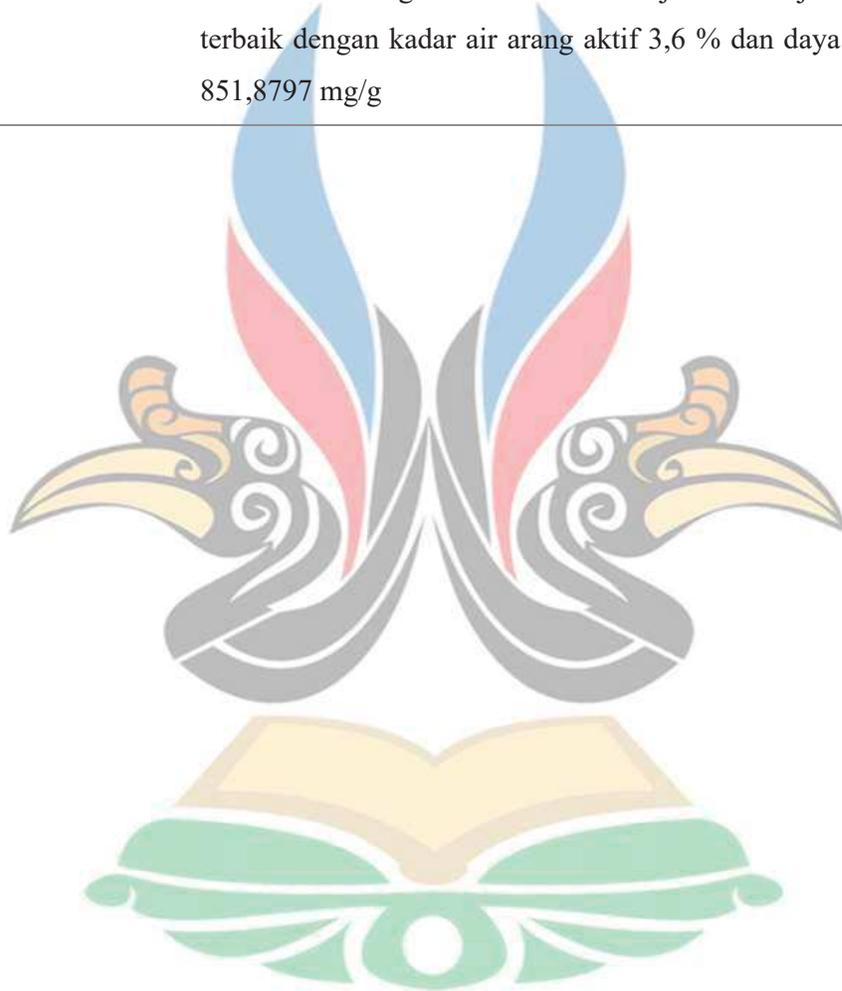

dengan menggunakan aktivator NaOH, NaCl, dan HCl dengan konsentrasi 2 % dan aktivasi selama 1 jam, 2 jam dan 4 jam pada 500 °C.

Hasil : Proses karbonisasi menunjukkan hasil terbaik pada suhu 500 °C dan waktu 3 jam dengan kadar air 18 %, rendemen 23 %, zat yang mudah menguap 3 % dan kadar karbon terikat 61 %. Aktivasi dengan NaOH selama 4 jam menunjukkan hasil terbaik dengan kadar air arang aktif 3,6 % dan daya serap I2 851,8797 mg/g



www.itk.ac.id

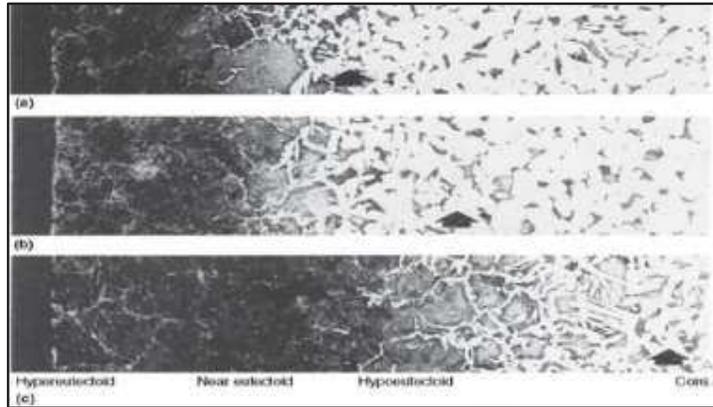
	<p>Hasil : Hasil pengamatan foto struktur pada bagian permukaan menunjukkan fasa mertensit, semakin banyak fasa martensit yang terbentuk menyebabkan tingkat kekerasan semakin tinggi searah dengan meningkatnya variasi waktu tahan. Dan Hasil pengujian kedalaman difusi dan komposisi kimia menunjukkan semakin dalam difusi karbon dan meningkatkan kadar karborr diperrgaruhi oleh variasi waktu tahan. Semakin besar waktu tahan- semakin besar difusi karbon dan semakin meningkatnya komposisi unsur kimia.</p>
2. Aspan, 2015	<p>Metode : Menggunakan Baja EMS 45 dengan serbuk arang batok kelapa, arang bambu dan arang kayu yang dicampur dengan Barium Carbonat ($BaCo_3$). Proses karburising padat dilakukan pada suhu $900^{\circ}C$, dengan waktu tahan selama 2 jam. Proses pengerasan dilakukan dengan memanaskan ulang benda uji pada suhu $900^{\circ}C$, holding time 5 menit, kemudian dicelup ke dalam air bersuhu $28^{\circ}C$.</p> <p>Hasil : Serbuk arang batok kelapa, bambu dan kayu dengan ukuran $250\ \mu m$ dapat digunakan untuk proses karburising padat pada Baja EMS 45 grade Bohler, dan serbuk arang batok kelapa lebih baik dari serbuk arang bambu dan arang kayu. Nilai kekerasan untuk masing-masing material quenching, arang batok kelapa 632.775 VHN, arang bambu 525.510 VHN dan arang kayu 402.344 VHN. Dengan waktu karburisasi padat selama 2 jam, maka akan terjadi difusi Karbon hingga kedalaman $1200\ \mu m$ dan kekerasan permukaan meningkat jika dibandingkan dengan material dasar untuk karburasi batok kelapa 268,76 %, arang bambu 206,25 % dan karburasi arang kayu 134,47 %.</p>
3. Singgih,dkk 2010	<p>Metode : Proses Karbonisasi menggunakan tempurung kelapa sawit menjadi karbon aktif. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu $300^{\circ}C$, $450^{\circ}C$ dan $500^{\circ}C$ dengan waktu 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam dan 3 jam. Sedangkan proses aktivasi dilakukan</p>

