

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Pengertian Batubara

Batubara adalah batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, dan oksigen sebagai unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk ash tersebar sebagai partikel zat mineral terpisah-pisah di seluruh senyawa batubara. Beberapa jenis batubara meleleh dan menjadi plastis apabila dipanaskan, tetapi meninggalkan suatu residu yang disebut kokas. Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair atau dihidrogenasikan untuk membuat metan. Gas sintesis atau bahan bakar berupa gas dapat diproduksi sebagai produk utama dengan jalan gasifikasi sempurna dari batubara dengan oksigen dan uap atau udara dan uap (Elliott,1981).

Menurut Achmad Prijono, dkk. (1992), batubara adalah bahan bakar hidrokarbon tertambat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen serta terkena pengaruh temperatur dari tekanan yang berlangsung sangat lama. Sedangkan simon dan hopkins berpendapat bahwa batubara adalah batuan yang mudah terbakar yang berasal dari ukumulasi perubahan tertumbuhan secara fisika dan kimia. *The internatonal Book of Coal Petrography* (1963) menyatakan bahwa batubara adalah batuan sedimen yang mudah terbakar, terbentuk dari sisa-sisa tanaman dalam variasi tingkat pengawetan, diikat proses kompaksi, dan terkubur dalam cekungan-cekungan pada kedalaman.

Definisi lengkap yang mencakup beberapa aspek mengenai batubara yaitu :

1. Batubara termasuk batuan sedimen

2. Batubara adalah suatu senyawa yang heterogen
3. Batubara terdiri atas unsur-unsur utama : Karbon, hidrogen, dan oksigen, serta unsur-unsur tambahan : Belerang (sulfur) dan nitrogen
4. Batubara mengandung zat mineral, suatu senyawa anorganik
5. Beberapa jenis batubara tertentu dapat diubah menjadi kokas metalurgi
6. Beberapa jenis batubara cocok untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit uap di PLTU
7. Beberapa jenis batubara tertentu dapat diubah bentuknya menjadi zat cair dan gas. (Ferm,1984)

### 3.2 Genesa Batubara

Ada dua teori yang menerangkan terjadinya batubara, yaitu teori In-situ dan teori Drift. Menurut teori In-situ, batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan tempat batubara tersebut terbentuk. Batubara yang terbentuk sesuai dengan teori In-situ biasanya terjadi di hutan basah dan berawa, sehingga pohon-pohon di hutan tersebut pada saat mati dan roboh langsung tenggelam kedalam rawa tersebut dan sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami pembusukan secara sempurna dan akhirnya menjadi fosil tumbuhan yang membentuk sedimen organik. Batubara menurut teori Drift, terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan yang bukan di tempat batubara tersebut terbentuk. Batubara yang terbentuk sesuai dengan teori Drift biasanya terjadi di delta-delta dengan ciri-ciri lapisan batubara tipis, tidak menerus (*Spillting*), banyak lapisan (*multiple seam*) dan banyak pengotor (Kandungan abu cenderung tinggi). (Buku Panduan PT Bukit Asam Persero Tbk).

Kedua teori diatas menunjukkan bahwa kondisi lingkungan geologi yang dipersyaratkan, antara lain proses terjadi pada lingkungan berawa yang berdekatan

dengan laut atau pada wilayah yang mengalami proses *subsidence* (penurunan), sehingga akumulasi gambut tertimbun oleh sedimen pada saat terjadi permukaan laut naik atau permukaan tanah turun.

Adapun urutan proses pembentukan batubara secara ringkas dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap Pertama : Pembentukan gambut

Iklm bumi selama zaman batubara adalah tropis dan berjenis-jenis tumbuhan tumbuh subur di daerah rawa membentuk suatu hutan tropis. Setelah banyak tumbuhan yang mati dan menumpuk di atas tanah, tumpukan itu semakin lama semakin tebal menyebabkan bagian dasar dari rawa turun secara perlahan-lahan dan material tertumbuhan tersebut diuraikan oleh bakteri dan jamur. Tahap ini merupakan tahap awal dari rangkaian pembentukan batubara (*coalification*) yang ditandai oleh reaksi biokimia yang luas. Selama proses penguraian tersebut, protein, kanji dan selulosa mengalami penguraian lebih cepat bila dibandingkan dengan penguraian material berkayu (Lignin) dan bagian tumbuhan yang berilin (kulit ari daun, dinding spora, dan tepung sari). Karena itulah, dalam batubara yang muda masih terdapat ranting, daun, spora, bijih, dan resin, sebagai sisa tumbuhan. Bagian-bagian tumbuhan ini terurai di bawah kondisi aerob menjadi karbondioksida, air dan amoniak, serta dipengaruhi oleh iklim. Proses ini disebut proses pembentukn humus (*humafication*) dan sebagai hasilnya adalah gambut (*peat*)

2. Tahap Kedua : Pembentukan Lignit

Proses terbentuknya gambut berlangsung tanpa menutupi endapan gambut tersebut. Dibawah kondisi asam, dengan dibebaskannya  $H_2O$ ,  $CH_4$ , dan sedikit  $CO_2$ , terbentuklah material dengan rumus  $C_{65}H_4O_{30}$  atau *Ulm*in yang

pada keadaan kering akan mengandung karbon 61,7%, hidrogen 0,3%, dan oksigen 38%.

Dengan berubahnya topografi di daerah di sekelilingnya, gambut menjadi terkubur di bawah lapisan lanau (*silt*) dan pasir yang diendapkan oleh sungai dan rawa. Semakin dalam terkubur, semakin bertambah timbunan sedimen yang menghimpitnya sehingga tekanan pada lapisan gambut bertambah serta suhu naik dengan jelas. Tahap ini merupakan tahap kedua dari proses pembentukan batubara atau yang disebut tahap *metamorfik*.

Penutupan rawa gambut memberikan kesempatan pada bakteri untuk aktif dan penguraian dalam kondisi basa menyebabkan dibebaskannya CO<sub>2</sub>, deoksigenasi dari ulmin, sehingga kandungan hidrogen dan karbon bertambah. Tahap kedua dari proses pembentukan batubara ini adalah tahap pembentukan lignit, yaitu batubara *rank* rendah yang mempunyai rumus perkiraan C<sub>79</sub>H<sub>5,5</sub>O<sub>14</sub>. Dalam keadaan kering, lignit mengandung karbon 80,4%, hidrogen 0,5% dan oksigen 19,1%.

