

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Katalis

Katalis ditemukan oleh J.J. Berzelius pada tahun 1836 sebagai komponen yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia, namun tidak ikut bereaksi. Definisi katalisator adalah suatu substansi yang dapat meningkatkan kecepatan, sehingga reaksi kimia dapat mencapai kesetimbangan tanpa terlibat di dalam reaksi secara permanen. Namun pada akhir reaksi katalis tidak bergabung dengan senyawa produk reaksi. Entalpi reaksi dan faktor-faktor termodinamika lainnya merupakan fungsi sifat dasar dari reaktan dan produk, sehingga tidak dapat diubah dengan katalis. Adanya katalis dapat mempengaruhi faktor-faktor kinetika suatu reaksi seperti laju reaksi, energi aktivasi, sifat dasar keadaan transisi dan lain-lain (Widyawati, 2007).

Katalis merupakan zat yang ditambahkan dalam sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. Katalis dapat menyediakan situs aktif yang berfungsi untuk mempertemukan reaktan dan menyumbangkan energi dalam bentuk panas sehingga molekul pereaktan mampu melewati energi aktivasi secara lebih mudah. Oleh karena fungsinya yang sangat penting, maka penggunaan katalis menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai industri. Kebutuhan akan katalis dalam berbagai proses industri cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena proses kimia yang menggunakan katalis cenderung lebih ekonomis.

Dalam mempercepat laju reaksi, katalis bersifat spesifik, artinya suatu katalis dapat mempercepat pada reaksi tertentu saja tidak pada semua reaksi kimia. Contohnya, suatu katalis A mampu mempercepat laju reaksi pada reaksi hidrogenasi namun kurang baik jika digunakan pada reaksi oksidasi. Hal tersebut terikat erat dengan sifat fisika dan sifat kimia katalis. Dalam reaksi yang sama terdapat beberapa kemungkinan jenis material yang dapat digunakan dalam proses reaksi tersebut.

Misalnya dalam reaksi hidrogenasi dapat digunakan katalis Fe, Co, Ni (Le Page, 1987).

Kemampuan suatu katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja katalis antara lain adalah sifat fisika dan kimia katalis; kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir, waktu kontak; jenis umpan yang digunakan; jenis padatan pendukung yang digunakan. Katalis yang dipreparasi dengan cara yang berbeda akan menghasilkan aktivitas dan selektivitas yang berbeda (Rieke dkk, 1997). Kemampuan suatu katalis dalam suatu proses biasanya diukur dari aktivitas dan selektivitasnya. Aktivitas biasanya dinyatakan dalam rosentase konversi atau jumlah produk yang dihasilkan dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu, sedangkan selektivitas adalah ukuran katalis dalam mempercepat reaksi pada pembentukan suatu produk tertentu, karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kinerja katalis dalam mempercepat laju reaksi, maka perlu dilakukan pemilihan katalis secara cermat sebelum menggunakan katalis dalam suatu proses tertentu. Pemilihan katalis yang tepat dalam suatu proses dapat menyebabkan proses yang diinginkan memiliki hasil yang optimal. Pemilihan katalis yang tidak tepat dapat menyebabkan proses menjadi kurang efisien sehingga akibatnya juga menjadi kurang ekonomis. Bahkan pemilihan katalis yang tidak tepat bisa juga menyebabkan adanya efek toksisitas yang berbahaya ataupun dapat mencemari lingkungan (Dewi, 2012).

Dalam reaksi pembuatan biodiesel diperlukan katalis karena reaksi cenderung berjalan lambat. Katalis berfungsi menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dapat berupa katalis basa maupun katalis asam. Dengan katalis basa reaksi berlangsung pada suhu kamar sedangkan dengan katalis asam reaksi baru berjalan baik pada suhu sekitar 100°C. Bila tanpa katalis, reaksi membutuhkan suhu minimal 250°C (Lam, 2010).

Katalis yang berada pada fasa yang sama (*liquid*) dengan reaktan disebut sebagai katalis homogen, sedangkan katalis yang berada pada fasa yang berbeda

dengan reaktannya (dapat berupa padatan, cairan yang tidak dapat bercampur ataupun gas) disebut sebagai katalis heterogen (Helwani, 2009).

2.1.1 Klasifikasi Katalis

Berdasarkan fasanya, katalis dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu katalis enzim, katalis homogen dan katalis heterogen (Nurhayati., 2008).

1. Katalis Enzim

Enzim adalah molekul protein ukuran koloidal, merupakan katalis diantara homogen dan heterogen. Enzim merupakan *driving force* untuk reaksi biokimia, karakterisasinya adalah efisiensi dan selektivitas, sesuai dengan untuk keperluan industri (Widyawati., 2007).

2. Katalis Asam (Homogen)

Katalis homogen berada pada fasa yang sama seperti reaktan dan produk. Beberapa contoh misalnya hidrolisis ester oleh asam (cair-cair), oksidasi SO_2 oleh NO_2 (uap-uap) dan dekomposisi potasium khlorat dengan MnO_2 (padat-padat). Reaksi sangat spesifik dengan *yield* yang tinggi dari produk yang diinginkan. Kelemahan pada katalis homogen ini adalah hanya dapat digunakan pada skala laboratorium, sulit dilakukan secara komersial, operasi pada fase cair dibatasi pada kondisi suhu dan tekanan, sehingga peralatan lebih kompleks (Widyawati, 2007). Menurut Husin dkk (2011), pemisahan antara produk dengan katalis sulit karena berada pada satu fasa, penggunaan katalis ini hanya sekali saja dan tidak dapat didaur ulang.

3. Katalis Basa (Heterogen)

Katalis heterogen merupakan katalis yang berada dalam fasa yang berbeda dengan reaktan, biasanya katalis heterogen berupa padatan dan interaksi pada permukaan padat-gas atau padat-cair (Ulyani., 2008). Penggunaan katalis heterogen menguntungkan dengan beberapa alasan antara lain: selektivitas produk yang diinginkan dapat ditingkatkan dengan adanya pori yang terdapat pada katalis heterogen. Aktivitas intrinsik dari *active site* dapat dimodifikasi oleh struktur padat.