2. Mounting. Epoxies thermoset dengan pengisi seperti (seperti partikel silika atau alumina) sangat cocok dengan pemolesan tingkat baja dan dengan demikian dapat memberikan retensi tepi yang baik. Dapat digunakan resin selama 6-10 menit. (Geels, 2007).
3. Teknik Grinding dan Polishing. Permukaan yang dikeraskan sangat rentan terhadap perubahan dengan panas berlebih akibat grinding. Proses grinding harus dilakukan dengan hati-hati. Sangat diinginkan untuk meminimalkan jumlah pemolesan. Spesimen yang telah *overpolished* harus sepenuhnya dikerjakan ulang untuk mendapatkan kembali kerataan permukaan
4. Etsa. Spesimen baja karburisasi dan baja karbonit sering dietsa dengan nital, yang merupakan tujuan umum *etchant* untuk metalografi. Nital dapat mengandung 1 hingga 5% asam nitrat (HNO_3). Konsentrasi asam yang lebih tinggi dalam larutan menghasilkan waktu etsa yang lebih pendek. Selain itu, waktu etsa atau konsentrasi asam harus dikurangi ketika spesimen akan diperiksa pada perbesaran yang lebih tinggi. Nital sangat cocok untuk mengungkapkan *case depth*. Selain itu, etsa *picral* (biasanya asam pikrat 2 sampai 4%) atau *picral* 4% yang telah mengandung asam klorida 0,01% (HCl) ditambahkan akan menghasilkan definisi yang lebih tajam dari struktur karbida daripada nital (ASM Handbook, 2004).

2.5. Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Samsudi, 2008	Metode :Menggunakan metode pack carburizing dengan Karbon Aktif Batok Kelapa, dan Energizer BaCO_3 pada temperatur 850°C dan waktu variasi tahan 3,4,7,8 Jam dengan tempering pada temperatur 150°C selama 30 menit.



Gambar 2. 11 Pengaruh waktu karburisasi pada permukaan pada baja 0,15% C (ASM Handbook, 2004)

Pada Gambar 2.5 untuk baja 0,15% C (0,17 C, 0,5 Si, 0,64 Mn % berat) yang di *pack carburizing* pada temperatur 940 °C selama (a) 1 jam, (b) 2 jam, dan (c) 4 jam didinginkan secara lambat. Panah menunjukkan total *case depth* diperkirakan dari variasi kandungan karbon dari lapisan berturut-turut baik 0,1 atau tebal 0,2 mm (0,004 atau 0,008) (ASM Handbook, 2004).

Setelah terpapar suhu tinggi dalam lingkungan yang mengandung karbon, baja karburisasi kemudian dikeraskan dengan pendinginan langsung (dari suhu austenitisasi selama karburisasi) atau dengan pemanasan ulang dan pendinginan. Secara umum, baja *lean grade* (konduktivitas dan permeabilitas panas yang lebih tinggi) langsung didinginkan, sementara grade lebih banyak paduan dipanaskan ulang lalu didinginkan. Jumlah dan morfologi martensit dalam kasus ini tergantung pada kandungan karbon dan kinetika transformasi. Selain konstituen mikrostruktur, misalnya austenit tertahan, produk transformasi *nonmartensitic*, karbida dan inklusi juga dapat hadir dan memengaruhi sifat dan kinerja (ASM Handbook, 2004).

Metalografi untuk baja karburisasi biasanya mencakup ketebalan lapisan, zona difusi dan cacat pada lapisan. Berikut adalah tahapan metalografi untuk baja karburisasi:

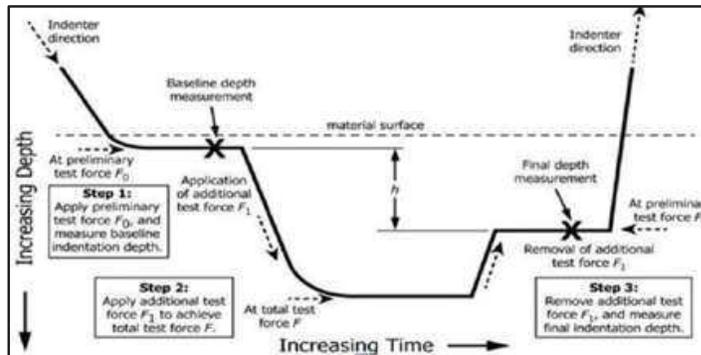
1. Section. Potongan uji yang kecil digunakan untuk meminimalkan jumlah potongan. Dipotong pada bagian-bagian produksi yang dikarburasi dan dikeraskan. Pemotongan secara tegak lurus dengan permukaan yang akan disiapkan.

ASTM E3 – 95. Proses awal metalografi ialah pemotongan spesimen, pada tahap ini dilakukan pemotongan untuk mengambil sampel yang akan diuji. Kemudian dilakukan pembersihan spesimen dari pengotor, minyak, cat dan sebagainya. Ukuran dari spesimen metalografi umumnya tidak lebih dari 12 – 55 mm jika berbentuk kotak, apabila berbentuk bulat maka berdiameter 12 – 15 mm. Namun tidak semua spesimen berukuran sama seperti yang disebutkan sebelumnya, spesimen yang berukuran lebih kecil maka perlu dilakukan *mounting* untuk memudahkan memegang spesimen saat proses *grinding* dan *polishing*. Selanjutnya dilakukan proses *grinding* menggunakan kertas abrasif dari *grit* rendah ke tinggi. Jarak antar *grit* seperti 240, 320, 400 dan 600.

