

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lemak Sapi

Secara umum, lemak dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu lemak jenuh dan lemak tak jenuh. Lemak yang tersusun oleh asam lemak tak jenuh akan bersifat cair pada suhu kamar, sedangkan asam lemak jenuh pada suhu kamar akan bersifat padat. Asam lemak jenuh akan memiliki titik cair lebih tinggi daripada asam lemak tak jenuh. Menurut Susilawati (2015) asam lemak jenuh sapi 45,34% lebih besar dibandingkan asam lemak jenuh kambing 26,23%. Adewale P. dkk.(2014) meneliti bahwa pada lemak sapi 50% kandungan asam lemak berupa lemak jenuh. Menurut Hermanto.S,dkk.(2008) banyaknya asam lemak jenuh dan asam lemak berantai panjang dapat meningkatkan titik leleh lemak. Hal ini dibuktikan oleh (Hermanto,S.2008) yang menguji titik leleh lemak sapi sebesar 43.5 °C dimana lebih tinggi dibandingkan lemak ayam dan lemak babi.

Lemak sapi atau *tallow* merupakan produk samping dari rumah potong hewan (RPH) dan biasanya digunakan sebagai bahan baku proses pembuatan sabun. Produksi lemak sapi yang berlebih dapat meningkatkan pencemaran lingkungan terutama pencemaran air. Lemak sapi mengandung asam stearat dan palmitat yang tinggi sehingga meningkatkan titik leleh dan viskositas serta menjadi padat ketika berada pada suhu ruang dan memiliki densitas energi yang rendah. Keuntungan penggunaan lemak sapi dalam pembuatan biodiesel dibandingkan dengan minyak jelantah adalah mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh emisi NO_x (Yanowitz J., dan McCormick R.L 2009).

Secara struktural lemak sapi merupakan monoalkil ester dari asam lemak rantai panjang yang serupa dengan lemak nabati dan dapat dikembangkan menjadi biodiesel (Ma dan Hanna,1999). Selain itu, juga dapat meningkatkan nilai ekonomis lemak sapi. Kandungan asam lemak jenuh pada lemak sapi dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Kandungan asam lemak jenuh pada lemak sapi

Asam Lemak	Struktur	% berat
Asam Kaprilat	C 10	0,0958
Asam Laurat	C 12	0,5516
Asam Miristat	C 14	8,7588
Asam Miristoleinat	C 14 : 1	0,8933
Asam Palmitat	C 16	33,8750
Asam Palmitoleat	C 16 : 1	2,3073
Asam Heptadekanoat	C 17	1,2651
Asam Stearat	C 18	21,4603
Asam Oleat	C 18 : 1	29,5983
Asam Linoleat	C 18 : 2	0,8967
Asam α Linolenat	C 18 : 3	0,1163
Asam Arasidat	C 20	0,1754

(Sumber: Affandi,dkk., 2013)

Pembuatan biodiesel dari lemak sapi memiliki keuntungan yaitu, angka *cetane* tinggi, yang digunakan sebagai parameter kualitas minyak diesel. Jika dibandingkan dengan minyak jelantah, angka *cetane* pada *tallow* mencapai >60 akibat kadar asam lemak jenuh yang tinggi (Adewale P. dkk.2014). Asam lemak jenuh (*saturated fatty acid dan FFA*) tinggi membuat pembakaran biodiesel berlangsung stabil. Semakin besar angka *cetane* maka semakin turun nilai emisi NO_x pada saat proses pembakaran (Adewale P. dkk.2014).

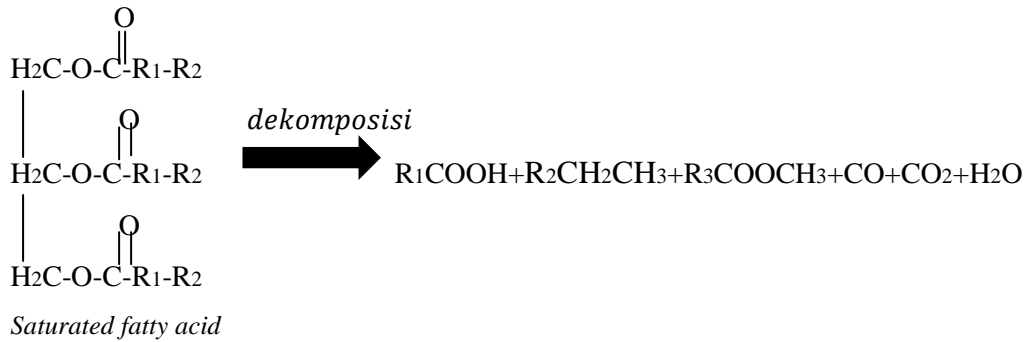
2.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi thermal melalui proses pemanasan dengan atau tanpa oksigen di mana material akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase liquid (bio oil), fase padat (biochar) dan sedikit gas yang dihasilkan (syngas) (Obidike.L,2016). Produk cair hasil pirolisis (bio-oil) mengandung hidrokarbon teroksigenasi yang dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar ataupun sebagai bahan baku sintetik kimia. *Bio-char* hasil dari pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena memiliki *Heating*

