



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

OPTIMASI KINERJA *COUNTERCURRENT PACKED COLUMN TOWER* DALAM MENYISIHKAN POLUTAN UDARA

Okik Hendriyanto Cahyonugroho, Tuhu Agung Rahmanto

Staf pengajar Jurusan Teknik Lingkungan – FTSP – UPN “Veteran” Jatim

E-mail : okikhendriyanto@yahoo.com

SUMMARY

One of the big enough problems in contamination of air is gas emission result of combustion of fossil fuel. This research focussed at equipments of tower column packed countercurrent, a system equipments of cleaner of air with usage of water as absorbent. Usage of tower column packed countercurrent in period of selected time can degrade water pH of absorbant used. using parameter changes of pH and measurement of removal efficiency, hence will know by most optimal appliance efectivity of system performance for the absorbed of yielded gas emission from combustion. Base from research result are got that sprayer with height (H) 15 cm at countercurrent tower column packed reactor have acquirement of efficiency of removal SO₂ larger ones if compared to height 25 cm and 45 cm that is equal to 96,78% at static media and 97,62% at moving media, comparison of performance of system variation of countercurrent tower column packed seen from influence of situation height of sprayer to acquirement of efficiency removal most effective SO₂ is at height of sprayer 15 cm good at static media and moving media while system of single tray with moving media condition have performance of removal SO₂ the highestness and effective equal to 97,62%.

Keywords : Countercurrent packed column tower, SO₂ removal.

RINGKASAN

Salah satu permasalahan yang cukup besar dalam pencemaran udara adalah emisi gas hasil pembakaran bahan bakar fosil. Penelitian ini memfokuskan pada peralatan *countercurrent packed column tower*, suatu sistem peralatan pembersih udara dengan penggunaan air sebagai absorbent. Penggunaan *countercurrent packed column tower* dalam periode waktu tertentu dapat menurunkan pH pada air absorbant yang digunakan. Dengan menggunakan parameter perubahan pH dan pengukuran efisiensi penyisihan (*removal*), maka akan diketahui efektifitas kinerja sistem alat yang paling optimal untuk mengabsorpsi emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa sprayer dengan ketinggian (H) 15 cm pada reaktor *countercurrent packed column tower* memiliki perolehan efisiensi *removal* SO₂ yang lebih besar dibandingkan dengan ketinggian 25 cm dan 45 cm yaitu sebesar 96,78% pada media statis dan 97,62% pada media bergerak, perbandingan kinerja dari variasi sistem *countercurrent packed column tower* dilihat dari pengaruh letak ketinggian sprayer terhadap perolehan efisiensi *removal* SO₂ yang paling efektif adalah pada ketinggian sprayer 15 cm baik pada media statis maupun media bergerak sedangkan sistem single tray dengan kondisi media bergerak memiliki kinerja *removal* SO₂ yang paling tinggi dan efektif sebesar 97,62%.

Kata kunci : Countercurrent packed column tower, removal SO₂

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang cukup besar dalam pencemaran udara adalah emisi gas hasil pembakaran bahan bakar fosil. Industri-industri kita saat ini, masih banyak menggunakan minyak industri sebagai sumber energi produksi. Dalam pembakaran yang baik, minyak industri akan mengemiskan gas yang mengandung oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO_x), karbon monoksida (CO), partikel padat (partikulat), dan oksida-oksida logam. Pendekatan teknologi merupakan salah satu alternatif yang terbaik untuk pengendalian pencemaran udara. Penelitian ini memfokuskan pada peralatan *countercurrent packed column*



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

tower, suatu sistem peralatan pembersih udara dengan penggunaan air sebagai *absorbent* (jenis sistem pengendali *wet scrubber*) yang umum digunakan saat ini.

Solar adalah bahan bakar yang terletak diantara minyak tanah dan minyak pelumasan sehingga membuat *range* yang lebar untuk *specific gravity* dan titik didihnya. Titik didih berkisar antara 200 – 370 °C (Mathur dkk, 1980). Pembakaran dari beberapa bahan bakar yang mengandung sulfur menghasilkan SO₂ dan beberapa mengandung bagian kecil SO₃. Campuran gas ini biasanya dikenal sebagai SO_x. Sebesar 33% pencemaran SO_x global disebabkan oleh kegiatan manusia di kawasan urban dan industri sedangkan sisa 67% disebabkan karena aktivitas vulkanik. Gas SO₂ setelah diemisikan ke atmosfer akan mengalami oksidasi lebih lanjut dan bergabung dengan uap air, salju, kabut sebagai asam sulfat. Sejumlah reaksi kimia berperan dalam proses absorpsi oksidasi sulfur oleh *liquid (droplets)*, adalah disosiasi SO₂. Gas SO₂ diabsorpsi oleh *liquid (droplets)* dengan reaksi yang cukup cepat membentuk ion sulfat (SO₃)²⁻ dan sulfat (SO₄)²⁻ (EPA, 2004). Gas SO₂ yang terabsorpsi dalam air akan bereaksi dengan air menghasilkan H₂SO₃ dan dengan adanya oksigen maka SO₃ akan teroksidasi menjadi SO₄. Keduanya akan mampu menghidrolisis air menghasilkan ion hidronium atau asam. Asam nitrat (HNO₃) dan asam sulfat (H₂SO₄) merupakan asam kuat.

