BAB II
SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II.1 Macam-Macam Proses

Carbon black dapat diproduksi melalui beberapa metode berbeda yang dikembangkan berdasarkan prinsip dasar dekomposisi termal atau pembakaran terbatas dari senyawa hidrokarbon. Setiap metode memiliki karakteristik operasional, efisiensi, dan produk akhir yang berbeda, tergantung pada bahan baku, desain reaktor, serta kondisi reaksi. Berikut adalah beberapa proses utama dalam produksi *carbon black* (Keyes, 1961) (Kirk-Othmer, 2000) (US EPA, 1991).

A. Channel Black Process

Channel black process adalah proses produksi *carbon black* melalui pembakaran tidak sempurna gas alam dalam nyala api kecil, yang diarahkan ke besi *channel* yang didinginkan. Reaksi yang terjadi pada fase gas sebagai berikut:

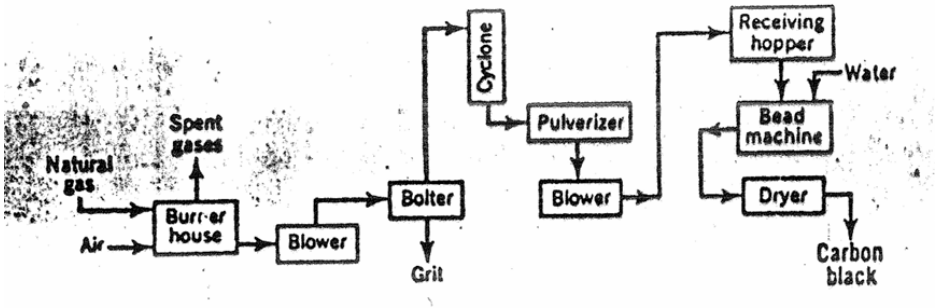
$$CH_4 \rightarrow C\ (amorph) + 2H_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Yield: 3-5%

Gas alam dengan kandungan utama metana dialirkan melalui pipa ke *burner houses* yang merupakan bangunan panjang dan rendah dari lembaran besi yang berisi ribuan burner dengan ujung keramik. Gas alam keluar melalui celah sempit di ujung keramik dan dibakar dengan pasokan udara yang kurang. Jumlah udara diatur oleh damper di bagian atas dan bawah *burner houses* untuk menghasilkan nyala api yang berasap lalu diarahkan ke permukaan bawah besi *channel* yang bergerak dan didinginkan. Suhu pembakaran mencapai 1.000–1.200°C, turun menjadi sekitar 500°C saat menyentuh besi *channel*, dan carbon black akan terbentuk dengan mengendap pada permukaan *channel*. *Channel* terbuat dari baja ringan dan bergerak terus menerus (maju mundur) di atas rel *overhead*. *Carbon black* yang mengendap dikikis oleh *scraper*, kemudian jatuh ke *hopper* dan dibawa oleh *screw*

conveyor ke tempat pengemasan. *Fluffy carbon black* hasil produksi disaring untuk menghilangkan grit, serpihan logam, dan partikel kasar menggunakan kain saring. Setelah melewati mesin penyaring, *carbon black* dikumpulkan dalam tangki ekspansi, digiling di *pulverizer* untuk menyeragamkan ukuran, lalu dipindahkan ke mesin pembentuk *bead (pellet)*. *Carbon black* ditambahkan dengan sedikit air dan diaduk hingga terbentuk pasta. Pengadukan terus-menerus menyebabkan partikel koloid menggumpal menjadi *pellet* atau *bead*. *Bead* dikeringkan dalam *rotary cylinder* pada suhu sekitar 150°F, lalu diangkut dengan *bucket elevator* ke tangki penyimpanan. *Carbon black* yang telah dipellet akan dikemas dalam kantong.