Value yang tinggi atau sebagai absorben pengganti karbon aktif dan di beberapa jurnal dapat digunakan sebagai pengganti tanah.

Mekanisme pirolisis trigliserida telah banyak dikemukakan oleh para peneliti Khammasan,T dan Tippayawong,N.(2017); Riyadhhi,A dan Syahrullah (2016); Zaher,F, (2017); Al-Sabawi,Mustafa dkk, (2012); Hassen-Trabelsi, A. Ben dkk,(2013) dimana pirolisis trigliserida menggunakan katalis menghasilkan ester, asam karboksilat, keton, aldehid dan senyawa hidrokarbon lainnya. Mortasen dkk (2011) mengemukakan bahwa penambahan katalis pada proses pirolisis berguna dalam meningkatkan reaksi *cracking*, *dekarbonilasi*, *dekarboksilasi*, *hydrocracking*, *hydrodeoxygenation*, dan *hidrogenasi*. Penggunaan katalis dapat meningkatkan selektivitas, produktifitas, dan menurunkan biaya produksi, serta meningkatkan laju reaksi dan juga meningkatkan kualitas produk yang hampir sama dengan produk yang dihasilkan dari minyak bumi (Khammasan,T dan Tippayawong,N. 2017). Pada temperatur tertentu, seluruh material organik terdekomposisi dari senyawa rantai panjang menjadi molekul rantai pendek. Uap hasil pirolisis terkondensasi menjadi liquid (bio oil). Zaher,F.dkk, (2017) menguji perengkahan minyak nabati menggunakan CaO pada suhu 450 °C sebanyak 3% dari total bahan baku yang menghasilkan bio-kerosen. Hajj,S.D., dkk (2019) mengkonversi PFAD menggunakan katalis CaO dengan jumlah bervariasi menghasilkan *biofuel* dengan yield tertinggi sebesar 27.6% dengan temperature 400 °C. Riyadhhi,A dan Syahrullah (2016) menggunakan zeolit untuk *cracking tallow* pada suhu 170-250 °C selama 2 jam sebanyak 5%. Pada penelitian lainnya Khammasan,T dan Tippayawong,N. (2017) mempirolisis *tallow* menggunakan katalis ZMS-5 pada suhu 443 °C yang menghasilkan *light liquid fuel* dan Hassen-Trabelsi, A. Ben dkk, (2013) mempirolisis lemak hewan dengan temperatur 500 °C tanpa menggunakan katalis dengan laju pemanasan sebesar 5 °C/menit

Menurut Hassen-Trabelsi, A. Ben dkk, (2013), *Liquid* produk yang dihasilkan memiliki 2 fase, larutan encer (fase atas) dan larutan organik (fase bawah), bersifat polar dan memiliki berat molekul yang kecil, selain itu hasil pirolisis menghasilkan *syngas* yang memiliki berat molekul ringan dengan kandungan *volatile* yang tinggi. Reaksi kimia dan fisika yang terjadi selama proses pirolisis begitu kompleks, tergantung dari bahan baku yang digunakan dan