Komposisi kimia pada permukaan dapat digunakan untuk meminimalisasi atau meningkatkan adsorpsi komponen tertentu. Katalis heterogen dapat dipisahkan dari produk dengan penyaringan dan dapat digunakan kembali dengan konstruksi peralatan sederhana (Widyawati, 2007).

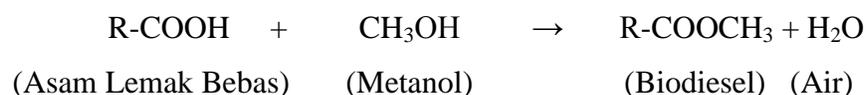
2.1.2 Parameter Katalis

Untuk menilai baik tidaknya suatu katalis, menurut Nurhayati (2008), ada beberapa parameter yang harus diperhatikan, antara lain sebagai berikut:

1. Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektivitas, yaitu kemampuan katalis mempercepat satu reaksi di antara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk sampingan seminimal mungkin.
3. Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas seperti pada keadaan semula.
4. Rendemen katalis / *Yield*, yaitu jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
5. Kemudahan diregenerasi, yaitu proses mengembalikan aktivitas dan selektivitas katalis seperti semula.

2.1.3 Katalis Asam (Homogen)

Alternatif lain yang dapat digunakan untuk pembuatan biodiesel adalah dengan menggunakan katalis asam. Selain berfungsi sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi minyak tumbuhan menjadi biodiesel, katalis asam juga digunakan pada reaksi esterifikasi asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak menjadi biodiesel mengikuti reaksi berikut ini:



Katalis asam umumnya digunakan dalam proses *pretreatment* terhadap bahan baku minyak tumbuhan yang memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi namun sangat jarang digunakan dalam proses utama pembuatan biodiesel. Katalis asam homogen seperti asam sulfat, bersifat sangat korosif, sulit dipisahkan dari produk dan dapat ikut terbuang dalam pencucian sehingga tidak dapat digunakan kembali sekaligus dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Katalis asam heterogen seperti : Nafion, meskipun tidak sekorosif katalis asam homogen dan dapat dipisahkan untuk digunakan kembali, cenderung sangat mahal dan memiliki kemampuan katalisasi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa (Agrawal, 2012).

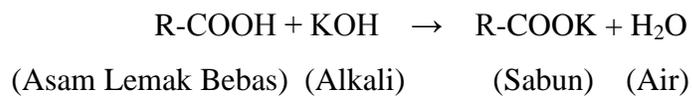
2.1.4 Katalis Basa (Heterogen)

Terdapat dua jenis katalis basa yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel, yaitu katalis basa homogen dan katalis basa heterogen. Katalis basa homogen seperti NaOH (natrium hidroksida) dan KOH (kalium hidroksida) merupakan katalis yang paling umum digunakan dalam proses pembuatan biodiesel karena dapat digunakan pada temperatur dan tekanan operasi yang relatif rendah serta memiliki kemampuan katalisator yang tinggi. Akan tetapi, katalis basa homogen sangat sulit dipisahkan dari campuran reaksi sehingga tidak dapat digunakan kembali dan pada akhirnya akan ikut terbuang sebagai limbah yang dapat mencemarkan lingkungan (Sharma, 2010).

Di sisi lain, katalis basa heterogen seperti CaO, meskipun memiliki kemampuan katalisator yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa homogen, dapat menjadi alternatif yang baik dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis basa heterogen dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi sehingga dapat digunakan kembali, mengurangi biaya pengadaan dan pengoperasian peralatan pemisahan yang mahal serta meminimasi persoalan limbah yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan.

Meskipun katalis basa memiliki kemampuan katalisator yang tinggi serta harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan katalis asam, untuk mendapatkan kinerja proses yang baik, penggunaan katalis basa dalam reaksi transesterifikasi memiliki beberapa persyaratan penting, diantaranya alkohol yang digunakan harus dalam keadaan anhidrous dengan kandungan air < 0.1 - 0.5 %-berat serta minyak yang digunakan harus memiliki kandungan asam lemak bebas < 0.5% (Loter, dkk, 2005).

Keberadaan air dalam reaksi transesterifikasi sangat penting untuk diperhatikan karena dengan adanya air, alkil ester yang terbentuk akan terhidrolisis menjadi asam lemak bebas. Lebih lanjut, kehadiran asam lemak bebas dalam sistem reaksi dapat menyebabkan reaksi penyabunan yang sangat mengganggu dalam proses pembuatan biodiesel.



Akibat reaksi samping ini, katalis basa harus terus ditambahkan karena sebagian katalis basa akan habis bereaksi membentuk produk samping berupa sabun. Kehadiran sabun dapat menyebabkan meningkatnya pembentukan gel dan viskositas pada produk biodiesel serta menjadi penghambat dalam pemisahan produk biodiesel dari campuran reaksi karena menyebabkan terjadinya pembentukan emulsi. Hal ini secara signifikan akan menurunkan nilai ekonomis dari proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis basa. Katalis heterogen dalam proses produksi biodiesel merujuk pada katalis berwujud padat. Penggunaan katalis heterogen didasarkan adanya kelemahan katalis homogen yang memerlukan proses pemurnian lebih lanjut. Terlebih sifatnya yang tidak ramah lingkungan. Melalui penggunaan katalis heterogen diharapkan diperoleh produk biodiesel murni. Keunggulan katalis heterogen dibandingkan katalis homogen (Budiman dkk, 2014) di antaranya:

- a. Tidak sensitif terhadap adanya FFA (asam lemak bebas).
- b. Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dapat terjadi secara bersamaan.

