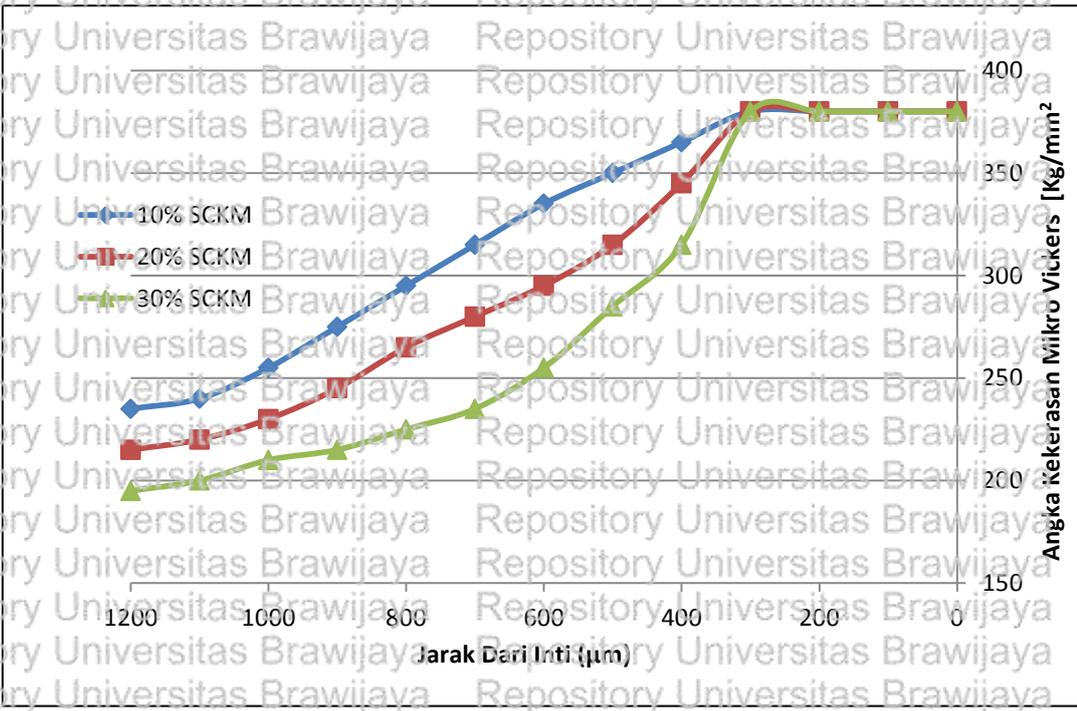
Gambar 5.7 Hasil Pengujian angka kekerasan lapisan karburasi pada waktu pack decarburizing 1 jam dengan variasi suhu dan prosentase penambahan SCKM.

a) Suhu 800 °C. b) Suhu 900 °C



Gambar 5.8 menunjukkan hasil distribusi angka kekerasan lapisan permukaan spesimen, setelah perlakuan proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C dan 900 °C, waktu carburizing 2 jam, dengan variasi penambahan SCKM pada media carburizer 10%, 20%, 30% dan . Setelah setelah perlakuan proses *pack decarburizing*, terjadi penurunan angka kekerasan permukaan spesimen. Penurunan angka kekerasan dimulai pada jarak 500  $\mu\text{m}$  dari inti. Semakin jauh dari inti atau dekat permukaan, penurunan angka kekerasan meningkat. Pada suhu proses *pack decarburizing* 800 °C dan waktu 2 jam, teradi penurunan angka kekerasan permukaan sebesar 37%, 42%, 47%, seperti terlihat pada Gambar 5.8a dibandingkan dengan angka kekerasan permukaan spesimen sebelum perlakuan. Masing masing terjadi pada penambahan SCKM pada media carburizer 10%, 20%, 30%. Pada suhu *pack decarburizing* 900 °C penurunan angka kekerasan permukaan spesimen semakin besar yaitu sebesar 38%, 43%, 49%. Penurunan terbesar dari angka kekerasan permukaan adalah 49%, untuk suhu 900 °C, waktu carburizing 2 jam dan penambahan 30% SCKM pada media carburizer, seperti terlihat pada Gambar 5.8b.



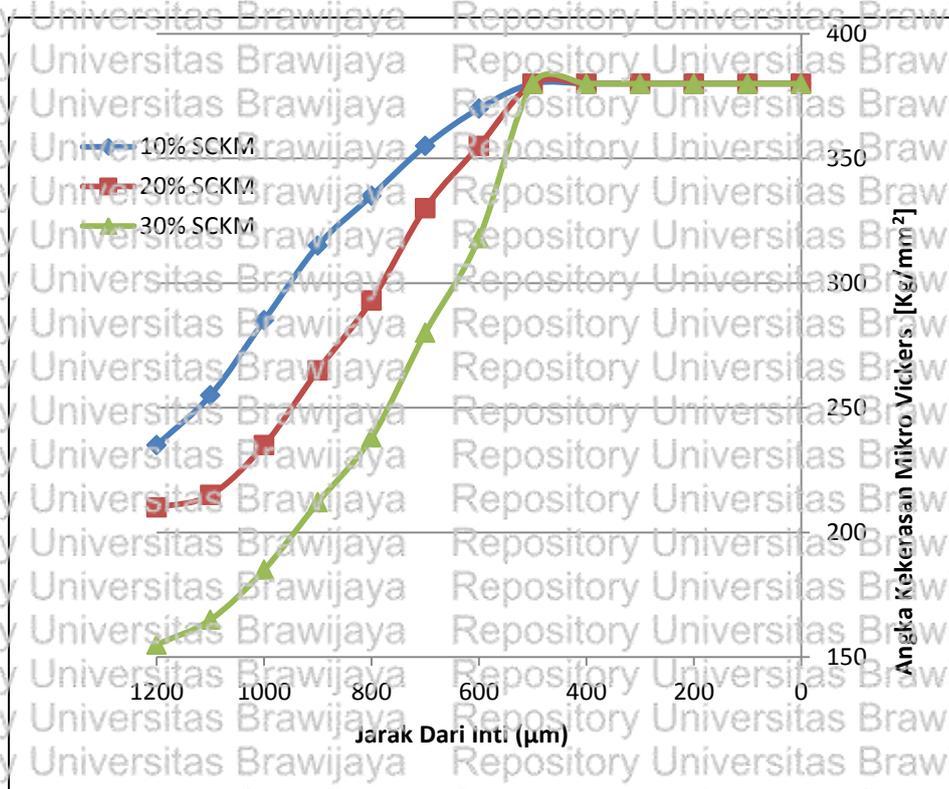


b

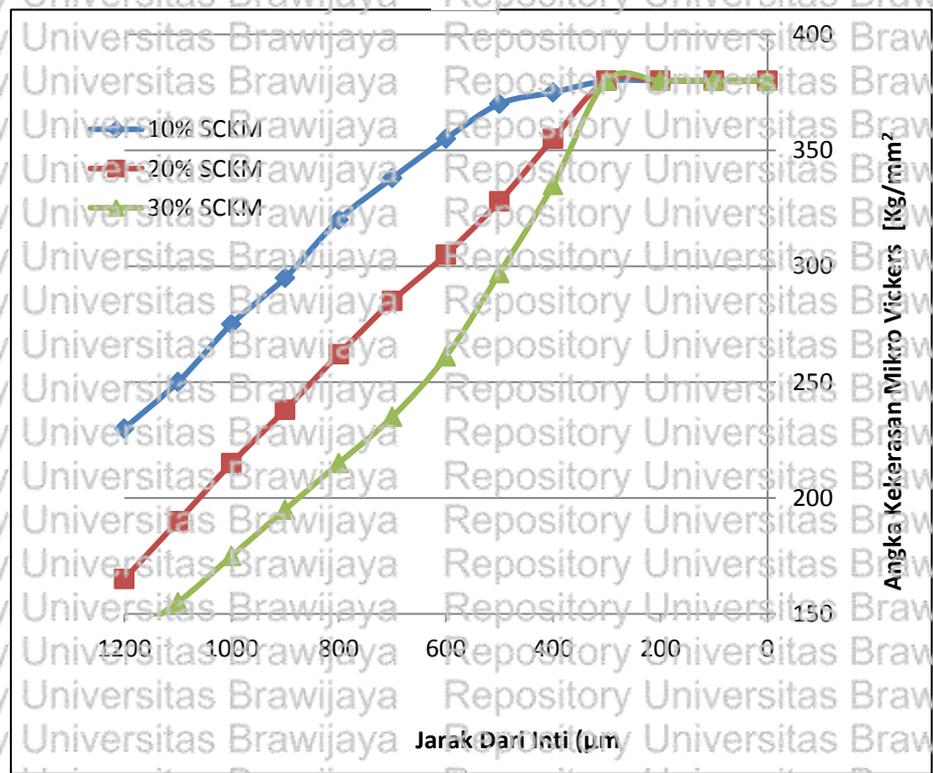
Gambar 5.8 Hasil Pengujian angka kekerasan lapisan karburasi pada waktu pack decarburizing 2 jam dengan variasi suhu dan prosentase penambahan SCKM.

a) Suhu 800 °C. b) Suhu 900 °C

Semakin tinggi suhu proses pack decarburizing dan waktunya, semakin besar penurunan angka kekerasan permukaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9. Perlakuan proses pack decarburizing pada suhu 800 °C, waktu carburizing 3 jam dengan variasi penambahan SCKM pada media carburizer 10%, 20%, 30% menyebabkan spesimen mengalami penurunan angka kekerasan permukaan sebesar sebesar 38%, 45%, 59%, seperti terlihat pada Gambar.4.9a. Pada suhu pack decarburizing 900 °C penurunan angka kekerasan permukaan spesimen semakin besar yaitu sebesar 39%, 57%, 63%. Penurunan terbesar dari angka kekerasan permukaan adalah 63%, untuk suhu 900 °C, waktu carburizing 3 jam dan penambahan 30% SCKM pada media carburizer, seperti terlihat pada Gambar 5.9b



a



b

Gambar 5.9 Hasil Pengujian angka kekerasan lapisan karburasi pada waktu *pack decarburizing* 3 jam dengan variasi suhu dan prosentase penambahan SCKM.

a) Suhu 800 °C. b) Suhu 900 °C

### 5.3. Ketebalan Lapisan Karburasi

Pengukuran ketebalan lapisan karburasi dilakukan untuk mengetahui besarnya kedalaman difusi karbon yang terjadi pada permukaan specimen yang mengalami perlakuan *pack carburizing*. Pengukurannya dilakukan dengan menggunakan mikroskop dari alat uji *micro hardness tester*. Dengan menggunakan mikroskop tersebut dapat dilihat tebal lapisan karbon, yang mempunyai perbedaan warna yang merupakan difusi karbon pada specimen yang mengalami perlakuan *pack carburizing*.

