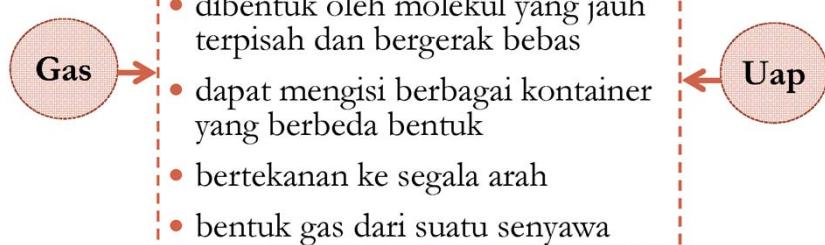


Pengendalian Air dan Limbah Industri

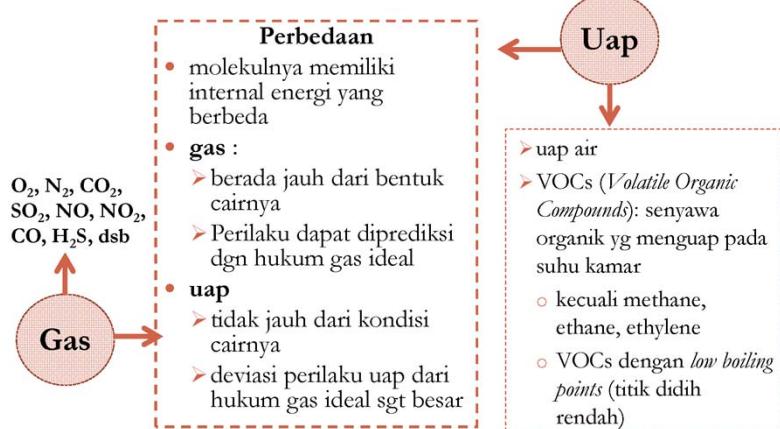
(Pengendalian Emisi Gas)

DODY GUNTAMA, ST., M.Eng

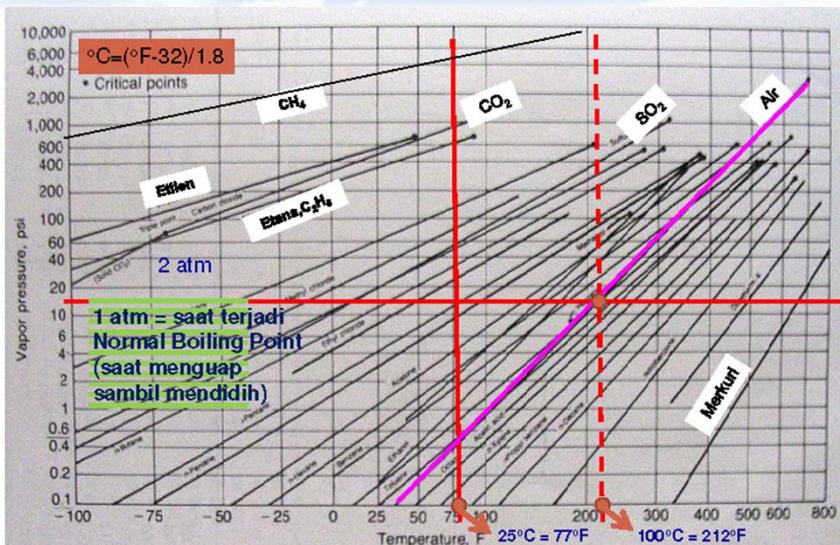
Apa itu Gas?



Apa itu Gas?



Tekanan Uap Zat yang Umum Dikenal



Alat Pengendali Gas

- Adsorber
- Absorber
- Kondenser
- Unit pembakaran (oksidasi kimia)
- *Catalytic Oksidator*

Adsorber

- Adsorber: unit pengendali gas yang menggunakan prinsip adsorpsi
 - Adsorpsi: proses tertahannya pencemar gas pada permukaan padat
 - Adsorben: permukaan padat yang mampu menarik molekul gas pencemar (seperti karbon aktif, silica gel, *activated alumina*)
 - Adsorbat adalah molekul gas pencemar yang tertahan pada permukaan padat (seperti senyawa organik volatil, thinner cat, pelarut/solvents)
- Adsorber biasanya digunakan untuk mengendalikan bau (odor)
 - Pencemar berkonsentrasi rendah (<10 ppm) -> adsorben sekali pakai
 - Pencemar konsentrasi tinggi (10 – 10000 ppm) -> adsorben yang dapat diregenerasi

Adsorber: Aplikasi

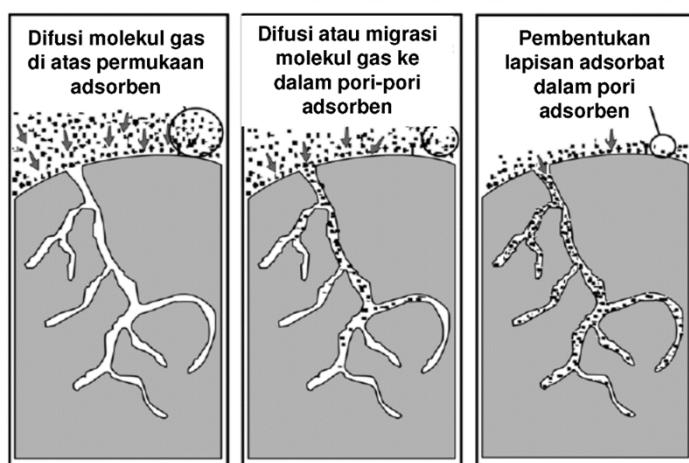
- Aplikasi:

- Untuk menghilangkan bau
- Untuk recovery pelarut organic
- Untuk pemurnian gas
- Flue Gas Desulphurization metoda kering

- Industri pengguna:

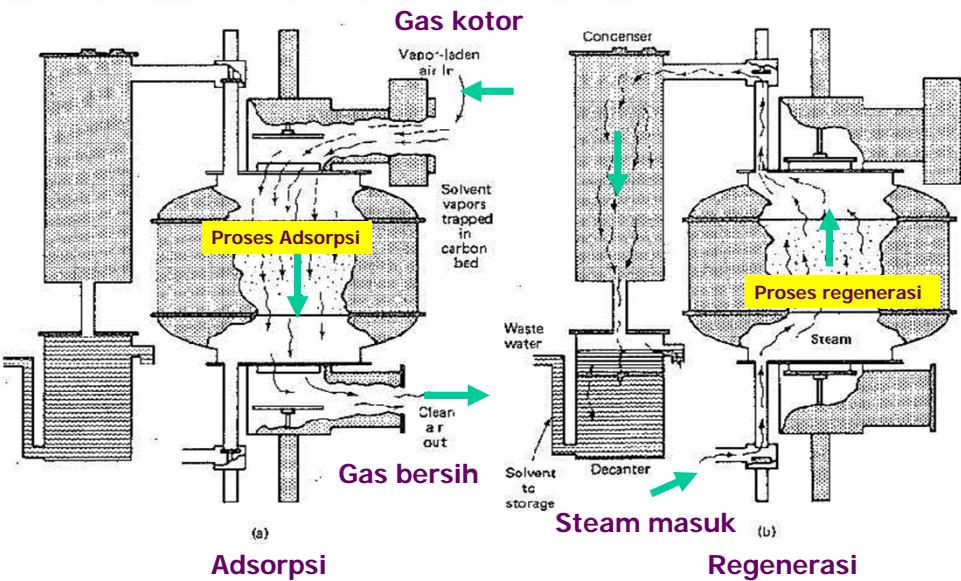
- Industri pengolahan makanan
- Industri fermentasi
- Industri pestisida
- Industri petrokimia

Adsorber : Mekanisme Adsorpsi



(Sumber: APTI 415, 1999)

Adsorber : proses adsorpsi dan regenerasi



Adsorber: Kekurangan dan Kelebihan

▪ Kelebihan :

- Produk dapat di-recovery
- Sistemnya dapat dijalankan secara otomatis
- Mampu menyisihkan zat pencemar konsentrasi rendah

▪ Kekurangan :

- Recovery produk membutuhkan peralatan distilasi yang mahal
- Kapasitas adsorpsi yang terbatas sehingga sering terjadi kerusakan adsorben
- Regenerasi adsorben memerlukan steam atau vacuum
- Biaya investasi yang cukup tinggi
- Pemasangan filter diperlukan untuk menyisihkan partikulat sehingga tidak terjadi penyumbatan pada adsorben