3. Tahap Ketiga : Pembentukan batubara *sub-bituminous*

Tahap selanjutnya dari proses pembentukan batubara ialah perubahan batubara *bituminous rank* rendah menjadi batubara *bituminous rank* pertengahan dan *rank* tinggi. Selama tahap ketiga, kandungan hidrogen akan tetap konstan dan oksigen turun. Tahap ini merupakan tahap pembentukan batubara *subbituminous (sub-bituminous coal)*.

4. Tahap Keempat : Pembentukan batubara *bituminous*

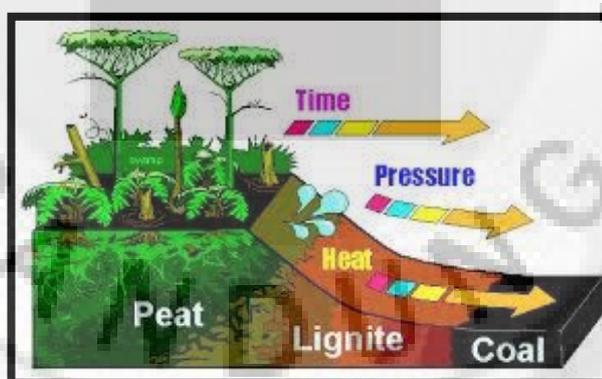
Dalam tahap keempat atau tahap pembentukan batubara *bituminous (bituminous coal)*, kandungan hidrogen turun dengan menurunnya jumlah

oksigen secara perlahan-lahan, tidak secepat tahap-tahap sebelumnya. Produk sampingan dari tahap ketiga dan keempat ini adalah  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , dan mungkin  $\text{H}_2\text{O}$ .

#### 5. Tahap Kelima : Pembentukan Antrasit

Tahap kelima adalah *antrasitisasi*. Dalam tahap ini, oksigen hampir konstan, sedangkan hidrogen turun lebih cepat dibandingkan tahap-tahap sebelumnya. Proses pembentukan batubara terlihat merupakan serangkaian reaksi kimia. Kecepatan reaksi kimia ini dapat diatur oleh suhu dan atau tekanan. Suatu diagram yang menunjukkan proses dekomposisi (penguraian), pengendapan dan tekanan yang menyebabkan adanya kenaikan *rank* batubara sampai terbentuknya batubara *rank* paling tinggi, yakni antrasit.

(Pietrobono,1985)



Sumber : A.C Cook and AJ. Kanstler, (1993)

Gambar 3.1  
Proses Pembentukan Batubara

Tabel 3.1  
Susunan Unsur Gambut, Lignit, Batubara Subbituminous, Bituminus dan Antrasit

	Karbon	Volatile Matter	Caloric Value	Moisture
Gambut	60%	> 53%	16,8 MJ/kg	> 75% in situ
Lignit	61% - 71%	53% - 49%	23,0 MJ/kg	35% in situ
Subbituminous	71% - 77%	49% - 42%	29,3 MJ/kg	25% - 1% in situ
Bituminus	77% - 87%	42% - 29%	36,3 MJ/kg	8% in situ

Sumber : Carpanter, A.N., (1998), Coal Clasification, London, 1998

**Tabel 3.2**  
**Karakteristik Peringkat Batubara**

<b>Peringkat</b>	<b>Zat terbang (% berat, dmmf)</b>	<b>Karbon Padat (%berat, dmmf)</b>	<b>Nilai Kalor (BTU/lb, mmmf)</b>
<i>Lignit</i>	-	-	6300 – 8300
<i>Sub-bituminus</i>	-	-	8300 – 11500
<i>HVC Bituminus</i>	-	-	11500 – 13000
<i>HVB Bituminus</i>	-	-	13000 – 14000
<i>HVA Bituminus</i>	> 31	> 69	> 14000
<i>MV Bituminus</i>	22 – 31	69 – 78	-
<i>LV Bituminus</i>	14 – 22	78 – 86	-
<i>Antrasit</i>	2 – 14	92 – 98	-

Sumber : Direktorat Inventarisasi Mineral dan Batubara, 1993

Keterangan : HV = High Volatile

MV = Medium Volatile

LV = Low Volatile

dmmf = Dry Mineral Matter Free

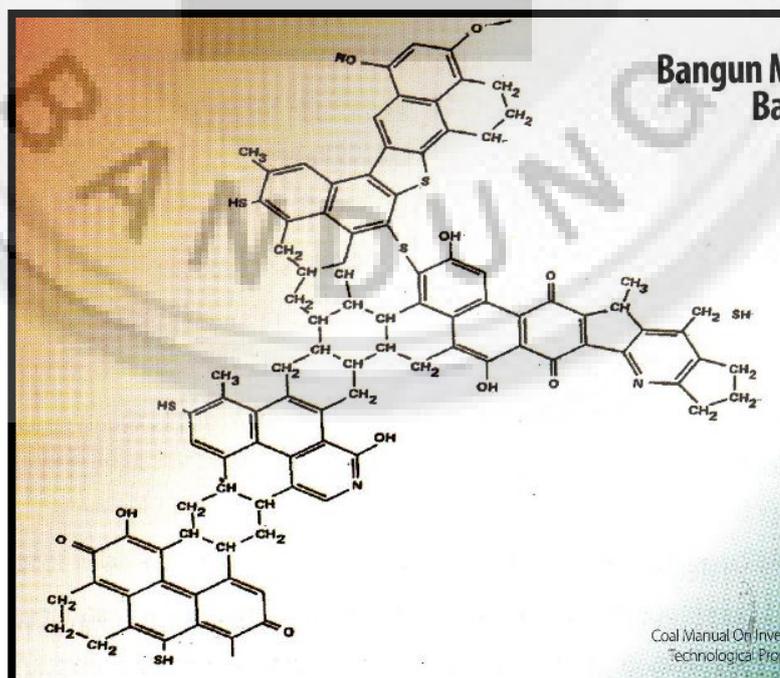
mmmf = Moist Mineral Matter Free

### 3.2.1 Unsur Pembentuk Batubara

Unsur-unsur organik pembentuk batubara berbeda-beda, tergantung dari jenis-jenis batubaranya, namun pada umumnya dapat diketahui bahwa unsur pembentuk batubara adalah  $C_{100}H_{30-110}O_{3-40}N_{0.5-2}S_{0.1-3}$ . Sedangkan untuk unsur inorganik, terdiri dari unsur inorganik utama (Si, Al, Ca, Fe, Mg, Na, Ti, K.) dan unsur inorganik minor (Be, Se, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Hg, Pb, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, dll). (Pietrobono, 1985)