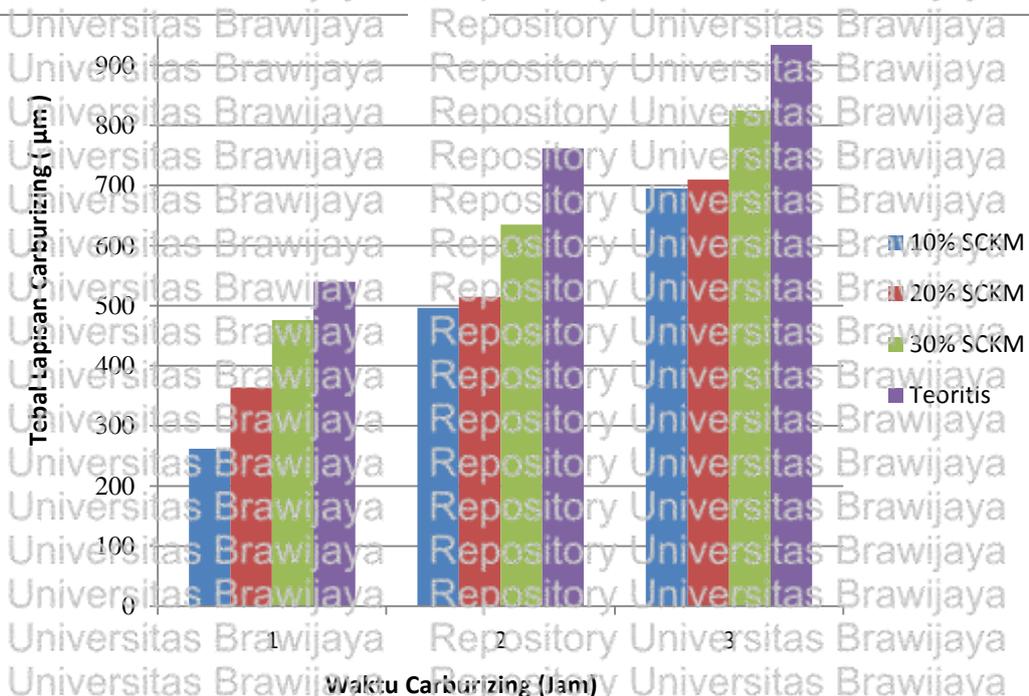
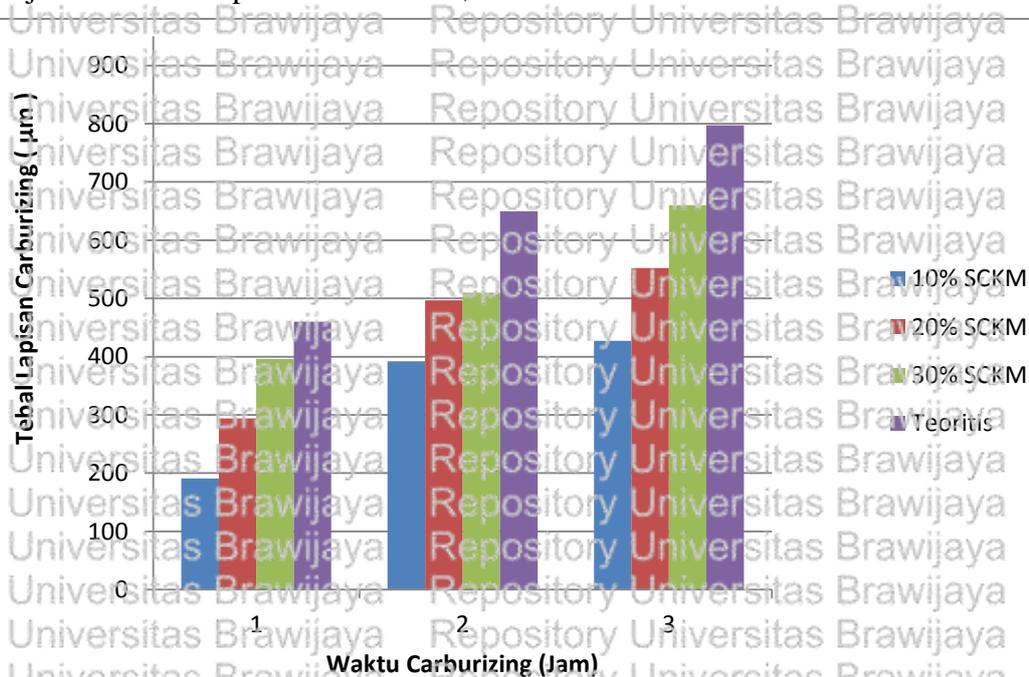
#### 5.3.1. Pengaruh Penambahan SCKM Pada Ketebalan Lapisan Karburasi Setelah Proses Pack Carburizing

Pada proses *pack carburizing*, atom-atom karbon dari media *carburizer* masuk kedalam permukaan specimen melalui proses difusi. Difusi merupakan suatu mekanisme dimana atom ditransport kedalam atau keluar dari benda, akibat perubahan suhu. Terjadinya proses difusi akibat proses *pack carburizing* menyebabkan perubahan ketebalan lapisan karburasi, seperti tampak pada Lampiran 13. Selanjutnya perubahan ketebalan lapisan akibat proses *pack carburizing* juga dipengaruhi prosentase SKCM pada media *carburizer*. Ketebalan lapisan karburasi pada suhu 875 °C, dengan variasi penambahan 10%, 20%, 30% SCKM ditunjukkan pada Gambar 5.10a. dan pada suhu 900 °C ditunjukkan pada Gambar 5.10b. Berdasarkan Gambar 5.10 ketebalan lapisan karburasi dipengaruhi oleh suhu, waktu karburasi dan prosentase penambahan SKCM pada media *carburizer*.

Hasil pengujian ketebalan lapisan karburasi pada suhu 875 °C dan 900 °C dengan variasi waktu *pack carburizing* 1, 2, 3 jam dan variasi penambahan 10%, 20%, 30% SCKM ditampilkan berturut-turut seperti oleh Gambar 4.10a dan Gambar 4.10b. Ketebalan lapisan karburasi pada suhu 875 °C, dengan variasi waktu karburasi 1, 2, dan 3 jam ditunjukkan pada Gambar 5.10a. Ketebalan lapisan karburasi pada waktu karburasi 3 jam, masing masing 396, 510, dan 660 µm, untuk variasi penambahan 10%, 20%, 30% SCKM. Ketebalan lapisan karburasi tertinggi yang dihasilkan sebesar 660 µm (21% dibawah lapisan karburasi teoritis (persamaan 2-15) ), pada waktu karburasi 3 jam dan variasi penambahan 30% SCKM, terendah 191 µm (141% dibawah lapisan karburasi teoritis), pada waktu karburasi 1 jam dan variasi penambahan 10%, SCKM. Setelah melalui *pack carburizing* pada suhu 900°C waktu karburasi 3 jam ketebalan lapisan karburasi meningkat, seperti pada Gambar 5.10b. Ketebalan lapisan karburasi yang dihasilkan adalah 695, 710, dan 825 µm untuk variasi penambahan 10%, 20%, 30%



SCKM. Ketebalan lapisan karburasi tertinggi yang dihasilkan sebesar 825  $\mu\text{m}$  (13% dibawah lapisan karburasi teoritis), pada waktu karburasi 3 jam dan variasi penambahan 30% SCKM, terendah 262  $\mu\text{m}$  (106% dibawah lapisan karburasi teoritis), pada waktu karburasi 1 jam dan variasi penambahan 10%, SCKM



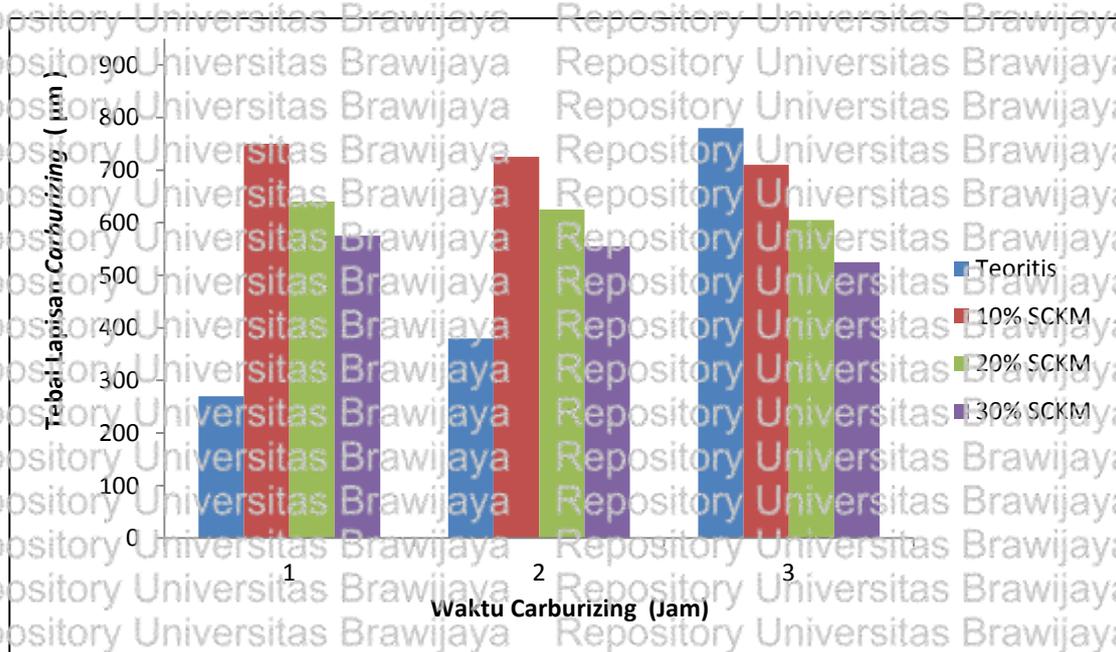
Gambar 5.10 Tebal lapisan karburasi pada proses *pack carburizing* dengan variasi prosentase penambahan SCKM pada media *carburizing*. a) Suhu 875  $^{\circ}\text{C}$ . b) Suhu 900  $^{\circ}\text{C}$