Adsorber: Konsep Desain

- **Faktor-faktor yang berpengaruh:**
 - **Karakteristik adsorben**
 - Kapasitas adsorben
 - Massa jenis
 - Kapasitas panas
 - Volume pori
 - Afinitas adsorben terhadap gas pencemar
 - Luas permukaan dari adsorben
 - Temperatur regenerasi
 - **Kondisi operasi**
 - Temperatur
 - Tekanan operasional
 - *Breakthrough performance*

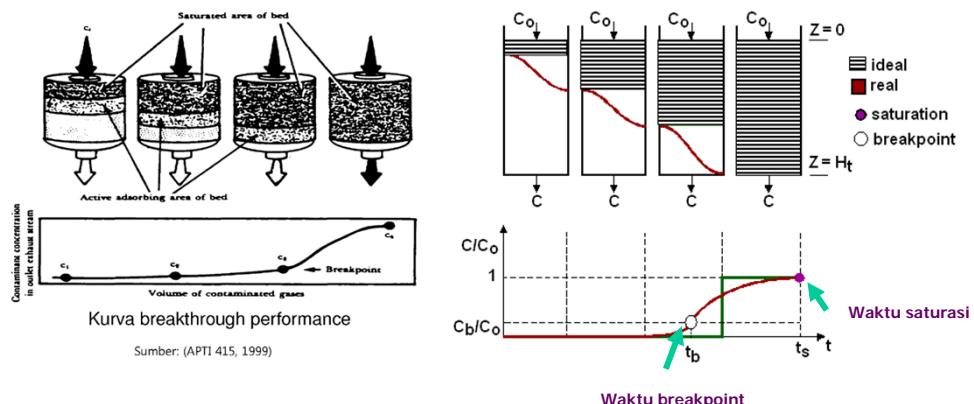
Adsorber: Konsep Desain

Karakteristik fisik adsorben

Parameter	<i>Porositas internal</i>	<i>Luas permukaan</i>	<i>Volume pori</i>	<i>Massa jenis kering</i>	<i>Average pore diameter</i>	<i>Regeneration temperature</i>	<i>Maximum allowable Temperature</i>
	%	m ² /g	cm ³ /g	g/cm ³	A	°C	°C
Karbon Aktif	55-75	600 – 1600	0.80-1.20	0.35-0.50	1500-2000	100 -140	150
Alumina Aktif	30-40	200-300	0.29-0.37	0.90-1.00	1800-2000	200 - 250	500
zeolit	40-55	600-700	0.27-0.38	0.800	300-900		
polimer sintetis		1080-1100	0.94-1.16	0.34-0.40			
Silica Gel		750	0.37			120 - 250	400

Sumber: (APTI 415, 1999)

Adsorber: Breakthrough Performance



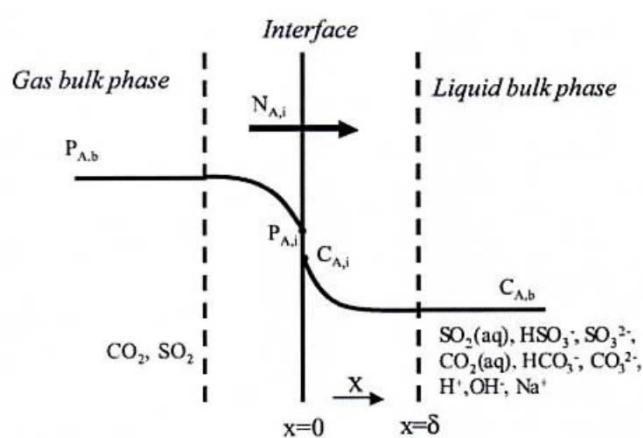
Absorber

- Absorber atau *scrubber*, unit pengendali gas yang menggunakan prinsip absorpsi
 - Absorpsi adalah mekanisme dimana satu atau lebih zat pencemar dalam aliran gas dieliminasi atau dihilangkan dengan cara melarutkannya dalam cairan
 - Absorben adalah cairan yang digunakan untuk melarutkan pencemar
 - Absorbat adalah pencemar yang terlarut di dalam cairan
 - Gas pencemar akan bereaksi dengan absorben, terjadi reaksi kimia

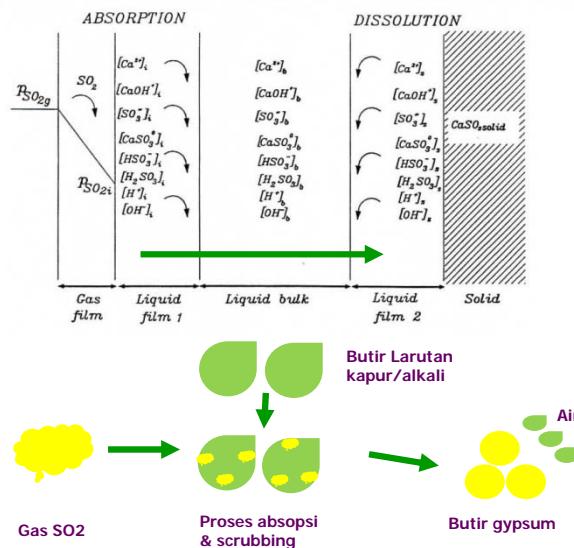
Absorber: Aplikasi

- Absorber/*scrubber* umumnya digunakan untuk :
 - *Flue Gas Desulphurization (FGD)*, penyisihan SO_2 dari PLTU Batubara
 - Penyisihan dan *recovery* NH_3 di pabrik pupuk
 - Penyisihan Hidrogen Fluorida dari *glass furnace*
 - *Recovery* pelarut yg dapat larut di air seperti aseton dan metil alkohol
 - Pengendalian gas berbau

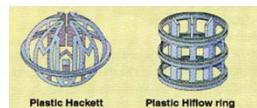
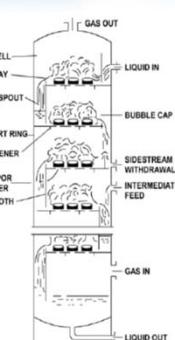
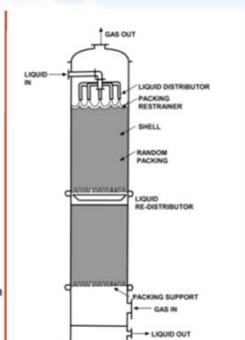
Absorber: Mekanisme absoprsi



Absorber: Mekanisme absoprsi



Absorber: Deskripsi Alat



Absorber: Kelebihan dan Kekurangan

- **Kelebihan:**

- Efisiensi penyisihan yang tinggi
- Biaya pembangunan yang relatif rendah
- Luas area yang dibutuhkan tidak besar
- Kehilangan tekanan relatif kecil

- **Kekurangan:**

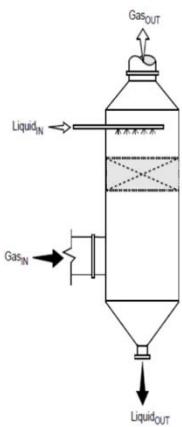
- Sulit untuk memperoleh gas murni (biasanya lebih dari satu jenis gas akan terserap pada waktu bersamaan)
- Menghasilkan limbah cair
- Membutuhkan proses regenerasi untuk memisahkan absorben dan absorbatnya
- Biaya pemeliharaan relatif tinggi

Absorber: Konsep Desain

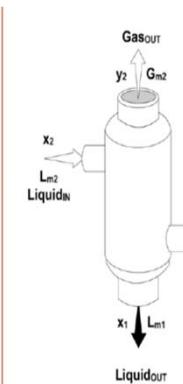
- Variabel dasar yang menentukan dalam disain scrubber:

- Pemilihan absorben yang sesuai
- Tekanan system
- Rasio aliran cairan absorben terhadap gas (L to G ratio)
- Kecepatan gas dalam kolom absorber
- Jumlah kontak antara gas dan liquid yang menghasilkan pemisahan
- *Flowrate* gas yang akan diolah
- Konsentrasi gas yang akan disisihkan
- Efisiensi penyisihan yang harus dicapai

Absorber: Konsep Desain



Definisi L to G ratio
(Sumber: APTI 415, 1999)



Kesetimbangan massa untuk
countercurrent flow absorber
(Sumber: APTI 415, 1999)