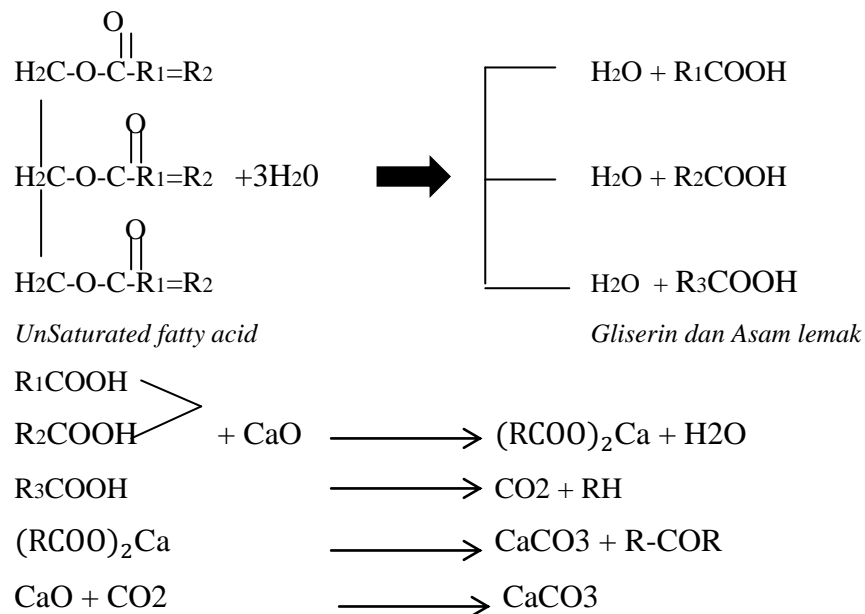


Gambar 2.2 Mekanisme catalytic cracking pada katalis zeolit

Secara umum zeolit digunakan sebagai katalis asam dalam proses cracking. Aktivitas katalitik zeolite dipengaruhi oleh asam Bronsted-Lewis, dimana asam Bronsted mampu melepas ion H^+ dan situs asam Lewis dapat menerima pasangan elektron. Ion H^+ inilah yang berfungsi sebagai pusat aktif katalis (Yolanda, Tria.2018)

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa asam lemak tak jenuh pada trigliserida terhidrogenasi membentuk asam lemak jenuh dengan bantuan ion H^+ dari katalis zeolit. Pemutusan asam lemak jenuh menjadi senyawa rantai pendek melalui 2 rute, yaitu dekarboksilasi menghasilkan CO_2 dan dekarbonilasi-*hydrodeoxygenation* yang menghasilkan CO dan H_2O yang selanjutnya terbentuk *light hydrocarbons*.

Sedangkan mekanisme cracking pada katalis CaO adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Mekanisme catalytic cracking pada katalis CaO

Katalis CaO dapat mempercepat pengantian atom dari grup methyl dengan menyisipkan atom karbon. Adanya kandungan O^{2-} pada katalis menyebabkan ketidakstabilan awan electron pada komponen asam lemak dengan cara *destabilizing* cincin aromatik. Karena muatan negatif tersebut merubah eletron cyclic π^- dari rantai karbon aromatic sehingga 2 molekul *fatty acid* dapat menyerap Ca^{2+} dari CaO. Penyerapan Ca^{2+} dari CaO disebabkan kuatnya afinitas rantai alifatik. Sedangkan atom H^+ pada fatty acid ditransfer ke atom O₂ pada CaO sehingga terbentuk proses dehidrogenasi yang menghasilkan H₂O. $(RCOO)_2Ca$ yang terbentuk selanjutnya mengalami dekarboksilasi menghasilkan CO₂ dan keton. CO₂ yang terbentuk diserap oleh CaO hingga membentuk CaCO₃. Asam karboksilat lainnya mengalami dekomposisi thermal yang menghasilkan CO₂ dan hidrokarbonil. Untuk mengkonversi kembali CaCO₃ yang terbentuk diperlukan temperature sekitar 400-500 °C agar kembali menjadi CaO (Wang Q.dkk 2020).

Faktor yang mempengaruhi pirolisis

Temperatur akhir

Banyak penelitian mengemukakan bahwa kenaikan temperatur akhir pada proses perengkahan katalitik meningkatkan % yield dari bio-oil yang dihasilkan dan menurunkan hasil residu padatan dan syngas. (Hassen-Trabelsi dkk.,2013)

Panas yang dibutuhkan

Menurut Hassen-Trabelsi dkk.,(2013), Semakin banyak panas yang digunakan pada proses pirolisis dapat menurunkan % yield bio-oil dan meningkatkan produk residu padat (bio-char) dan syngas.

Waktu tinggal

Adebanjo, dkk (2005) mengemukakan bahwa waktu tinggal adalah rasio volume dan laju alir *carrier gas* pada temperature reactor. Volume dari gas yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu tinggal. Semakin besar waktu tinggal maka *liquid* yang dihasilkan akan menurun kualitasnya.