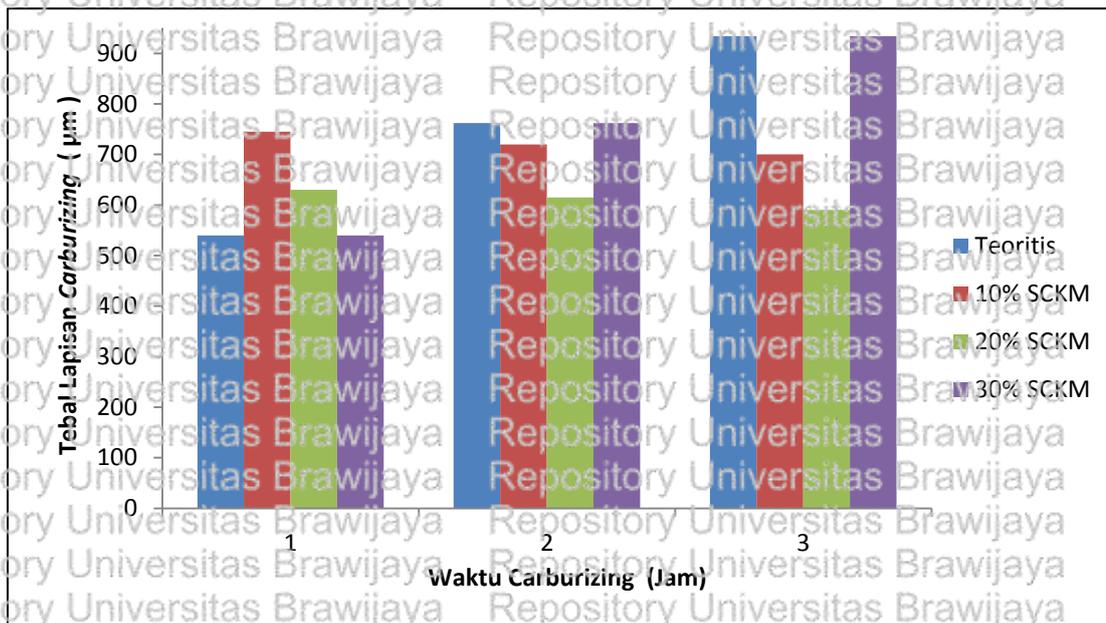
### 5.3.2. Pengaruh Penggunaan SCKM Pada Proses *Pack Decarburizing* Terhadap Ketebalan Lapisan Karburasi

Ketebalan lapisan karburasi setelah proses *pack decarburizing* ditunjukkan pada Lampiran 14. Proses *pack decarburizing* juga mempengaruhi perubahan ketebalan lapisan karbon pada permukaan spesimen (lapisan karburasi), seperti ditunjukkan pada Gambar 5.11. Gambar 5.11a menunjukkan bahwa proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C, penurunan ketebalan lapisan karburasi terjadi pada waktu *carburizing* 3 jam dan penambahan 30% SCKM pada media *carburizer*. Penurunan yang terjadi sebesar 33% dibandingkan dengan lapisan karburasi teoritis (perhitungan dengan menggunakan rumus 2-15). Tetapi pada bahwa proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C, pada waktu 1 dan 2 jam tidak menyebabkan penurunan lapisan karburasi.

Proses *pack decarburizing* pada suhu 900 °C seperti ditunjukkan pada Gambar 5.11b pada waktu 2 dan 3 jam terjadi penurunan ketebalan ketebalan lapisan karburasi. Pada waktu 2 jam terjadi penurunan maksimal sebesar 29% dan waktu 3 jam sebesar 47% pada penambahan 30% SCKM pada media *carburizer*. Berdasarkan pada Gambar 5.11 peningkatan suhu, waktu *carburizing* dan penambahan prosentase SCKM pada media *carburizer* akan meningkatkan persentase penurunan ketebalan lapisan karburasi. Persentase pengurangan ketebalan lapisan karburasi tertinggi pada permukaan spesimen adalah 47% , pada proses *pack decarburizing* dengan spesimen baja karbon AISI 420.

Perubahan ketebalan lapisan karburasi juga menunjukkan fenomena difusi karbon dari permukaan spesimen ke media *carburizer*. Sehingga ketebalan lapisan karburasi pada permukaan spesimen berkurang, sebanding dengan kenaikan suhu, waktu *carburizing* dan penambahan prosentase SCKM pada media *carburizer*.





Gambar 5.11. Tebal lapisan karburisasi pada proses *pack decarburizing* dengan variasi prosentase penambahan SCKM pada media *carburizer*. a) Suhu 800 °C. b) Suhu 900 °C

5.4. Hasil Uji Komposisi

5.4.1. Kandungan Karbon Setelah Proses *Pack Carburizing*

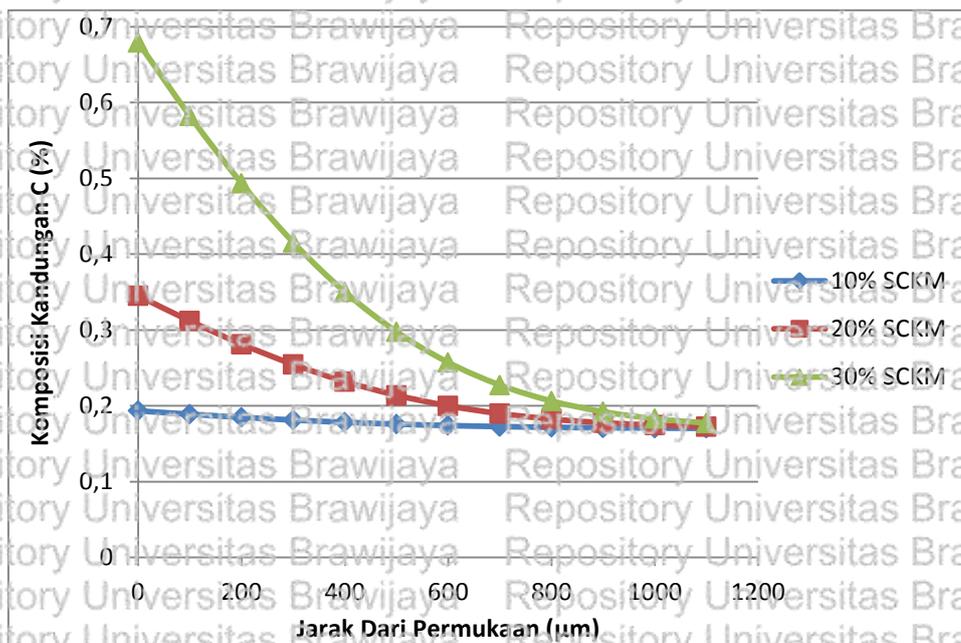
Hasil pengujian komposisi kimia sebelum dan sesudah perlakuan *pack carburizing* ditunjukkan seperti pada Tabel 5.1. Variasi penambahan serbuk cangkang kerang mutiara (SCKM) pada media *carburizer* sebesar 10%, 20%, 30%, waktu *pack carburizing* 3 jam dan suhu *pack carburizing* 900 °C.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Setelah Proses *Pack Carburizing*

Sampel	Fe (%)	C (%)	Mn (%)	O (%)
Tanpa PC	98,34	0,17	1,4	0,045
10% SCKM	80,16	0,184	0,43	19,26
20% SCKM	80,20	0,28	0,32	19,20
30% SCKM	80,98	0,57	0,31	18,93

Berdasarkan data Tabel 5.1, terjadi peningkatan kadar karbon setelah perlakuan *pack carburizing*. Hasil pengujian komposisi, kandungan karbon pada spesimen sebelum perlakuan *pack carburizing* sebesar 0.17%. Selanjutnya setelah perlakuan *pack carburizing* kandungannya adalah 0.184%, 0.28%, 0.57% pada variasi 10% SCKM, 20% SCKM, dan 30% penambahan SCKM pada media *carburizer*.

Peningkatan kandungan karbon membuktikan adanya difusi karbon dari media karburasi masuk atau menyusup ke dalam permukaan baja karbon rendah, dan dipengaruhi oleh prosentase kadar C dan Ca yang terkandung pada media *carburizer* (arang tongkol jagung dan SCKM). Dengan diketahui perubahan kadar karbon pada permukaan spesimen, maka berdasar perhitungan dengan rumus (2-12) dapat ditentukan besar prosentase komposisi kandungan karbon pada kedalaman tertentu dari permukaan spesimen, seperti pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12. Komposisi kandungan karbon pada proses *pack carburizing* pada suhu  $900^{\circ}$ , waktu 3 jam, dengan variasi prosentase penambahan SCKM.

#### 5.4.2. Kandungan Karbon Setelah Proses *Pack Decarburizing*

Spesimen (baja karbon tinggi AISI 420) yang mengalami perlakuan *pack decarburizing* secara umum prosentase kandungan karbon juga mengalami perubahan, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.2. Pada proses *pack decarburizing* dengan komposisi media *carburizer* 10% SCKM prosentase kandungan karbon adalah 0,78%. Ini berarti



bahwa penambahan 10% SCKM pada media *carburizer*, tidak mempengaruhi komposisi kandungan karbon, karena kandungan karbon spesimen sebelum perlakuan adalah 0,72 - 0,85%. Tetapi penambahan 20% SCKM dan 30% SCKM menyebabkan penurunan kandungan karbon menjadi 0,38% dan 0,198% seperti yang ditunjukkan masing-masing pada Tabel 4.2. Penambahan SCKM di media *carburizer* pada proses *pack decarburizing* baja karbon tinggi AISI 420 menyebabkan penurunan kandungan karbon spesimen sebesar 8%, 55%, dan 76%, masing-masing untuk penambahan 10%, 20%, dan 30% SCKM pada media *carburizer*.