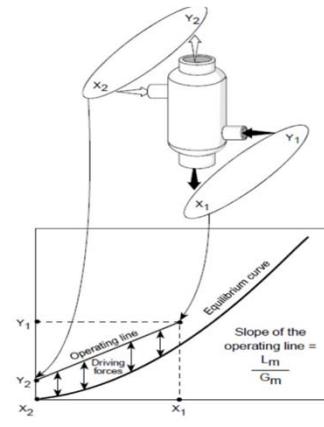
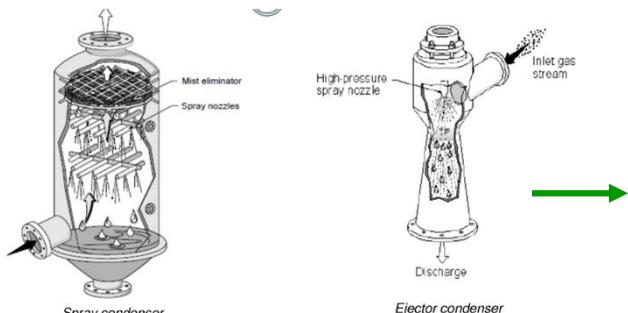


Diagram perubahan komposisi
gas di dalam kolom absorber,
Sumber(APTI 415, 1999)

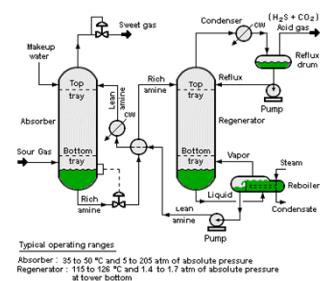
Kondensor

- Kondenser: unit pengendali gas yang menggunakan prinsip kondensasi
 - proses penyisihan gas pencemar dengan cara merubah fasa dari fasa gas ke fasa cair
 - Umumnya digunakan sebelum adsorber, absorber, atau insinerator untuk mengurangi total massa gas buang yang akan diolah

Kondenser: Deskripsi Alat

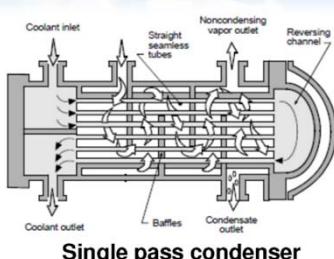


Kondenser kontak langsung Sumber
(APTI 415, 1999)

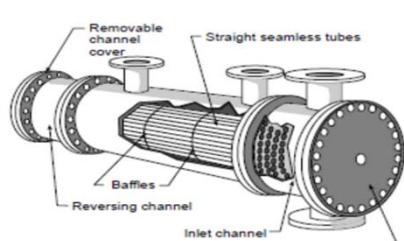


Contoh aplikasi DC condenser
Pada absorber & regenerator
Pemisahan CO₂ & H₂S dari gas alam

Kondenser: Deskripsi Alat



Single pass condenser



Pass shell and tube condenser



Kondenser permukaan
(APTI 415, 1999)

Contoh aplikasi surface condenser
Pada Proses Claus untuk merecovery
sulfur dari gas H₂S

Kondenser: Kelebihan dan Kekurangan

- **Kelebihan:**

- Dapat diperoleh produk *recovery* yang murni (kondenser permukaan)
- Air yang didigunakan sebagai pendingin tidak dikontakkan langsung dengan gas pencemar sehingga dapat digunakan kembali (kondenser permukaan)

- **Kekurangan:**

- Efisiensi penyisihan gas pencemar relatif rendah
- Pendingin selain air dapat berharga sangat mahal
- Membutuhkan temperatur rendah, sehingga satu tahap pendinginan tidak mencukupi
- Membutuhkan proses pencairan (*defrosting*)
- Biaya operasional relatif tinggi

Kondenser: Konsep Desain

- Desain Kondenser

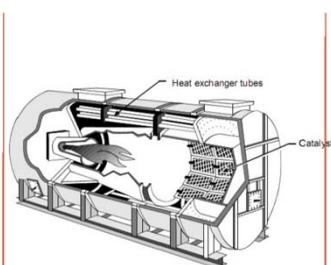
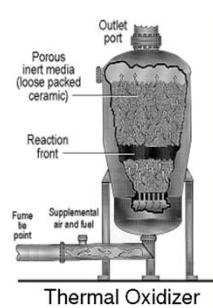
- Menghitung jumlah pendingin yang dibutuhkan untuk mengkondensasikan uap
- Metode merubah fasa dilakukan dengan cara menurunkan temperatur, menaikkan tekanan, atau kombinasi keduanya, yaitu:
 - Pada temperatur tertentu tekanan dinaikkan dengan cara volume gas ditekan sehingga tekanan parsial gas sama dengan tekanan uapnya
 - Pada tekanan tertentu, gas didinginkan sampai tekanan parsial gas sama dengan tekanan uapnya
 - Kombinasi dari kedua teknik diatas, gas ditekan dan didinginkan, sampai tekanan parsial gas sama dengan tekanan uapnya.

Unit Pembakaran: Aplikasi

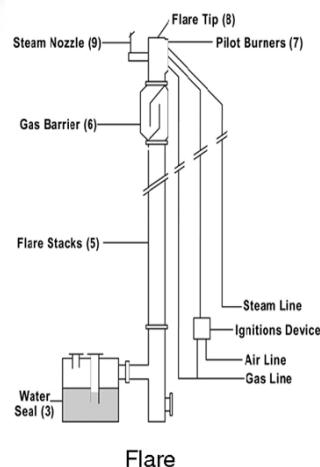
- Insinerator: membakar senyawa organik beracun
- Flare: membakar kelebihan bahan bakar pada kilang minyak

Unit Pembakaran: Deskripsi Alat

- Bagian utama:
 - api pembakar (*Burner*)
 - ruang bakar (*combustion chamber*)
 - blower udara (*combustion air blower*)
 - saluran inlet bahan bakar gas



Sumber(APTI 415, 1999)



Unit Pembakaran: Kelebihan dan Kekurangan

■ **Kelebihan:**

- Pengoperasian yang sederhana
- Dapat menjadi sumber panas
- Dapat mendestruksi senyawa organik dengan efisiensi tinggi

■ **Kekurangan:**

- Biaya operasional relatif tinggi karena membutuhkan bahan bakar
- Dapat terjadi pembakaran tidak sempurna sehingga menghasilkan pencemar lain yang berbahaya

Unit Pembakaran: Konsep Desain

■ Faktor yang paling menentukan dalam disain suatu unit pembakaran adalah 3T, yaitu temperatur, *time* (waktu), dan turbulensi.

- Secara umum temperatur pembakaran berkisar antara 540 – 1200°C, dengan waktu tinggal dalam ruang bakar sekitar 0.2- 5 detik, kecepatan alir gas 6-12 m/detik

■ Perolehan panas (*heat recovery*) dapat dilakukan pada sebuah insinerator dengan memasang heat exchanger

- Heat exchanger yang digunakan untuk pemanasan awal (*preheat*) gas buang disebut recuperator
- Pemanasan awal sangat berguna karena secara langsung dapat menghemat bahan bakar yang diperlukan
- Panas dari afterburner dapat juga dimanfaatkan untuk memanaskan boiler dan menghasilkan uap (*steam*), atau dicampurkan dengan udara untuk menyediakan aliran udara panas yang kering

Catalytic Oxidator

- Prinsip

- sama seperti pembakaran, tetapi ditambah katalis

- Katalis

- Biasanya berupa logam mulia spt platina (Pt), palladium (Pd)
 - Mempercepat laju reaksi
 - Menurunkan temperatur saat oksidasi berlangsung
 - Katalis tdk berubah dan dpt digunakan kembali
 - kecuali ada gangguan luar

PENGENDALIAN SO₂

Teknik Pengendalian SO₂ Flue Gas Desulphurization (FGD)

- FGD menggunakan
 - Teknik absorpsi
 - Teknik adsorpsi
- Prinsip
 - SO₂ (bersifat asam) + alkali (basa)

Teknik Pengendalian SO₂ Flue Gas Desulphurization (FGD)

SOx dapat dikendalikan dengan menggunakan teknik absorpsi yg disebut **Flue Gas Desulphurization (FGD)**

▪ FGD dengan metode basah

- Penyerap (absorben) berupa larutan atau campuran padatan dan larutan (*slurry*) yang mengandung senyawa seperti Na, Ca, atau Mg yang direaksikan dengan SO₂
 - Absorben batu kapur atau *limestone* (CaCO₃) paling banyak digunakan karena harga batu kapur yang relatif murah, menghasilkan produk samping berupa padatan CaSO₄ (gypsum)
- Biaya investasi serta operasi dan pemeliharaan relatif murah, kestabilan dan keamanan sistem operasi sangat baik

▪ FGD metode kering

- Absorben padatan kering
- Absorben padatan basah (dengan kondisi: air akan menguap saat diinjeksikan)
- memiliki kapasitas adsorpsi yang terbatas, sehingga jika kapasitas adsorpsi sudah terlampaui maka adsorben akan mengalami kerusakan. Selain itu dapat terjadi penyumbatan pada permukaan adsorben jika gas yang diolah mengandung partikulat