### 3.2.2 Struktur Molekul Batubara

Material organik batubara terbentuk dari makromolekul yang memiliki berat molekul ratusan sampai ribuan atau lebih, yang tersusun dari unit dasar berupa cincin benzena (benzene ring) dan cincin aromatik polinukleus (polynucleus aromatic ring) yang gugus fungsionalnya (misalnya gugus metil atau gugus hidroksil) saling berikatan. Unit – unit dasar tersebut terhubung dengan ikatan metilen, ikatan ether, dan ikatan lain. Adapun makromolekul itu sendiri terhubung dengan ikatan nonkovalen seperti ikatan  $\pi-\pi$  (ikatan Van der Waals bertipe aromatic flat space), ikatan hidrogen, ikatan ion, dan ikatan lainnya, membentuk struktur jaringan 3 dimensi yang kuat. Dari hasil penelitian, interaksi di antara molekul – molekul tersebut ternyata diketahui sebagai faktor yang mempengaruhi perubahan sifat material dan karakteristik reaksi termokimia pada batubara saat mendapat perlakuan panas. (JCOAL, *Coal Science Handbook*, Japan Coal Energy Center, 2005).



Sumber : Buku Panduan PT Bukit Asam Persero Tbk

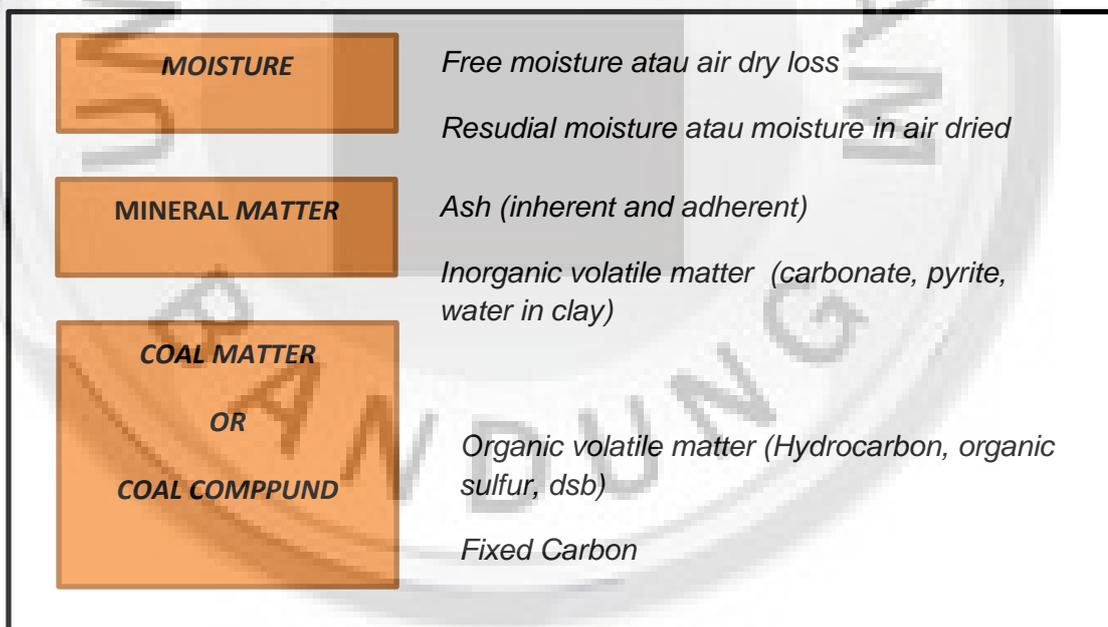
**Gambar 3.2**  
Rumus Molekul Batubara

### 3.3 Kandungan Kimia Batubara

Selain unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen, belerang, dan nitrogen, secara kimia batubara tersusun atas tiga komponen utama, yaitu :

1. Air yang terikat secara fisika, dapat dihilangkan pada suhu sampai 105°C, disebut *moisture*
2. Senyawa batubara atau *coal substance* atau *coal matter*, yaitu senyawa organik yang terutama terdiri atas atom karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen
3. Zat mineral atau *mineral matter*, yaitu suatu senyawa anorganik (SAA, 1996)

Skema susunan batubaranya terlihat pada Gambar 2.4.



Sumber : SAA, 1996

**Gambar 3.4**  
**Skema susunan kimia batubara**

#### 1. *Moisture*

Semua batubara mempunyai pori-pori berupa pipa kapiler. Dalam keadaan alami, pori-pori ini dipenuhi oleh air. Di dalam standar ASTM, air ini disebut *moisture* bawaan (*inherent moisture*). Ketika batubara ditambang dan diproses, air dapat

teradsorpsi pada permukaan kepingan batubara, dan standar ASTM menyebutnya sebagai *moisture* permukaan (*surface moisture*).

*Moisture* yang datang dari luar saat batubara itu ditambang dan diangkut atau terkena hujan selama penyimpanan disebut *free moisture* (istilah ini dikemukakan dalam standar ISO) atau *air-dry loss* (istilah yang dikemukakan oleh ASTM). *Moisture* jenis ini dapat dihilangkan dari batubara dengan cara dianginkan atau dikering-udarkan. *Moisture in air-dried sample* (ISO) atau *residual moisture* (ASTM) ialah *moisture* yang hanya dapat dihilangkan bila sampel batubara kering udara yang berukuran lebih kecil dari 3 mm dipanaskan hingga 105<sup>o</sup>C. Jenis-jenis *moisture* yang biasanya ditentukan dalam analisis batubara adalah :

- Total *Moisture* (TM)
- *Free Moisture* (FM) atau *air dry loss* (ADL)
- *Residual moisture* (RM) atau *moisture in air dried sample* (MAD)
- *Equilibrium moisture* (EQM) atau *moisture holding capacity* (MHC)
- *Moisture in the analysis sample*

(ASTM,2003)

## 2. Zat mineral

Zat mineral atau *mineral matter* terdiri atas komponen-komponen yang dapat dibedakan secara kimia fisika. Zat mineral terdiri atas abu dan zat anorganik. Mineral terbanyak di dalam batubara, yaitu kaolin, lempung, pirit, dan kalsit, mineral-mineral itu akan mempertinggi kadar silikon oksida dan berbagai senyawa silikon lainnya, oksida aluminium, besi dan kalsium di dalam abu (*ash*). Kemudian menyusul berbagai senyawa magnesium, natrium, kalium, mangan, fosfor, dan sulfur di dalam *ash* dengan persentase yang berbeda-beda (ASTM, 2003)

## 3. Senyawa Batubara

Senyawa batubara terdiri atas zat organik yang mudah menguap (*organic volatile matter*) dan *fixed carbon*. Zat organik yang mudah menguap tersusun atas :

- Gas-gas yang dapat terbakar, seperti hidrogen, karbonmonoksida, dan metan
- Uap yang dapat mengembun, seperti *tar* dengan sedikit kandungan gas yang dapat terbakar
- Uap seperti karbondioksida dan air, yang terbentuk dari penguraian senyawa karbon secara termal.