Apabila permukaan spesimen sudah halus maka penggunaan *grit* yang kasar dapat dilewatkan. Proses pengamplasan dilakukan dengan arah 90 untuk menghilangkan goresan di permukaan. Kemudian spesimen dibersihkan dan di *polishing*. Proses ini dilakukan dengan memoles permukaan spesimen pada kertas abrasif yang tingkat kekasarannya sangat rendah, dilakukan dengan arah berbentuk elips. Setelah proses preparasi spesimen, dilakukan proses etsa. Pada proses ini, setiap jenis material memiliki komposisi kimia etsa yang berbeda-beda dan tergantung pada tujuan proses pengetsaan untuk melihat struktur tertentu pada material (ASTM International, 2001).

Sebagian besar baja yang digunakan untuk karburisasi memiliki kandungan karbon awal 0,10 hingga 0,30%. Baja karbon medium (0,30 hingga 0,50% C) terkadang dikarburasi untuk memenuhi persyaratan khusus. Dalam studi metalografi baja karburisasi, struktur permukaan karbon tinggi biasanya sangat penting. Struktur mikro yang dimaksudkan dari baja karburisasi pada dasarnya adalah kasus martensit karbon tinggi yang ringan dengan penurunan martensit dan kandungan karbon sebagai fungsi jarak dari permukaan. Kedalaman permukaan martensit tergantung pada seberapa banyak karbon yang diizinkan berdifusi ke bagian dalam bagian tersebut. Ini tergantung pada kandungan karbon di permukaan dan paparan temperatur waktu selama karburisasi (ASM Handbook, 2004).

Rockwell C dengan indenter intan digunakan ketebalan minimum spesimen 1,02 mm. (ASTM International, 2017)



Gambar 2. 10 Prinsip Rockwell test (ASTM International, 2017)

Prinsip umum uji kekerasan indentasi Rockwell diilustrasikan pada Gambar 2.10 Tes ini dibagi menjadi tiga langkah penerapan dan pelepasan gaya.

Langkah 1: Indenter bersentuhan dengan spesimen uji, dan gaya uji awal F_0 diterapkan. Setelah diberi waktu tinggal tertentu, kedalaman awal indentasi diukur.

Langkah 2: Gaya pada indenter ditingkatkan pada tingkat yang dikontrol oleh gaya uji tambahan F_1 untuk mencapai total gaya uji F . Total gaya uji ditahan untuk waktu tinggal yang ditentukan.

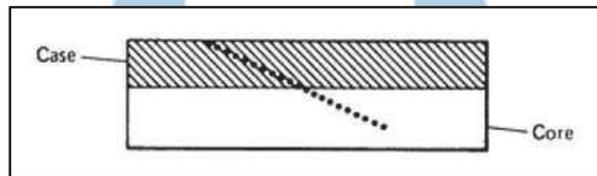
Langkah 3: Kekuatan uji tambahan dihilangkan, kembali ke gaya uji awal. Setelah diberi waktu tinggal tertentu, kedalaman indentasi terakhir diukur. Nilai kekerasan Rockwell berasal dari perbedaan h (ketinggian) pada kedalaman indentasi final dan baseline saat berada di bawah gaya uji awal. Gaya uji awal dihilangkan dan indenter dikeluarkan dari spesimen uji (ASTM International, 2017)

2.4. Uji Metalografi

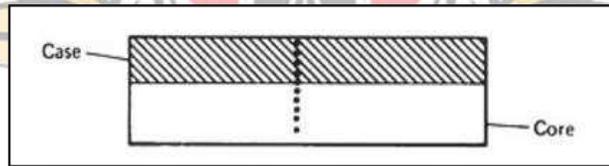
www.itk.ac.id
Metalografi merupakan pemeriksaan struktur logam dan paduannya menggunakan mikroskop cahaya. Mikrostruktur memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap properti dan aplikasinya pada suatu material logam dan paduan. Dari pengujian metalografi ini dapat mempelajari studi kegagalan material dan membantu penelitian terkait struktur mikro. Pengujian ini sesuai dengan standar

tertentu berubah menjadi martensit dari kekerasan yang diberikan. Namun pada baja karburisasi dengan hardenability rendah yang dingin perlahan, austenit dapat berubah menjadi bainitik atau pearlitik dengan kekerasan lebih rendah daripada martensit. Pada teknik pemotongan bagian spesimen, dilakukan pemotongan tegak lurus terhadap permukaan di pusat panjang spesimen.

Kemudian amplas dan poles spesimen hingga semakin halus, direkomendasikan polishing akhir maksimum 6 . Biasanya digunakan beban indentor 500 g pada 50 HRC. Prosedur diilustrasikan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3. Titik-titik menunjukkan lokasi indentor kekerasan (ASM Handbook, 1991).



Gambar 2. 8 Spesimen croASTM-sectioned untuk kasus ringan dan menengah (ASM Handbook, 1991).



Gambar 2. 9 Spesimen croASTM-sectioned untuk kasus menengah dan berat (case depth > 0,38 mm) (ASM Handbook, 1991).

Uji kekerasan Rockwell merupakan uji kekerasan indentasi menggunakan mesin yang diverifikasi untuk memaksa indentor bola spherikonikal atau indentor bola tungsten karbida (atau baja), di bawah kondisi khusus, ke permukaan material yang diuji, dan untuk mengukur perbedaan kedalaman dari indentasi karena gaya pada indentor meningkat dari gaya uji awal yang ditentukan menjadi gaya uji total yang ditentukan dan kemudian kembali ke gaya uji awal (ASTM International, 2017). Rockwell hardness number adalah angka yang berasal dari peningkatan kedalaman indentasi ketika gaya pada indentor meningkat dari gaya uji awal yang ditentukan ke gaya uji total dan kemudian dikembalikan ke gaya uji awal. Pada

sedangkan karbonisasi adalah reaksi pembentukan karbon bebas dari senyawa karbohidrat.