Tabel 5.2

*Hasil Pengujian Komposisi Kimia Spesimen Setelah Proses Pack Decarburizing*

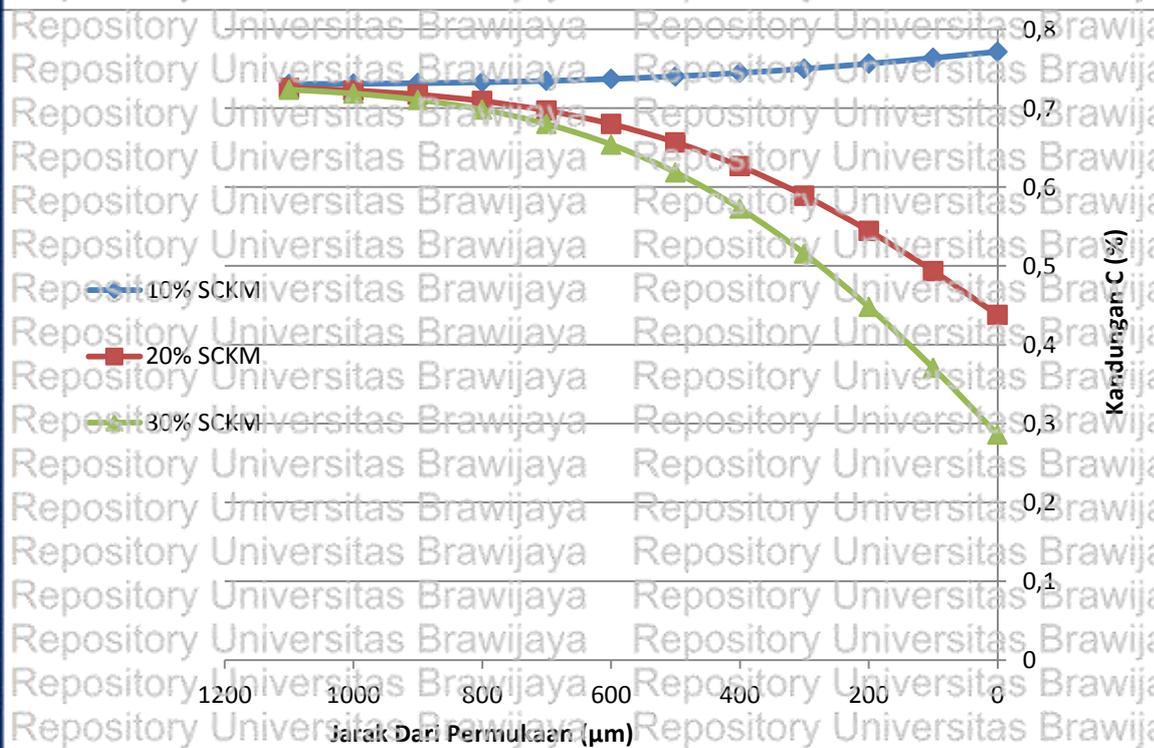
Kode Sampel	Fe (%)	C (%)	Mn (%)	O (%)
Tanpa PC	98,34	0,73	0,6	0,045
10% SCKM	79,	0,78	0,31	18,93
20% SCKM	80,10	0,38	0,32	19,20
30% SCKM	80,12	0,198	0,43	19,21

Pada Tabel 5.2, ditunjukkan kandungan karbon dalam baja karbon tinggi AISI 420 pada perlakuan *pack decarburizing* suhu 900 °C, waktu 3 jam tergantung pada persentase penambahan SCKM pada media *carburizer*.

Dengan peningkatan persentase penambahan SCKM pada media *carburizer* 10% hingga 30% kandungan karbon dalam spesimen menurun secara signifikan. Proses *pack decarburizing* dengan 30% SCKM pada media *carburizer*, kandungan karbon pada permukaan spesimen yang dihasilkan 0,198%, terjadi pengurangan kandungan karbon 76% dibandingkan dengan kandungan karbon dalam spesimen. Pengurangan kadar karbon yang tinggi mungkin disebabkan oleh peningkatan persentase penambahan SCKM dalam media *carburizer* menyebabkan peningkatan proses difusi karbon dari permukaan logam ke media *carburizer*.

Fenomena terjadi menunjukkan bahwa karbon keluar dari permukaan baja karbon tinggi, dipengaruhi oleh kadar, prosentase kadar C dan Ca pada media

*carburizer*. Dengan diketahui perubahan kadar karbon pada permukaan spesimen, maka berdasar perhitungan dengan rumus (2-13) dapat ditentukan besar prosentase komposisi kandungan karbon pada kedalaman tertentu dari permukaan spesimen, seperti pada Gambar 5.13



Gambar 5.13. Komposisi kandungan karbon pada proses *pack decarburizing* pada suhu  $900^{\circ}$ , waktu 3 jam, dengan variasi prosentase penambahan SCKM.

Berdasarkan Gambar 5.13 semakin dekat permukaan kandungan karbon semakin menurun, pada penambahan 20% dan 30% SCKM pada media *carburizer*. Pada penambahan 10% SCKM pada media *carburizer* tidak menyebabkan perubahan yang signifikan pada perubahan kandungan karbon akibat proses *pack decarburizing*.

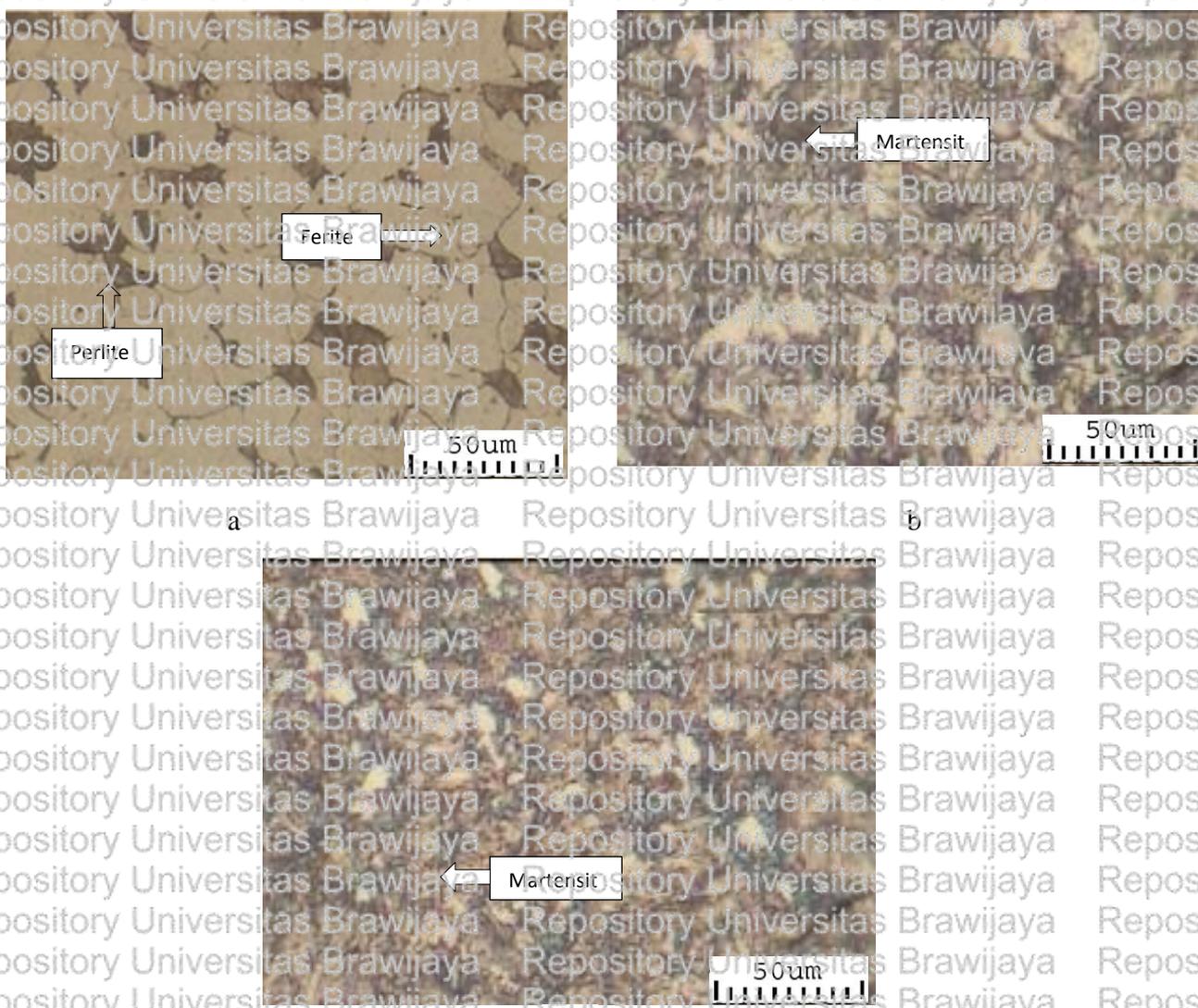
## 5.5. Perubahan Struktur Mikro Lapisan Permukaan Spesimen

### 5.5.1. Pada Proses *Pack Carburizing*

Perlakuan permukaan karburasi padat dengan media campuran arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara (ATJ - SCKM) menyebabkan perubahan struktur mikro lapisan permukaan spesimen. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop optik (mikroskop dari alat uji *micro hardness tester*) dengan pembesaran 200 x. Hasil



dari pengamatan struktur mikro lapisan permukaan pada spesimen tanpa perlakuan dan perlakuan *pack carburizing* pada variasi suhu karburasi 875 °C dan 900 °C dengan waktu karburasi 3 jam ditunjukkan pada Gambar 5.14.

