



BAB IX

TUGAS KHUSUS

IX.1 Perhitungan Alumina secara Teoritis

Pada proses produksi hidrogen peroksida (H_2O_2) di PT. Sindopex Perotama, alumina digunakan sebagai adsorben pada unit post treatment Working Solution (WS). Alumina berfungsi untuk membersihkan WS dari kotoran organik yang terbentuk akibat kerusakan (degradasi) bahan utama proses, yaitu anthraquinone (AQ/AHQ). Selama ini jumlah alumina yang digunakan hanya mengacu pada angka di literatur, tanpa ada perhitungan yang disesuaikan dengan kondisi asli proses di pabrik. Hal ini bisa membuat penggunaan alumina menjadi tidak tepat, misalnya terlalu banyak atau justru terlalu sedikit. Agar penggunaan alumina lebih efisien, diperlukan perhitungan jumlah alumina secara teoretis untuk mengetahui jumlah alumina yang paling ideal sebelum digunakan pada sistem post-treatment yang sebenarnya.

IX.1.1 Tujuan

Menentukan kebutuhan alumina yang paling efektif untuk proses post-treatment Working Solution (WS) pada produksi H_2O_2 . Dengan penentuan jumlah alumina yang tepat, WS dapat tetap bersih dan stabil, sementara sisa bahan kimia atau kotoran dapat dihilangkan secara maksimal. Penetapan jumlah kebutuhan ini diharapkan dapat menghasilkan penggunaan alumina yang lebih efisien, menjaga kualitas WS, serta mendukung kinerja tahapan produksi selanjutnya.

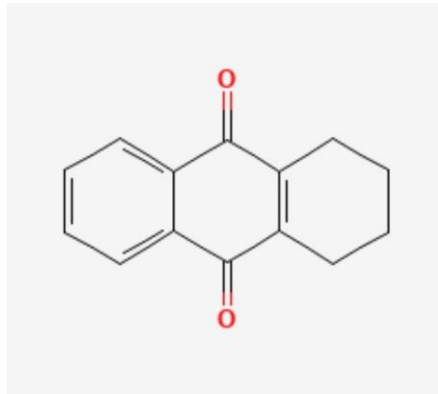
IX.1.2 Prinsip

Pada proses post-treatment, alumina digunakan untuk menyerap kotoran, sisa bahan kimia, dan produk degradasi yang terdapat dalam Working Solution (WS). Semakin banyak kotoran yang terbentuk selama proses produksi, semakin banyak alumina yang dibutuhkan untuk membersihkan WS. Dengan menentukan jumlah alumina secara tepat melalui perhitungan teoretis, WS dapat tetap jernih dan stabil, proses

produksi H_2O_2 berjalan lancar, dan penggunaan alumina dapat dilakukan secara efisien tanpa pemborosan.

IX.1.3 Produk Degradasi dari Anthrahydroquinone (AHQ)

1. Tetrahydroanthraquinone (THAQ)



Gambar IX.1 Struktur Molekul Tetrahydroanthraquinone

a) Nama : Tetrahydroanthraquinone (THAQ)

Tetra = 4

Hydro = Hidrogen

Anthraquinone = molekul induknya

AQ yang sudah ditambah 4 hidrogen.

b) Penyebab Terbentuknya THAQ:

- Konsentrasi H_2 terlalu tinggi
- Overpressure
- Katalis Pd terlalu aktif

c) Dampak THAQ Pada Proses

- Tidak bisa ikut siklus AQ/AHQ → tidak menghasilkan H_2O_2
- Membuat WS berat → warna (kuning-coklat)
- Menumpuk → Harus diadsorpsi oleh alumina

d) Struktur dan Gugus Fungsi :

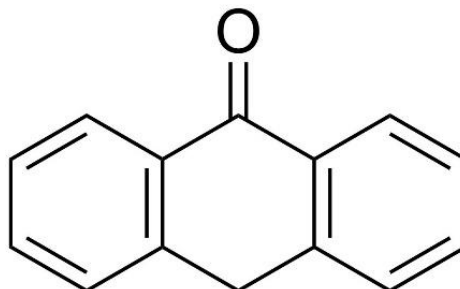
1) Gugus Karbonil ($\text{C}=\text{O}$) — warna merah

- Ditunjukkan dengan warna **merah** pada bagian → di atas & bawah inti molekul.