Gambar II. 1. Diagram Alir *Channel Black Process*

B. *Furnace Black Process*

Furnace black process adalah proses produksi *carbon black* dengan proses kontinu yang melibatkan pembakaran tidak sempurna atau kombinasi antara pembakaran dan *thermal cracking* pada gas alam maupun hidrokarbon cair yang telah diuapkan. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

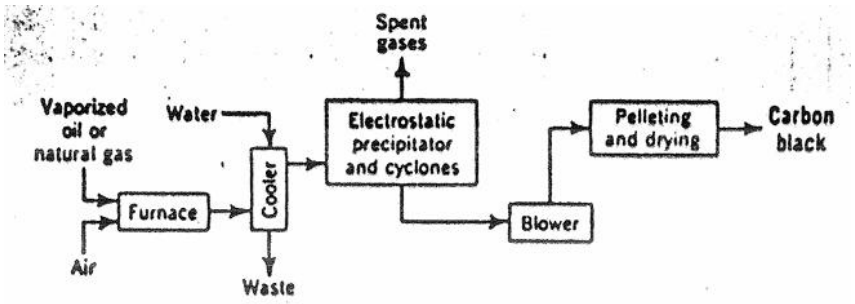
$$CH_4 \rightarrow C\ (amorph) + 2H_2 \quad \text{.....(3)}$$

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad \text{.....(4)}$$

Yield: 30-45%

Gas alam dialirkan ke dalam *furnace horizontal* bersama dengan udara dalam jumlah yang diatur. Salah satu metode injeksi gas alam yang umum digunakan adalah dengan menginjeksikan gas alam yang relatif dingin melalui beberapa jet ke dalam *furnace* yang berisi aliran gas

panas turbulen dengan suhu berkisar 1200-1800^{o}C, sehingga gas alam terdekomposisi menjadi partikel karbon yang sangat halus. Di dalam *furnace*, gas alam mengalami pembakaran sebagian dalam *multiple free flames* yang menghasilkan *carbon black* beserta produk-produk gas lainnya. Aliran gas panas hasil pembakaran kemudian dialirkan melalui *flume* berpendingin udara menuju *spray cooler*, di mana suhu diturunkan secara signifikan dengan menggunakan air. *Carbon black* yang terbentuk dipisahkan dari gas sisa pembakaran melalui *filter* dan *cyclone*, sehingga gas yang akhirnya dilepaskan hampir tidak lagi mengandung *carbon black*. *Carbon black* yang masih berbentuk serbuk ringan kemudian diangkut menggunakan *screw conveyor* menuju *bucket elevator* dan ditransportasikan ke peralatan *pelleting*. Pada tahap *pelleting*, *carbon black* dapat diproses secara kering menggunakan *rotating drums* atau secara basah melalui beberapa metode. Salah satu metode basah melibatkan pencampuran *carbon black* dengan air hingga membentuk pasta, yang kemudian diaduk dalam *trough* menggunakan serangkaian pin yang terpasang pada *rotating shaft*. Metode basah lainnya menggunakan *special trough mixer* untuk membentuk *pellet* basah sebelum diproses lebih lanjut dalam *rotating cylinder*. *Carbon black* yang telah berbentuk *pellet*, dikemas dalam karung.



Gambar II. 2. Diagram Alir *Furnace Black Process*

C. *Thermal Black Process*

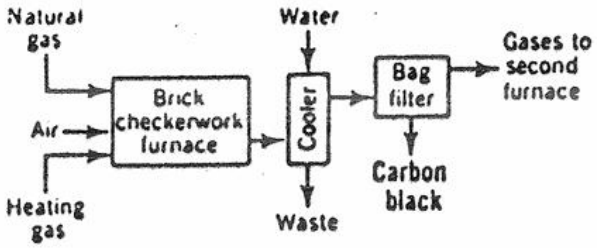
Thermal black process adalah proses produksi *carbon black* melalui proses *thermal cracking* gas alam secara siklis dalam *furnace* yang

sebelumnya telah dipanaskan dengan pembakaran campuran gas dan udara. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

$$CH_4 \rightarrow C\ (amorph) + 2H_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Yield: 30%