#### 4. Sifat-sifat lainnya

Beberapa sifat batubara bahan bakar yang penting, antara lain nilai kalor atau nilai panas, sifat-sifat titik leleh abu atau *ash fusion temperature*, susunan abu atau *ash composition*, sifat kekerasan serta kandungan unsur klor dan fosfor (ASTM,2003)

### 3.4 Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu padatan berpori, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Chand, 2005). Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan karbon, seperti kayu, tempurung kelapa, batubara, limbah pertanian seperti jerami padi, jerami gandum, kulit kacang, dan lain sebagainya (Yalcin, 200). Pembuatan karbon aktif dilakukan melalui cara karbonisasi dan Aktivasi terhadap bahan baku yang mengandung senyawa karbon tinggi.

#### 3.4.1 Proses Karbonisasi

Fase permulaan proses karbonisasi dimulai pada temperatur 170°C atau lebih, di atas temperatur ini bahan menjadi berubah. Sebagian bahan karbon terurai

dan terbentuk gas karbon monoksida, karbon dioksida dan asam asetat. Proses dekomposisi eksotermal diatur pada temperatur 270 - 280°C. Selama proses tersebut berlangsung sejumlah tar, metanol dan bahan lain terbentuk. Fase karbonisasi secara lengkap terjadi pada temperatur 400 - 600°C, dan selama proses karbonisasi, kandungan karbon (*fixed carbon*) akan meningkat menjadi sekitar 70-80% tergantung pada lamanya waktu proses. Tahap-tahap proses selama karbonisasi dapat dilihat pada Tabel 3.3. Sedangkan untuk proses karbonisasi dapat dikategorikan ke dalam tiga kondisi proses karbonisasi seperti pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.3**  
**Kondisi dan Hasil Karbonisasi**

Proses Karbonisasi	Suhu		Hasil
	°C	°F	
Suhu Rendah	500 – 700	930 – 1290	Kokas reaktif, tar tinggi
Suhu Sedang	700 – 900	1290 – 1650	Kokas reaktif, gas yg dihasilkan tinggi
Suhu Tinggi	900 – 1050	1650 - 1920	keras, kokas tidak reaktif

Sumber : Speight, 1994

**Tabel 3.4**  
**Berbagai Peristiwa Selama Proses Karbonisasi Batubara**

Suhu (°C)	Pengaruh	Sifat Produk		
		Residu Karbon	Tar & Minyak	Gas
300	Temperatur dekomposisi awal	Batubara	-	Sedikit CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
320	Minyak mulai terbentuk	Batubara	Minyak ringan, berwarna	CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O sedikit metana, hidrokarbon tak jenuh
360	Pembentukan minyak berat & gas hidrokarbon, residu karbon mulai melunak	Batubara sebagian melunak	Minyak lebih gelap, merah/coklat	Lebih banyak metana & parafin berat
430	Pembentukan minyak kental & tar. Residu batubara menjadi	Masa karbon lunak, volume maksimal &	Minyak menjadi lebih kental dan berwarna coklat	Pembentukan maksimum parafin &

Suhu (° C)	Pengaruh	Sifat Produk		
		Residu Karbon	Tar & Minyak	Gas
	lunak memuai pembentukan gas dgn cepat menimbulkan gelembung proses dekomposisi berjalan dgn cepat	struktur gelembung	tua	hidrokarbon tak jenuh dgn sedikit CO, H <sub>2</sub> O & hidrogen
460	Perolehan minyak & tar menurun. Masa plastis me-madat menjadi semi kokas	Semi kokas padat dgn struktur gelembung	Sedikit minyak kental dan tar	Pembentukan maksimum parafin & hidrokarbon tak jenuh dgn sedikit CO, H <sub>2</sub> O & hidrokarbon
600	Minyak & tar habis, semikokas keras & mulai menyusut	Semi kokas yang lebih keras dengan warna masih hitam.	-	Penurunan perolehan hidrokarbon & air, CO & hidrogen meningkat
900	Penyusutan lanjut yg mengeraskan kokas, struktur berubah dengan pembentukan awal struktur grafit	Keras, warna abu-abu keperakan	-	Gas-gas yg umumnya CO, hidrokarbon & metana

### 3.4.2 Proses Aktivasi

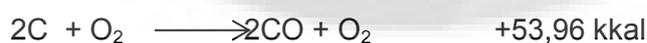
Setelah proses karbonisasi, tahap selanjutnya adalah aktivasi terhadap arang batubara hasil karbonisasi (semikokas). Proses aktivasi adalah proses untuk memperbesar luas permukaan dan volume pori. Aktivasi juga akan menghasilkan pori-pori baru dengan ukuran atau dimensi tertentu, tergantung pada kondisi proses aktivasi. Proses aktivasi merupakan proses lanjutan setelah proses karbonisasi. Selama aktivasi terjadi dua reaksi utama yaitu, tahap pertama berkurangnya keteraturan struktur karbon akibat pemanasan, dan pori-pori akan terbuka. Tahap ke dua, sistem ring aromatik mulai terbakar, pori-pori yang terbentuk semakin banyak, dan bahan karbon menjadi bersifat aktif.

Aktivasi dapat dilakukan dengan cara aktivasi kimia atau aktivasi fisika. Aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia dari senyawa-senyawa basa seperti KOH, NaOH, senyawa golongan C, seperti  $ZnCl_2$ ,  $MgCl_2$  dan asam seperti  $H_2SO_4$ , HCl,  $HNO_3$ . Pada aktivasi secara kimia, batubara direndam dengan bahan kimia kemudian dipanaskan pada suhu tertentu. Perendaman juga dapat dilakukan setelah batubara dikarbonisasi, kemudian baru dipanaskan.