Countercurrent packed column tower secara prinsip dioperasikan berdasarkan sifat absorpsi partikel cair (*liquid*) ketika berinteraksi dengan partikel padat atau gas. Efektifitas *liquid* dalam sistem *countercurrent packed column tower* menjadi salah satu pertimbangan utama dalam mendesainnya untuk mereduksi gas-gas emisi. Penggunaan *countercurrent packed column tower* dalam periode waktu tertentu dapat menurunkan pH pada air absorban yang digunakan. Dengan menggunakan parameter perubahan pH dan pengukuran efisiensi penyisihan (*removal*), maka akan diketahui efektifitas kinerja sistem alat yang paling optimal untuk mengabsorpsi emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran.

Prinsip Kerja *countercurrent packed column tower* ialah gas yang akan diolah masuk dari dasar reaktor dan mengalir keatas melalui *media packing*, sedangkan *liquid* dialirkan dari bagian atas reaktor dengan menggunakan alat penyemprot *spray nozzles*. Sehingga tetesan *liquid (droplets)* mengalir ke bawah melalui *media packing* untuk memungkinkan terjadinya kontak dengan gas. Gas yang telah diikat oleh absorban akan turun ke bawah, sedangkan gas bersih akan keluar lewat bagian atas reaktor (Cheremisinoff, 1993). Menurut Boedisantoso (2003), dalam desain *absorber* untuk emisi gas, perpindahan massa optimum dapat dicapai pada kondisi sebagai berikut: : tersedianya daerah kontak yang luas, terjadinya pencampuran yang baik antara gas dan cairan, tersedianya waktu kontak yang cukup antar fase, tingkat *solubilitas* atau kelarutan yang tinggi dari kontaminan di dalam *absorber*. *Spray nozzles* biasanya dirancang dalam ukuran aliran air yang dibutuhkan 42 – 170.000 m³/jam. Namun demikian harus tetap diperhatikan faktor-faktor berikut untuk kesempurnaan operasionalnya :

- Kecepatan aliran gas yaitu antara 0,3 – 1,0 m/detik.
- Ukuran butiran air yang lebih kecil akan memperbesar laju absorpsi, karena naiknya luas permukaan kontak.



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 November 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

- Rasio *Liquid-Gas* (L/G) yang semakin besar maka akan terjadi kenaikan efisiensi absorpsi secara langsung.

Dalam aplikasi industri biasanya dibuat *tower absorber* dengan ketinggian 50 ft dan diameter 2 ft. namun demikian untuk memperlambat aliran gas dalam fase absorpsi, maka diameter tower dapat diperbesar sehingga proses absorpsi lebih baik (Holmes, 1998).

Bahan atau material packing merupakan jantung dari absorber, packing ini menyediakan ruang permukaan tempat mengalirnya larutan absorban. Dimana, pada packing ini tersedia pula ruang yang cukup luas untuk terjadinya reaksi perpindahan masa (Mycook et al, 1995). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan *packing* antara lain :

- *Packing* harus bisa memberikan luas permukaan basah yang besar per satuan volume dari ruang yang berisi *packing*, agar terbentuk luas *interface* yang besar untuk terjadinya kontak antara fase gas dan cairan. Sehingga ukuran media *packing* sangat berpengaruh.
- *Packing* harus memiliki rongga volume yang besar, agar *pressure drop* yang terjadi tidak berlebihan dan dapat pula menimbulkan aliran yang besar.
- *Packing* harus memiliki sifat pembasahan yang baik (mudah dibasahi) dan harus dipilih secara efektif ditinjau dari segi ketahanan terhadap korosi
- *Packing* harus memiliki *bulk density* yang rendah (menyangkut sistem penahan atau pondasi *packed tower*) dan sedapat mungkin memilih harga yang relatif murah.