- c. Tidak memerlukan tahap pencucian katalis.
- d. Katalis mudah dipisahkan dari produk utama maupun produk samping sehingga kontaminasi katalis terhadap produk rendah.
- e. Katalis dapat didaur ulang.
- f. Mengurangi adanya masalah korosi

Sebagian besar industri kimia menggunakan katalis heterogen. Keuntungan pemakaian katalis heterogen (berupa padatan) adalah jenis katalisnya banyak, mudah dimodifikasi dan dapat diregenerasi pada suhu pemisahan serta dapat digunakan untuk mereaksikan senyawa yang peka terhadap suasana asam dan tidak merusak warna hasil reaksi. Persyaratan utama suatu katalis heterogen adalah permukaan yang aktif dan mampu mengadsorpsi reaktan. Kelebihan utama katalis heterogen adalah kemudahannya dipisahkan dari hasil reaksi (Berry dkk., 1980).

2.1.5 Katalis CaO dari Cangkang Kepiting

Pada umumnya, sintesis biodiesel dilakukan melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa cair (NaOH atau KOH) dan enzim (lipase), dan melalui proses esterifikasi menggunakan katalis asam cair (H_2SO_4 atau H_3PO_4). Hasil konversi reaksi pembentukan biodiesel menggunakan katalis basa cair dapat mencapai 98%. Bila digunakan katalis asam cair dapat mencapai 99%, dan penggunaan enzim lipase dapat menghasilkan konversi sekitar 91% (Fanny dkk, 2012).

Kalsium Oksida merupakan katalis heterogen jenis oksida logam yang sering digunakan untuk reaksi transesterifikasi. Oksida-oksida tersebut berasal dari logam transisi, logam alkali dan logam alkali tanah. Oksida logam-logam transisi cenderung bersifat asam, mahal, dan menghasilkan *yield* yang rendah. Berbeda dengan oksida logam alkali dan alkali tanah yang bersifat basa, murah, dan menghasilkan konversi yang tinggi (Fanny dkk., 2012).

Kalsium Oksida biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dari bahan seperti kapur, yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3 ; mineral kalsit). Hal ini dapat tercapai melalui pemanasan bahan sampai suhu di atas 800°C , proses ini dinamakan Kalsinasi, untuk memisahkan CO_2 dari senyawa. Ini dilakukan dengan memanaskan material di atas 800°C . Kalsium Oksida telah diteliti sebagai katalis basa yang kuat dimana untuk menghasilkan biodiesel, CaO sebagai katalis basa mempunyai banyak manfaat, misalnya aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang rendah, masa katalis yang lama, serta biaya operasional katalis yang rendah (Tuti dkk, 2011).

Katalis basa heterogen CaO dapat dibuat melalui proses kalsinasi CaCO_3 . Salah satu sumber CaCO_3 yang mudah diperoleh disekitar kita adalah cangkang kepiting. Cangkang kepiting memiliki kandungan kitin 18,70-32,20%, Protein 15,60-2,90%, dan mineral CaCO_3 53,70-78,40% (Focher, 1992). Terlihat bahwa CaCO_3 dengan mineral cangkang kepiting terbesar sebanyak 77 %.

2.1.6 Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium oksida juga disebut kapur tohor yang memiliki rumus kimia CaO . Kalsium oksida (CaO) merupakan kapur non-hidrolik yang diperoleh dari hasil pembakaran batu alam yang komposisinya sebagian besar berupa kalsium karbonat (CaCO_3). Bahan dasar dari kapur ini adalah batu kapur. Batu kapur tersebut mengandung kalsium karbonat (CaCO_3). Kalsium oksida (CaO) terbentuk dengan adanya reaksi kalsinasi. Reaksi kalsinasi tersebut menggunakan pemanasan dengan suhu kira - kira 900°C , akibat proses tersebut karbon dioksida (CO_2) yang terkandung dalam kalsium karbonat (CaCO_3) keluar, dan yang tertinggal hanya kapurnya saja yaitu kalsium oksida (CaO) (Collie, 1976).

1. Sifat Fisik dan Kimia CaO

Keadaan fisik dan penampilan : CaO berupa Kristal padat, dengan sifat fisik dan kimia (Anonim, 2015) sebagai berikut :

Bau	: Tidak berbau.
Rasa	: Tidak tersedia.
Berat Molekul	: 56,08 g / mol
Densitas (g/cm ³)	: 3,35
Warna	: Putih.
pH (1% soln / air)	: 12
Titik didih	: 2850 ° C (5162 ° F)
Melting Point	: 2572 ° C (4661,6 ° F)
Berat Jenis	: 3,33 (Air = 1)
Struktur Kristal	: Kubik
Kelarutan	: 1. Larut dalam asam, gliserol, larutan gula. 2. Practically insoluble dalam alkohol. 3. Sangat sedikit larut dalam air dingin, air panas. 4. Tidak larut dalam metanol, dietil eter, n-oktanol.

2.1.7 Metode Sintesis Katalis

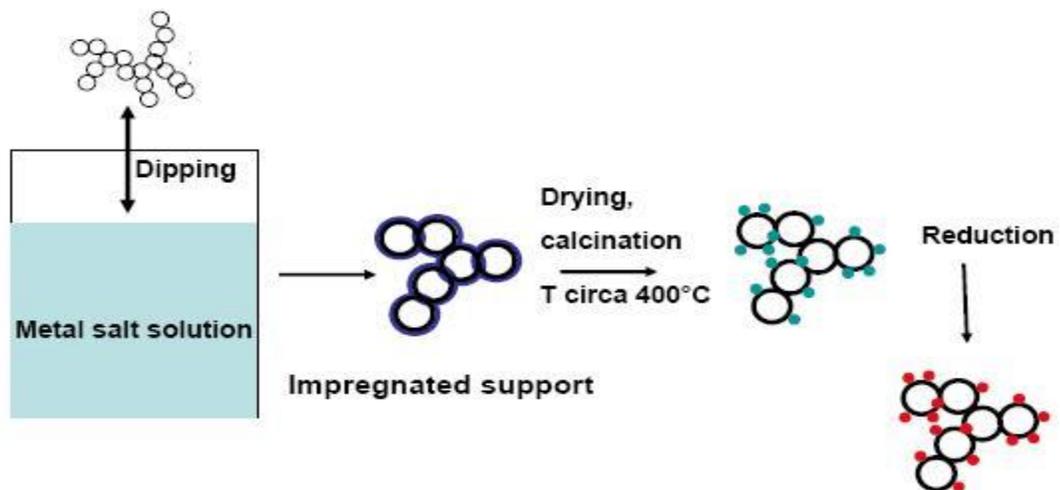
Terdapat bermacam-macam metode sintesis katalis. Pemilihan metode yang digunakan tergantung pada kebutuhan dan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain sifat kimia dari komponen katalis, prekursor, perbedaan komposisi, sifat fisik dan kondisi reaksi yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan. Metode yang paling sering digunakan untuk sintesis katalis ada 2, yaitu impregnasi dan kopresipitasi (Kanade dkk, 2005).