Tipe reaktor

Reaktor merupakan jantung dari pirolisis. Ada berbagai macam jenis reaktor yang digunakan dalam proses pirolisis. Penelitian menyebutkan bahwa ukuran partikel dan waktu tinggal mempengaruhi kualitas dan banyaknya bio-oil yang

dihasilkan. Reaktor-reaktor yang sering digunakan antara lain *Fixed Bed, Fluidized Bed, Ablative, Vortex, Vacuum Pyrolysis, Rotating Cone, PyRos, Auger, Plasma, Microwave, Solar* (Obidike.L. 2016).

2.3 Reaktor

Reaktor kimia merupakan suatu alat atau bejana yang didesain sebagai tempat terjadinya reaksi kimia untuk mengubah bahan baku menjadi produk. Proses di dalam reaktor kimia dibagi menjadi 2, yaitu :

a. Proses *batch*

Proses *Batch* merupakan proses dimana semua reaktan dimasukkan secara langsung pada awal proses dan produk dikeluarkan pada akhir proses. Dalam proses ini, reagen ditambahkan pada awal proses dan tidak ada penambahan atau pengeluaran ketika proses berlangsung.

b. Proses kontinyu

Proses kontinyu merupakan proses dimana reaktan yang diumpangkan ke dalam reaktor secara terus-menerus sehingga produk atau produk sampingan dapat dikeluarkan ketika proses masih berlangsung.

Pada perancangan alat ini, reaktor yang digunakan merupakan reaktor sistem *batch*. Perhitungan desain pada perancangan reaktor batch yaitu :

a. Menghitung dimensi reaktor

- Rasio antara diameter dan tinggi reaktor batch (H/D)

$$H/D = 1,5 \quad (\text{Sumber: Putra, S.Y.F,dkk. 2016. p.83})$$

$$H = 1,5D$$

- Tebal dinding (t)

$$t = \frac{Pxr}{(fxE)-0,6P} + C \quad (\text{Sumber : Brownell \& young, p.254.,eq.13.1})$$

dimana :

P = Tekanan Desain (kg/cm²)

R = Jari-jari reaktor (cm)

S = Allowable Stress (Kg/cm²)

E = Joint Efficiency (%)

C = Allowable Corrosion (cm)

b. Menghitung volume total reaktor

Dimensi reaktor berbentuk silinder, maka volume total reaktor dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut

$$V = \pi \times r \times l^2$$

dimana :

r = jari – jari reaktor (cm)

l = tinggi reaktor (cm)

c. Menghitung kapasitas reaktor

Kapasitas reaktor = 75 % x volume total reaktor

(Trianggito, 2014. P.41)

d. Menghitung waktu tinggal didalam reaktor

- Menghitung Hold Up

Biasanya beroperasi dengan 10-15% dari volume yang diisi dengan bahan.

(perry, 7ed. p.1051)

- Menghitung feed rate bahan baku

Feed rate = hold up x massa jenis bahan baku

- Menghitung waktu tinggal

$$t = \frac{\text{hold up} \times \rho}{\text{feed rate}}$$

Hold Up = (Liter)

Massa jenis = kg/l

Feed rate = kg/menit

2.4 Pemanas (*Heater*)

Electrical Heating Element (elemen pemanas listrik) banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, baik didalam rumah tangga ataupun peralatan dan mesin industri. Elemen pemanas merupakan alat yang berfungsi sebagai salah satu kegiatan kerja untuk mendapatkan suhu dari suhu rendah suatu zat sampai ke suhu tinggi (Ariffudin, 2014). Panas yang dihasilkan dari elemen pemanas ini bersumber dari kawat ataupun pita ketahanan listrik (*resistance wire*). Bentuk dan tipe dari elemen pemanas listrik ini bermacam-macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan di panaskan.

Pada perancangan alat reaktor untuk konversi lemak sapi menjadi bahan bakar cair, pemanas yang digunakan adalah jenis *Band heater* 220 V dengan daya 1000w. *Band heater* adalah jenis elemen pemanas listrik yang penggunaannya harus menempel pada permukaan dari bidang yang dipanaskan.



Gambar 2.4 Elemen Pemanas Band Heater

(Sumber : Ariffudin,2014)

2.5 Katalis

Katalis merupakan suatu substansi yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia sehingga dapat mencapai kesetimbangan, tanpa terlibat di dalam reaksi (Bunaciu, dkk.2015). Faktor-faktor yang digunakan dalam pemilihan katalis antara lain, harga katalisator murah, sulit atau tidaknya diregenerasi, tahan terhadap racun, sehingga umur katalis panjang.