Gas alam dimasukkan di bagian atas *furnace*, kemudian mengalir ke bawah melewati bata-bata yang telah dipanaskan pada suhu diatas 871,11^oC (1.600^oF) yang disusun dalam pola *checkerwork*. Dalam tekanan atmosfer, gas alam terurai menjadi unsur-unsurnya, yaitu karbon dan hidrogen. Sekitar setengah dari karbon menempel pada susunan bata, sedangkan sisanya terbawa oleh aliran gas hidrogen melalui pendingin air menuju *bag filter*, di mana *carbon black* dikumpulkan dalam kantong. *Carbon black* kemudian diangkut ke hopper penyimpanan. Setelah beberapa saat, pasokan gas alam dimatikan dan gas hidrogen panas dari *filter* dialirkan kembali ke *furnace* kedua untuk siklus pemanasan. Gas alam dan udara dicampur dengan hidrogen kemudian dialirkan melalui susunan *checkerwork*, membakar karbon yang menempel pada firebricks. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, gas pemanas dimatikan dan gas alam kembali dimasukkan, sehingga dapat dikatakan telah menyelesaikan satu siklus.



Gambar II. 3. Diagram Alir *Thermal Black Process*

II.2 Pemilihan Proses

II.2.1 Seleksi Proses

Berdasarkan macam-macam proses produksi *carbon black*, dapat dibuat tabel perbandingan sebagai berikut:

Tabel II. 1. Perbandingan Proses Produksi *Carbon Black*

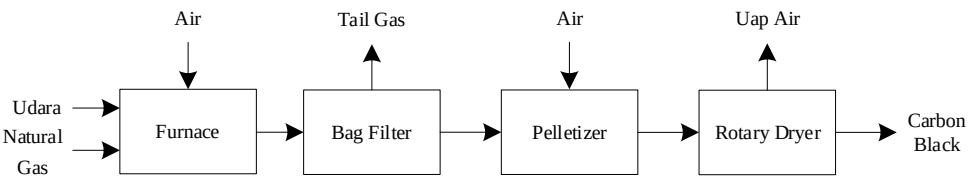
No	Indikator	Jenis Proses		
		Channel Black Process	*Furnace Black Process*	*Thermal Black Process*
1	Bahan Baku	*Natural gas*[a]	*Natural gas*[a]	*Natural gas*[a]
2	Yield	3-5%[a]	30-65%[b]	30%[a]
3	Suhu Operasi	1000-1200^oC[a]	1200-1800^oC[c]	>871^oC[a]
4	Tekanan	1 atm[a]	1 atm[d]	1 atm[a]
5	Proses	Kontinu[a]	Kontinu[a]	Batch[a]
6	Jumlah *Furnace*	1 *Furnace*[a]	1 *Furnace*[a]	2 *Furnace*[a]

(Sumber : Keyes, 1961[a]; US EPA[b], 1991; Kirk-Othmer, 2000[c]; Moghiman, 2009[d])

Berdasarkan perbandingan beberapa macam proses yang tercantum pada Tabel II.1, dipilih proses *Furnace Black* sebagai metode dalam pembuatan *carbon black*. Adapun pertimbangan yang mendasari pemilihan proses ini antara lain sebagai berikut:

1. Proses ini memiliki yield paling tinggi, yaitu sebesar 30–45%, yang berarti lebih efisien dalam menghasilkan produk carbon black dibanding proses Channel Black (3–5%) dan Thermal Black (30%).
2. Proses berlangsung secara kontinu, yang memberikan keunggulan dalam efisiensi produksi, minim jeda, dan cocok untuk skala industri besar, dibandingkan Thermal Black yang bersifat *batch*.
3. Peralatan utama yang digunakan hanya satu *furnace*, sehingga lebih sederhana dan ekonomis untuk biaya investasi alat dibanding proses *Thermal Black* yang membutuhkan dua *furnace*.

II.3 Uraian Proses



Gambar II. 4. Flowsheet Dasar Proses Furnace Black

1. **Tahap Persiapan Bahan Baku**

   Bahan baku utama yang digunakan yaitu natural gas dan udara. Natural gas yang diperoleh dari PT. Pertamina EP Cepu langsung dialirkan melalui pipa menuju *furnace*. Sementara itu, udara sebagai oksidator diperoleh dari lingkungan sekitar menggunakan *blower* kemudian dialirkan menuju *economizer* untuk dinaikkan suhunya menjadi 267^{o}C lalu dialirkan menuju *furnace.*

2. **Tahap Pembentukan Produk**

   Tahap pembentukan *carbon black* berlangsung di dalam *furnace* dengan suhu operasi sekitar 1550^{o}C (Kirk-Othmer, 2000) melalui mekanisme pembakaran dan *thermal cracking* natural gas. Pada tahap awal, natural gas dibakar dengan udara panas sehingga menghasilkan gas panas dalam *furnace*. Reaksi pembakaran natural gas menurut Crowl, 2011 sebagai berikut.