Aktivasi terhadap karbon (arang) adalah menghilangkan zat-zat yang menutup pori-pori permukaan karbon sedangkan activator merupakan atau materi senyawa yang berfungsi sebagai reagen pengaktif akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga memiliki daya serap lebih baik dari karbon nonaktif. Aktivasi dapat dilakukan melalui dua cara yaitu cara fisika dan kimia. Secara fisika yaitu reaksi oksidasi lemah menggunakan uap air pada suhu 900 - 1.000°C sedangkan cara kimia atau cara dehidrasi menggunakan bahan kimia seperti garam kalsium klorida (CaCl_2), magnesium klorida (MgCl_2), seng klorida (ZnCl_2), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium klorida (NaCl). Selain garam mineral biasanya digunakan ialah berbagai asam dan basa organik seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam hipoklorit (H_3PO_4), kalium hidroksida (KOH), dan natrium hidroksida (NaOH). (Jankowska, 1991)

Namun sekarang proses aktivasi karbon sangat jarang dilakukan pada proses karburisasi, hal ini dikarenakan waktu pengerjaannya yang terlalu lama sehingga industri lebih baik menggunakan *energizer* sebagai penggantinya. Berdasarkan *study literatur* yang telah dilakukan terdapat banyak variasi komposisi, waktu tahan, serta temperatur yang mengakibatkan meningkatnya nilai kekerasan. Serta pada penelitian juga membuktikan bahwa proses mengaktivasi karbon dapat meningkatkan kadar karbon lebih dari 50%.

2.3. Uji Kekerasan

Ada beberapa cara untuk mengukur kedalaman permukaan material hasil karburisasi. Total *case depth* kadang-kadang dianggap sebagai jarak dari permukaan ke titik terdalam di mana kandungan karbonnya 0,04% lebih tinggi dari kandungan karbon inti. Total *case depth* dapat diperkirakan dari perbedaan etsa antara permukaan dan inti. Salah satu teknik yang paling umum ialah memotong bagian atau batang uji dan mengukur profil kekerasan. Jarak yang tegak lurus dari permukaan ke titik dimana kekerasan turun ke kekerasan material awal atau kekerasan yang diberikan, sering ditentukan sebagai 50 HRC (510 HV). *Hardenability* juga mempengaruhi case depth, 24 austenit dari konsentrasi karbon

1. Kondisi internal bahan yang mempengaruhi proses perpindahan panas
2. Kondisi permukaan yang mempengaruhi pelepasan panas
3. Kemampuan penyerapan panas dari media quench dalam kondisi fluida tak mengalir pada temperatur dan tekanan fluida normal (kondisi standar)
4. Perubahan kemampuan penyerapan panas dari fluida yang disebabkan oleh kondisi non-standar dari agitasi, temperatur, dan tekanan (Avner; 1974).

Direct quenching atau pendinginan langsung merupakan pendinginan langsung dari suhu austenitisasi dan merupakan perlakuan yang paling banyak digunakan. Istilah pendinginan langsung digunakan untuk membedakan jenis siklus ini dari perlakuan yang tidak langsung lainnya, pendinginan ini mungkin melibatkan karburasi, pendinginan lambat, pemanasan ulang, yang diikuti pendinginan cepat (ASM; 1991)

2.2.5 Pengaruh Aktivasi Karbon Pada Proses Karburisasi

Karbon aktif merupakan karbon yang bebas dan memiliki permukaan dalam (internal surface), sehingga mempunyai daya serap yang baik. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari komponen dalam karbon aktif yaitu: karbon bebas 85-95%, hidrogen 0,6-7,8%, senyawa organik 0,04 - 0,45% dan senyawa anorganik (abu) 1,2-3,3%. Sifat lain dari karbon aktif antara lain: berwarna hitam, tidak berbau, tidak terasa, mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon non aktif dan memiliki permukaan yang luas antara 300 sampai 2000 m²/gram. Badan karbon aktif memiliki pori-pori variatif dari ukuran mikro dibawah 20 Å, ukuran mesh antara 20 sampai 50 Å dan ukuran makro yang melebihi 500 Å.

Sehingga luas permukaan disini lebih dimaksudkan luas permukaan internal yang diakibatkan dari adanya pori-pori yang berukuran sangat kecil. Karena memiliki luas permukaan yang sangat besar, maka karbon aktif sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan luas kontak yang besar seperti pada bidang adsorpsi (penyerapan) dan pada bidang reaksi dan katalisis. Secara umum pembuatan karbon aktif melalui tahapan dehidrasi, karbonisasi kemudian dilanjutkan dengan aktivasi menghasilkan karbon aktif. Dehidrasi bukan hanya menghilangkan kandungan air tetapi juga inert yang volatile seperti HCN,

penahanan yang mana jika pemberian *holding time* yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak sejenis selain itu *holding time* yang singkat akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan kurangnya jumlah karbida yang larut. Selain itu jika *holding time* yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan (Thelning, 1984 dalam Pramono, 2011). Penentuan *holding time* dari bermacam jenis baja dapat dilihat pada tabel berikut,

Tabel 2. 4 Jenis Baja dan Waktu Tahan yang Dibutuhkan pada Proses Perlakuan Panas

Jenis Baja	Waktu Tahan (menit)
Baja karbon dan Baja paduan rendah	5-15
Baja campuran menengah	15-25
Baja Perkakas	10-30
Baja kadar Chrome	10-60
Baja untuk pekerjaan	15-30

Tebal dan tipisnya suatu benda uji sangat berpengaruh pada pemberian *holding time* pada saat proses austenisasi. Pemberian waktu penahanan terhadap ketebalan benda uji dapat ditulis secara matematis pada persamaan 1 berikut (Krauss, 1986 dalam Pramono 2011).

$$T = 1,4 \times H \quad 2.5$$

dengan: T = Holding Time (menit) dan H = Ketebalan Benda uji (mm)