Menurut Widi (2018), berdasarkan fasa katalis, reaktan, dan produk reaksinya, katalis dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Katalis homogen

Katalis homogen merupakan katalis yang berfasa sama dengan fasa campuran reaksinya. Katalis homogen umumnya memiliki aktivitas dan selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis heterogen, karena setiap molekul-katalis aktif sebagai katalis. Katalis homogen terdiri dari dua jenis yaitu katalis asam homogen dan katalis basa homogen.

b. Katalis heterogen

Katalis heterogen merupakan katalis yang reaktan dan produk reaksinya berbeda fasa. Katalis heterogen sangat umum digunakan di bidang industri karena mudah dipisahkan dari campuran reaksinya, tahan terhadap asam lemak bebas yang terkandung di dalam bahan baku tanpa melalui reaksi saponifikasi

sehingga memungkinkan untuk melakukan reaksi transesterifikasi ataupun pirolisis dengan bahan baku yang mengandung kadar asam lemak bebas yang tinggi, baik bahan baku yang berasal dari hewan maupun yang berasal dari tumbuhan. Menurut Ricky (2011) katalis heterogen memiliki kelebihan *recycle* yang lebih mudah dan murah daripada katalis homogen dan juga korosivitas yang rendah, tidak memerlukan pencucian dan separasi, dapat dipakai secara kontinyu, dan tidak korosi terhadap reaktor. Pada katalis heterogen penggunaan pengemban membantu katalis bekerja lebih efektif dan lebih reaktif karena memiliki luas permukaan yang besar untuk proses adsorbs. Menurut Dumont,P.A.dkk. (2015), katalis memegang peranan vital dalam proses *catalytic cracking* karena dapat mengurangi bilangan asam dan kandungan oksigen pada *biofuel*, yang dapat meningkatkan massa jenis, nilai kalor, viskositas dll.

Zeolit alam dan CaO merupakan salah satu jenis katalis yang banyak digunakan dalam proses *cracking*. Keberadaan yang melimpah dan hasil konversi bagus menjadikan kedua katalis ini banyak digunakan dan juga menghasilkan karbon netral. Menurut Ginting. A Br.dkk, (2007), Zeolit alam merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedral AlO_2 dan SiO_2 yang saling berhubungan melalui atom O dan memiliki rumus empiris $x/n M^{n+}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot z\text{H}_2\text{O}$, dengan M^{n+} adalah kation yang bergerak bebas dan dapat dipertukarkan sebagian atau seluruhnya oleh kation lain. Kandungan zeolit lainnya selain alkali dan alkali tanah, juga mengandung mineral seperti *feldspar*, *kuarsa* dan lainnya (Ginting. A. Br.dkk,2007). Zeolit alam dapat digunakan sebagai katalis asam amorf yang mengandung asam Bronsted dan Lewis. Konsentrasi asam pada katalis alumina-silika ditentukan oleh rasio SiO_2 dan Al_2O_3 , semakin besar rasio maka semakin besar tingkat keasamannya dan relatif stabil pada suhu tinggi (500-700 °C). Aziz,Isalmi,dkk (2019) mengkonversi minyak goreng bekas menggunakan katalis zeolit pada suhu 300-400 °C dengan konsentrasi katalis 7% w/w, dengan waktu *cracking* selama 3 jam. Riyadhhi,A dan Syahrullah (2016) mengkonversi lemak sapi dengan konsentrasi katalis 5% w/w dengan suhu

300-500 °C. Khammasan,T dan Tippayawong,N. (2017) berhasil mengkonversi *tallow* menjadi *Liquid fuel* dengan konsentrasi katalis 6.5% w/w dengan temperature 400-450 °C.

CaO merupakan katalis yang banyak digunakan dalam proses pembuatan biodiesel baik pirolisis maupun transesrerifikasi. Penelitian (Zaher,F,2017; Nazzar, Muhammad,dkk.2013; Zuhra,dkk.2015) menggunakan katalis CaO dalam mengkonversi trigliserida. Pemanfaatan CaO untuk memproduksi biodiesel mempunyai lebih banyak keuntungan seperti CaO mempunyai kekuatan basa yang relatif tinggi sehingga aktivitas katalitiknya relatif tinggi, bilangan asam pada produk yang dihasilkan kecil, kondisi reaksi yang rendah. Menurut Samik,dkk (2010) keuntungan penggunaan CaO antara lain, *lifetime* katalis yang lama, ramah lingkungan karena kelarutan yang rendah di metanol, dan dapat disintesis dari bahan dasar yang murah seperti batu gamping. Penelitian yang dilakukan Samik,dkk (2017) menjelaskan bahwa kebasaaan katalis CaO sebanding dengan yield produk yang dihasilkan. Penggunaan katalis CaO dapat bervariasi. Zaher,F. dkk (2017) melaporkan penggunaan katalis CaO sebesar 5% v/v pada pirolisis minyak nabati dan (Hajj, S.D., dkk:2019) menggunakan 4% katalis CaO pada *cracking Palm fatty acid*