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g) \quad \text{.....(6)}$$

$$C_2H_6\,(g) + \frac{7}{2}\,O_2\,(g) \rightarrow 2CO_2\,(g) + 3H_2O\,(g) \quad \text{.....(7)}$$

$$C_3H_8\,(g) + 5O_2\,(g) \rightarrow 3CO_2\,(g) + 4H_2O\,(g) \quad \text{.....(8)}$$

$$C_4H_{10}\,(g) + \frac{13}{2}\,O_2\,(g) \rightarrow 4CO_2\,(g) + 5H_2O\,(g) \quad \text{.....(9)}$$

$$C_5H_{12}\,(g) + 8O_2\,(g) \rightarrow 5CO_2\,(g) + 6H_2O\,(g) \quad \text{.....(10)}$$

$$C_6H_{14}\,(g) + \frac{19}{2}\,O_2\,(g) \rightarrow 6CO_2\,(g) + 7H_2O\,(g) \quad \text{.....(11)}$$

   Tahap berikutnya, natural gas mengalami proses *thermal cracking* membentuk *carbon black* akibat suhu tinggi dari gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran dan pencampuran secara turbulen dalam *furnace* dengan waktu tinggal 0,031 detik (Kirk-Othmer, 2000). Reaksi pembentukan *carbon black* menurut Keyes, 1961 yaitu sebagai berikut.

$$CH_4\,(g) \rightarrow C\ (amorph) + 2H_2\,(g) \quad \text{.....(12)}$$

   Tahap terakhir, *carbon black* dan gas pembakaran di dinginkan secara mendadak di dalam zona pendinginan yang dilengkapi *spray water* bertujuan untuk menghentikan reaksi agar *carbon black* tidak

membesar dan menurunkan suhu produk hingga sekitar 800^{o}C (Latof, 2022).

3. **Tahap Penanganan Produk**

Tahap penanganan produk dibagi menjadi 2, yaitu tahap penanganan produk utama *carbon black* dan tahap penanganan produk samping berupa gas hasil pembakaran. Pertama, campuran *carbon black* dan gas hasil pembakaran dialirkan menuju *economizer* untuk menurunkan suhunya hingga 708^{o}C sekaligus memanaskan udara yang masuk. Selanjutnya, campuran didinginkan lebih lanjut hingga suhu 260^{o}C dengan *cooler*. Setelah suhu turun, campuran masuk ke dalam *cyclone* dan *bag filter* untuk memisahkan *carbon black* dengan gas buang (*tail gas)* berupa gas hasil pembakaran.