2.2.4 Quenching

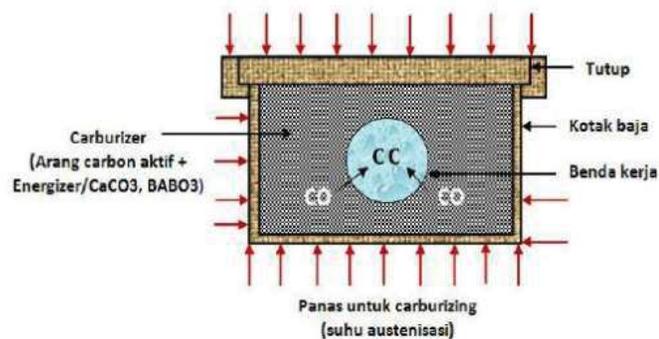
Dalam proses pendinginan cepat, baja mengalami pendinginan cepat dari temperatur austenisasi (815-870°C) yang umumnya dilakukan dengan mencelupkan kedalam air atau minyak. Sebagai hasilnya diperoleh produk yang memiliki mikrostruktur yang dikeraskan (*as-quenched*) dan sifat mekanis seperti kekerasan dan kekuatan yang meningkat. Keefektifan *quenching* tergantung pada sifat pendinginan dari media *quench* dan juga kemampukerasan dari baja (ASM; 1991) Beberapa faktor yang terlibat dalam mekanisme pendinginan cepat, yaitu:

untuk membentuk karbon monoksida (CO) untuk membentuk karbon atomik yang akan berdifusi kedalam baja. berikut adalah reaksinya:



(Hosmani dan Goyal; 2014)

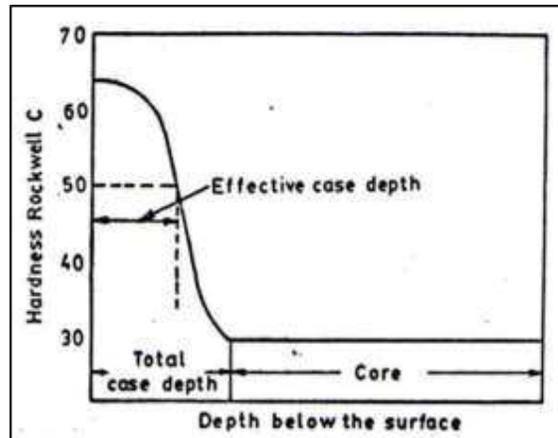
Pembentukan dari karbon monoksida dapat ditingkatkan dengan menambahkan *energizer* seperti barium karbonat ($BaCO_3$), kalsium karbonat ($CaCO_3$), kalium karbonat (K_2CO_3), dan natrium karbonat (Na_2CO_3) kedalam media pengkarburasi. Energizer akan menyediakan karbon dioksida yang akan bereaksi dengan karbon (ASM; 1991).



Gambar 2. 7 Skema Proses *Pack Carburizing* (Negara; 2016)

2.2.3 Holding Time (Waktu Tahan)

Waktu Tahan (*Holding time*) adalah proses penahanan waktu yang bertujuan untuk memperoleh kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening memiliki prinsip menahan suhu pengerasan agar dapat menjadi pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen larut kedalam austenit dan diffusi karbon dan unsur paduannya (Koswara, 1999 dalam Hanafi, 2018). Hal yang sangat berpengaruh dalam proses *quenching* adalah Waktu



Gambar 2. 6 Pola degradasi kekerasan lapisan karburisasi

Pengukuran case depth dapat dilakukan secara mekanis dengan menggunakan uji kekerasan mikro baik dengan metode Vickers ataupun Knoop dengan beban paling kecil sebesar 0,5 kg (Boyer & Gall,1985). Kekerasan hasil pengukuran dari lapisan karburisasi ini berhubungan dengan kandungan karbonnya. Tabel 2.3 menunjukkan keterkaitan antara kekerasan dengan kandungan karbonnya.

Tabel 2. 3 Hubungan kekerasan lapisan dengan kandungan karbon

Kandungan Karbon (%)	Kekerasan Lapisan (HRc/HV)
0,28-0,32	35/345
0,33-0,42	40/392
0,43-0,52	45/446
$\geq 0,53$	50/513

2.2.1 Pack Carburizing

Pack Carburizing sendiri adalah proses karburisasi dengan menggunakan media sumber karbon berupa karbon aktif berbentuk padatan. Dimana karbon aktif tersebut akan berdekomposisi pada permukaan baja dan menghasilkan “nascent carbon” atau karbon atomik yang baru terbentuk dan karbon dioksida (CO₂). Kemudian karbon atomik tersebut berdifusi kedalam baja, dan karbon dioksida yang terbentuk akan bereaksi dengan material sumber karbon dari media padatan

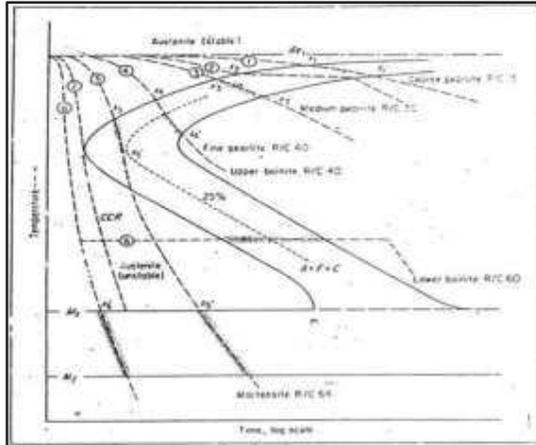
efektif pada seluruh permukaan baja. Penambahan karbon ke permukaan baja tersebut dilakukan dengan cara menempatkan baja yang ingin dikeraskan didalam wadah yang kaya akan karbon, dan kemudian dipanaskan pada temperatur umumnya antara 850 dan 950°C, atau 1560 dan 1740°F, dimana austenit, dengan akan berada pada kondisi dengan kelarutannya yang tinggi untuk karbon, serta dalam bentuk struktur kristal yang stabil.