FGD Wet & Dry scrubber

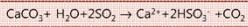
Metode FGD	Absorben	Reaksi	Produk sampingan
FGD Tipe Non Regenerasi			
Metode Basah	Limestone scrubbing CaCO ₃ - slurry	CaCO ₃ + H ₂ O + 2SO ₂ → Ca ²⁺ + 2HSO ₃ ⁻ + CO ₂ CaCO ₃ + 2HSO ₃ ⁻ + Ca ²⁺ → 2CaSO ₃ + CO ₂ + H ₂ O CaSO ₃ + 1/2O ₂ → CaSO ₄	CaSO ₄
	Lime scrubbing CaO - slurry	CaO + H ₂ O → Ca(OH) ₂ SO ₂ + H ₂ O ↔ H ₂ SO ₃ H ₂ SO ₃ + Ca(OH) ₂ → CaSO ₃ · 2H ₂ O CaSO ₃ · 2H ₂ O + 1/2O ₂ → CaSO ₄ · 2H ₂ O	CaSO ₃ , CaSO ₄
	Dual alkaly Larutan NaOH atau Na ₂ SO ₃	2NaOH + SO ₂ → Na ₂ SO ₃ + H ₂ O Na ₂ SO ₃ + H ₂ O + SO ₂ → 2NaHSO ₃	Na ₂ SO ₃ , Na ₂ SO ₄
	Mg(OH) ₂ - slurry	Mg(OH) ₂ + SO ₃ → MgSO ₃ + H ₂ O Mg(OH) ₂ + 2SO ₂ → Mg(HSO ₃) ₂ Reaksi pada tangki oksidasi MgSO ₃ + 1/2O ₂ → MgSO ₄ Mg(HSO ₃) ₂ + Mg(OH) ₂ → 2MgSO ₃ + 2H ₂ O	MgSO ₃ , MgSO ₄
Metode Kering	NH ₃ dan air	2NH ₄ OH + SO ₂ → (NH ₄) ₂ SO ₃ + H ₂ O (NH ₄) ₂ SO ₃ + SO ₂ + SO ₃ + H ₂ O → 2NH ₄ HSO ₃ + H ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄
	Lime Spray Drying Bubuk CaO dan CaCO ₃ NaOH Scrubbing		CaSO ₃ , CaSO ₄ Na ₂ SO ₄ Na ₂ CO ₃

FGD Wet & Dry scrubber

Metode FGD	Absorben	Reaksi	Produk sampingan
FGD Tipe Regenerasi			
Metode Basah	Wellman-Lord (W-L) Process	Na ₂ SO ₃ + SO ₂ + H ₂ O → 2NaHSO ₃ Na ₂ SO ₃ + 1/2O ₂ → Na ₂ SO ₄ 2Na ₂ SO ₃ + SO ₃ + H ₂ O → Na ₂ SO ₄ + 2NaHSO ₃ 2NaHSO ₃ + panas → Na ₂ SO ₃ + SO ₂ + H ₂ O Na ₂ CO ₃ + SO ₂ → Na ₂ SO ₃ + CO ₂	
	Mg(OH) ₂ slurry		MgSO ₃ , MgSO ₄ , H ₂ SO ₄
Metode Kering	Karbon Aktif	SO ₂ + H ₂ O + 1/2H ₂ O → H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄
	CuO		

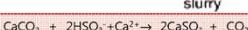
Wet scrubber (limestone)

- O₂ pada gas buang akan menyebabkan CaSO₃ teroksidasi menjadi CaSO₄ (gypsum).
- Pengendapan CaSO₄ dalam scrubber dapat dicegah dengan mempertahankan rasio absorben terhadap gas yang tinggi sehingga pH larutan tetap konstan pada saat SO₂ diserap

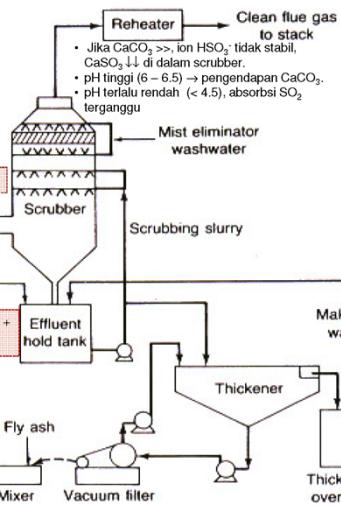


SO₂, O₂ Flue gas

Ground limestone slurry



- forced oxidation
- inhibited oxidation

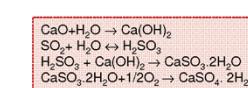


- Kelebihan**
- CaCO₃ (absorben) yang murah dan banyak tersedia.
 - biaya investasi dan operasi relatif murah,
 - sistem yang cukup stabil
 - dihasilkan gypsum yang bermutu ekonomis.

- Kekurangan**
- terjadinya pengendapan (scaling) pada tower, penyumbatan, dan korosi

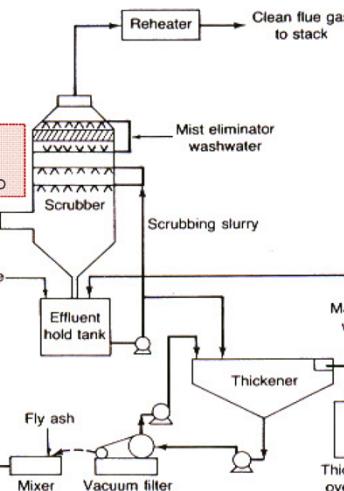
FGD Non Regenerasi, Metode Basah, Limestone Scrubber, CaCO₃ - slurry (Sumber: Hogetsu, 2005)

Wet scrubber (Lime)



SO₂, O₂ Flue gas

Ground limestone slurry

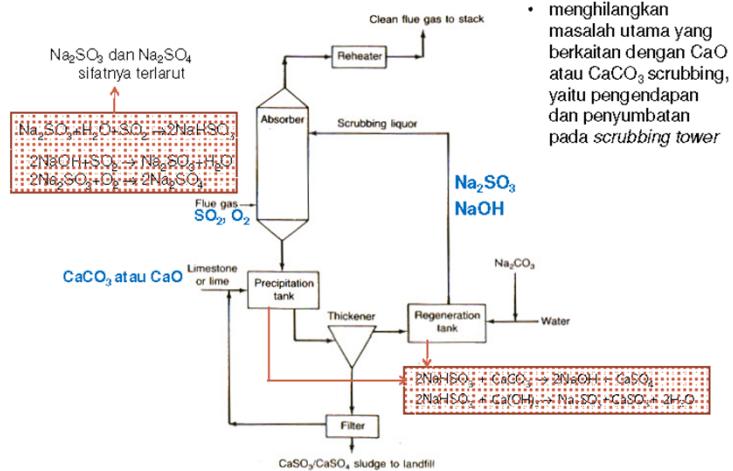


- Kelebihan**
- CaO yang lebih reaktif bereaksi dengan SO₂ serta fleksibilitas dari operasi

- Kekurangan**
- harga CaO yang lebih mahal daripada CaCO₃.

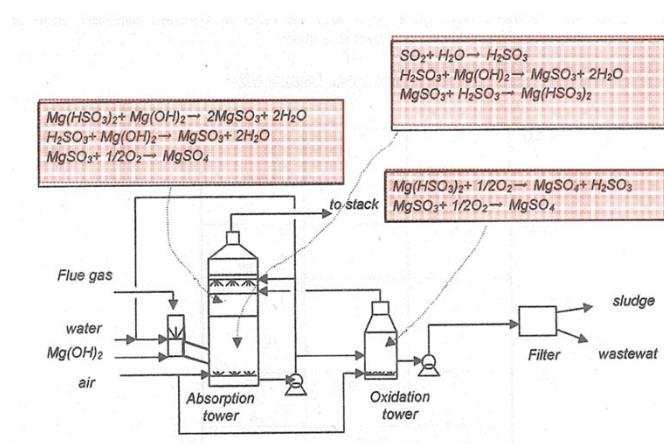
FGD Non Regenerasi, Metode Basah, Lime Scrubber, CaO slurry (Sumber: Hogetsu, 2005)

Wet scrubber (Dual Alkali,CaO & Na₂CO₃)



FGD Non Regenerasi, Metode Basah, Dual Alkali (Sumber: Hogetsu, 2005)

Wet Scrubber (Mg(OH)₂)



FGD Non Regenerasi, Metode Basah, Mg(OH)₂ Scrubber (Sumber: Hogetsu, 2005)

Semi dry scrubber (Lime/Limestone)

CaO atau CaCO₃ diinjeksikan dlm kondisi basah atau kering -> terbentuk CaSO₄/CaSO₄.