Aktivasi fisika dilakukan dengan menggunakan gas seperti nitrogen, karbondioksida, dan uap air. Dari kedua cara tersebut aktivasi fisika dengan uap adalah metode yang paling banyak digunakan karena selain relatif sederhana, murah dan juga tidak berdampak terhadap pencemaran lingkungan dibandingkan cara kimia.

Proses aktivasi dengan karbondioksida mempunyai energi reaksi yang lebih kecil dari pada menggunakan uap dan memerlukan suhu yang lebih tinggi (850-1100°C). Zat pengaktivasi yang dipakai adalah berupa aliran gas yang biasanya juga ditambahkan sejumlah uap, jadi sebenarnya ini merupakan aktivasi gabungan. Katalis yang digunakan agar terjadi reaksi dengan karbon dioksida adalah karbonat yang berasal dari senyawa alkali logam.

Proses aktivasi karbon aktif dengan oksigen akan menghasilkan karbon monoksida dan karbon dioksida, seperti persamaan di bawah ini :



Kedua reaksi diatas berlangsung secara eksotermik. Adapun nilai dari rasio CO/CO<sub>2</sub> akan bertambah dengan naiknya suhu.

Pemakaian oksigen (udara) sebagai suatu zat pengaktivasi mempunyai beberapa kesulitan, hal inilah yang menyebabkan oksigen jarang digunakan sebagai zat pengaktivasi. Reaksi eksotermik alami yang terjadi pada reaksi ini tidak

mudah ditangani agar kondisi suhu sesuai dengan oven, hal tersulit adalah menghindari terjadinya *over heating* yang akan menyebabkan terhambatnya aktivasi produk. Selain hal tersebut diatas, aksi oksigen sangat agresif, proses *burnoff* tidak dapat membatasi terbentuknya karbon aktif yang berupa butiran-butiran halus, sehingga banyak yang akan hilang. Karbon yang telah diaktivasi oleh oksigen memiliki kandungan oksida dalam jumlah yang banyak.

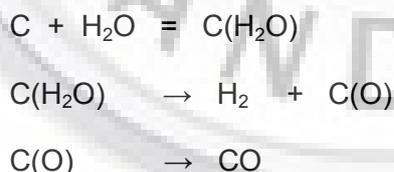
Proses aktivasi dengan uap memiliki reaksi dasar antara karbon dengan uap air adalah reaksi endotermik, yaitu :



Nilai proses gasifikasi pada karbon oleh campuran uap dan hidrogen diperkenalkan oleh sejumlah peneliti dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{k_1 P_{\text{H}_2\text{O}}}{1 + k_2 P_{\text{H}_2\text{O}} + k_3 P_{\text{H}_2}}$$

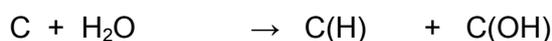
$P_{\text{H}_2\text{O}}$  dan  $P_{\text{H}_2}$  merupakan tekanan parsial dari uap air dan hidrogen,  $k_1$ ,  $k_2$  dan  $k_3$  adalah konstanta yang ditentukan dari hasil percobaan. Reaksi yang mungkin terjadi adalah

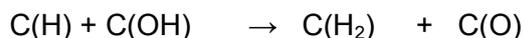


Pengaruh penghambatan dari hidrogen dapat menyebabkan hidrogen akan berada di pusat aktif sehingga menjadi zat pengadsorpsi



Long dan Sykes, mengasumsikan tahap pertama reaksi adalah pemisahan adsorpsi pada molekul air seperti reaksi di bawah ini :





Hydrogen dan oksigen adalah adsorbed yang berada berdampingan dengan pusat aktif sekitar 2% berasal dari daerah permukaan. Reaksi uap air dan karbon akan diikuti oleh reaksi yang kedua dari formasi air-gas yang dikatalisasi oleh permukaan karbon



Proses aktivasi dengan uap dengan suhu antara 750 - 950°C tanpa oksigen, pada temperatur ini karbon sangat agresif dan akan mengurangi hasil oleh permukaan pembasmi.

### 3.5 Pemanfaatan Karbon Aktif

Penggunaan karbon aktif secara garis besar dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

**Tabel 3.5**  
**Penggunaan Karbon Aktif**

No	Pemakai	Kegunaan	Jenis/Mesh
1	Industri obat dan makanan	Menyaring, penghilang bau dan rasa	8x30, 325
2	Minuman keras dan ringan	Penghilang warna, bau pada minuman	4x8, 4x12
3	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah	4x8, 8x30
4	Pembersih Air	Penghilang bau, warna, penghilang resin	4x8, 4x12, 8x30
5	Budidaya Udang	Pemurnian, penghilang ammonia, nitrite, phenol, dan logam berat	4x8, 4x12
6	Industri Gula	Penghilang zat warna, menyerap proses penyaringan menjadi lebih sempurna	4x8, 4x12
7	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut	4x8, 4x12, 8x30
8	Pemurnian gas	Menghilangkan sulfur, gas beracun, bau busuk asap	4x8, 4x12

No	Pemakai	Kegunaan	Jenis/Mesh
9	Katalisator	Reaksi katalisator pengangkut vinil chloride	4x8, 4x30

Sumber : Sembiring, 2003

### 3.6 Adsorpsi

Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/gr. Hal tersebut berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai daya serap (*adsorpsi*). Dengan sifat adsorpsi ini, karbon aktif dapat menyerap senyawa-senyawa tertentu (*adsorbat*) dalam fasa gas ataupun cair secara selektif sesuai dengan besar dimensi/ukuran yang ada. Karbon aktif mempunyai daya serap 25-100 % dari berat karbon aktifnya (Sembiring, 2003).

Adsorpsi adalah suatu proses fisika yang terjadi ketika suatu cairan fluida ataupun gas (*adsorbat*) terikat pada suatu padatan (*adsorbent*) dan membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut. Beda halnya dengan absorpsi, penyerapan dilakukan oleh satu fluida terhadap fluida lainnya sehingga membentuk suatu larutan (Hendara, 2008).

Menurut Hendra (2008) proses adsorpsi yang terjadi pada adsorben berlangsung melalui tiga tahap, yaitu :

1. Perpindahan makro, yaitu pergerakan molekul adsorbat melalui sistem makropori adsorben
2. Perpindahan mikro, yaitu pergerakan molekul adsorbat melalui sistem mesopori adsorben
3. *Sorption*, terikatnya molekul adsorbat pada permukaan adsorben pada dinding pori dan mikropori.