Selain waktu dan temperatur, beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya adalah komposisi media karburasi dan kandungan karbon dalam baja itu sendiri. Waktu pemanasan tergantung dari berat muatan, dan waktu tahan yang berpengaruh pada kedalaman lapisan karburasi. Pola distribusi kekerasan lapisan karburasi ditunjukkan pada Gambar 2.6 sedangkan pendekatan terhadap case depth merujuk pada persamaan Harris, yaitu (Boyer & Gall, 1985) :

$$Case\ depth = \frac{31,6\sqrt{t}}{10^{(6700/T)}} \quad (in) \quad 2.6$$

Dengan, T : temperatur karburisasi (Rankine)
t: waktu (jam)

Kandungan karbon lapisan karburasi menurun dari permukaan ke dalam inti. Kedalaman karburasi mulai dari permukaan sampai dengan tercapinya kandungan karbon 0,04% lebih tinggi dari bahan dasar disebut dengan kedalaman lapisan total (total case depth) (Boyer & Gall,1985) sedangkan kedalaman lapisan efektif dinyatakan sebagai jarak (milimeter) dari permukaan dimana kekerasan (dinyatakan dengan Rockwell) lebih rendah 15% dibandingkan dengan kekerasan pada permukaan dan batas kekerasan yang umum digunakan adalah 50 HRc (513 HV) (Prabudev, 1995).



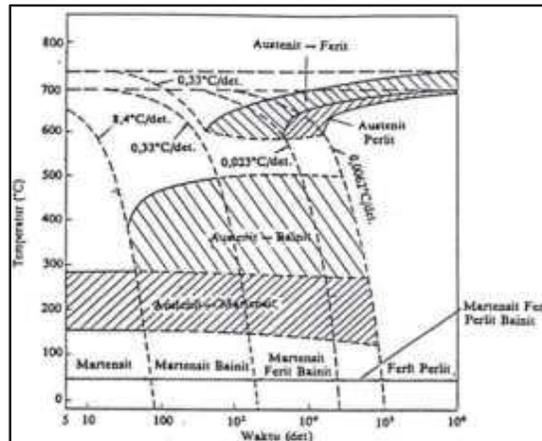
Gambar 2.5 Kurva Pendinginan pada Diagram TTT

2.2. Proses *Pack Carburizing*

Pada proses *pack carburizing* ini meliputi *pack carburizing*, *carburizing*, *quenching*, *holding time* (waktu tahan), pengaruh aktivasi karbon pada proses karburisasi dan kedalaman lapisan karburisasi (*case depth*).

Surface Hardening atau pengerasan permukaan, merupakan suatu proses teknik yang digunakan untuk meningkatkan sifat kekerasan dan ketahanan aus dari baja karbon rendah atau *mild steel* yang memiliki kandungan karbon hingga 0.30%C atau grade dari AISI 1005 hingga AISI 1030 yang memiliki sifat yang lunak dan Tangguh (ASM; 1991). Ini dikarenakan baja karbon rendah bersifat *nonhardenable* atau tidak dapat dikeraskan melalui proses *heat treatment* atau perlakuan panas yang disebut *through-hardened* atau pengerasan sepenuhnya yang akan menghasilkan mikro struktur martensit pada seluruh bagian baja (Schwartz; 2002). Ketidakmampukan dari baja karbon rendah ini, disebabkan oleh kandungan karbonnya yang rendah. Walaupun baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan melalui *throughhardened*, tetapi untuk meningkatkan kekerasan dari baja karbon rendah dapat dilakukan perlakuan *surface hardening*.

Salah satu proses *surface hardening* adalah *carburizing* atau karburisasi, yaitu proses *surface hardening* dengan cara memodifikasi komposisi kimia permukaan dengan metode difusi atau penambahan unsur pengerasan seperti karbon keseluruhan permukaan baja sehingga memungkinkan pengerasan yang

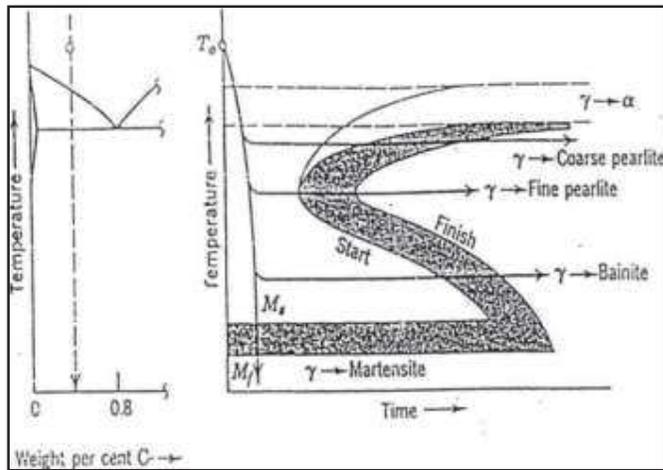


Gambar 2.4 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*).

Dari diagram pendinginan dapat dilihat bahwa dengan pendinginan cepat (kurva 6) akan menghasilkan struktur martensite karena garis pendinginan lebih cepat daripada kurva 7 yang merupakan laju pendinginan kritis (*critical cooling rate*) yang nantinya akan tetap terbentuk fase austenite (*unstable*). Sedangkan pada kurva 6 lebih cepat daripada kurva 7, sehingga terbentuk struktur martensite yang keras, tetapi bersifat rapuh karena tegangan dalam yang besar. Jadi dapat disimpulkan bahwa dengan proses heat treatment pada baja karbon akan meningkatkan kekerasannya. Dengan meningkatnya kekerasan, maka efeknya terhadap kekuatan adalah sebagai berikut :

1) Kekuatan *impact (impact strength)* akan turun karena dengan meningkatnya kekerasan, maka tegangan dalamnya akan meningkat. Karena pada pengujian impak beban yang bekerja adalah beban geser dalam satu arah, maka tegangan dalam akan mengurangi kekuatan impak.