- Kegunaan: Pusat reaksi untuk membuat H_2O_2
- 2) Dua Cincin aromatik (benzena)
 - **Terletak di kiri (yang ada tiga garis sejajar).**
 - **Tetap stabil dan tidak berubah meskipun molekul terhidrogenasi.**
- 3) Dua Cincin sikloheksana (cincin 6 sisi jenuh)
 - Terletak di **bagian kanan**
 - Bentuknya seperti cincin segi enam biasa
 - Menandakan bahwa bagian ini **sudah terhidrogenasi (ditambah hidrogen).**
 - Bisa menjadi kotoran karena tidak bisa berubah kembali menjadi AQ/AHQ yang aktif

(Minghua *et al.*, 2024)

2. Anthrone



Gambar IX.2 Struktur Molekul Anthrone

a) Nama : Anthrone

Anthra = berasal dari kerangka **anthracene/anthra-series**

One = mengandung **gugus keton ($C=O$)**

Merupakan bentuk **turunan** dari anthraquinone (AQ) yang sudah mengalami sedikit perubahan/**pereduksian berlebih.**

b) Penyebab Terbentuknya:

Anthrone muncul karena **proses hidrogenasi yang berlebihan**

- Tekanan gas hidrogen terlalu tinggi
- Aktivitas katalis terlalu kuat

- Waktu reaksi terlalu lama
- Suhu hidrogenasi terlalu tinggi

c) Dampak Pada Proses

- Tidak bisa ikut siklus AQ/AHQ → tidak menghasilkan H_2O_2
- Mewarnai WS menjadi **kuning** → **kecoklatan**
- Menjadi **kotoran organik** yang harus dibersihkan oleh alumina

d) Struktur dan Gugus Fungsi :

1) Gugus Keton ($C=O$)

- Terletak di bagian atas cincin
- Bersifat polar sehingga mudah menempel di alumina

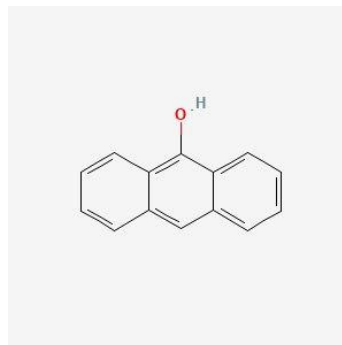
2) Dua Cincin Aromatik (Benzene)

- **Terletak di sisi kiri dan kanan**
- **Bentuknya stabil dan tidak berubah meskipun senyawa mengalami reaksi lain**

3) Cincin Tengah (dari struktur AQ)

- Dalam anthrone, cincin tengah **setengah jenuh**
- Satu sisi sudah direduksi → mengubah $C=O$ menjadi CH_2

3. Anthranol



Gambar IX.3 Struktur Molekul Anthranol

a) Nama :

Anthra = berasal dari kerangka **anthracene/anthra-series**

nol = Mengandung **gugus alkohol ($-OH$)** pada posisi yang sebelumnya merupakan gugus keton pada anthraquinone.



Anthranol merupakan bentuk **tereduksi** dari anthraquinone, di mana salah satu gugus keton ($=O$) berubah menjadi **gugus alkohol $-OH$** .

b) Penyebab Terbentuknya :

- **Reaksi hidrogenasi yang berlebihan** pada anthraquinone.
- Kondisi suhu tinggi selama proses hidrogenasi
- Katalis terlalu aktif

c) Dampak Pada Proses

- Tidak bisa ikut siklus AQ/AHQ $\rightarrow$ tidak menghasilkan H_2O_2
- Menambah warna WS menjadi **kuning** $\rightarrow$ **kecoklatan**
- Karena tidak bereaksi, anthranol hanya menumpuk $\rightarrow$ Harus diadsorpsi oleh alumina
- Mengurangi jumlah AQ aktif

d) Struktur dan Gugus Fungsi :

a) Gugus Alkohol ($-OH$)

- 1) Terletak pada cincin tengah (posisi bekas gugus karbonil AQ).
- 2) Lebih polar daripada bagian cincin aromatik sehingga mudah menempel di alumina.

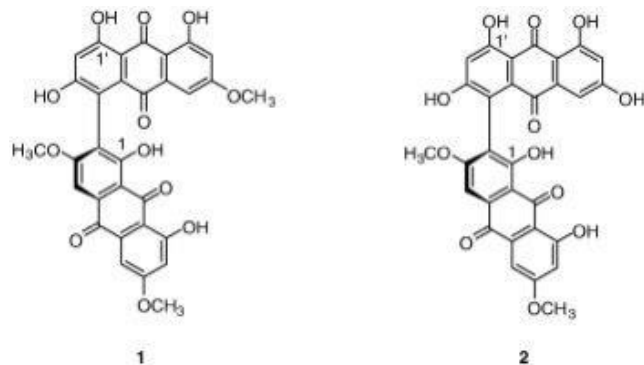
b) Tiga Cincin Aromatik (cincin benzena berderet)

- Bagian aromatik ini sangat stabil, memberi warna, dan bersifat hidrofobik.

c) Tidak Ada Gugus Karbonil Kedua (berbeda dari HQ/AQ).