Adsorpsi dibedakan menjadi dua macam, yaitu proses adsorpsi fisika (terjadi di permukaan) dan adsorpsi kimia (yang merupakan fungsi suhu dan

tekanan). Adsorpsi fisika terjadi akibat adanya perbedaan energi atau adanya gaya tarik bermuatan listrik antara permukaan *adsorbent* dengan permukaan *adsorbat* (disebut gaya *Van De Waals*). Pada tipe ini, adsorpsinya multilayer karena masing-masing molekul membentuk lapisan di atas lapisan sebelumnya dengan nomor lapisan sesuai dengan konsentrasi adsorbat. Adsorpsi kimia terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Jenis ikatan ini diberi istilah absorpsi (Hendra, 2008).

### 3.7 Adsorben

Adsorben merupakan zat yang sifatnya dapat menyerap zat lain sehingga menempel pada permukaannya atau dapat diartikan juga sebagai zat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fasa fluida (Saragih, 2008). Kebanyakan adsorben merupakan bahan-bahan yang sangat berpori dan proses adsorpsinya berlangsung terutama pada dinding pori-pori atau terletak pada lokasi tertentu pada partikel itu. Oleh karena itu pada pori-pori yang berukuran sangat kecil biasanya luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran yang lebih besar daripada luas permukaan luar, sehingga nilai luas permukaan mencapai  $> 200 \text{ m}^2/\text{gr}$ .

Hendra (2008) menggolongkan adsorben menjadi dua jenis, yaitu adsorben tidak berpori (*non-porous sorbent*) dan adsorben berpori (*porous sorbent*).

#### 1. Adsorben tidak berpori (*non-porous sorbent*)

Adsorben tidak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti  $\text{BaSO}_4$  atau penghalusan padatan kristalin. Luas permukaan spesifikasinya kecil, tidak lebih dari  $10 \text{ m}^2/\text{gr}$ . Peningkatan luas permukaan menjadi ratusan  $\text{m}^2/\text{gr}$  dengan cara aktivasi.

#### 2. Adsorben berpori (*Porous sorbent*)

Adsorben berpori umumnya memiliki luas permukaan lebih besar dari pada adsorben tidak berpori. Luasnya berkisar antara 100 sampai dengan 1000 m<sup>2</sup>/gr.

Bagian pori-pori yang terdapat pada karbon aktif terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian mikropori, mesopori, dan makropori. Dari ketiga golongan pori tersebut yang memegang peranan penting pada proses penyerapan adalah mikropori karena total lubang mikropori jauh lebih besar daripada volume total makropori dan mesopori. Makropori dan mesopori hanya berfungsi sebagai *transport pore* yaitu jalan menuju mikropori (Danarto, 2008).

### 3.8 Limbah Cair Industri tekstil

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena selain tidak mempunyai nilai ekonomi, juga bersifat mencemari dan merusak lingkungan sekitar. Limbah mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan berbahaya (Perdana Gintings, 1995). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 Bab I Pasal I butir (14) yang dimaksud dengan air limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Limbah menurut undang-undang Nomor 23 tahun 1997 Bab I Pasal I ayat (11), limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan.

Menurut Sutamiharja (1978), proses produksi tekstil yang menghasilkan zat pencemar adalah :

- Proses penguraian kanji (*dezising*)
- Pembersihan (*Scouring*)
- Pemutihan (*bleaching*)
- Penguat kain (*marcerizing*)
- Pewarnaan (*Dyeing*)
- Proses akhir (*Finishing*)

Menurut Sugiarto (1978), karakteristik air buangan dapat dibedakan berdasarkan tiga sifat yaitu :

- Sifat fisik, mencakup parameter kekeruhan, bau, warna dan temperatur
- Sifat kimia, sifat kimia air limbah adalah BOD<sub>5</sub>, COD, pH dan bahan organik maupun anorganik
- Sifat biologi, meliputi beberapa parameter antara lain bakteri-bakteri patogen, total coliform dan ganggang yang terdapat di dalam air limbah.

Adapun baku mutu limbah cair tekstil dapat dilihat pada lampiran F (KEP-51/MENLH/10/1995).

### **3.9 Kuantitas Karakteristik Limbah Cair Industri Tekstil**

Karakterisasi proses industri tekstil tidak hanya dari kuantitas limbah cairnya yang besar, tetapi juga zat kimia yang digunakan untuk berbagai proses operasinya. Setiap tahapan yang panjang dari proses basah membutuhkan input air, bahan kimia, dan energi sehingga menimbulkan limbah pada setiap tahapan tersebut. Produk lain dari industri ini, yang merupakan tulang belakang dari mode garmen (*fashion*), menuntut adanya kombinasi tipe, pola, dan warna serat sehingga menghasilkan fluktuasi signifikan pada volume timbulan dan beban limbah. Proses operasi tekstil menimbulkan banyak limbah, termasuk limbah cair, gas, dan padat, bahkan beberapa limbah dapat dikategorikan sebagai limbah berbahaya. Limbah yang ditimbulkan tergantung dari tipe fasilitas tekstil, proses, dan teknologi yang dioperasikan, serta tipe serat dan zat kimia yang digunakan.

#### **3.9.1 Kuantitas Limbah Cair Industri Tekstil**

Industri tekstil menggunakan volume air yang besar melalui operasinya, dari pencucian serat hingga pemutihan (*bleaching*), pewarnaan, dan pencucian produk jadi. Pada umumnya, dibutuhkan 200 L air untuk memproduksi barang jadi

tekstil sebesar 1 kg (Moussa, 2008). Air yang dikonsumsi setiap kategori serat ditunjukkan pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6**  
**Konsumsi Air Rata-rata untuk Setiap Tipe Serat**

Tipe serat (Sub-kategori Processing)	Konsumsi air (m <sup>3</sup> /ton material serat)		
	Minimum	Median	Maksimum
Wol	111	285	659
Woven	5	114	508
Knit	20	84	377
Karpet	8,3	47	163
<i>Stock/yarn</i>	3,3	100	558
Nonwoven	2,5	40	83
<i>Felted fabric finishing</i>	33	213	933

Sumber: Moussa, 2008

Besarnya volume air yang dibutuhkan dalam industri tekstil menghasilkan air buangan atau limbah cair dengan volume yang besar. Volume limbah yang besar tersebut menjadi sebuah masalah di industri tekstil. Limbah cair tersebut dapat berasal dari preparasi substrat yang bersifat alkali (basa), pembilasan, dan pencucian setelah operasi pewarnaan, serta limbah dari operasi *batch* pada saat pewarnaan. Volume limbah yang besar ini dapat direduksi melalui sistem *reuse* dan *recycle*, modifikasi proses, dan pengubahan peralatan. Namun demikian, masih banyak kasus hanya sedikit volume limbah yang dapat berkurang (Hendrick dan Boardman, 1995).