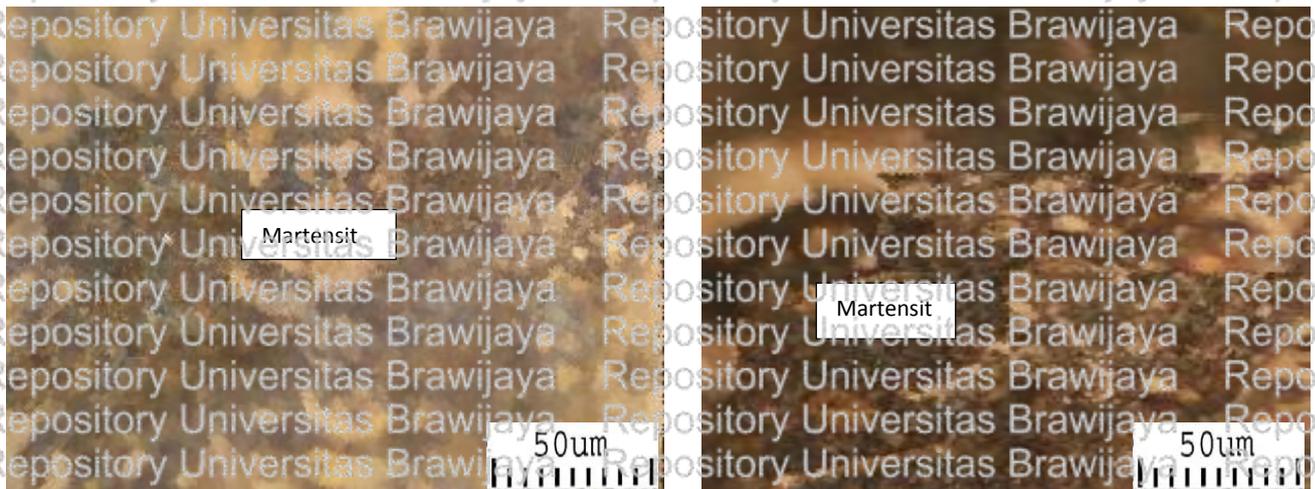


Gambar 5.14 Pengaruh suhu karburasi pada struktur mikro lapisan karburasi : a). Tanpa perlakuan. b). *Pack carburizing* pada suhu 875 °C. c). *Pack carburizing* pada suhu 900 °C

Pada struktur mikro spesimen yang tidak mengalami perlakuan *pack carburizing* yang ditunjukkan oleh Gambar 5.14a memperlihatkan kandungan karbon yang rendah. Kandungan karbon berupa *ferite* (berwarna putih dan sedikit *perlite* (berwarna hitam) pada batas butir. Selanjutnya spesimen yang telah mengalami perlakuan karburasi, mikrostrukturnya mengalami perubahan. Kandungan karbon dari spesimen baja karbon rendah meningkat yang ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah *perlite* dan mulai terbentuk *martensit* pada lapisan permukaan karburasi. Gambar 5.14b. Peningkatan kandungan karbon pada permukaan spesimen sesuai dengan peningkatan angka

kekerasan, dan sebanding kenaikan temperatur karburasi. Pada suhu *pack carburizing*  $875^{\circ}\text{C}$  hanya terbentuk struktur *perlite*. Pada suhu *pack carburizing*  $900^{\circ}\text{C}$ , *martensit* mulai terbentuk. Struktur *martensit* yang terbentuk semakin kedalam semakin berkurang, struktur yang nampak hanya berupa *ferite* dan *perlite*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa difusi atom karbon kedalam permukaan spesimen mengalami penurunan/mulai berkurang.

Terbentuknya struktur *martensit* pada permukaan spesimen akibat perlakuan *pack carburizing* juga dipengaruhi komposisi media *carburizer*. Kepadatan struktur *martensit* dipengaruhi oleh kenaikan prosentase penambahan serbuk cangkang kerang mutiara (SCKM). Mikrostruktur proses *pack carburizing* pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$ , waktu karburasi 3 jam dengan variasi prosentase penambahan serbuk cangkang kerang mutiara, ditunjukkan seperti pada Gambar 5.15.



a

b



Gambar.5.15 Pengaruh komposisi media *carburizer* pada struktur mikro lapisan karburasi : a).10 % SCKM, b). 20 % SCKM, c). 30 % SCKM

Prosentase penambahan SCKM pada proses *pack carburizing* mempengaruhi terbentuknya ukuran butiran struktur martensit. Setelah lapisan karburasi mengalami pendinginan dari temperatur 900 °C pada media udara maka struktur baja berubah menjadi martensit seperti ditunjukkan oleh Gambar 5.15. Pada gambar tersebut terlihat bahwa lapisan karburasi yang terbentuk pada proses *pack carburizing* dengan prosentase penambahan 10% SCKM memiliki matriks martensit yang kurang rapat, dibandingkan dengan prosentase penambahan 20% dan 30% SCKM, sehingga menyebabkan angka kekerasan permukaan lapisan karburasi akan lebih rendah.

#### 5.4.1. Pada Proses *Pack Decarburizing*

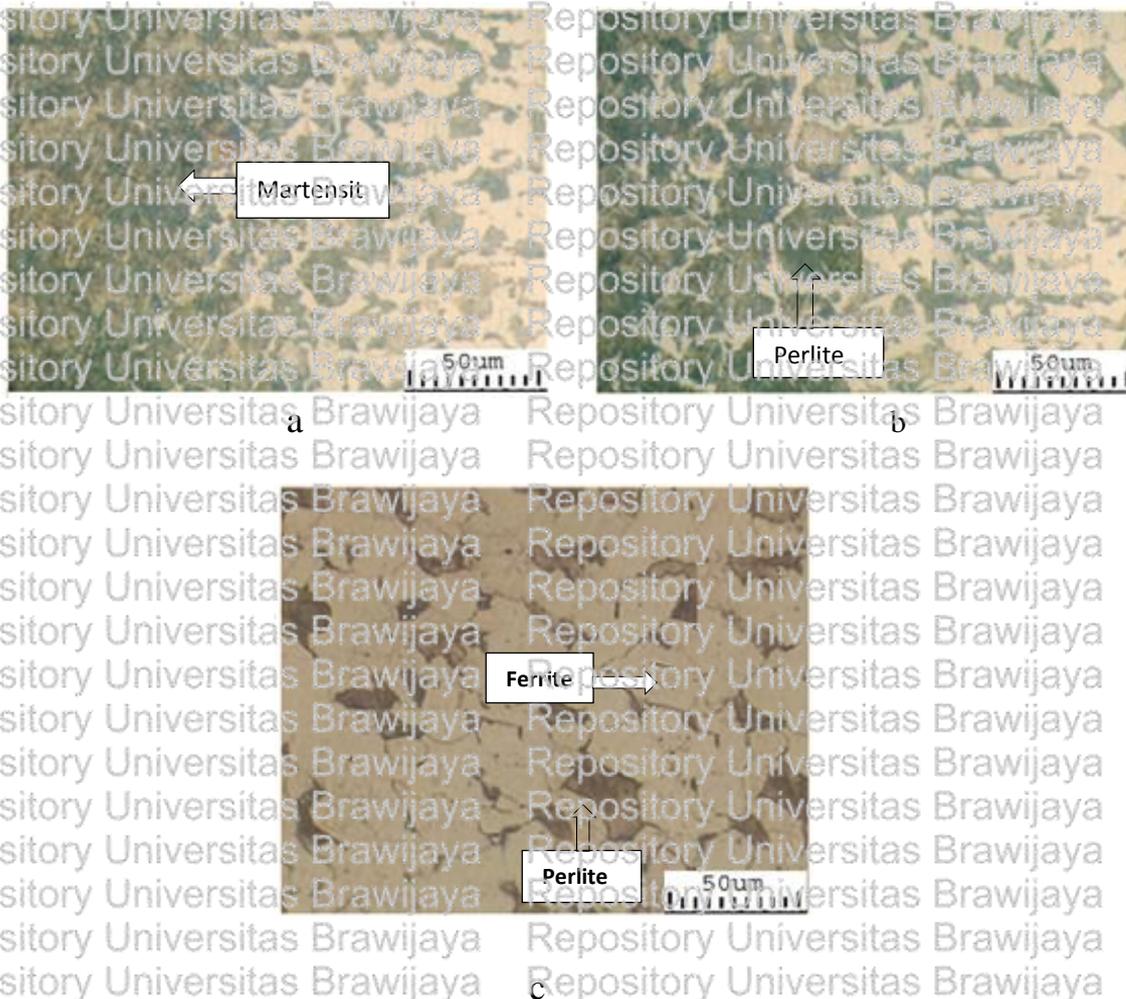
Gambar.4.16 menunjukkan pengamatan SEM-EDX dari lapisan permukaan spesimen (baja karbon tinggi AISI 420) perlakuan *pack decarburizing* pada suhu 900 °C, waktu *carburizing* 3 jam dengan variasi prosentase SCKM pada komposisi media *carburizer*.

Struktur mikro berubah pada permukaan spesimen setelah perlakuan proses *pack decarburizing* dengan variasi variasi prosentase, 10%, 20%, dan 30% SCKM, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 5.16a – Gambar 5.16c.

Perlakuan proses *pack decarburizing* pada suhu 900 °C, waktu *carburizing* 3 jam dan komposisi media *carburizer* 10% SCKM, seperti pada Gambar 5.16, menunjukkan bahwa struktur mikro dalam bentuk martensit, semakin jauh dari inti berubah menjadi perlit dan ferit. Struktur mikro spesimen belum mengalami perubahan seperti Gambar 5.16b dan

Gambar 5.16c menunjukkan hasil struktur mikro spesimen untuk proses *pack decarburizing* dengan parameter yang sama dengan komposisi media *carburizer* 20% dan 30% SCKM. Struktur mikro sebagian besar terbentuk dalam bentuk ferit dan perlit.