2.1.7.1 Impregnasi

Pengertian dari impregnasi adalah proses penjenjuran total sesuatu menggunakan zat tertentu. Misalnya penjenjuran kapas menggunakan eter. Banyak katalis yang disintesis dengan metode ini. Metode ini merupakan teknik preparasi

katalis yang paling sering digunakan daripada metode lainnya. Alasan utamanya adalah karena kemudahan dalam pengerjaannya. Tujuannya adalah untuk mengisi pori-pori menggunakan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi prekursor menjadi spesi aktif.

Terdapat dua metode impregnasi, yaitu impregnasi basah (*wet impregnation*) dan impregnasi kering (*dry impregnation*). Pada impregnasi basah, jumlah larutan prekursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga. Walaupun metode ini adalah yang termudah, tetapi dapat menghasilkan deposisi prekursor fasa aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dikeringkan dan menghasilkan distribusi fasa aktif mirip kulit telur pada bagian luar penyangga. Distribusi seperti ini bermanfaat bila dilihat dari sisi aplikasi karena dapat mengurangi kebutuhan penetrasi reaktan ke dalam katalis, sehingga dapat meningkatkan aktivitas katalis. Pada impregnasi kering, metode ini sering juga disebut impregnasi tetes menggantung (*incipient wetness impregnation*). Pada metode ini, jumlah larutan prekursor fasa aktif yang ditambahkan sama dengan jumlah volume penyangga. Ilustrasi metode impregnasi ditunjukkan pada Gambar 1.

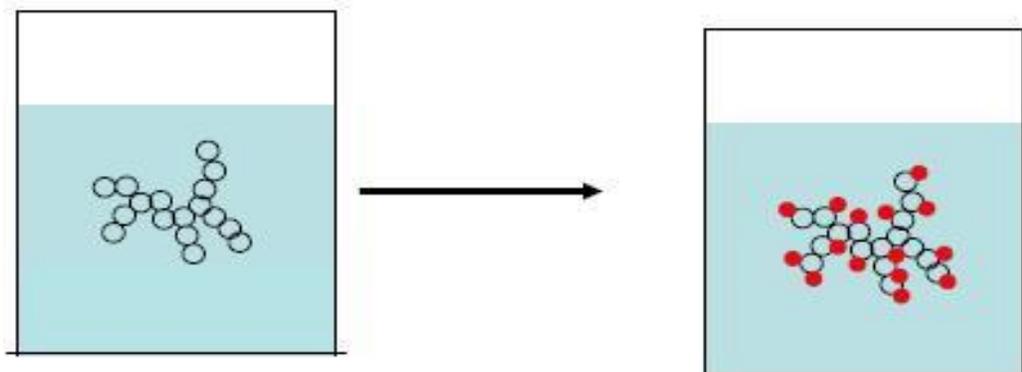


Gambar 1. Ilustrasi metode impregnasi

Sumber: Kanade dkk, 2005

2.1.7.2 Kopresipitasi

Kopresipitasi menurut kamus Oxford adalah proses yang menyebabkan suatu zat dari bentuk cairan menjadi berbentuk padat. Pada metode ini komponen-komponen prekursor katalis dicampurkan kemudian diendapkan bersama-sama pada pH tertentu dengan penambahan bahan pengendap. Pengendapan ini dikarenakan oleh pengaruh ion senama yang ditambahkan pada larutan. Hal ini tentu saja membuat zat yang kelarutannya kecil untuk mengendap lebih dahulu. Tujuan utama kopresipitasi adalah untuk menghasilkan campuran yang merata antar komponen katalis dan pembentukan partikel yang sangat kecil untuk menyediakan luas permukaan yang luas (Kanade, dkk, 2005). Metode kopresipitasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi metode kopresipitasi

Sumber: Kanade dkk, 2005

2.1.8 Karakterisasi Katalis

Dalam pembuatan katalis, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui struktur dan karakteristiknya. Pengujian katalis ini disebut dengan karakterisasi. Pemilihan metode karakterisasi merupakan hal yang amat penting untuk mengidentifikasi sifat-sifat katalis. Pemilihan metode karakterisasi katalis dapat ditinjau dari keperluan atau kepentingannya secara ilmiah dan teknis, biaya karakterisasi, dan kemudahan akses peralatan (Istadi, 2011).

Kinerja katalis dipengaruhi oleh beberapa parameter yakni aktivitas, selektivitas, deaktivasi, aliran fluida dan stabilitas katalis. Kinerja katalis juga dipengaruhi oleh karakteristik dari katalis itu sendiri. Karakter-karakter yang mempengaruhi kinerja katalis diantaranya pemilihan komponen aktif atau situs aktif, luas permukaan katalis, serta sifat kebasaaan dan keasaman permukaan. Aktivitas dan selektivitas dicapai sebagai keadaan optimum dengan menentukan material dan metode preparasi yang sesuai (Nasikin dan Susanto, 2010).

Permukaan katalis mencakup permukaan eksternal dan internal pori-pori. Untuk material yang sangat berpori, luas permukaan internal pori-pori jauh lebih tinggi daripada luas permukaan eksternal. Distribusi ukuran pori katalis dipengaruhi oleh kondisi preparasi dan jumlah masukan komponen aktif. Biasanya terdapat distribusi ukuran pori yang luas pada katalis, akan tetapi, katalis juga dapat dirancang untuk memiliki distribusi ukuran pori yang sangat kecil. Pada katalis, situs-situs aktif tersebar di seluruh matriks berpori. Dalam kondisi temperatur dan tekanan yang sesuai, gas secara bertahap dapat terserap pada permukaan padat dan akhirnya menyebabkan cakupan menyeluruh (Busca, 2014).