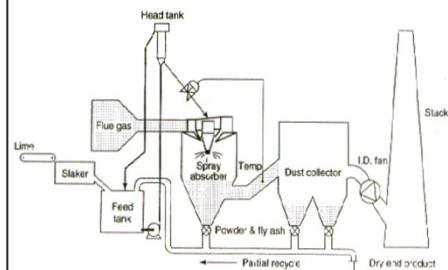
- **Injeksi basah (slurry)**, rasio slurry/gas → air akan menguap sebelum mencapai dasar kolom.
 - Padatan kering dikumpulkan di dalam baghouse
- **Injeksi langsung bubuk CaO dan CaCO₃ kering**
 - penyerapan secara kering
 - partikel padat dikumpulkan dalam baghouse.
 - Penyisihan SO₂ terjadi pada saat aliran gas melewati lapisan padatan yang tertahan pada bag house.
 - Kekurangan: dibutuhkan reagen dalam jumlah banyak, karena hanya permukaan padatan yang bereaksi dengan SO₂.
 - Kekurangan ini dapat diatasi dengan memperkecil ukuran dari partikel absorber.

Kelebihan

- pemeliharaan yang lebih mudah,
- pemakaian energi yang rendah,
- biaya investasi dan operasi yang rendah.

Kekurangan

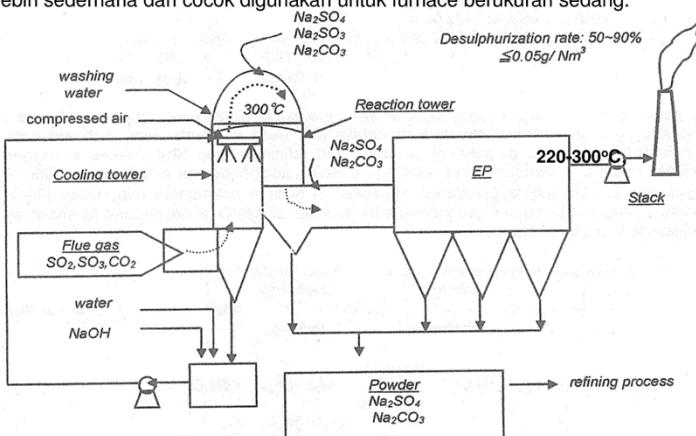
- potensi kerusakan pada baghouse jika temperatur mencapai *dew point*.



FGD Non Regenerasi, Metode kering, Lime/Limestone scrubbing, (Sumber: Hogetsu, 2005)

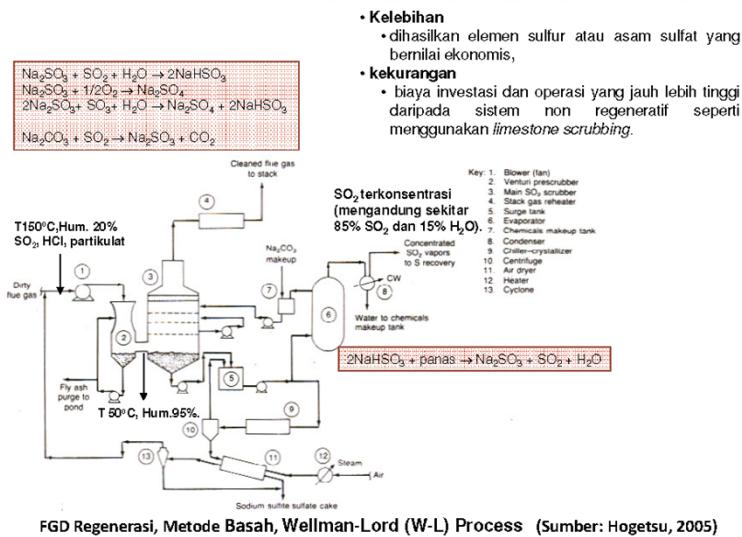
Dry scrubber (NaOH)

- η penyisihan SO₂ dgn metode kering < metode basah, tetapi metode kering lebih sederhana dan cocok digunakan untuk furnace berukuran sedang.



FGD Non Regenerasi, Metode kering, NaOH Scrubbing (Sumber: Hogetsu, 2005)

Wet scrubber (regenerasi dg Na_2CO_3)

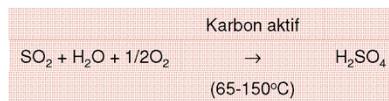


FGD Regenerasi, Metode Basah, MgO scrubbing

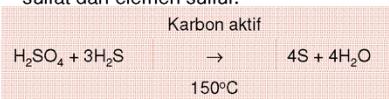
- MgO sebagai absorben dan menghasilkan padatan $\text{MgSO}_3/\text{MgSO}_4$
- Padatan yang terbentuk dapat dikalsinasi (dibakar bersama kokas atau reduktor lainnya), menghasilkan SO_2 dan meregenerasi MgO
- Keuntungan: sedikit dihasilkan limbah padat
- Kekurangannya:
 - dibutuhkannya proses kalsinasi pada suhu tinggi
 - SO_2 yang dihasilkan adalah sekitar 15% yang hanya dapat digunakan untuk membuat asam sulfat

FGD Regenerasi, Metode Kering Karbon Aktif dan CuO Adsorber

- karbon aktif sebagai adsorben



- SO_2 yang terserap dapat diregenerasi dengan air sehingga dihasilkan asam sulfat dan elemen sulfur.

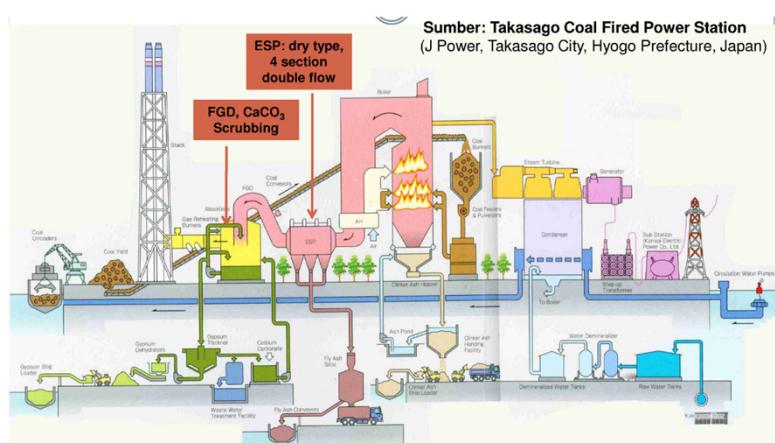


- Pada *bed* selanjutnya, temperatur dinaikkan untuk menguapkan dan mendapat kembali sekitar 1/4 sulfur, sedangkan sisanya direaksikan dengan hidrogen untuk menghasilkan H_2S yang dibutuhkan dalam reaksi. Karbon yang sudah diregenerasi kemudian dikembalikan ke awal proses.

- CuO sebagai adsorben

- NO_x juga dapat sekaligus disisihkan bersamaan dengan cara menginjeksikan ammonia (NH_3) ke dalam aliran gas buang.
 - Adsorpsi berlangsung pada suhu tinggi sekitar 400°C untuk membentuk CuSO_4 .
 - Adsorben dapat diregenerasi menggunakan gas reduktor seperti H_2 atau $\text{H}_2 + \text{CO}$ untuk menghasilkan SO_2 terkonsentrasi.
 - Pada saat regenerasi berlangsung, adsorben direduksi menjadi Cu, kemudian dioksidasi menjadi CuO.