A. Penanganan Produk Utama

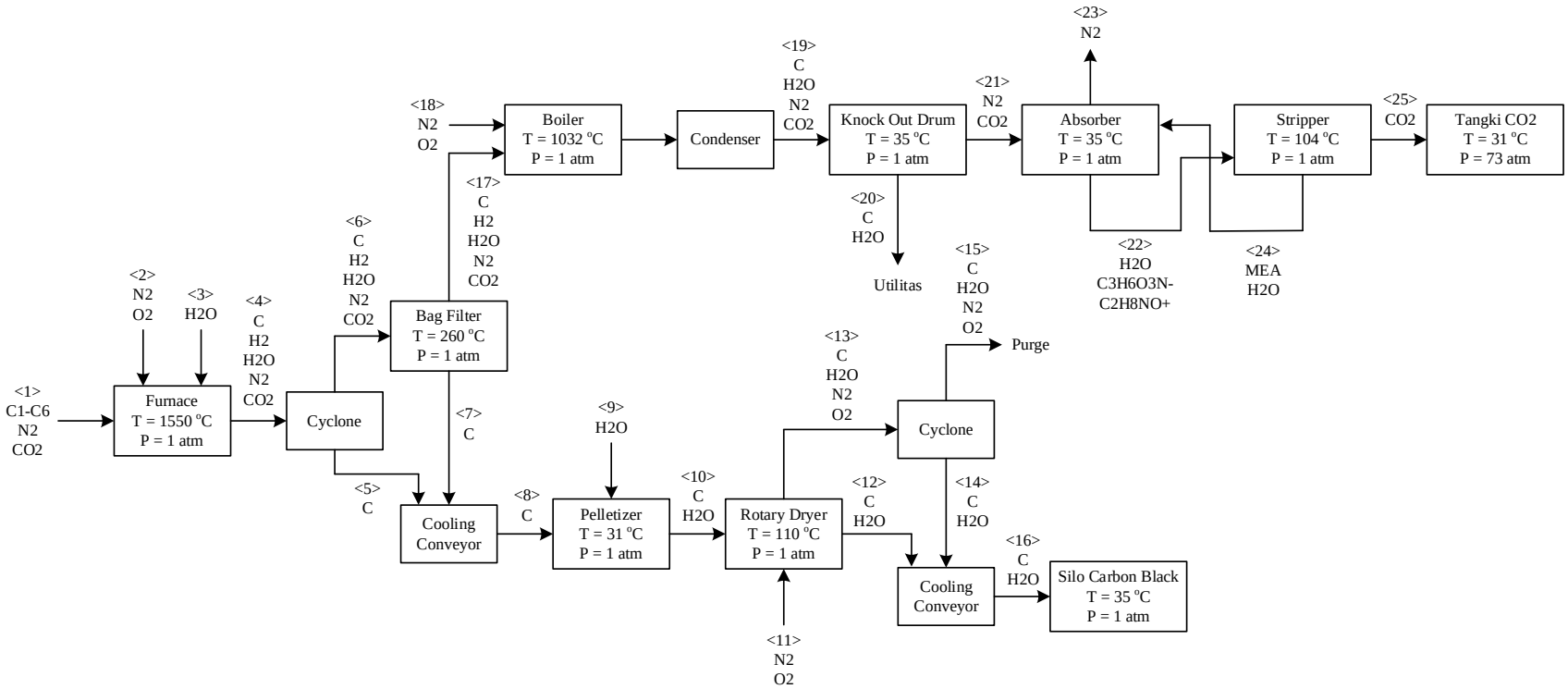
Carbon black berupa serbuk halus dialirkan menuju *cooling screw conveyor* untuk didinginkan hingga suhu ruang 35^{o}C lalu dialirkan menuju *pelletizer* berupa *pin mixer* dan dicampur dengan air untuk membentuk *pellet* (Keyes, 1961). Kadar air pada *pellet carbon black* sebesar 35% berat. Setelah terbentuk, *pellet* dikeringkan di dalam *rotary dryer* dengan udara kering bersuhu 110^{o}C (Myers, 1973). Setelah kering, *pellet* dialirkan menuju *cooling conveyor* untuk didinginkan hingga suhu ruang 35^{o}C.

B. Penanganan Produk Samping

Gas buang hasil pemisahan yang mengandung gas hidrogen dialirkan menuju *boiler* sebagai bahan bakar pembuatan *steam*. Gas hasil pembakaran dialirkan menuju *condenser* untuk mengondensasi uap air lalu dialirkan menuju *knock out drum* untuk memisahkan air dari gas buang. Gas buang dialirkan menuju unit *absorber* dan *stripper* untuk memisahkan karbon dioksida menggunakan larutan MEA 30% (Brickett, 2015)(Singh, 2011) dan gas buang sisa yang mengandung nitrogen dapat dibuang ke lingkungan.

4. Tahap Penyimpanan dan Pengemasan Produk

Carbon black sebagai produk utama dialirkan ke silo penyimpanan dengan *bucket elevator*, lalu dialirkan menuju unit pengemasan dan dikemas dalam *paper bag* dengan ukuran 20 kg. Karbon dioksida sebagai produk samping di *compress* hingga tekanan 73 atm sehingga berubah menjadi fase *liquid* dan ditampung dalam tangki penyimpanan.



Gambar II. 5. Flowsheet Pengembangan Proses Furnace Black