Perubahan bentuk struktur mikro menunjukkan proses difusi karbon dari permukaan spesimen ke media *carburizer*. Semakin besar persentase penambahan SCKM, semakin meningkat kecepatan difusi sehingga struktur mikro yang terbentuk di permukaan hampir semua ferit. Sehingga kandungan karbon pada permukaan spesimen lebih kecil dari spesimen yang tidak mengalami perlakuan proses



Gambar 5.16. Pengaruh komposisi media *carburizer* pada struktur mikro lapisan karburasi pada *pack decarburizing* suhu  $900^{\circ}\text{C}$  dan waktu 3 jam: a) 10 % SCKM; b) 20 % SCKM; c) 30 % SCKM

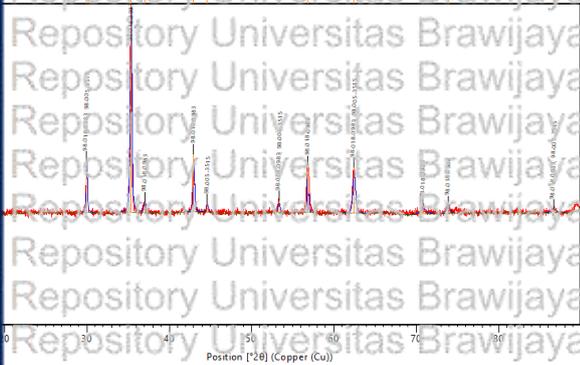


## 5.6. Pengujian XRD Pada Spesimen

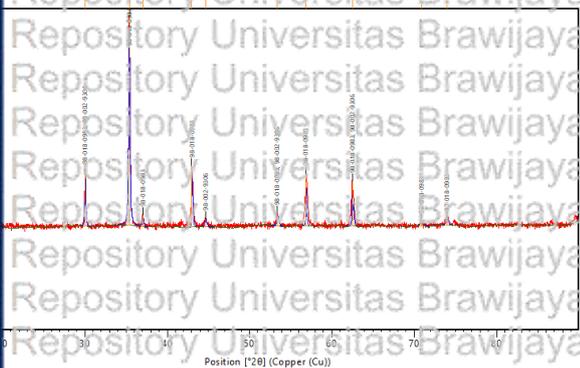
Pengujian menggunakan X-ray diffraction (XRD) merupakan salah satu metoda pengujian tidak merusak yang sering digunakan dengan tujuan untuk mengetahui karakterisasi material. Teknik pengujian ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sebesar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-10}$  -  $5 \cdot 10^{-10}$  nm, berfrekuensi 1017-1020 Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Sinar X dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran. Oleh karenanya, syarat suatu tabung sinar X harus mempunyai suatu sumber elektron, voltase tinggi, dan logam sasaran. Selanjutnya elektron elektron yang ditumbukan ini mengalami pengurangan kecepatan dengan cepat dan energinya diubah menjadi foton.

Pengujian dengan menggunakan sinar X disebut dengan pengujian XRD (X-Ray Diffraction). XRD digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi kristal. Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0.5 sampai 2.5 Angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Hamburan berkas sinar X tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi.

### 5.6.1. Hasil Pengujian XRD Spesimen Dengan Proses *Pack Carburizing*



a



b

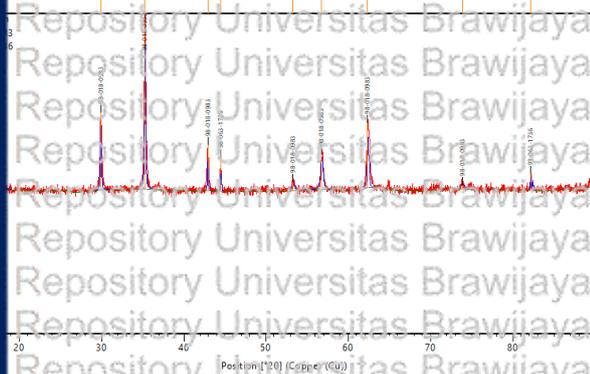
Gambar 5.17. Hasil pengujian spesimen dengan XRD. a. Tanpa proses *pack carburizing*  
b. Dengan perlakuan *pack carburizing*



### 5.6.2. Hasil Pengujian XRD Spesimen Dengan Proses *Pack Decarburizing*

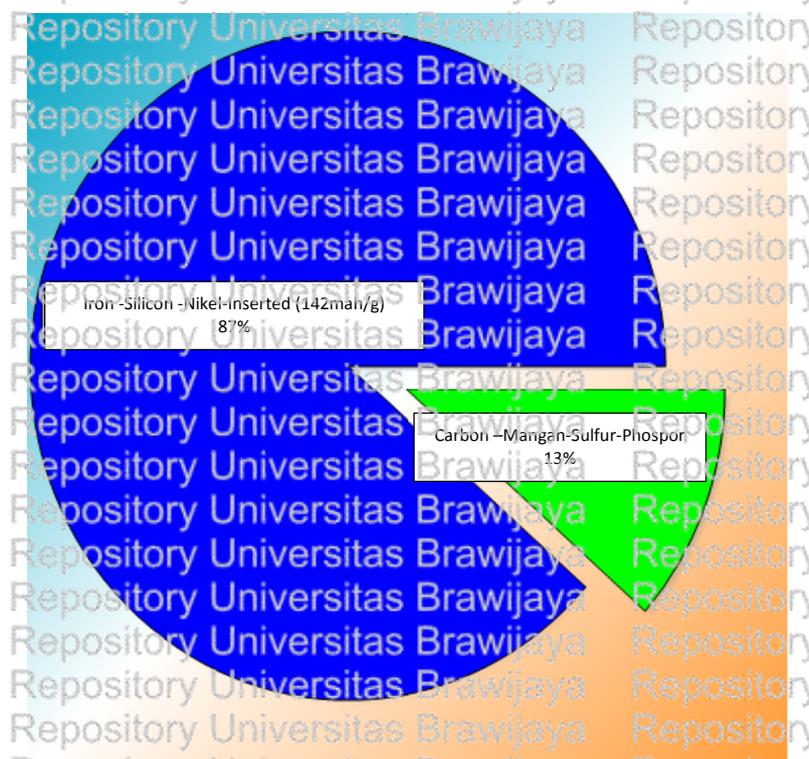
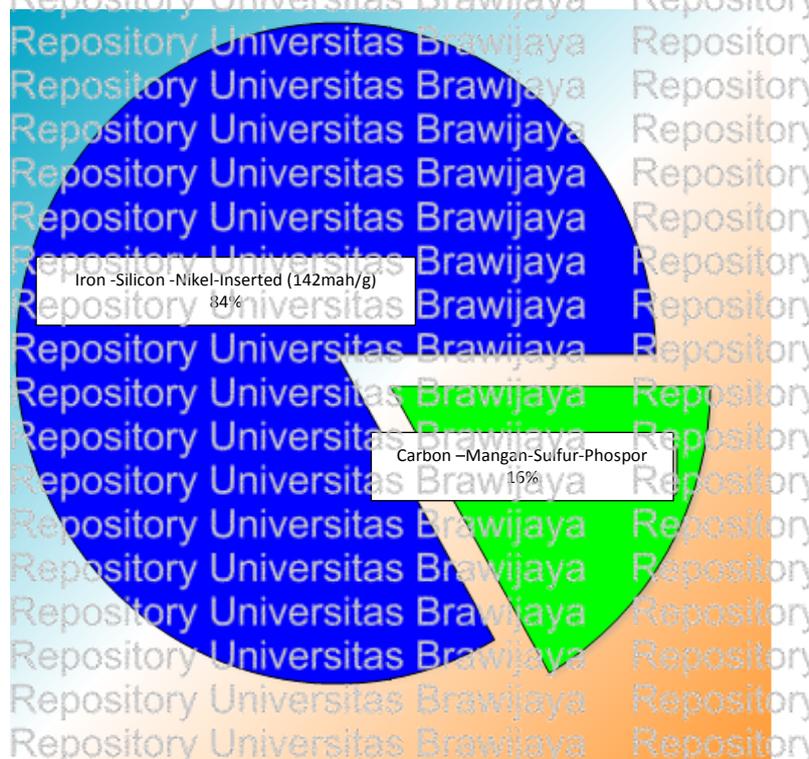


a



b

Gambar 5.18. Hasil pengujian spesimen dengan XRD. a. Sebelum proses *pack decarburizing*. b. Dengan perlakuan *pack decarburizing*



Uji XRD menggunakan difraktometer merk Panalytical yang dilakukan di Laboratorium Sentra Ilmu Hayati Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Alat uji XRD menggunakan tabung *anode* Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å. Hasil pengujian XRD selengkapnya dianalisa dengan program *Highscore Plus*, seperti pada Lampiran 16. Pada Gambar 5.17a adalah hasil XRD spesimen yang belum mengalami proses *pack carburizing*. Kandungan unsur utama berupa Fe, O dan lainnya sebesar 88%, serta C, Mg dan P sebesar 12%. Setelah mengalami mengalami proses *pack carburizing* suhu 900 °C, waktu 3 jam dan 10% penambahan SCKM pada media *carburizer* seperti Gambar 4.17 b. Kandungan unsur utama berupa Fe, O, Fe<sub>y</sub> dan lainnya sebesar 85%, serta C, Mg dan P sebesar 15%. Posisi sudut difraksi [ $^{\circ}2\theta$ ] terjadinya *peak* hampir sama.

Selanjutnya Gambar 5.18 a adalah hasil XRD spesimen yang belum mengalami proses *pack decarburizing*. Kandungan unsur utama berupa Fe, Ni, Si dan lainnya sebesar 84%, serta C, Mg, S dan P sebesar 16%. Setelah mengalami mengalami proses *pack decarburizing* suhu 900 °C, waktu 3 jam dan 10% penambahan SCKM pada media *carburizer* seperti Gambar 5.18 b. Kandungan unsur utama berupa Fe, Ni, Si dan lainnya sebesar 87%, serta C, Mg, S dan P sebesar 13%. Posisi sudut difraksi [ $^{\circ}2\theta$ ] terjadinya *peak* juga hampir sama.



## 5.7. Pembahasan

Proses perlakuan panas *pack carburizing* menyebabkan peningkatan angka kekerasan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon pada permukaan spesimen (baja karbon rendah SS400), sebaliknya proses *pack decarburizing* menyebabkan penurunan angka kekerasan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon pada permukaan spesimen (baja karbon tinggi AISI420). Perubahan angka kekerasan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon pada permukaan spesimen menunjukkan adanya proses difusi karbon. Difusi karbon merupakan suatu mekanisme dimana atom karbon ditransport kedalam atau keluar dari benda, akibat perubahan suhu.