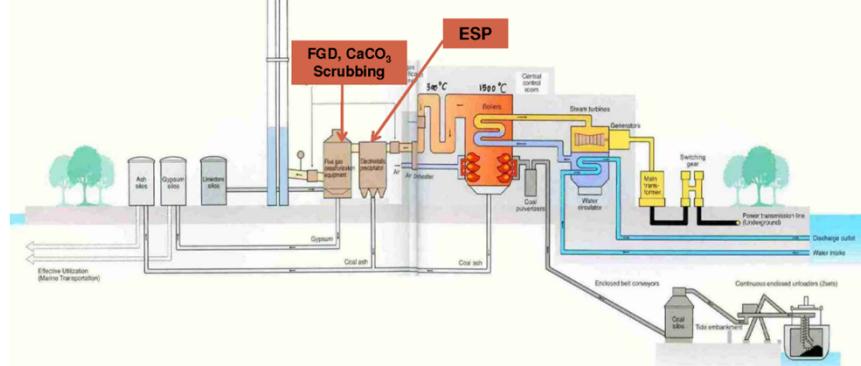
Studi Kasus Pengendalian SOx PLTU Batubara



Studi Kasus

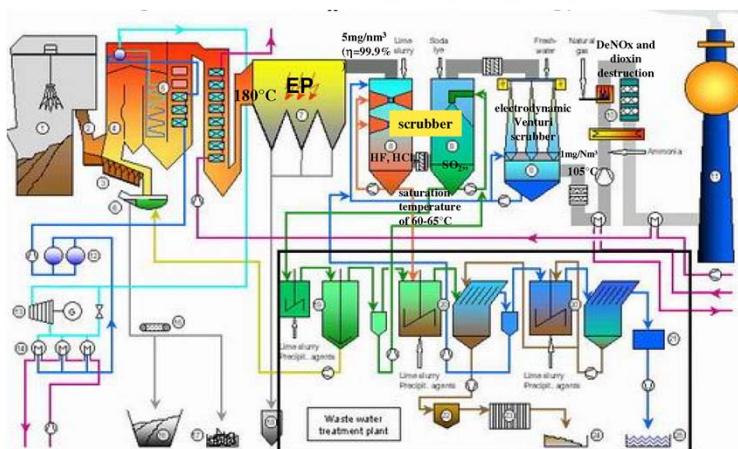
Pengendalian SOx PLTU Batubara

Sumber: Shinko Kobe Power Station (Kobe, Hyogo Prefecture, Japan)



Studi Kasus

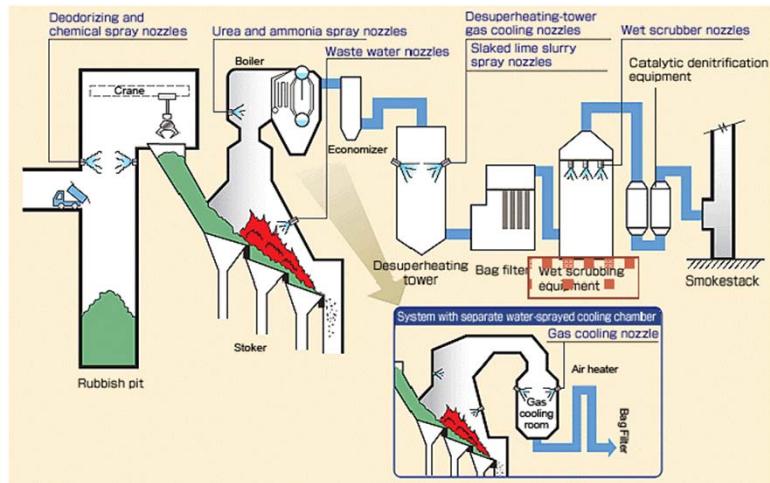
Pengendalian SOx Waste to Energy Plant



Sumber: <http://www.gym-hartberg.ac.at/gym/gwk/Fba/spittelau/spittelau.htm>

Studi Kasus

Pengendalian SO_x Insinerator Rumah Sakit



PENGENDALIAN NO_x

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx)

■ NOx

– Fuel NOx:

- NOx yang terbentuk dari hasil reaksi antara nitrogen (N) yang terdapat dalam bahan bakar dengan oksigen pada temperatur Tinggi

– Thermal NOx:

- NOx yang terbentuk dari hasil reaksi antara N₂ dan O₂ pada suhu tinggi dalam ruang bakar

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) Modifikasi Pembakaran

■ Modifikasi pembakaran untuk mengurangi atau mencegah terbentuknya NOx

- *Flue gas resirculation* dilakukan dengan mereduksi *peak flame* temperatur dan jumlah oksigen untuk mengurangi NOx yang terbentuk
- Low NOx burner didisain untuk membakar bahan bakar dengan menggunakan excess air yang rendah
- *Staged combustion* digunakan untuk mereduksi temperatur puncak

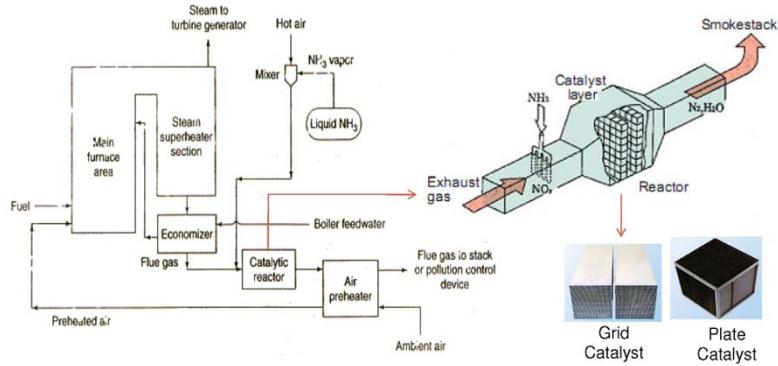
Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) Konversi NOx -> N₂

- Mengendalikan NOx yang telah terbentuk dengan cara mengkonversikannya menjadi N₂
 - *Selective Catalytic Reduction (SCR)*
 - *Selective non Catalytic Reduction (SNCR)*
 - *Non Selective Catalytic Reduction (NSCR)*
 - *Catalytic cracking*

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) *Selective Catalytic Reduction (SCR)*

- Merubah NOx menjadi N₂ dan H₂O menggunakan NH₃ dan Katalis
 - Katalis : TiO₂ dgn penambahan Vanadium (V) dan Tunsten (W)
 - Reaksi : 4NO+4NH₃+O₂ -> 4N₂+6H₂O
- Temperatur operasi:
 - T optimum: 350 °C
 - T< 350 °C : SO₃ bereaksi dgn NH₃ membentuk NH₄HSO₄ , menutupi permukaan katalis, menurunkan kemampuan katalis untuk menyisihkan NOx
 - T 350-400 °C, NH₄HSO₄ dapat terurai, penyisihan NOx dapat meningkat
 - T >400 °C, NH₃ dapat teroksidasi sehingga penyisihan NOx berkurang
- Gangguan:
 - Partikulat diatasi dgn memakai katalis bentuk pelat atau grid
 - Kebocoran NH₃ -> SO₃ akan bereaksi dengan NH₃ membentuk NH₄HSO₄ dan menyumbat aliran pipa (maka NH₃ yg keluar dr unit dipertahankan R 5 ppm)
- Aplikasi
 - Cocok digunakan untuk mengolah volume udara yang besar
 - Pada PLTU batubara reduksi NOx mencapai 80-90%.

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) *Selective Catalytic Reduction (SCR)*

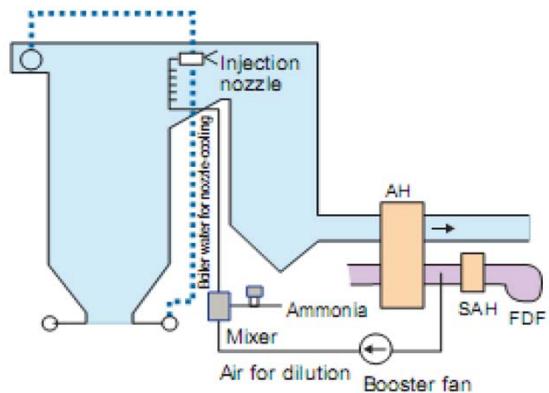


Sumber: <http://www.brain-c-jcoal.info>

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) *Selective Non Catalytic Reduction (SNCR)*

- Merubah NOx menjadi N₂ dan H₂O tanpa katalis
 - Reaksi: NH₃ diinjeksikan ke dalam bagian boiler dimana temperatur mencapai 850-900°C untuk mengubah NOx menjadi N₂ dan H₂O tanpa menggunakan katalis.
 - Kelebihan:
 - Tidak diperlukannya katalis
 - biaya investasi rendah
 - Kekurangan:
 - efisiensi penyisihan NOx sekitar 40%
 - Selain itu, lebih banyak NH₃ yang dapat lolos terbawa aliran gas daripada metode SCR
 - Aplikasi
 - digunakan pada boiler kecil dan insinerator

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) *Selective Non Catalytic Reduction (SNCR)*



Sumber: <http://www.brain-c-jcoal.info>

Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) *Non Selective Catalytic Reduction (NSCR)*