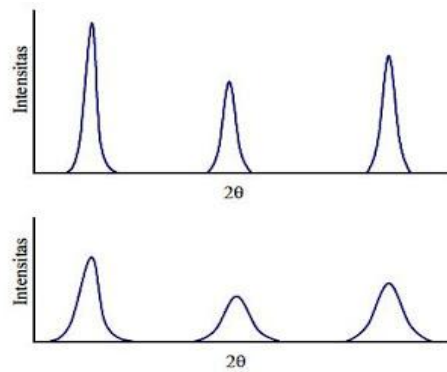
2.6 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. 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 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. Berkas sinar X yang dihamburkan 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. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi, $2d \sin \theta = n\lambda$

Puncak difraksi atau refleksi pada pola sesuai dengan sinar-X yang difraksikan dari bidang kristal tertentu. Setiap puncak memiliki intensitas atau ketinggian yang berbeda, dimana intensitas ini sebanding dengan jumlah foton sinar-X atau energi tertentu yang terhitung oleh detektor pada setiap sudut 2θ . Posisi puncak difraksi tergantung pada struktur kristal, khususnya bentuk dan ukuran sel satuan, pada material spesimen. Posisi ini dapat pula dipengaruhi oleh panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Jumlah puncak difraksi suatu material akan bertambah seiring dengan menurunnya tingkat simetri struktur kristal material tersebut (Suryanarayana dan Norton, 2007). Informasi yang dapat diperoleh dari data difraksi sinar X yaitu: 1. Posisi puncak difraksi memberikan gambaran tentang parameter kisi, jarak antar bidang (d_{hkl}), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan; 2. intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam sel satuan; 3. bentuk puncak difraksi memberikan gambaran tentang ukuran kristalit dan ketidaksempurnaan kisi.

Metode yang sering digunakan untuk menganalisa struktur kristal adalah metode *Scherrer*. Berdasarkan metode ini, makin kecil ukuran kristallitas maka makin lebar puncak difraksi yang dihasilkan, seperti pada gambar 2.3. Kristal yang berukuran besar dengan satu orientasi menghasilkan puncak difraksi yang mendekati sebuah garis vertikal. Kristalitas yang sangat kecil menghasilkan puncak difraksi yang sangat lebar. Peningkatan lebar celah akan meningkatkan intensitas refleksi maksimum pada pola difraksi namun, sebaliknya, akan menurunkan resolusi. Puncak difraksi dihasilkan oleh interferensi secara konstruktif cahaya yang dipantulkan oleh bidang-bidang Kristal (Ilmi Fathul. Teori XRD.2013).

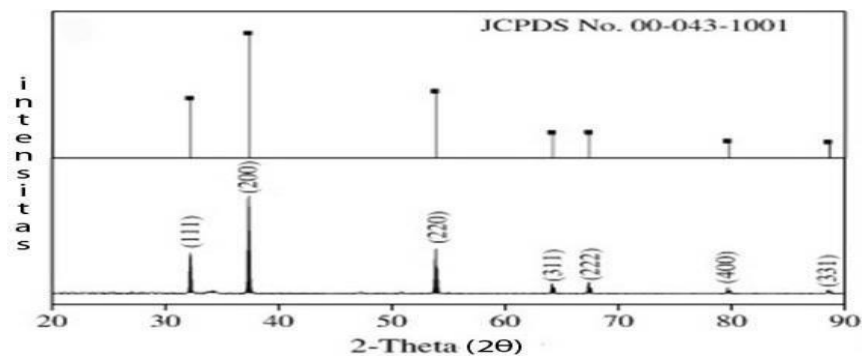


Gambar 2.5 Puncak XRD

Sumber: Minaria, Risfidian Mohadi (2016)

Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh International Centre for Diffraction Data berupa PDF Powder Diffraction File (PDF).