### 3.9.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Tekstil

Karakteristik limbah cair dari setiap tahapan proses operasi tekstil akan berbeda. Demikian pula dengan effluen dari industri tekstil akan berbeda antara industri tekstil satu dengan yang lainnya karena tergantung dari proses produksi yang dilakukan. Limbah cair dari unit pencetakan dan pewarnaan biasanya banyak mengandung warna yang terdiri dari residu reaktif kimia dan pewarnaan dan membutuhkan pengolahan khusus sebelum dibuang ke lingkungan. Umumnya, limbah cair industri tekstil bersifat alkalin (basa) dan memiliki BOD (*Biological*

Oxygen Demand) dengan rentang 700 hingga 2000 mg/L (World Bank ESH, 1998).

Karakteristik limbah cair tekstil ditunjukkan pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7**  
**Karakteristik Limbah Cair di Industri Tekstil**

Proses dan Unit (U)	Volume Limbah (m <sup>3</sup> /U)	BOD (kg/U)	TSS (kg/U)	Polutan lain (kg/U)	
<b>Wool processing (produksi: 1 ton wol)</b>					
Stok <i>unscoured</i> rata-rata	544	314	196	Minyak	191
Stok <i>scoured</i> rata-rata	537	87	43	Cr	1,33
Proses spesifik				Fenol	0,17
<i>Scouring</i>	17	227	153	Cr	1,33
<i>Dyeing</i>	25	27		Fenol	0,17
<i>Washing</i>	362	63			
<i>Carbonizing</i>	138	2	44	Minyak	191
<i>Bleaching</i>	12,5	1,4		Cr	1,33
				Fenol	0,17

Sumber: World Bank ESH, 1998

Untuk mengurangi jumlah limbah yang sulit diolah ini, terdapat beberapa cara, yaitu:

- Substitusi bahan kimia, kontrol, dan konservasi,
- Penangkapan limbah kemudian re-use/re-cycle, dan
- Pemilahan

### 3.10 Limbah Cair Tekstil PT INDO-RAMA *Syhtetic* tbk Purwakarta

Proses polimerisasi yang terdapat di PT Indorama *Synthetics* tbk menghasilkan limbah cair yang mengandung etilenglikol dan asetaldehid dengan beban COD yang tinggi yaitu 2000-3500 ppm. Limbah cair umumnya berasal dari kolom distilasi. Limbah ini memiliki kandungan COD yang tinggi dan bersifat asam.

Limbah yang dihasilkan dari proses di CP 1, CP 2, CP 3 dan ejektor dikumpulkan dalam *waste water pit*. Limbah tersebut kemudian dipompakan ke dalam *proses stripping column* CP 2. Keluaran dari *stripping column* kemudian masuk CP-2 *effluent* unit lalu dipompakan ke unit pengelolaan limbah cair *effluent treatment plant* (ETP). Limbah dari *effluent pit* dikumpulkan dalam *new collecting tank* (NCLT) dengan kapasitas 900 m<sup>3</sup> lalu selanjutnya dialirkan ke *collecting tank*

(CLT). Limbah yang terdapat dalam *collecting tank* dicampurkan dengan  $O_2$  yang dialirkan dari kompresor melalui *diffuser* yang terpasang dalam *tank*. Aerasi ini bertujuan untuk mengoksidasi senyawa organik, menurunkan suhu air limbah, serta menurunkan COD. Air dari CLT lalu dialirkan ke dalam *equalization tank* (ET). Fungsi *equalization tank* ialah untuk menghomogenkan beban pH, TSS, TDS, COD dan temperatur sehingga fluktuasi kondisi menjadi semakin kecil. Limbah yang bersifat asam ditambahkan dengan NaOH pada Equalitation Tank hingga pH limbah menjadi sekitar 6-7.

Limbah yang telah mengalami penetralan pH kemudian dialirkan menggunakan pompa ke *flash mixing tank* (FMT) untuk proses flokulasi. Proses flokulasi ialah proses pembentukan flok-flok atau gumpalan-gumpalan yang dilakukan dengan menambahkan flokulan berupa *chemical polyelectrolyte* atau alum ke dalam limbah. Pembentukan gumpalan ini akan mempermudah proses pengendapan di *Primary clarifier*. Dalam unit FMT ditambahkan polielektrolit sebanyak 0,1-0,2 kg/hari dengan terlebih dahulu diencerkan hingga 100 ml.

Endapan/flok yang berbentuk lumpur terakumulasi dalam *primary clarifier* sedangkan air jernih mengalir ke dalam *aeratom tank*. Jenis *primary clarifier* yang digunakan ialah *circular clarifier* yang berbentuk lingkaran. Partikel tersuspensi akan terendapkan akibat gaya gravitasi. Padatan yang terendapkan dalam bentuk lumpur harus segera dikeluarkan sebelum terjadi proses anaerobik karena gas yang dihasilkan dari proses anaerobik akan membuat bakteri kekurangan oksigen. Pada saluran *inlet aerator tank* dilakukan pencampuran urea dan Nitro Ammonium Phosphate (NAP) sebagai nutrisi untuk mikroorganisme. Di dalam *aerator tank* terjadi proses pengolahan secara biologis menggunakan metode lumpur aktif dengan menggunakan bakteri kering yang teraktivasi dalam cairan dengan pH 8,5-11,5 atau kondisi alakalifilik. Bakteri yang digunakan ialah bakteri dengan nama

dagang Baksim 99 yang berperan menguraikan senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam limbah cair menjadi suspensi sehingga mudah diendapkan. Urea yang telah dilarutkan terlebih dahulu ditambahkan ke dalam tangki sebanyak 40 kg sebagai nutrisi.