- merubah NOx, CO dan HC (dikenal three way catalyst) menjadi N₂ dan H₂O
 - Katalis: logam mulia seperti platina (Pt), dan HC, CO atau H₂ sebagai *reducing agent*
- Step 1 Reactions:
$$\begin{aligned} 2\text{CO} + \text{O}_2 &\rightarrow 2\text{CO}_2 \\ 2\text{H}_2 + \text{O}_2 &\rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \\ \text{HC} + \text{O}_2 &\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$$
- Step 2 Reactions:
$$\begin{aligned} \text{NO}_x + \text{CO} &\rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2 \\ \text{NO}_x + \text{H}_2 &\rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 \\ \text{NO}_x + \text{HC} &\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 \end{aligned}$$
- Aplikasi:
 - Proses ini sulit diaplikasikan untuk volume udara yang besar dengan konsentrasi NOx yang rendah. Excess O₂ max 0,5% (hanya cocok utk nat gas), Eff ~90%.
 - Temp operasi gas buang 375-650 °C.
- *Catalytic cracking process* menggunakan logam mulia pada suhu sekitar 450°C.
 - Regenerasi catalyst dari coke yg nempel adalah melalui oksidasi sehingga emisi NOx cenderung tinggi. Low excess air <0,5% dan Low NOx catalyst digunakan pada catalyst regenerator agar proses pemurnian catalyst mengemisikan NOx lebih rendah

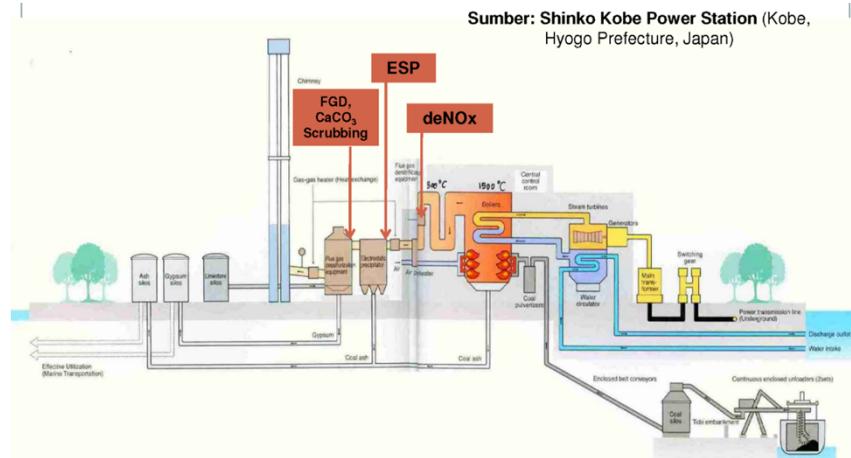
Teknik Pengendalian NOx (DeNOx) Metode Absorpsi

- Absorben
 - NaOH dan KMNO₄
- Reaksi :
 - KMNO₄ mengkonversikan NO dengan cepat menjadi NO₂, sehingga memungkinkan untuk diabsorb oleh NaOH
- Kekurangan:
 - Proses ini memerlukan regenerasi KMNO₄ secara elektrokimia yang sangat mahal
- Aplikasi:
 - Pada industri kecil (misal industri kecil pembuat asam nitrat)
 - sangat tidak cocok untuk mengolah NOx dalam jumlah yang besar

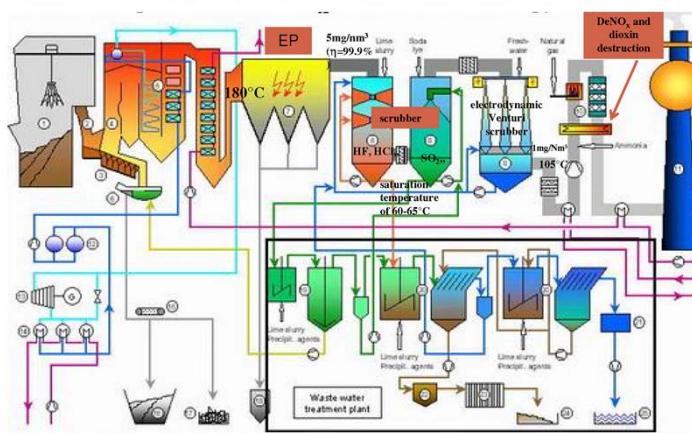
Resume NOx control

Metode	Jenis NO _x yang dikendalikan	Tingkat Penyisihan NO _x (%)
Selective catalytic reduction (SCR)	<ul style="list-style-type: none">▪ Diinjeksikan NH₃,▪ Katalis: logam,▪ Bahan penyangga katalis: keramik (TiO dgn penambahan Vanadium (V), Tungsten (W) dll)▪ Bentuk: granul, honeycomb, pelat▪ Temperatur optimum 300-400°C▪ Reaksi: $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$2\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$▪ Proses sederhana, mudah dioperasikan, tidak dihasilkan limbah, tidak terdapat produk samping	Fuel NOx, Thermal NOx 80-90
Selective non catalytic reduction (SNCR)	NH ₃ , temperatur antara 800-1000°C	Fuel NO _x , Thermal NOx 60-80
Non selective catalytic reduction (NSNCR)	Katalis: Pt + CH ₄ , atau CO atau H ₂	Fuel NO _x , Thermal NO _x 80-90
Catalytic cracking	Katalis: Pt	Fuel NOx, Thermal NO _x

Pengendalian NOx PLTU Batubara



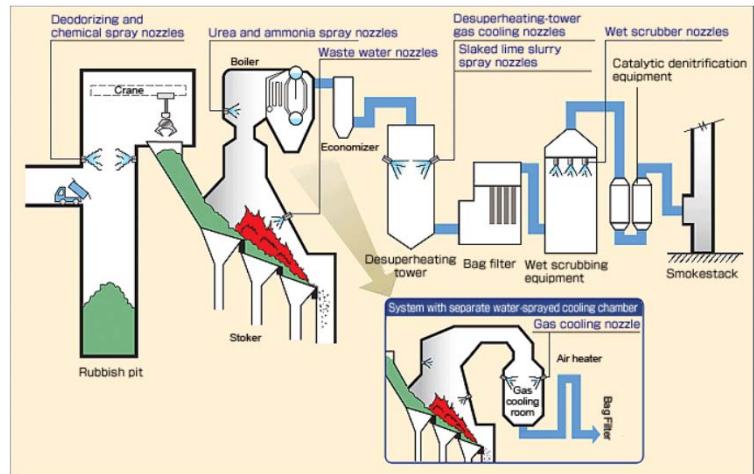
Pengendalian NOx Waste to Energy Plant



Spittelau Plant, Vienna, Austria

Sumber: <http://www.gym-hartberg.ac.at/gym/gwk/Fba/spittelau/spittelau.htm>

Pengendalian NOx Insinerator Rumah Sakit



PENGENDALIAN GAS-GAS LAINNYA

Senyawa Berbau (Odor)

- Odor merupakan suatu senyawa yang bersifat *volatile* atau mudah menguap, sehingga sebagian molekulnya secara terus menerus menguap ke udara dan dengan mudah terdeteksi oleh indera pencium
- Bau/Odor diemisikan dalam bentuk gas anorganik seperti H_2S dan NH_3 , serta dapat diemisikan dalam bentuk organik seperti metil merkaptan
- Senyawa-senyawa sulfur tereduksi seperti merkaptans, organik sulfida, adalah yang paling berbau

Teknik Pengendalian Odor

- Metode kondensasi
- Metode kombusi menggunakan insinerator dan afterburner, metode ini efektif pada suhu tertentu dan waktu tinggal tertentu yang dapat membakar VOC secara sempurna
- Metode absorpsi menggunakan senyawa kimia seperti natrium hipoklorit dan klorin oksida lebih efektif mengabsorb bau daripada $NaOH$ dan H_2SO_4
- Metode adsorpsi menggunakan adsorber karbon aktif

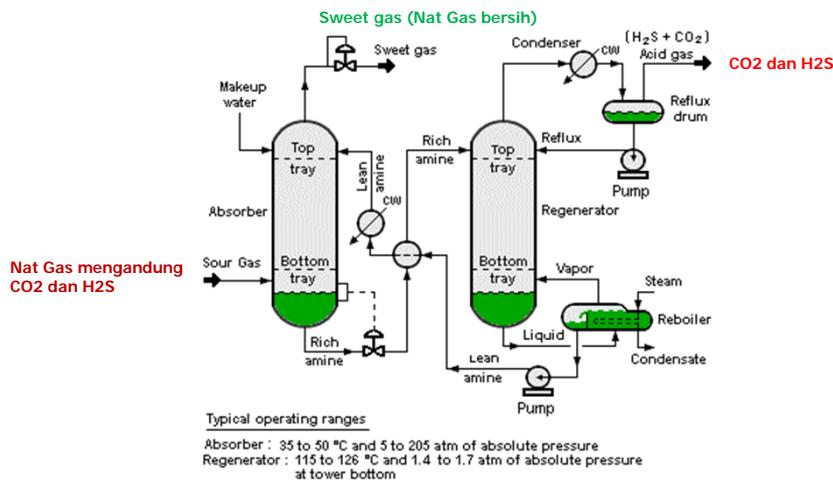
Teknik Pengendalian H₂S Metode Absorpsi, Scrubber