Pada proses *pack carburizing* terjadi proses difusi atom-atom karbon dari media *carburizer* masuk kedalam permukaan spesimen, menyebabkan peningkatan angka kekerasan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon pada permukaan spesimen.

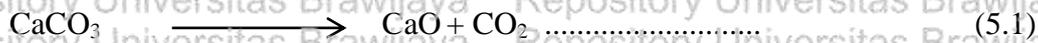
Sebaliknya pada proses *pack decarburizing* terjadi proses difusi atom-atom karbon dari permukaan masuk ke media *carburizer* kedalam, menyebabkan penurunan angka kekerasan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon pada permukaan spesimen. Terjadinya proses difusi dipengaruhi oleh suhu, waktu karburasi, dan persentase penambahan SCKM pada media *carburizer* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.10.

Apabila material dinaikkan temperaturnya maka energinyapun akan meningkat yang menyebabkan atom-atom bergerak sehingga menimbulkan jarak atom yang lebih besar. Bila suatu atom mempunyai cukup energi untuk mendobrak ikatannya dan melompat ke posisi baru maka terjadi proses pergerakan.

Proses difusi terjadi karena penetrasi atom karbon pada permukaan spesimen yang dikarburasi. Oleh karena diperlukan sumber atom karbon dari media *carburizer* (arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara) disingkat dengan (ATJ – SCKM).

Arang tongkol jagung berperan sebagai penyedia karbon dan serbuk cangkang kerang mutiara berperan sebagai *energizer* (katalis), karena mengandung senyawa calcium carbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Penggunaan serbuk cangkang kerang mutiara dan peningkatan parameter proses *pack carburizing* (suhu dan waktu karburasi) dapat mengaktifkan atom karbon dari sumber karbon (arang tongkol jagung), sehingga akan meningkatkan kandungan karbon mempengaruhi proses difusi pada permukaan baja yang mengalami proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing*. Meningkatkan penyusupan atom karbon ke ruang antar atom besi sehingga ketebalan lapisan karburasi yang terbentuk pada permukaan spesimen lebih besar.

Pada suhu karburasi senyawa  $\text{CaCO}_3$  yang terkandung dalam energizer (SCKM) mengalami reaksi kimia menjadi  $\text{CaO}$  dan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), seperti persamaan (5.1); Bagian dari media karburasi sebagai sumber karbon (ATJ) didalam kotak karburasi bereaksi dengan gas  $\text{CO}_2$  sehingga terbentuk gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), ditunjukkan pada persamaan (5.2). Selanjutnya gas karbon monoksida bereaksi dengan gas  $\text{O}_2$  (reaksi oksidasi) menghasilkan gas karbon dan gas  $\text{CO}_2$ . Reaksi terus berulang merupakan reaksi berantai yang terjadi selama proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing*. Dengan adanya tambahan SCKM sebagai *energizer* pada media karburasi, gas karbon yang dilepas kemudian terdifusi secara intersisi ke atom besi semakin banyak, dan reaksi kimia antara gas dan  $\text{O}_2$  lebih cepat, langsung menghasilkan karbon dalam wujud gas. Karbon yang berasal dari sumber karbon media karburasi (ATJ), masih berwujud padat. Karena pemanasan pada suhu karburasi, terjadi reaksi kimia secara berantai karbon padat bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  menjadi  $\text{CO}$ , kemudian mengalami oksidasi menghasilkan gas  $\text{C}$  dan gas  $\text{CO}_2$ . Kandungan karbon pada media karburasi akan berkurang, sampai terjadi kesetimbangan, dan difusi karbon ke permukaan besi berhenti. Reaksi kimia berantai dari *energizer* adalah sebagai berikut :



Parameter karburasi padat, suhu dan waktu karburasi mempengaruhi proses difusi atom karbon pada permukaan spesimen. Hal ini ditandai dengan adanya perbedaan hasil pengujian angka kekerasan permukaan spesimen atau lapisan karburasi yang terbentuk, akibat perubahan suhu dan waktu *pack carburizing*. Pada proses *pack carburizing* suhu  $875^\circ\text{C}$ , angka kekerasan permukaan yang dihasilkan berturut-turut adalah 400, 595 dan  $652 \text{ kg/mm}^2$ . untuk waktu karburasi 1, 2, 3 jam. Terjadi peningkatan angka kekerasan sekitar 210%, 361% dan 405%. dibandingkan kekerasan material tanpa perlakuan *pack carburizing*. Pada suhu karburasi  $900^\circ\text{C}$  angka kekerasannya 410, 595,  $662 \text{ Kg/mm}^2$ . Presentase angka kekerasannya meningkat menjadi 217%, 361% dan 413%. Semakin kedalam angka kekerasannya semakin menurun, sampai angka kekerasan terendah  $131 \text{ Kg/mm}^2$  dengan jarak kedalaman permukaan 800, 900, 1000 ( $\mu\text{m}$ ), pada variasi suhu  $875^\circ\text{C}$ ,  $900^\circ\text{C}$  dan waktu karburasi 1, 2, 3 Jam. Presentase kenaikan terbesar terjadi pada suhu  $900^\circ\text{C}$  dan waktu karburasi 3 Jam, yaitu sebesar 413%. Sebaliknya presentase kenaikan terendah terjadi pada suhu  $875^\circ\text{C}$  dan waktu karburasi 1 Jam, yaitu sebesar 112%.



Selanjutnya proses *pack carburizing* juga dipengaruhi prosentase SCKM. Dari hasil penelitian proses *pack carburizing* pada suhu karburasi 875°C dengan variasi prosentase penambahan 10%, 20%, 30% SCKM menghasilkan angka kekerasan permukaan tertinggi berturut-turut sebesar 374, 585, dan 652 Kg/mm<sup>2</sup>. Terjadi peningkatan angka kekerasan sebesar 190%, 353%, dan 405% dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan. Angka kekerasan lapisan karburasi meningkat dengan proses *pack carburizing* pada suhu karburasi 900°C menjadi 384, 615, 662, Kg/mm<sup>2</sup> atau terjadi kenaikan angka kekerasan berturut-turut sebesar 198%, 377%, dan 413%. Untuk variasi prosentase penambahan 10%, 20%, 30% SCKM. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian (Jatmiko, 2013) yang menunjukkan bahwa penggunaan arang kayu sengon sebagai sumber karbon pada proses *pack carburizing* hanya menghasilkan angka kekerasan permukaan 250,2 Kg/mm<sup>2</sup> dan 260,3 Kg/mm<sup>2</sup>. Suhu karburasi yang digunakan 900°C, waktu karburasi 120 menit dan 240 menit, pendinginan di luar tungku. Juga dibandingkan dengan penelitian akibat perlakuan panas *Carburizing* telah dilakukan (Rai, 2016). Dalam penelitiannya tentang perilaku mekanik baja ringan yang mengalami pengerasan permukaan, sample dicarburizing pada suhu tinggi yaitu pada kisaran suhu antara 900° C dan 1000° C. Penggunaan serbuk cangkang mutiara yang dicampur dengan arang tongkol jagung sebagai media *carburizer* lebih baik ditinjau dari segi angka kekerasan permukaan yang dihasilkan, penggunaan suhu dan waktu carburasi dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.

Semakin tinggi suhu proses *pack decarburizing* dan waktunya, semakin besar penurunan angka kekerasan permukaan. Perlakuan proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C, waktu carburizing 3 jam dengan variasi penambahan SCKM pada media carburizer 10%, 20%, 30% menyebabkan spesimen mengalami penurunan angka kekerasan permukaan sebesar sebesar 38%, 45%, dan 59%. Pada suhu *pack decarburizing* 900 °C penurunan angka kekerasan permukaan spesimen semakin besar yaitu sebesar 39%, 57%, 63%. Penurunan terbesar dari angka kekerasan permukaan adalah 63%, untuk suhu 900 °C, waktu carburizing 3 jam dan penambahan 30% SCKM pada media carburizer.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadinya proses difusi akibat proses *pack carburizing* menyebabkan perubahan ketebalan lapisan karburasi. Ketebalan lapisan karburasi tertinggi yang dihasilkan pada proses *pack carburizing* pada suhu karburasi 875°C sebesar 660µm (21% dibawah lapisan karburasi teoritis), pada waktu karburasi 3 jam dan variasi penambahan 30% SCKM, terendah 191 µm (141% dibawah lapisan

karburasi teoritis), pada waktu karburasi 1 jam dan variasi penambahan 10%, SCKM Setelah melalui *pack carburizing* pada suhu 900°C meningkat. Ketebalan lapisan karburasi tertinggi yang dihasilkan sebesar 825µm (13% dibawah lapisan karburasi teoritis), pada waktu karburasi 3 jam dan variasi penambahan 30% SCKM, terendah 262µm (106% dibawah lapisan karburasi teoritis), pada waktu karburasi 1 jam dan variasi penambahan 10%, SCKM. Besarnya ketebalan lapisan karburasi, dipengaruhi oleh suhu dan waktu karburasi. Berdasarkan hasil diatas tampak bahwa pada kondisi karburasi dengan penambahan 30% SCKM dibandingkan dengan penambahan 10% SCKM, demikian pula untuk karburasi 3 jam dibandingkan 1 jam, memberikan hasil yang mendekati tebal lapisan karburasi secara teoritis (berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan 2-13). Perubahan suhu menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan perpindahan karbon dari sumber karbon yang konsentrasinya lebih tinggi ke permukaan spesimen yang konsentrasinya lebih rendah, atau terjadi perubahan difusitas. Berdasarkan perhitungan rumus (2-12) pada suhu 875°C difusitasnya sebesar  $7,709 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>/s, pada suhu 900°C difusitasnya sebesar  $1,507 \times 10^{-7}$  cm<sup>2</sup>/s. Adanya perbedaan difusitas menyebabkan perbedaan ketebalan lapisan karbon yang terbentuk dalam waktu yang sama.