Terdapat 3 unit aerasi dalam aerator tank I yakni bak 1A, 1B, dan 1C. Penambahan oksigen (aerasi) dilakukan dengan menggunakan aerator permukaan (*Surface aerator*). Pada Bak 1A dan 1C dipasang 3 unit *surface aerator*. Pada permukaan bak aerasi kadang terbentuk buih. Buih bisa dihasilkan akibat MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solids*) yang tinggi. Buih yang terbentuk akan menghambat masuknya oksigen ke dalam air limbah. Untuk mengatasi hal tersebut maka ditambahkan *defoamer* (anti foam).

Keluaran dari aerator tank ini berupa air yang mengandung lumpur yang tersuspensi. Lumpur tersebut kemudian diendapkan di *secondary clarifier* 1. Sebagian dari lumpur yang diendapkan dikembalikan ke dalam aerator dan sebagian dialirkan ke tempat penampungan lumpur basah. Air yang sudah jernih diproses kembali ke dalam *aerator tank* 2 dan *secondary clarifier* 2 untuk penguraian lebih lanjut agar memenuhi baku mutu yang telah diinginkan. (Lihat pada skema 4.1 proses pengolahan limbah).

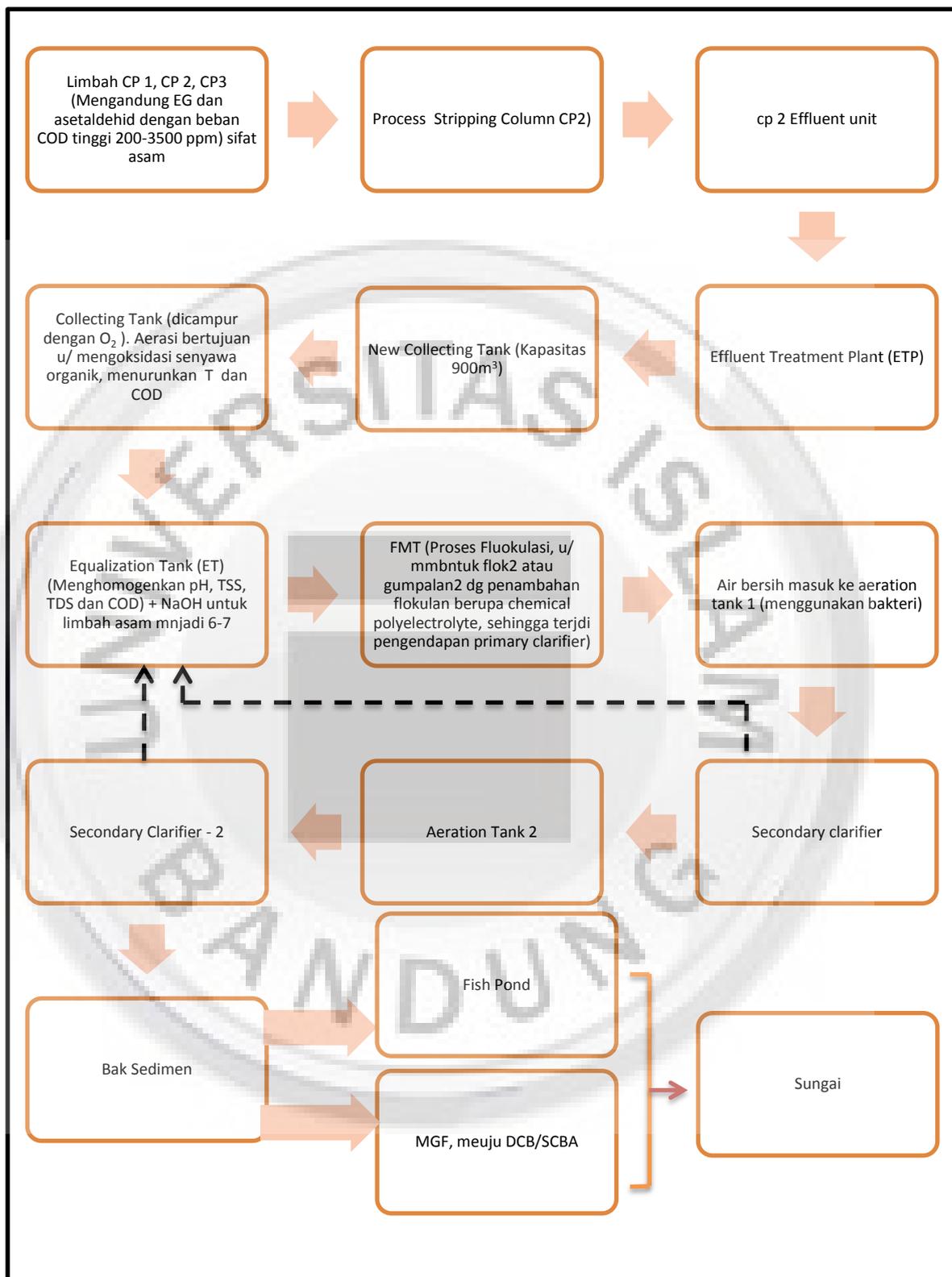
Lumpur dari *secondary clarifier* 1 dan *secondary clarifier* 2 dialirkan ke dalam *bed drayer* untuk menurunkan kadar air dalam lumpur. *Bed drayer* terdiri serabut-serabut, pasir, dan coral sebagai media penyerapan air dan penopang lumpur. Lumpur Basah yang dihasilkan dari *bed drayer* dimasukkan ke dalam karung untuk dijual ke pabrik semen sebagai campuran semen.

Air limbah yang telah diolah dan akan dibuang ke badan air selanjutnya diuji terlebih dahulu dengan melewati air limbah ke dalam kolam ikan. Ikan yang terdapat dalam kolam berfungsi sebagai bio *indicator*. Ikan yang digunakan ialah

ikan mas karena ikan mas memiliki daya tahan yang lemah. Jika ikan mas tersebut masih hidup maka air limbah telah aman untuk dibuang langsung ke sungai Cikuda. Beberapa parameter yang digunakan oleh PT Indorama Syntetics Tbk, untuk buangan limbah dapat dilihat pada Tabel 3.8

**Tabel 3.8**  
**Parameter Buangan Limbah**

Parameter	Nilai
pH	6-9
Temperatur	25-27 <sup>o</sup> C
BOD	< 50
COD	< 150
Suspensi Solid	< 60
Total dissolved solid	2100 mg/L



**Gambar 3.5**  
Skema proses pengolahan Limbah cair  
PT INDO-RAMA