2) Kekuatan tarik (*tensile strength*) akan meningkat. Hal ini disebabkan karena pada pengujian tarik beban yang bekerja adalah secara aksial yang berlawanan dengan arah dari tegangan dalam, sehingga dengan naiknya kekerasan akan meningkatkan kekuatan tarik dari suatu material. (Nugroho, 2019)



Gambar 2.3 Diagram TTT untuk baja Hipoeutectoid ($C < 0,8\%$)

Dari diagram TTT menunjukkan bentuk hidung (nose) sebagai batasan waktu minimum dimana sebelum waktu tersebut bertransformasi austenit ke perlit tidak akan terjadi. Posisi hidung dari diagram TTT dapat bergeser menurut kadar karbon. Posisi hidung bergeser makin kekanan yang berarti baja karbon itu makin mudah untuk membentuk bainit/martensit atau makin mudah untuk dikeraskan. Sedangkan M_s merupakan temperatur awal mulai terbentuknya fasa martensit dan M_f merupakan temperatur akhir dimana martensit masih bisa terbentuk. (Nugroho, 2019)

Untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya dilakukan dengan menggabungkan diagram kecepatan pendinginan kedalam diagram TTT yang dikenal dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*).

Pada contoh gambar diagram CCT menjelaskan bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti bahwa waktu pendinginan dari temperatur austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit–perlit ke campuran ferit–perlit–bainit–martensit, ferit–bainit– martensit, kemudian bainit– martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur yang terjadi adalah martensit.

atom karbon difusi ke dalam ferrit tersebut. Untuk pengerasan baja, pendinginan dilakukan dengan cepat melalui pencelupan ke dalam air, minyak atau bahan pendingin lainnya.

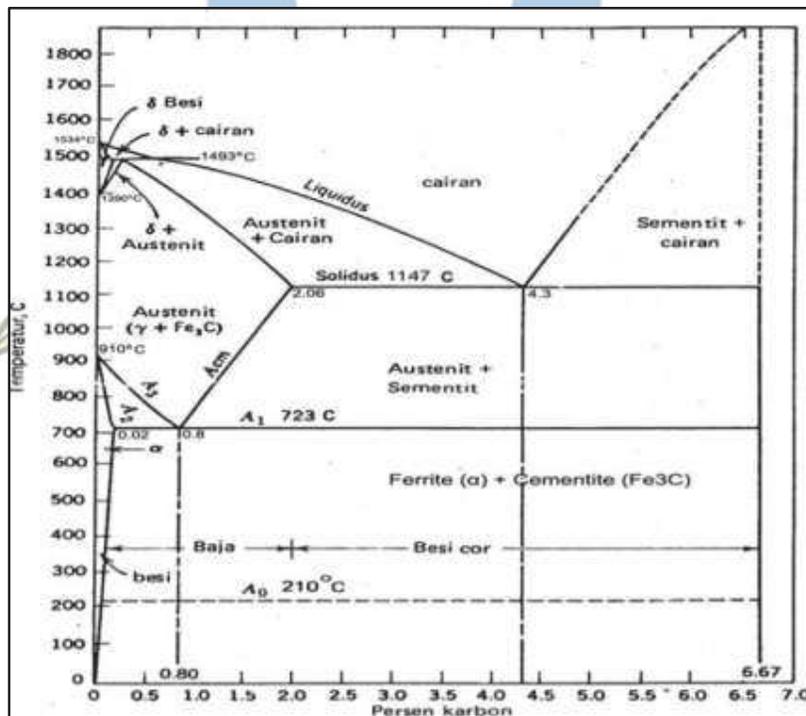
Sehingga atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit tidak sempat membentuk sementit dan ferrit akibatnya austenit menjadi sangat keras yang disebut martensit. Pada baja setelah terjadi austenit dan ferrit kadar karbonnya akan menjadi makin tinggi sesuai dengan penurunan temperatur dan akan membentuk hipoeutektoid. Pada saat pemanasan maupun pendinginan difusi atom karbon memerlukan waktu yang cukup. Laju difusi pada saat pemanasan ditentukan oleh unsur-unsur paduannya dan pada saat pendinginan cepat austenit yang berbutir kasar akan mempunyai banyak martensit. Fase kristal dan besarnya butir yang terjadi akan membentuk sifat baja. Apabila ferrit dan sementit di dalam perlit berbutir besar, maka baja tersebut makin lunak sebagai akibat pendinginan lambat. Sebaliknya baja menjadi semakin keras apabila memiliki perlit berbutir halus yang diperoleh pada pendinginan cepat.

Baja dengan unsur paduan aluminium, vanadium, titanium, dan zirkonim akan cenderung memiliki kristal berbutir halus. Untuk memahami macam-macam fase dan struktur kristal yang terjadi pada saat pendinginan dapat diamati dari diagram TTT. Fasa austenit stabil berada di atas temperatur 770°C pada temperatur yang lebih rendah akan terbentuk martensit dan mulai temperatur tersebut martensit sudah tidak tergantung pada kecepatan pendinginan. Struktur bainit akan terbentuk setelah terbentuknya ferrit dan sementit. Jadi campuran antara ferrit dan sementit adalah bainit seperti pada perlit. Perbedaan antara bainit dengan perlit adalah bentuknya halus sedangkan perlit kasar. Diagram TTT dipengaruhi oleh kadar karbon dalam baja, makin besar kadar karbonnya maka diagramnya akan semakin bergeser ke kanan, demikian pula dengan unsure paduan lainnya.

Apabila baja dipanaskan sampai terbentuknya austenit, pendinginan akan berlangsung terus menerus tidak isothermal biarpun dilakukan dengan berbagai media pendingin. Untuk menentukan laju reaksi perubahan fasa yang terjadi dapat diperoleh dari diagram TTT (Time Temperature Transformation). Diagram TTT untuk baja karbon dengan C kurang dari 0,8 % (hipoeutektoid).

diri menjadi bentuk kristal Face Centred Cubic (FCC) yang juga disebut besi gamma (γ) atau fasa austenit.

Besi gamma ini dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,06 % maksimum pada temperatur sekitar 1.147°C. Penambahan karbon ke dalam besi FCC ditransformasikan kedalam struktur BCC dari 910°C menjadi 723°C pada kadar karbon sekitar 0,8 %. Diantara temperatur 1.390°C dan temperatur cair 1.534°C, besi gamma berubah menjadi susunan BCC yang disebut besi delta (δ). Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan didalam diagram Fe – Fe₃C yaitu, perubahan fasa ferit atau besi alpha (α), austenit atau besi gamma (γ), sementit atau karbida besi, perlit, dan sementit.