Berikut adalah contoh database yang didapat dari ICDD berupa CaO dan Zeolit. Untuk Standar difraksi JCPDS untuk CaO dengan No. 00-043-1001 dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2.6 Standar difraksi JCPDS untuk CaO dengan No. 00-043-1001

Sumber: Minaria, Risfidian Mohadi (2016)

Tabel 2.2 nilai 2θ pada CaO, Ca(OH)₂, CaCO₃

Compound	2θ				
CaO	34.2°	37.3°	58.3°	64.1°	67.3°
CaCO ₃	29.4°	39.4°	43.2°	47.4°	48.5°
Ca(OH) ₂	28.6°	47.1°	50.8°	-	-

Sumber: Minaria, Risfidian Mohadi (2016)

Tabel 2.3 Unit parameter sel kristal

Sampel (C)	Space Group	Kisi (Å)		Sudut (θ)		Vol sel (Å ³)
		a=b	c	α = β	γ	
CaCO ₃	R-3C	5.051	17.3	90	120	382.368
CaO	Fm3m	4.89	4.89	90	90	113.328

Sumber: Database (ICSD CaCO₃ :73446), (ICSD CaO:75785) dalam Amirul Mukminin.(2018)

Untuk standar zeolit dapat dilihat pada literatur Treacy, M.M.J dan Higgins, J.B.(2001) yang dapat dilihat pada lampiran atau berdasarkan Database zeolite ICDD 47-1870 pada Tabel 2.4 dan Database zeolite ICDD 49-0924 pada Tabel 2.5

Tabel 2.4 Standar zeolit ICDD 47-1870

ICDD 47-1870

Mineral : Clinoptilolite-Na

Potassium Sodium Calcium Aluminum Silicate Hydrate

Chemical : [Na, K, Ca]₅. Al₆ Si₃₀ O₇₂.18 H₂O

Crystal System	Monoclinic	Space Group	C2/m(12)	a	17,647	α	90
Lattice	End-Centered	Density	2.044	b	18,007	β	116,3
Lambda	1,5406	Pattern	1	c	7,396	γ	90

Tabel 2.5 Standar zeolit ICDD 49-0924

ICDD 49-0924

Mineral : Modernit,syn

Sodium Aluminum Silicate-Zeolite Al-modenit

Chemical : Na₂ Al₂ Si_{13,3} O_{29,6}. + x

Crystal System	Orthohombic	Space Group	C2/m(12)	a	18,067	α	90
Lattice	End-Centered	Density	-	b	20,284	β	90
Lambda	1,5406	Pattern	1	c	7,491	γ	90

Sumber : Razzak, dkk.(2013).

2.7 Biofuel

Biofuel merupakan bahan bakar yang sumbernya berasal dari bahan organik yang juga energi non-fossil (Yolanda, 2018). *Biofuel* juga dikatakan energi ramah lingkungan dikarenakan kadar sulfur dan nitrogen rendah yang juga menghasilkan karbon netral. Edra A.(2019), mengemukakan bahan bakar *biofuel* dapat berasal dari hewan, tumbuhan, ataupun sisa-sisa hasil pertanian dan dapat ditemukan dalam bentuk padatan, cair, dan gas yang dihasilkan dari material organik dari proses domestik maupun industri

2.7.1 Biokerosin

Biokerosin merupakan minyak nabati sebagai pengganti minyak tanah atau kerosin. Kerosin merupakan produk minyak bumi yang mempunyai rantai atom karbon C_{12} - C_{15} dan memiliki titik didih sekitar 302-554°F. Kerosin memiliki sifat mudah terbakar, mudah menguap pada suhu diatas 37°C, dan warnanya kuning pucat dengan mempunyai bau yang khas (Yolanda,T. 2018).

Menurut Yolanda,T (2018), penggunaan biokerosin sebagai bahan bakar memiliki keunggulan yaitu lebih mudah diperbaharui, dapat mereduksi gas rumah kaca serta ramah lingkungan. Namun selain kelebihan, biokerosin juga memiliki kekurangan; memiliki densitas dan viskositas yang lebih tinggi dari minyak tanah, bersifat asam, dan nilai kalor lebih rendah dari pada minyak tanah (Yolanda,T 2018).