- Scrubber atau absorber
 - T operasi: 30-50°C
 - P operasi: 5-200 atm
 - Regenerator beroperasi pada T lebih tinggi sekitar 118-130°C dengan tekanan sekitar 1,4-1,7 atm
 - Aplikasi : Pemurnian gas alam dari CO₂ (problem CV rendah) dan H₂S (problem korosi)
- Absorben: senyawa amin
 - Diethanolamine (DEA)
 - Monotetanolamine (MEA)
 - Methylidethanolamine (MDEA)
- Reaksi
 - amin bersifat basa, H₂S asam lemah, terjadi reaksi asam basa membentuk garam : $2R_2NH + H_2S \rightleftharpoons (R_2NH_2)_2S + \text{panas}$

Teknik Pengendalian H₂S Metode Absorpsi, Scrubber

- Gangguan:
 - Selain H₂S, biasanya dalam aliran gas terdapat gas yang bersifat asam lainnya yaitu CO₂ yang juga dapat bereaksi dengan amin seperti halnya H₂S
- Regenerasi
 - CO₂ dapat diregenerasi di stripper tower (regenerator) dimana terjadi pemanasan sehingga gas yang bersifat asam (H₂S atau CO₂) dapat terlepas ikatannya
 - Senyawa amin yang telah diregenerasi didinginkan dan kembali digunakan di *scrubber tower*

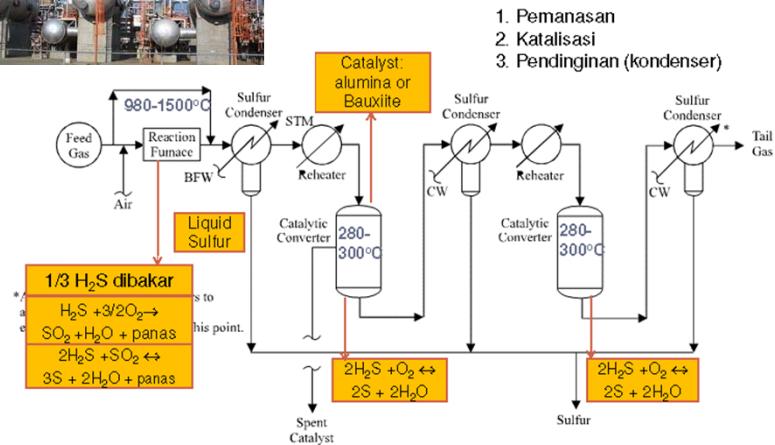
Teknik Pengendalian H₂S Metode Absorpsi, Scrubber



Teknik Pengendalian H₂S Metode Absorpsi, Sulfur Recovery

- Sulfur recovery unit (SRU)
 - Reaksi Claus dengan produk akhir : unsur Sulfur (S) berbentuk padatan.
 - Recovery rate sulfur 95-97%
- Process
 - 1/3 H₂S dibakar pada reaction furnace dengan udara (O₂) untuk membentuk SO₂ pada suhu yang tinggi yaitu 980-1500°C, dengan reaksi sebagai berikut :
 - H₂S + 3/2O₂ -> SO₂ + H₂O + panas
 - Gas SO₂ yang dihasilkan bereaksi dengan sisa H₂S untuk membentuk elemen sulfur (S) yang berlangsung pada condenser sulfur dengan bantuan katalis alumina, reaksi berlangsung pada suhu 200-300°C sebagai berikut:
 - 2H₂S + SO₂ <-> 3S + 2H₂O + panas

Teknik Pengendalian H₂S Metode Absorpsi, Sulfur Recovery



Teknik Pengendalian VOC

- VOC terdiri dari hidrokarbon murni, hidrokarbon teroksidasi (asam organik, aldehid, keton), dan senyawa organik yang mengandung klorin, sulfur, nitrogen, atau atom lainnya
- VOC diemisikan dari proses pembakaran berbagai proses industri
- VOC dapat dikendalikan dengan menggunakan insinerator, disebut juga *thermal oxidizer* atau *afterburner*

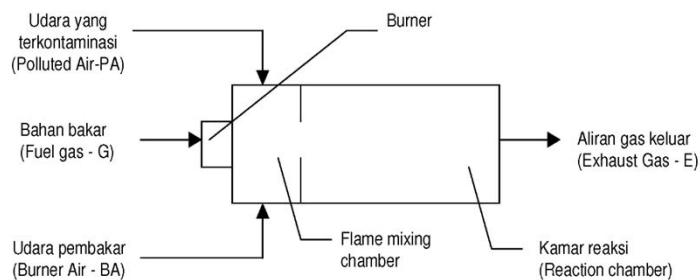
Teknik Pengendalian VOC

Unit Pembakaran: Thermal Oxidizer/Afterburner

- Disain thermal oxidizer atau afterburner
 - menentukan temperatur operasi, waktu tinggal, kecepatan alir gas, dan penentuan ukuran kamar pembakaran
 - Pemilihan peralatan bergantung kepada operasi apakah kontinu atau intermittent, kandungan oksigen, dan konsentrasi VOC
 - Diusahakan untuk mempertahankan aliran udara serendah mungkin
 - Maksimum konsentrasi VOC dalam aliran gas adalah 25% dari nilai LELnya. Di industri biasanya aliran VOC sekitar 5% atau kurang dari LEL
 - Dalam mendisain thermal oxidizer perhitungan kesetimbangan massa dilakukan untuk menghitung laju alir bahan bakar yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur udara pada laju alir gas tertentu

Teknik Pengendalian VOC

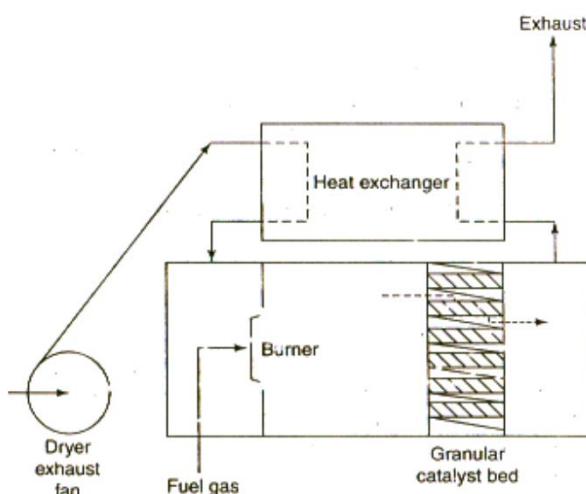
Unit Pembakaran: Thermal Oxidizer / Afterburner



Teknik Pengendalian VOC Unit Pembakaran: Catalytic Oxidizer

- Catalytic oxidizer dapat mereduksi temperatur yang dibutuhkan sampai beberapa ratus derajat dan dapat menghemat ukuran burner dibandingkan dengan thermal oxidizer
- Seperti dalam thermal oxidizer, gas dipanaskan dalam kamar reaksi pada temperatur yang jauh lebih rendah, kemudian dilewatkan ke permukaan katalis
- Katalis biasanya berupa logam mulia seperti platina, juga dapat digunakan logam lain seperti Cr, Mn, Cu, Co, dan Ni. Logam tersebut diiletakkan pada penyangga yang terbuat dari aluminium
- Laju oksidasi gas oleh katalis tergantung pada laju transfer massa (difusi VOC pada permukaan katalis) dan laju reaksi oksidasi oleh katalis. Pada temperatur yang rendah (dibawah 260°C), laju reaksi kimia menentukan laju proses, sedangkan pada temperatur yang lebih tinggi transfer massa menjadi faktor penentu

Teknik Pengendalian VOC Unit Pembakaran: Catalytic Oxidizer



Teknik Pengendalian VOC Unit Pembakaran: Flare

- Flare:
 - Umumnya digunakan sebagai *safely venting system* selama terjadi emergency yang disebut *emergency relief system*
 - Banyak valve yang menuju pada satu sistem pengumpul
 - Didisain dengan pipa-pipa yang besar sehingga dapat menanangi volume yang besar pada tekanan yang rendah
 - Bagian paling atas dari sebuah flare dinamakan flare tip, desain Flare hampir 90% terfokus pada flaret tip
- *Flare tip* diantaranya terdiri dari:
 - *Ignition System*: proses penyalaan awal Flare Tip
 - *Pilot Gas*: pensuplai gas awal
 - *Air Lock Seal*: antisipasi adanya oksigen masuk ke Flare Tip (mencegah kebakaran)
 - *Flame arrestor*: menghindari terjadinya ledakan di dalam *Flare Stack*