Penyusunan *packing* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu penyusunan secara acak (*moving packing*) serta penyusunan secara teratur (*fixed packing*). Pada penyusunan secara acak, *packing* hanya dimasukkan dengan cara dituang secara perlahan dan dibiarkan jatuh ke dalam kolom, sehingga susunan *packing* menjadi acak. Jenis *packing* yang umum digunakan untuk susunan acak antara lain *raschig ring*, *lessing ring*, *pall ring*, *pingpong ball* (polyethilen, polypropylene dan sebagainya) (Cheremisinoff, 1993). Sedangkan penyusunan secara teratur dilakukan dengan cara memasukkan dan mengeluarkan *packing* satu demi satu secara perlahan agar didapatkan susunan *packing* yang teratur. Penyusunan dengan cara ini akan menghasilkan distribusi *liquid* yang lebih baik melalui seluruh permukaan *packing*, serta *pressure drop* yang rendah. Namun pemasangan *fixed packing* akan membutuhkan biaya yang lebih mahal daripada *moving packing*.

Efek difusi akan sangat penting untuk partikel yang sangat kecil (< 0,5 mm). dalam mekanisme ini gerak acak partikel menghasilkan kontak dengan *droplet* air. Efisiensi *wet scrubber* akan meningkat untuk partikel yang lebih kecil karena efek difusi ini menjadi utama (Lestari, 2004).

Proses *removal* gas SO₂ dengan mekanisme absorpsi meliputi tiga tahapan sebagai berikut (Lee, 1999) :

- Tahap pertama, polutan gas berdifusi dari area terbesar dari fase gas ke permukaan penghubung gas-liquid.



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

- Tahap kedua, gas bergerak menembus permukaan penghubung menuju fase cairan. Tahapan ini terjadi secara cepat seketika setelah molekul gas hadir di area permukaan penghubung.
- Tahap ketiga, gas berdifusi ke dalam area terbesar dari cairan, hal ini menciptakan ruang bagi molekul gas selanjutnya yang diabsorpsi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh hubungan letak ketinggian *spray nozzles* dari permukaan *media packing* dengan keoptimalan kinerja absorpsi absorban terhadap gas kontaminan serta untuk memperoleh hubungan variasi susunan *media packing* dengan keoptimalan kinerja absorpsi air terhadap gas kontaminan.

BAHAN DAN METODA

Penelitian ini menggunakan bahan meliputi : minyak solar 100%, larutan absorban, larutan standar *impinger*, air destilasi dan air PAM. Reagen yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari :

- Air destilasi. Maksimum total solid < 0,1 mg/lit dan maksimum konduktiviti air 1,5 umhos/cm pada 25°C.
- Asam sulfat 0,1 N yang digunakan untuk kalibrasi
- Larutan penyerap (*absorbing reagent*) 0,0006% H₂O₂ dan 10⁻⁵ H₂SO₄.

Peralatan penelitian yang digunakan yaitu :

- Tangki Gas, digunakan untuk menghasilkan sampel gas buatan yang akan diumpankan ke dalam reaktor. Dilengkapi dengan keran pengontrol pembakaran dan jarum penunjuk tekanan tangki bahan bakar.
- *Hood*, merupakan pemerangkap sampel gas dari tungku pembakar ke pipa penyalur gas menuju reaktor.
- Pipa penyalur gas dan *blower*, sampel gas yang dihasilkan dari tungku pembakar minyak solar ditangkap dan dialirkan ke dalam reaktor melalui pipa penyalur (*stainless steel*) menuju inlet gas yang terletak di kompartemen terbawah dengan bantuan hisapan dan dorongan *blower*.
- Bak Pendingin, panas sampel gas ditransfer ke air pada bak pendingin dengan cara melewati pipa penyalur gas tersebut melalui bak pendingin.
- *Blower*, digunakan untuk membantu pembentukan aliran sampel gas yang relatif konstan pada sistem reaktor dan menghasilkan pergerakan bola pingpong pada *media packing*.

Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan sifat kelarutan SO₂ yang relatif amat tinggi terhadap air. Gas pembakaran buatan yang mengemisikan SO₂ dialirkan ke dalam *liquid absorber* yang diresirkulasikan dalam butiran-butiran halus (*droplet*) di dalam tabung *countercurrent packed column tower*. Dengan arah *stream gas* yang berlawanan terhadap jatuhnya *droplet liquid absorber* diharapkan terjadi proses absorpsi yang optimal. Perlakuan variabel yang diujicobakan berupa variasi letak ketinggian *spray nozzles* dan variasi susunan *media packing* dalam kondisi statis atau bergerak. Dari perlakuan variasi sistem ini diteliti dan dievaluasi pengaruhnya terhadap pH yang terukur di *liquid absorber* dan keefektifan kinerja sistem dalam menyisihkan gas SO₂.