Proses *pack decarburizing* juga mempengaruhi perubahan ketebalan lapisan karbon pada permukaan spesimen (lapisan karburasi). Pada proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C, waktu *carburizing* 3 jam dan penambahan 30% SCKM pada media *carburizer*, terjadi penurunan ketebalan lapisan karburasi sebesar 33% dibandingkan dengan lapisan karburasi teoritis. Tetapi pada proses *pack decarburizing* pada suhu 800 °C, pada waktu 1 dan 2 jam tidak menyebabkan penurunan lapisan karburasi. Proses *pack decarburizing* pada suhu 900 °C, waktu 2 dan 3 jam terjadi penurunan ketebalan ketebalan lapisan karburasi spesimen. Pada waktu 2 jam terjadi penurunan maksimal sebesar 29% dan waktu 3 jam sebesar 47% pada penambahan 30% SCKM pada media *carburizer*. Peningkatan suhu, waktu *carburizing* dan penambahan prosentase SCKM pada media *carburizer* akan meningkatkan persentase penurunan ketebalan lapisan karburasi. Perubahan ketebalan lapisan karburasi juga menunjukkan fenomena difusi karbon dari permukaan spesimen baja karbon tinggi AISI 420, ke media *carburizer*. Sehingga ketebalan lapisan karburasi pada permukaan spesimen berkurang, sebanding dengan kenaikan suhu, waktu *carburizing* dan penambahan prosentase SCKM pada media *carburizer*.



Berdasarkan data Tabel 5.1, terjadi peningkatan kadar karbon pada spesimen yang mengalami perlakuan *pack carburizing*. Sebelum perlakuan, kandungan karbonnya 0.17%. Selanjutnya setelah perlakuan *pack carburizing* berdasarkan hasil uji komposisi pada bagian permukaan menurut uji komposisi Tabel 5. kandungan karbonnya adalah: 0.184%, 0.28% , 0.57% masing-masing untuk penambahan SCKM pada media karburasi dengan variasi 10% SCKM, 20% SCKM, dan 30% SCKM. Persentase kenaikan kandungan karbon sebesar 235%. Hal ini membuktikan bahwa telah terjadi difusi atom karbon ke permukaan baja karbon rendah, yang dipengaruhi oleh kadar, prosentase Ca pada dan serbuk cangkang kerang mutiara yang ditambahkan pada media *carburizer*. Perubahan prosentase kandungan karbon, menunjukkan bahwa karbon telah mengalami difusi ke dalam permukaan spesimen ( baja SS400).

Pada Tabel 5.2 kandungan karbon dalam spesimen menurun secara signifikan. Proses *pack decarburizing* dengan 30% SCKM pada media *carburizer*, kandungan karbon pada permukaan spesimen yang dihasilkan 0,198%, terjadi pengurangan kandungan karbon 76% dibandingkan dengan kandungan karbon dalam spesimen. Pengurangan kadar kadar karbon yang tinggi disebabkan oleh peningkatan persentase penambahan SCKM dalam media *carburizer* menyebabkan peningkatan proses difusi karbon dari permukaan logam ke media *carburizer*. Fenomena ini menunjukkan bahwa karbon telah keluar dari permukaan spesimen baja karbon tinggi AISI 420, dipengaruhi oleh suhu, waktu, dan persentase kadar Ca dalam media *carburizer*.

Terjadinya perubahan angka kekerasan permukaan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon akibat adanya proses difusi yang dipengaruhi *difusivitas* karbon. *Difusivitas* dipengaruhi oleh suhu. Berdasarkan persamaan (2.14) dan Lampiran 5. *difusivitas* pada proses *pack carburizing* suhu 875 °C adalah  $7,71 \times 10^{-8}$  (cm<sup>2</sup>/s) pada suhu 900 °C adalah  $1,06 \times 10^{-7}$  (cm<sup>2</sup>/s). Pada Lampiran 11, *difusivitas* pada proses *pack decarburizing* suhu 800 °C adalah  $2,74 \times 10^{-8}$  (cm<sup>2</sup>/s) pada suhu 900 °C adalah  $1,06 \times 10^{-7}$  (cm<sup>2</sup>/s). Semakin besar *difusivitas* menyebabkan kecepatan difusi karbon semakin besar sehingga persentase perubahan angka kekerasan permukaan, ketebalan lapisan karburasi dan kandungan karbon pada proses *pack carburizing* dan *pack decarburizing* semakin besar.

Proses *pack carburizing* dengan media *carburizer* (ATJ-SCKM), mempengaruhi struktur mikro spesimen (baja SS400). Pada suhu karburasi 875 °C, dengan kandungan C 0.17% bentuk struktur mikro berupa struktur *ferite* ( $\alpha$  besi) dan *austenite* ( $\gamma$  besi), dengan perbandingan 30% dan 70%, seperti ditunjukkan pada, Gambar 2.1. Pada suhu

karburasi 900 °C, struktur mikro berubah menjadi *austente*. Angka kekerasan permukaan pada proses *pack carburizing* pada suhu karburasi 900 °C lebih tinggi dari pada suhu karburasi 875 °C. Jadi sesuai dengan bentuk struktur mikronya, pada fasa *austente* jumlah karbon yang bisa terlarut lebih besar dibandingkan fasa *ferite*. Pada suhu karburasi 900 °C karbon yang terdifusi ke baja leleh tinggi, sehingga angka kekerasannya juga lebih besar.

Dari hasil penelitian tebal lapisan karburasi tertinggi adalah sebesar sebesar 825 µm, pada suhu 900°C, waktu karburasi 3 jam dan variasi penambahan 30% SCKM. Selanjutnya pada proses *pack carburizing* suhu 875°C dengan waktu karburasi dan prosentase penambahan SCKM yang sama tebal lapisan karburasi yang dihasilkan lebih rendah yaitu 660 µm.

Pada foto struktur mikro ditunjukkan bahwa spesimen yang tidak mengalami perlakuan *pack carburizing* memiliki kandungan karbon yang rendah. Kandungan karbon berupa ferite (berwarna putih dan sedikit perlite (berwarna hitam) pada batas butir. Selanjutnya spesimen yang telah mengalami perlakuan karburasi, struktur mikro mengalami perubahan. Kandungan karbon dari spesimen baja SS40 meningkat yang ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah perlite (warna hitam) pada lapisan permukaan karburasi. Peningkatan kandungan karbon pada permukaan spesimen sebanding dengan peningkatan angka kekerasan, kenaikan temperatur karburasi. Pada suhu *pack carburizing* 875 °C hanya terbentuk struktur perlite. Pada suhu *pack carburizing* 900 °C, struktur martensit mulai terbentuk. Struktur martensit yang terbentuk semakin kedalam semakin berkurang, struktur yang nampak hanya berupa ferite dan perlite. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa difusi atom karbon kedalam permukaan spesimen mengalami penurunan/mulai berkurang. Prosentase penambahan SCKM pada proses *pack carburizing* mempengaruhi terbentuknya ukuran butiran struktur martensit. Setelah lapisan karburasi mengalami pendinginan dari temperatur 900 °C pada media udara maka struktur baja berubah menjadi martensit. Lapisan karburasi yang terbentuk pada proses proses *pack carburizing* dengan prosentase penambahan 10% SCKM memiliki matriks martensit yang kurang rapat, dibandingkan dengan prosentase penambahan 20% dan 30% SCKM, sehingga menyebabkan angka kekerasan permukaan lapisan karburasi akan lebih rendah.

Perlakuan *pack decarburizing* pada suhu 900 °C, waktu *carburizing* 3 jam dengan variasi prosentase SCKM pada komposisi media *carburizer* menyebabkan perubahan struktur mikro. Struktur mikro berubah pada permukaan spesimen setelah perlakuan





proses *pack decarburizing* dengan variasi prosentase, 10%, 20%, dan 30% SCKM, masing-masing ditunjukkan pada Gambar.4.16a – Gambar. 4.16c. Perlakuan proses *pack decarburizing* pada suhu 900 °C, waktu carburizing 3 jam dan komposisi media *carburizer* 10% SCKM, menyebabkan struktur mikro dalam bentuk *martensit*, semakin jauh dari inti berubah menjadi *perlite* dan *ferite*. Struktur mikro spesimen belum mengalami perubahan seperti Gambar. 4.16b dan Gambar.4.16c menunjukkan hasil struktur mikro spesimen untuk proses *pack decarburizing* dengan parameter yang sama dengan komposisi media *carburizer* 20% dan 30% SCKM. Struktur mikro sebagian besar terbentuk dalam bentuk *ferite* dan *perlite*. Perubahan bentuk struktur mikro menunjukkan proses difusi karbon dari permukaan spesimen ke media *carburizer*. Semakin besar persentase penambahan SCKM, semakin meningkat kecepatan difusi , sehingga struktur mikro yang terbentuk di permukaan hampir semua *ferite*. Sehingga kandungan karbon pada permukaan spesimen lebih kecil dari spesimen yang tidak mengalami perlakuan proses *pack decarburizing*.

Pola difraksi XRD terdiri dari beberapa *peaks*. Intensitas besarnya *peak* (puncak) diplot pada sumbu Y dan besarnya sudut *difraksi* yang terukur diplot pada sumbu X. *Peak* yang terjadi merupka *refleksi* dalam pola *difraksi* yang terjadi akibat sinar X *terdifraksi* dari bidang atau plane dalam spesimen yang diuji dengan XRD. Setiap *peak* mempunyai tinggi intensitas yang berbeda, berbanding lurus dengan jumlah foton sinar X yang terdeteksi oleh detektor pada setiap sudutnya. Pada Gambar 5.17a dan Gambar 5.17b terlihat bahwa proses *pack carburizing* menyebabkan kenaikan kadar karbon pada spesimen. Berdasarkan kesamaan posisi sudut difraksi [ $^{\circ}2\theta$ ] terjadinya *peak* dan unsur yang terkandung Fe, O, C, Mg dan P dapat diketahui bahwa material yang digunakan adalah baja karbon. Selanjutnya proses *pack decarburizing* menyebabkan penurunan kadar karbon pada spesimen, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.18a dan Gambar 5.18b. dan berdasarkan kesamaan posisi sudut difraksi [ $^{\circ}2\theta$ ] terjadinya *peak* dan unsur yang terkandung Fe, Ni, Si, C, Mg, S dan P dapat diketahui bahwa material yang digunakan adalah baja tahan karat.