Secara garis besar, teknik karakterisasi katalis dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan sifat-sifat yang akan diteliti, antara lain:

1. Sifat – sifat partikel, meliputi: luas permukaan (surface area), porositas atau distribusi ukuran pori (adsorpsi uap pada suhu rendah, Hg porosimetry, dan incipient wetness), densitas, ukuran partikel, sifat-sifat mekanis, dan difusivitas.
2. Sifat-sifat permukaan (surface), meliputi: struktur dan morfologi (SEM, TEM, XRD, XRF, EXAFS, XPS, IR, Raman, UV-Vis), dispersi (chemisorption), dan keasaman (TPD).
3. Sifat-sifat bulk, meliputi: komposisi elemental (XRF, AAS), sifat-sifat senyawa atau struktur fasa (XRD, Raman, IR, DTA, TPR, TPO, TEM), struktur molekul (IR, Raman, UV-Vis, XAFS, NMR, dan EPR), serta reaktivitas bulk (XRD, UV-Vis, TGA, DTA, TPR, dan TPO) (Istadi, dkk, 2011).

Peralatan yang digunakan dalam karakterisasi katalis adalah SEM, SAA, XRF dan XRD.

1. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope mempunyai *depth of field* yang besar, yang dapat memfokus jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011).

Untuk mengetahui morfologi senyawa padatatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat scanning electron microscope (SEM), adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energy yang tinggi dari electron dalam suatu pola scan raster. Elektron berinteraksi dengan atom – atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik (Razi, 2012).

SEM memiliki kemampuan untuk menganalisis sampel tertentu dengan memanfaatkan salah satu metode yang disebutkan di atas. Sayangnya, setiap jenis analisis dianggap merupakan aksesori perangkat tambahan untuk SEM. Aksesori yang paling umum dilengkapi dengan SEM adalah dispersif *energi detektor x-ray* atau EDX (kadang-kadang dirujuk sebagai EDS) (Marantha, 2008).

Menurut Suriani (2009) bahwa data yang diperoleh dari hasil SEM-EDX dapat dianalisis baik secara kuantitatif maupun kualitatif, karena dari data yang diperoleh dapat diketahui jenis atau unsure-unsur mineral yang terkandung dalam suatu sampel yang dianalisis dan menginformasikan jumlah / proporsi dari tiap – tiap jenis mineral atau unsur yang diperoleh tersebut. Hasil dari SEM-EDX berupa gambar struktur

permukaan dari sampel yang diperoleh dari analisa SEM dan grafik antara nilai energi dengan cacahan yang diperoleh dari analisis EDX.

2. *Surface Area Analyzer (SAA)*

Surface Area Analyzer merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material. Alat ini khususnya berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu bahan. Alat ini prinsip kerjanya menggunakan mekanisme adsorpsi gas, umumnya nitrogen, argon dan helium, pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu konstan biasanya suhu didih dari gas tersebut. Alat tersebut pada dasarnya hanya mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada tekanan dan suhu tertentu. Secara sederhana, jika kita mengetahui berapa volume gas spesifik yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu dan kita mengetahui secara teoritis luas permukaan dari satu molekul gas yang diserap, maka luas permukaan total padatan tersebut dapat dihitung (Nurwijayadi, 1998).

Tentunya telah banyak teori dan model perhitungan yang dikembangkan para peneliti untuk mengubah data yang dihasilkan alat ini berupa jumlah gas yang diserap pada berbagai tekanan dan suhu tertentu (disebut juga isotherm) menjadi data luas permukaan, distribusi pori, volume pori dan lain sebagainya. Misalnya saja untuk menghitung luas permukaan padatan dapat digunakan BET teori, Langmuir teori, metode t-plot, dan lain sebagainya. Yang paling banyak dipakai dari teori – teori tersebut adalah BET.

- Metode BET (Brunauer-Emmet-Teller)

BET merupakan singkatan dari nama-nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan pada suatu material. Mereka adalah Brunauer, Emmet dan Teller. BET digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material yang meliputi *surface area* (SA, m^2/g), diameter pori (D) dan volume pori (V_{pr}, cc/g). Teori BET menjelaskan

bahwa adsorpsi terjadi di atas lapisan adsorbat monolayer, sehingga isotherm adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi multilayer.

Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai berikut :

- a. Penempatan molekul pada permukaan padatan (adsorben) membentuk lapisan monolayer.
- b. Penempatan molekul pada lapisan monolayer membentuk lapisan multilayer (Anonim, 2008)

Metode ini menganggap bahwa molekul padatan yang paling atas berada pada kesetimbangan dinamis. Ini berarti jika permukaan hanya dilapisi oleh satu molekul saja, maka molekul-molekul gas ini berada dalam kesetimbangan dalam fase uap padatan. Jika terdapat dua atau lebih lapisan, maka lapisan teratas berada pada kesetimbangan dalam fase uap padatan. Bentuk isotherm tergantung pada macam gas adsorbat, sifat adsorben dan struktur pori. Gejala yang diamati pada adsorpsi isotherm berupa adsorpsi lapisan molekul tunggal, adsorpsi lapisan molekul ganda dan kondensasi dalam kapiler.

3. *X-Ray Fluoresensi (XRF)*

X-Ray Diffraction (XRF) adalah metode analisis untuk menentukan komposisi kimia semua jenis material. Material-material tersebut dapat berupa padatan, cairan, bubuk, filter, dan *beads*. Metode XRF cepat, akurat dan non-destructive (tidak merusak sampel), serta membutuhkan preparasi/persiapan sampel yang mudah (Duggal, 2008). X-Ray Fluoresensi merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan (Brouwer, 2010).

Spektroskopi XRF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan karena membutuhkan jumlah sampel yang relatif kecil (sekitar 1

gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral. Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk hasil penggilingan atau pengepresan menjadi bentuk film.

Instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut dinamakan *X-Ray Fluorescence Spektrometer*. Peralatan ini terdiri dari tabung pembangkit sinar-X yang mampu mengeluarkan elektron dari semua jenis unsur yang sedang diteliti. Sinar-X ini yang dihasilkan harus berenergi sangat tinggi, sehingga anoda target dalam tabung pembangkit harus berupa unsur Cr, Mo, W, atau Au (Eni, 2010).

Prinsip analisis material dengan XRF yaitu apabila elektron dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan karakteristik panjang gelombang tertentu bagi unsur tersebut. Seperti pada tabung pembangkit sinar-X, elektron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sampel analit menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sampel. Untuk setiap atom di dalam sampel, intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sampel. Dengan demikian, jika kita dapat mengukur karakteristik intensitas sinar-X dari setiap unsur, kita dapat membandingkan intensitasnya dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsur dalam sampel bisa ditentukan (Eni, 2010)

4. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Sinar X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895, di Universitas Wurtzburg, Jerman, karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Untuk penemuan ini Rontgen mendapat hadiah nobel pada tahun 1901, yang merupakan hadiah nobel pertama di bidang fisika. Sejak ditemukannya, sinar-X telah umum digunakan untuk tujuan pemeriksaan tidak merusak pada material maupun manusia. Disamping itu, sinar-X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam

analisis kualitatif dan kuantitatif material. Pengujian menggunakan sinar-X disebut dengan pengujian *XRD (X-Ray Diffraction)*.

(X-Ray Diffraction) 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 (Anonim, 2008).

2.2 Kalsinasi

Kata kalsinasi berasal dari bahasa Latin yaitu *calcinare* yang artinya membakar kapur. Proses Kalsinasi yang paling umum diaplikasikan untuk dekomposisi kalsium karbonat (batu kapur, CaCO_3) menjadi kalsium oksida (kapur bakar, CaO) dan gas karbon dioksida atau CO_2 . Produk dari kalsinasi biasanya disebut sebagai “kalsin,” yaitu mineral yang telah mengalami proses pemanasan.

Proses kalsinasi didefinisikan sebagai pengerjaan bijih pada temperatur tinggi tetapi masih di bawah titik leleh tanpa disertai penambahan reagen dengan maksud untuk mengubah bentuk senyawa dalam konsentrat. Kalsinasi juga merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap bijih agar terjadi dekomposisi dari senyawa yang berikatan secara kimia dengan bijih, yaitu karbon dioksida dan air, yang bertujuan mengubah suatu senyawa karbon menjadi senyawa oksida yang sesuai dengan keperluan pada proses selanjutnya. Proses kalsinasi dilakukan dengan pemanggangan pada temperatur yang bervariasi bergantung dari jenis senyawa karbonat yang ada (Eni, 2010).

Kebanyakan senyawa karbonat terdekomposisi pada temperatur rendah. Contoh MgCO_3 terdekomposisi pada temperatur 417°C , MnCO_3 pada 377°C , dan FeCO_3 pada 400°C . Namun untuk kalsium karbonat diperlukan suhu 900°C sehingga terjadi dekomposisi. Hal ini karena ikatan kimia pada air kristal cukup kuat. Pengeringan yang dilakukan dalam tahap kalsinasi ini bertujuan untuk melepaskan

air yang terikat di dalam konsentrat dengan cara penguapan. Pelaksanaannya dilakukan dengan cara pemanasan sedikit di atas titik uap air, atau dengan mengatur tekanan uap air di dalam konsentrat harus lebih besar dari pada tekanan uap air di sekitarnya. Pada prakteknya, tekanan uap air di dalam konsentrat harus lebih besar dari tekanan atmosfer agar kecepatan penguapan dapat berlangsung lebih cepat. Ini adalah prinsip kalsinasi (Lalu, 2010).

Secara umum, pembuatan kapur tohor meliputi :

1. Kalsinasi pada suhu 900° - 1000°C , sehingga batu gamping terurai menjadi CaO dan CO_2
2. CO_2 ditangkap, dibersihkan dan dimasukkan ke dalam tangki
3. Kalsinasi dapat membentuk kapur tohor (CaO) dan padam (CaOH_2)
4. Pembakaran batu gamping pada suhu sekitar 900°C akan diperoleh CaO melalui reaksi $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Pada reaksi ini terjadi penyerapan panas karena untuk mengurai 1 gram molekul CaCO_3 (100 gram) perlu panas 42,5 kkal.

Untuk mengurangi proses pembakaran yang tidak sempurna/tidak merata biasa dikurangi dengan memperkecil ukuran batu kapur pada proses pembakaran, sehingga akan mengurangi impuritanya dan pembakaran yang sempurna akan menghasilkan kandungan kapur (CaO) yang lebih tinggi. Kualitas dari proses pembakaran tergantung pada :

1. Distribusi ukuran partikel
2. Bentuk
3. Kontaminasi dengan partikel tanah
4. Kebersihan permukaan
5. Konsistensi

Kalsinasi merupakan proses pembakaran tahap awal yang berupa reaksi dekomposisi secara endotermik. Kalsinasi berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida.

Kalsinasi juga menghilangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan seperti H_2O , air kristal (dalam bentuk OH) dan gas (CO_2). Kalsinasi merupakan perlakuan panas terhadap campuran serbuk yang sudah dipelet pada suhu tertentu, tergantung pada jenis bahan. Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi antara lain:

1. Pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH) berlangsung sekitar suhu 1000^0 C hingga 3000^0 C.
2. Pelepasan gas-gas seperti: CO_2 berlangsung sekitar suhu 6000^0 C dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti.
3. Pada suhu lebih tinggi, sekitar 8000^0 C struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan diantara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas (Reed J. S, 1988).