- AQ memiliki dua gugus $C=O$, sedangkan anthranol hanya memiliki satu gugus $-OH$ dan tidak punya pasangan $C=O$ lainnya.

4. Tar organik (polimerisasi)



Gambar IX.4 Struktur Molekul polymeric AQ

a) Nama : Tar organic

yaitu gabungan beberapa unit aromatik (turunan anthraquinone) yang saling terhubung sehingga membentuk molekul sangat besar dan kompleks.

b) Penyebab Terbentuknya :

1) Polimerisasi spontan

Molekul aromatik bereaksi satu sama lain sehingga membentuk struktur panjang/bercabang.

2) Suhu operasi terlalu tinggi

Mempercepat pembentukan resin/tar.

c) Dampak Pada Proses

- Tidak bisa ikut siklus AQ/AHQ → tidak menghasilkan H_2O_2
- Membuat working solution lebih pekat dan gelap
- Menutup pori alumina → alumina cepat jenuh
- Menyebabkan fouling pada equipment

d) Struktur dan Gugus Fungsi :

1) Banyak cincin aromatik (benzenoid) yang digabung

Terlihat beberapa cincin benzena dan turunan aromatik yang saling terhubung secara kompleks.

2) Banyak gugus hidroksil ($-OH$)

Gugus $-OH$ membuat molekul sangat polar dan reaktif.



Semakin banyak $-OH \rightarrow$ semakin mudah membentuk tar.

3) Gugus karbonil ($C=O$)

Ada beberapa $C=O$ yang berasal dari struktur turunan anthraquinone.

4) Struktur bercabang & tidak teratur

Banyak sambungan antar cincin yang tidak beraturan.

(Ingle *et al.*, 2022)

IX.1.4 Perhitungan

Dari literatur proses anthraquinone :

a) Kapasitas Adsorpsi Alumina (C_{ads}) = 0,2 – 0,35 kg impuritas/kg alumina

b) Massa Impuritas / ton H_2O_2 ($M_{impurity}$) = 0,6 – 2,4 kg impuritas/ton H_2O_2

Perhitungan teoritis membutuhkan 2 hal :

a. Berapa banyak kotoran/impuritas yang terbentuk dari 1 ton H_2O_2 ?

Di proses anthraquinone, bahan utamanya (2- EAQ) itu lama-lama rusak sedikit demi sedikit.

1. Degradasi AQ/AHQ $\rightarrow$ **0,1 – 0,4%** dari total AQ per batch (Siklus).
2. Kebutuhan AQ baru (make-up) sebesar **1–3 kg per 1 ton H_2O_2 .**
3. Dari AQ yang rusak tadi, sekitar **60–80% berubah jadi kotoran organic** (yang nanti harus dibersihkan/ diserap oleh alumina).

Maka impuritas/ pengotor yang masuk ke alumina :

$$\begin{aligned} M_{impurity} &= (1 - 3 \text{ kg}) \times (60 - 80\%) \\ &= \mathbf{0,6 - 2,4 \text{ kg impuritas per ton } H_2O_2} \end{aligned}$$

b. Kapasitas Alumina Menyerap Kotoran



Alumina white granular 4-6 mm tipikal memiliki :

- 1) Pori permukaan: 200 – 260 m²/g.
- 2) Kapasitas adsorpsi organik: 0,2 – 0,35 g impurity per gram alumina.

Artinya 1 kg alumina menyerap : 200 – 350 g impuritas
= 0,20 – 0,35 kg impuritas per kg alumina.

1) HITUNG KEBUTUHAN ALUMINA PER 1 TON H₂O₂

Rumus teoritis:

$$\text{Alumina (kg)} = \frac{M_{\text{impurity}}}{C_{\text{ads}}}$$

(Mc.Cabe, 1993)

Di mana: $M_{\text{impurity}} = 0,6 - 2,4 \text{ kg impuritas/ton H}_2\text{O}_2$.

$C_{\text{ads}} = 0,20 - 0,35 \text{ kg impuritas/kg alumina.}$

a) Kondisi 1- Paling Optimum (impuritas rendah, alumina kapasitas tinggi)

$$\begin{aligned} M &= \frac{M_{\text{impurity}}}{C_{\text{ads}}} \\ &= \frac{0,6 \text{ kg impuritas/ton H}_2\text{O}_2}{0,35 \text{ kg impuritas/kg alumina}} \\ &= 1,714 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \end{aligned}$$

$$M_{sf} = 1,714 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \times 1,25 = \mathbf{2,142 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2}$$

b) Kondisi 2- Baik (impuritas rendah, kapasitas rendah)

$$\begin{aligned} M &= \frac{M_{\text{impurity}}}{C_{\text{ads}}} \\ &= \frac{0,6 \text{ kg impuritas/ton H}_2\text{O}_2}{0,20 \text{ kg impuritas/kg alumina}} \\ &= 3 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \end{aligned}$$