Pengukuran kapasitas *removal* gas SO₂ dalam variasi sistem *countercurrent packed column tower* dilakukan dengan prosedur analisa SO₂ menggunakan metode konduktivimeter. Prinsip metode ini adalah SO₂ ditangkap dengan mengalirkan sejumlah volume secara kuantitatif udara melewati larutan asam hidrogen



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

peroksida encer. Sulfur dioksida akan dioksidasi menjadi asam sulfat oleh H_2O_2 , menghasilkan dua mol ion hidrogen dan satu mol ion sulfat untuk setiap mol SO_2 . Perubahan nilai konduktivitas larutan terjadi karena meningkatnya kandungan ion yang dihasilkan.

Wet scrubber yang digunakan dalam kontrol SO_x biasanya beroperasi dengan *liquid* absorban pada rentang level pH 5 – 9 untuk memperoleh tingkat efisiensi *removal* yang tinggi. Tipikal efisiensi *removal* untuk gas SO_2 dalam sistem *wet scrubber* berkisar pada rentang 80 – 95% (US EPA, 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perhitungan pH Teoritis

Perhitungan pH teoritis diperoleh dari pengolahan data konduktansi absorban pada *sampling* gas SO_2 *inlet* dan *outlet*. Perhitungan pH teoritis yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh nilai pH akhir secara teoritis sebagaimana yang seharusnya terukur di dalam *liquid absorber* dimana untuk nilai pH awal adalah sama sesuai nilai pH terukur pada *liquid absorber*.

Tabel 1. Hasil perhitungan pH akhir Teoritis

Media Packing	$H_{Sprayer}$ (Cm)	ΔC ($\mu g/m^3$)	[SO_2] ($\mu g/Lt$)	Rerata pH_{teo}	pH rerata hasil pengukuran		pH akhir Teoritis
					pH ₀	pH ₃₀	
Statis t = 10 cm	15	139,03	456,68	4,84	7,20	6,94	5,04
	25	104,86	344,44	4,96	7,08	6,78	5,04
	45	69,42	228,03	5,14	7,14	6,97	5,28
Bergerak t = 20 cm	15	203,43	668,22	4,68	7,14	7,03	4,82
	25	201,14	660,69	4,68	7,16	6,69	4,84
	45	191,39	628,69	4,70	7,33	6,77	5,03

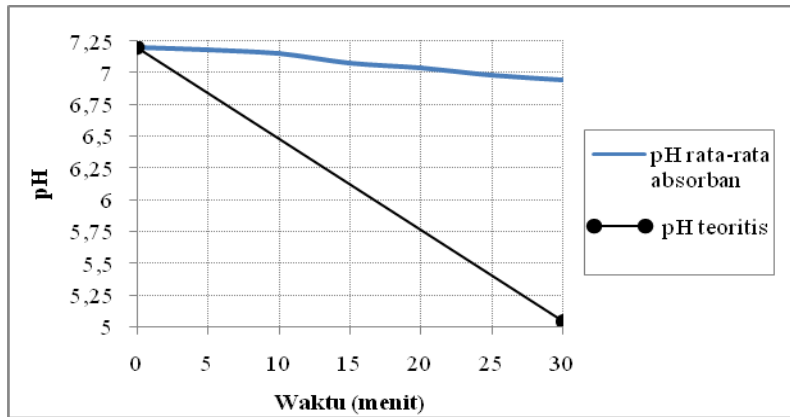
Sumber : Hasil perhitungan 2009

2. Analisa pH *Liquid Absorber* terukur dan pH Teoritis

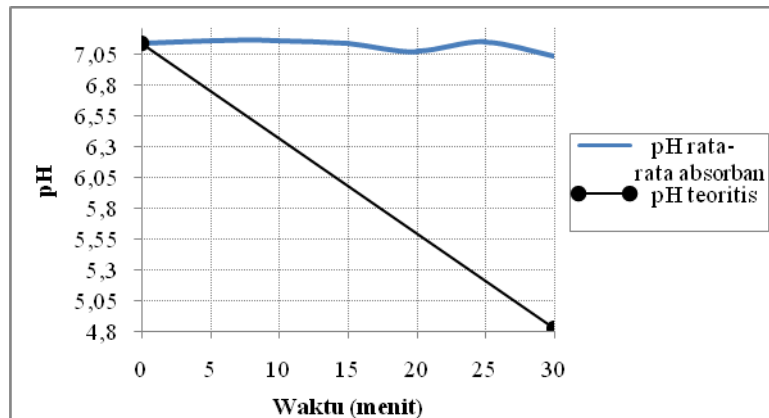
Berikut ini analisa data pH yang dilakukan pada sistem *countercurrent packed column tower* yang telah diujicobakan. Terdapat 6 variasi sistem yang ditampilkan sebagai berikut :