2.2.1 Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)

Kalsium karbonat ialah senyawa kimia dengan formula $CaCO_3$. Senyawa ini merupakan bahan yang umum dijumpai pada batu di semua bagian dunia, dan merupakan komponen utama cangkang organisme laut, siput, bola arang, mutiara, dan kulit telur. Kalsium karbonat ialah bahan aktif di dalam kapur pertanian, dan tercipta apabila ion Ca di dalam air keras bereaksi dengan ion karbonat menciptakan limescale. Ini biasanya digunakan dalam pengobatan sebagai tambahan kalsium atau sebagai antasida, tetapi konsumsi berlebihan bisa berbahaya. Adapun sifat fisik dari Kalsium Karbonat. dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik Kalsium Karbonat

Rumus molekul	$CaCO_3$
Massa molar	100.0869 g/mol
Penampilan	Serbuk putih halus; rasa kecapuran
Bau	tidak berbau
Densitas	2.711 g/cm^3 (kalsit)
Titik lebur	$825 \text{ }^\circ\text{C}$ (aragonit)

Lanjutan Tabel 1. Sifat Fisik

Kelarutan dalam air	0.0013 g/100 mL (25 °C)
Keasaman (pK _a)	9.0
Indeks bias (n _D)	1.59

Sumber: Anonim, 2011

2.2.2 Komposisi Batu Kapur dan Kapur Bakar

Perubahan Komposisi batu kapur setelah dikalsinasi menjadi kapur bakar dapat dilihat pada tabel dibawah. Batu kapur sebelum diproses memiliki CaCO₃ sebesar 95,2 %, MgCO₃ sebesar 0,9 %, dan air 2,7 %. Sedangkan setelah mengalami proses kalsinasi, kapur bakar memiliki kandungan CaO sebesar 97,0 %, dan kandungan MgO 0,8 %. Air yang terkandung dalam batu kapur hilang selama kalsinasi. Namun demikian, kandungan SiO₂ pada kapur bakar menjadi lebih relatif tinggi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi CaCO₃ dan CaO

Batu Kapur (CaCO ₃)		Kapur Bakar (CaO)	
CaCO ₃	95,2 %	CaO	97,0 %
SiO ₂	1,2 %	SiO ₂	2,2 %
MgCO ₃	0,9 %	MgO	0,8 %
H ₂ O	2,7 %	H ₂ O	0,0 %

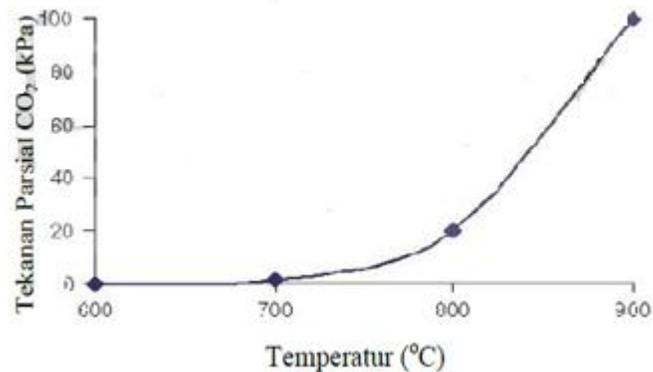
Sumber: Andra, 2015

2.2.3 Reaksi Kalsinasi Batu Kapur

Selama proses kalsinasi, CaCO₃ akan terurai menjadi kapur bakar dengan rumus kimia CaO (kalsium oksida) dan gas karbon dioksida, CO₂ sesuai dengan reaksi berikut: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2(\text{g})$, $\Delta H_{298} = 177,8 \text{ kJ}$

Proses kalsinasi meliputi pelepasan air, karbon dioksida atau gas-gas lain yang terikat secara kimiawi. Proses Kalsinasi lebih endotermik daripada proses drying. Sehingga panas harus dipasok dari sumber dengan temperatur relatif tinggi.

Temperatur kalsinasi sangat dipengaruhi oleh tekanan udara di dalam tungku kalsiner. Variasi tekanan pada kalsin terhadap temperatur ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar.3. Variasi Tekanan pada Kalsin terhadap Temperatur

Sumber: Oates, 1998

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Kalsinasi

Menurut Eni Febriana (2010) variabel utama yang mempengaruhi laju kalsinasi adalah:

1. **Komposisi kimia dan pengotor dari batu kapur**

Pada umumnya batu kapur terdiri atas mineral-mineral berikut:

- Kalsium karbonat
- Magnesium karbonat
- Silika
- Alumina
- Besi
- Sulfur, dan mineral pengotor lainnya.

Dari mineral-mineral di atas, hanya kalsium karbonat dan magnesium karbonat yang menjadi perhatian. Kadar CaCO₃ tinggi ketika dikalsinasi akan menghasilkan

produk dengan kandungan CaO antara 90-95% dan MgO 1-2%. Pengotor yang terkandung di dalam batu kapur akan mempengaruhi kualitas CaO akhir.

2. **Kepadatan dan struktur kristal**

Bentuk kristal menentukan ruang kosong antara kristal, dan dengan demikian, menentukan kepadatan batu kapur. Celah yang lebih besar akan memudahkan lepasnya gas CO₂ selama kalsinasi, tetapi hal ini juga menghasilkan pengurangan volume selama kalsinasi. Beberapa batu kapur, karena struktur kristalnya, akan hancur dalam proses kalsinasi.

3. **Ukuran bahan**

Ukuran bahan yang diumpankan mempengaruhi waktu tinggal dan harus disesuaikan dengan jenis tungku. Untuk memanaskan bahan ukuran partikel umpan harus relatif seragam. Selain itu, untuk menghindari waktu tinggal lama di dalam tungku, ukuran partikel bahan harus kecil, biasanya sekitar 1,5 inci. Semakin besar ukuran bahan, panas tidak cukup menembus ke inti, sehingga bagian dalam pecahan batu tetap sebagai kalsium karbonat sementara bagian luar telah terkonversi menjadi CaO.

4. **Waktu Tinggal**

Waktu tinggal tergantung pada ukuran bahan serta temperatur kalsinasi. Ukuran bahan adalah unsur yang paling penting dalam kalsinasi. Bahan akan memasuki tungku dan terkena gas-gas panas dalam tungku. Dibutuhkan waktu bagi panas untuk menembus bahan. Semakin kecil bahan, semakin pendek waktu untuk penetrasi panas. Dalam kasus bahan bubuk, waktu tinggal ini dapat dikurangi menjadi kurang dari satu menit. Jika waktu tinggal terlalu pendek, inti dari bahan akan tetap dalam bentuk kalsium karbonat sementara bagian luar akan berubah menjadi kalsium oksida. Waktu tinggal CaO di tungku sangat penting selama proses kalsinasi. Tetapi waktu harus cukup memungkinkan bagi panas untuk menembus partikel CaO dan mengusir CO₂ dari partikel.