2.7.2 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar cair yang dapat diperbaharui yang berasal dari mono alkil ester turunan rantai panjang minyak nabati dan lemak. Biodiesel dapat diproduksi langsung dari minyak nabati dan minyak atau lemak hewan (Mahfud, 2018). Biodiesel memiliki berbagai kelebihan dibandingkan minyak diesel biasa yaitu diproduksi dari bahan baku yang dapat diperbaharui, dapat digunakan pada kebanyakan mesin diesel tanpa modifikasi, bersifat lebih ramah lingkungan karena dapat terurai di alam, emisi buang kecil, serta kandungan sulfur dan aromatic rendah (Murtiningrum dan Firdaus, 2016).

a. Standar Mutu Biodiesel

Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia sudah silakukan dalam SNI 7182:2015 yang telah disahkan dan diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN).

Persyaratan kualitas biodiesel disajikan dalam Tabel 2.6

Tabel 2.6 Standar SNI Untuk Biodiesel SNI 7182:2015

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas kinematik pd 40 °C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	-	min. 51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	min. 100
5	Titik kabut	°C	maks. 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)	-	maks. no 1
7	Residu karbon :	%-massa	
	- dalam contoh asli, atau	-	maks 0,05
	- dalam 10 % ampas distilasi	-	maks. 0,30
8	Air dan sedimen	%-vol.	maks. 0,05
9	Temperatur distilasi 90 %	°C	maks. 360
10	Abu tersulfatkan	%-massa	maks.0,02
11	Belerang	(mg/kg)	maks. 100
12	Fosfor	(mg/kg)	maks. 10
13	Angka asam	mg-KOH/g	maks.0,6
14	Gliserol bebas	%-massa	maks. 0,02
15	Gliserol total	%-massa	maks. 0,24
16	Kadar ester alkil	%-massa	min. 96,5
17	Angka iodium	%massa (g I ₂ /100 g)	maks. 115

(Sumber : SK Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2013)

2.8 Karakteristik Bahan bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair yang ditentukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Densitas

Densitas fluida didefinisikan sebagai massa per satuan volume (Qurratul'uyun, 2017). Massa jenis atau yang biasa disebut densitas merupakan indicator banyaknya zat-zat pengotor hasil reaksi. Jika massa jenis suatu bahan bakar melebihi ketentuan, maka akan meningkatkan

keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin (Setiawati & Edwar, 2012).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

ρ = massa jenis cairan (gr/cm^3)

m = massa cairan (gr)

v = volume cairan (cm^3)

2. Titik Nyala

Titik nyala merupakan temperature dimana timbul sejumlah uap dengan udara membentuk suatu campuran yang mudah menyala (Qurratul'uyun, 2017). Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar untuk terbakar (Setiawati dan Edwar, 2012).

3. Viskositas kinematis

Viskositas kinematis merupakan perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas cairan dimana viskositas dinamik merupakan ukuran suatu resistansi internal.

$$v = \frac{\eta}{\rho}, \text{ dengan}$$

$$\eta = K (\rho_b - \rho_f) t$$

(sumber: buku panduan laboratorium Polsri)

v = viskositas kinematic (mm^2/s)

η = Viskositas dinamik (mPa.s)

K = Konstanta bola jatuh ($\text{mPa.s.cm}^3/\text{g.s}$)

ρ = Densitas sampel (gr/cm^3)

t = waktu bola jatuh (s)

ρ_b = Massa jenis bola (gr/cm^3)

4. % Yield

Yield merupakan perbandingan antara jumlah produk yang dihasilkan dengan jumlah bahan baku yang digunakan. Menurut Wahyudi, dkk (2016)

Yield dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\%Yield = \frac{mp}{mb} \times 100\%$$

Keterangan :

Mp = massa produk (gr)

Mb = massa bahan baku (gr)

7. GC-MS

GC MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) merupakan suatu instrument yang terdiri dari dua metode analisis. Kromatografi gas berfungsi sebagai pemisah komponen dalam suatu senyawa, sedangkan spektrometri massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada kromatografi gas (Qurratul'uyun, 2017). Gas kromatografi merupakan pemisahan campuran menjadi konstituennya dalam fase gerak berupa gas yang melalui fase diam yang berupa sorben. Gas kromatografi dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan cara membandingkan waktu retensi dari komponen yang dianalisis dengan waktu retensi zat pembanding pada kondisi analisis yang sama. Sementara untuk analisis kuantitatif dilakukan dengan cara perhitungan relative dari luas puncak kromatogram komponen yang dianalisis terhadap zat baku pembanding yang dianalisis (Qurratul'uyun,2017).