Gambar 2.2 Diagram Fe-Fe₃C

Untuk mendapatkan sifat-sifat bahan yang lebih baik sesuai dengan karakter yang diinginkan dapat dilakukan melalui pemanasan dan pendinginan. Tujuannya adalah mengubah struktur mikro sehingga bahan dikeraskan, dimudakan atau dilunakan. Pemanasan bahan dilakukan diatas garis transformasi kira-kira pada 770°C, sehingga perlit berubah menjadi austenit yang homogen karena terdapat cukup karbon. Pada temperatur yang lebih tinggi ferrit menjadi austenit karena

2.1.2 Baja ASTM A 36

Material SS 400 / JIS G3101 / ASTM A36 setara dengan DIN: ST 37-2 dan ASTM: A283C adalah baja ringan dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P). Biasanya digunakan untuk aplikasi baja struktural seperti jembatan, tangki minyak, dan lain-lain. Baja ASTM A36 dengan kandungan kadar karbon rendah, bahan ini tidak dapat dikeraskan. Bahan ini hanya dapat dikeraskan melalui pengerasan permukaan seperti karburisasi dan nitridasi, dimana permukaan dapat mencapai 500 Brinell (sekitar 50 HRC) pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron tergantung pada proses (Ahmad, 2015).

Di dunia industri, pack carburizing menggunakan *energizer* di pengerasan permukaan baja struktural ASTM A36. Informasi penelitian tentang pengerasan permukaan pada baja ASTM A36 masih cukup dianggap terbatas, sementara baja ASTM A36 juga sangat berlaku di dunia industri otomotif misalnya produk sproket dan gir (Asrofi, 2020).

Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja, serta untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi pada paduan baja dengan segala perlakuannya.

Dari diagram fasa terlihat bahwa temperatur sekitar 723°C merupakan temperatur transformasi austenit menjadi fasa perlit (yang merupakan gabungan fasa ferit dan sementit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutectoid dan merupakan dasar proses perlakuan panas dari baja. Sedangkan daerah fasa yang prosentase larutan karbon hingga 2 % yang terjadi di temperatur 1.147°C merupakan daerah besi gamma (γ) atau disebut austenit.

Pada kondisi ini biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk, tidak ferro magnetis dan memiliki struktur kristal Face Centered Cubic (FCC). Besi murni pada temperatur di bawah 910°C mempunyai struktur kristal Body Centered Cubic (BCC). Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah sangat rendah, yaitu sekitar 0,02 % maksimum pada temperatur 723°C. Larutan pada intensitas dari karbon di dalam besi ini disebut juga besi alpha (α) atau fasa ferit. Pada temperatur diantara 910°C sampai 1.390°C, atom-atom besi menyusun

Sangat menarik untuk dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari kulit singkong. Hal ini dilakukan untuk mendukung penyediaan karbon aktif sebagai adsorben. Pada penelitian karbon aktif dari kulit singkong dibuat dengan dua kali proses aktivasi agar didapatkan kualitas karbon aktif kulit yang baik.

Kulit singkong dihasilkan dari proses pengupasan umbi singkong. Umbi singkong diolah menjadi gaplek, tepung tapioka, tape, dan panganan berbahan dasar singkong lainnya. Setiap ton ubi kayu yang menghasilkan limbah 80 – 150 kg kulit singkong (Rahmawati, 2010). Seperti pada Tabel 2.1 komposisi kulit singkong didominasi oleh unsur karbon hingga mencapai 59,31 %. Berdasarkan hal ini, kulit singkong berpotensi sebagai bahan baku karbon aktif.

Menurut Badan Pusat Statistik Kota Magelang, produksi singkong di Indonesi mencapai 21 juta ton pada tahun 2015. Singkong dengan bagian kulit memiliki 20% porsi dari tiap kilogram, maka terdapat kurang lebih 4 juta ton limbah kulit singkong (BPS, 2017). Kota Balikpapan memiliki lahan 121 hektar untuk perkebunan singkong, dengan hasil produksi 45 hingga 46,5 ton per hektar dengan masa tanam singkong selama 7 sampai 9 bulan. (Pemkot Balikpapan, 2018).

Tabel 2.1 Kandungan Kulit Singkong.

Elemen	C	H	O	N	S	Ash	H ₂ O
Wt%	59,31	9,78	28,74	2,06	0,11	0,3	11,4

Tabel 2.2 Kandungan Kulit Singkong Yang Telah Teraktivasi.

Nama	Komposisi (%Max)
Karbon (C)	63,03
Oksigen (O)	25,59
Nitrogen (N)	11,27
Sulfur (S)	0,10

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

www.itk.ac.id

Pada Bab 2 ini dijelaskan mengenai serbuk arang, kulit singkong, aktivasi karbon, Baja ASTM A36, *quenching*, *carburizing*, *pack carburizing*, waktu tahan, uji kekerasan, uji metalografi dan pengaruh aktivasi karbon pada proses karburisasi.

2.1. Bahan yang Digunakan pada Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi Baja ASTM dan Kulit Singkong.

2.1.1 Kulit Singkong

Singkong merupakan makanan pokok nomor tiga di Indonesia setelah padi dan jagung. Tanaman ini memiliki daya adaptasi yang tinggi diberbagai jenis tanah sehingga dapat ditanam di seluruh wilayah Indonesia. (Maulinda, 2015). Kondisi ini menjadi alasan pesatnya pertumbuhan industri yang memanfaatkan singkong sebagai bahan dasarnya salah satunya adalah industri pangan. Namun sebagian besar industri tersebut menghasilkan limbah kulit singkong yang langsung dibuang ke lingkungan, sedangkan kulit singkong mengandung sianida yang dapat merusak tanah dan mencemari lingkungan karena menimbulkan bau yang tidak sedap jika tidak diolah (Utomo, 2014).



Gambar 2.1 Bagian Kulit Singkong yang digunakan