5. Temperatur

Temperatur teoritis yang diperlukan untuk kalsinasi adalah sekitar 900°C, namun dalam prakteknya diperlukan temperatur yang jauh lebih tinggi, sekitar 1350°C. Untuk menentukan temperatur yang tepat di tungku adalah sangat tergantung pada ukuran bahan serta jenis tungku dan jenis bahan bakar yang digunakan.

2.2.5 Aplikasi dari Proses Kalsinasi

Aplikasi dari proses kalsinasi meliputi :

1. Dekomposisi mineral karbonat seperti pada kalsinasi kalsium karbonat (limestone) menjadi kalsium oksida dan gas karbon dioksida.
2. Dekompisisi mineral hidrat seperti pada kalsinasi bauksit yang bertujuan untuk membuang air Kristal.
3. Dekomposisi zat mudah menguap yang terkandung pada petroleum coke.

2.3 Limbah Cangkang Kepiting (*Scylla Olivacea*)

Sebagai negara maritim, Indonesia mempunyai potensi hasil perikanan laut yang sangat berlimpah, namun potensi ini masih belum bisa dimanfaatkan secara optimal. Menurut data Dirjen perikanan, total potensi ini diperkirakan sebesar 7,2 juta ton/tahun, dan yang bisa dimanfaatkan baru sekitar 40% atau 2,7 juta ton/tahun.

Salah satu potensi ini adalah kepiting yang saat ini merupakan komoditas ekspor unggulan hasil perikanan, khususnya ekport ke Jepang, Uni Eropa dan Amerika Serikat. Menurut data BPS, nilai ekspor kepiting ini pada tahun 1993 mencapai 1,042 milyar dolar US, dan nilai ini selalu meningkat dari tahun ke tahun. Sebagian besar, kepiting ini diekspor dalam bentuk kepiting beku tanpa kepala dan kulit. Produksi kepiting yang diekspor pada tahun 1993 sebanyak 442,724 ton dalam bentuk tanpa kepala dan kulit, sedangkan yang dikonsumsi dalam negeri diperkirakan jauh lebih banyak. Dengan demikian jumlah hasil samping produksi yang berupa kepala, kulit, ekor maupun kaki kepiting yang umumnya 25-50 % dari berat, sangat berlimpah. Hasil samping ini, di Indonesia belum banyak digunakan

sehingga hanya menjadi limbah yang mengganggu lingkungan, terutama pengaruh pada bau yang tidak sedap dan pencemaran air (kandungan BOD 5 , COD dan TSS perairan disekitar pabrik cukup tinggi) (Harianingsih, 2010).

2.3.1 Kepiting (*Scylla Olivacea*)

Kepiting merupakan salah satu pilihan makanan yang banyak digemari oleh masyarakat dunia. Banyaknya konsumsi kepiting menyebabkan banyak pula limbah kepiting yaitu cangkangnya. Keseluruhan daging kepiting ditutupi oleh cangkangnya yang cukup keras. Oleh sebab itu cangkang kepiting dapat dimanfaatkan mulai dari kepala sampai jari-jari kepiting.

Scylla olivacea memiliki warna karapas hijau tua kecokelatan. Dengan panjang maksimum 150 mm, dan sering ditemukan di daerah hutan mangrove (Rahayu dan Setyadi, 2009). *Scylla olivacea* memiliki sistematika sebagai berikut.

- Filum : Arthropoda
- Class : Crustacea
- Ordo : Decapoda
- Family : Portunidae
- Genus : *Scylla*
- Spesies : *Scylla olivacea* H.

Menurut Mossa dkk (1985), genus *Scylla* memiliki ciri-ciri sebagai berikut: panjang pasangan kaki jalan lebih pendek daripada capit, pasangan kaki terakhir berbentuk dayung, karapas berbentuk lebar, dilengkapi dengan 3–9 buah gigi anterolateral, ruas dasar dari antena biasanya lebar, sudut anteroexternal seringkali berlobi, flagel kadang-kadang berada pada orbital mata.

Kepiting bakau (*Scylla olivacea*) merupakan salah satu dari keempat spesies kepiting bakau di dunia. Kepiting ini memiliki keunggulan dari ketiga spesies kepiting lainnya, yakni proses reproduksinya lebih singkat dan dapat bertahan hidup dalam kondisi ekstrim (Farizah, 2010). Bagian-bagian tubuh pada *Scylla olivacea* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagian-bagian tubuh *Scylla olivacea*

Sumber : Rahayu dan Setyadi, 2009

Beberapa jenis kandungan yang menyusun cangkang kepiting ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Kandungan Cangkang Kepiting

Kandungan Bahan	Kadar (%)
Kitin	20-30%
Protein	30-40%
Mineral CaCO ₃	50%

Sumber : (Srijanto, 2003).

Scylla olivacea, merupakan kepiting yang sangat penting di negara-negara Asia Tenggara, dapat mencapai lebar karapas 15 cm. Karapas berbentuk oval sempit, cembung, halus, mengkilap, tidak berbulu atau bergranula; daerah gastric, cardiac intestinal dan branchial dibatasi oleh alur yang lebar tetapi dangkal. Bagian frontal bergigi tumpul 4 buah. Tepi anterolateral mempunyai 9 gigi yang tidak sama besarnya. Capit kuat, pada capit yang kecil terdapat gigi-gigi yang tajam pada sisi pemotongnya, sedangkan pada capit yang besar gigi berbentuk seperti geraham pada sisi pemotongnya; carpus tanpa 2 duri besar pada sisi luarnya. Capit dan kaki jalan berwarna merah bata tanpa pola polygonal yang berwarna lebih gelap (Rahayu dkk, 2009).