$$M_{sf} = 3 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \times 1,25 = \mathbf{3,75 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2}$$



c) Kondisi 3- Sedang (impuritas sedang, alumina kapasitas sedang)

$$\begin{aligned} M &= \frac{M_{\text{impurity}}}{C_{\text{ads}}} \\ &= \frac{1,5 \text{ kg impuritas/ton H}_2\text{O}_2}{0,28 \text{ kg impuritas/kg alumina}} \\ &= 5,36 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \end{aligned}$$

$$M_{sf} = 5,36 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \times 1,25 = \mathbf{6,7 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2}$$

d) Kondisi 4- Kurang baik (impuritas tinggi, kapasitas cukup tinggi)

$$\begin{aligned} M &= \frac{M_{\text{impurity}}}{C_{\text{ads}}} \\ &= \frac{2,4 \text{ kg impuritas/ton H}_2\text{O}_2}{0,20 \text{ kg impuritas/kg alumina}} \\ &= 12 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \end{aligned}$$

$$M_{sf} = 12 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \times 1,25 = 15 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2$$

e) Kondisi 5- Terburuk (impuritas tinggi, kapasitas rendah)

$$\begin{aligned} M &= \frac{M_{\text{impurity}}}{C_{\text{ads}}} \\ &= \frac{2,7 \text{ kg impuritas/ton H}_2\text{O}_2}{0,20 \text{ kg impuritas/kg alumina}} \\ &= 13,5 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \end{aligned}$$

$$M_{sf} = 13,5 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2 \times 1,25 = \mathbf{16,875 \text{ kg alumina/ton H}_2\text{O}_2}$$

IX.1.5 Kesimpulan perhitungan kebutuhan Alumina

Dari semua perhitungan, kondisi yang dipilih adalah **kondisi terburuk**, yaitu saat impuritasnya paling banyak dan kemampuan alumina menyerap kotoran paling kecil. Hasilnya, kebutuhan alumina menjadi yang paling tinggi. Kondisi terburuk dipilih supaya efisiensi pergantian alumina lebih tepat, dan untuk memastikan pergantian alumina dilakukan sebelum terjadi kejenuhan dan penggumpalan. Jika alumina dibiarkan penuh dan menggumpal, pekerjaan menjadi jauh

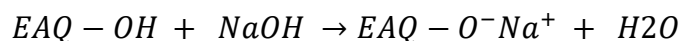


lebih berat dan butuh banyak tenaga kerja, Dengan memakai kondisi terburuk sebagai dasar perhitungan, pergantian alumina bisa dilakukan lebih cepat, sehingga pekerjaannya lebih ringan, dan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan juga lebih sedikit.

IX.2 Alasan pemilihan NaOH dengan bahan kimia yang lain

1. NaOH mampu membentuk sabun asam organic (natrium karboksilat) sehingga mempermudah pemisahan

Asam organic hasil degradasi EAQ seperti 2 amino antraquinon, antron anthranol dan tethra hidroamtasene pada WS berbentuk impuritas gelap. Sehingga dengan NaOH dapat membentuk natrium karboksilat (garam) yang berpindah ke fase air



Berdasarkan reaksi tersebut impuritis akan pindah ke fase air

2. NaOH efektif memecah resin

EAQ dan hidro-EAQ yang terdegradasi membentuk resin, NaOH memecah resin tersebut dengan baik

3. NaOH tidak bereaksi merusak TMB/TOP

TMB (trimetilbenzena) dan TOP (trioktilfosfat) stabil dalam kondisi basa rendah.

4. Segi Ekonomi

NaOH ekonomis dan umum dipakai di industri H_2O_2 dibandingkan yang lain

5. Fase pemisahan NaOH cepat

NaOH menghasilkan 2 fase yang jelas dan cepat terpisah:

1. Fase air (mengandung garam organik)
2. Fase organik (EAQ/TMB/TOP kembali jernih)



Tabel IX.1 Tabel Perbandingan NaOH dengan bahan kimia lain

Parameter	NaOH	KOH	NH ₄ OH	Na ₂ CO ₃
Kekuatan basa	Sangat kuat	Sangat kuat	Sedang	Lemah
Kemampuan menetralkan asam organik	Sangat baik	Sangat baik	Baik	Kurang
Menghilangkan resin	Sangat baik	Sangat baik	Kurang	Kurang
Harga	Murah	Mahal	Murah	Murah
Resiko penggumpalan	Ada apabila terlalu pekat	Tinggi	Rendah	Rendah
Kecepatan pemisahan fase	Cepat	Sedang	Lambat	Sangat lambat

(US Patent, 1969)