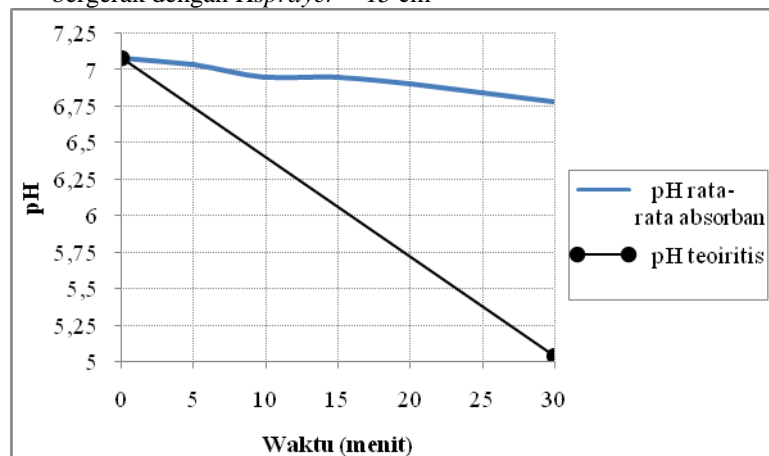
SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 November 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN "Veteran" Jawa Timur



Gambar 1. Grafik perbandingan pH absorbent dan pH teoritis pada media *packing* statis dengan Hsprayer = 15 cm



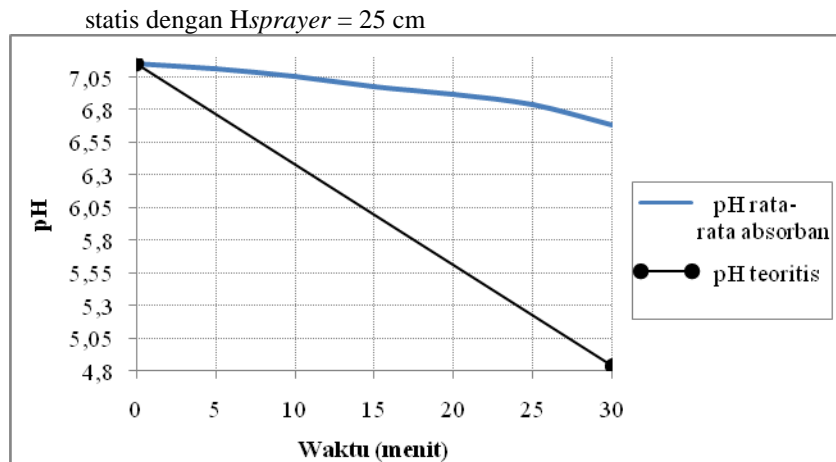
Gambar 2. Grafik perbandingan pH absorbent dan pH teoritis pada media *packing* bergerak dengan Hsprayer = 15 cm



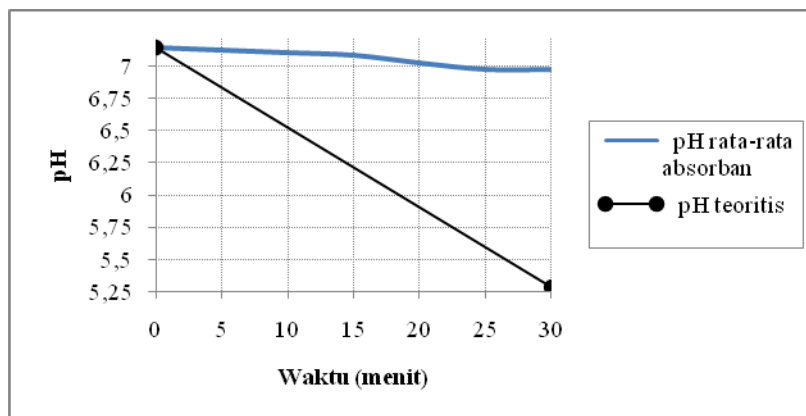
Gambar 3. Grafik perbandingan pH absorbent dan pH teoritis pada media *packing*



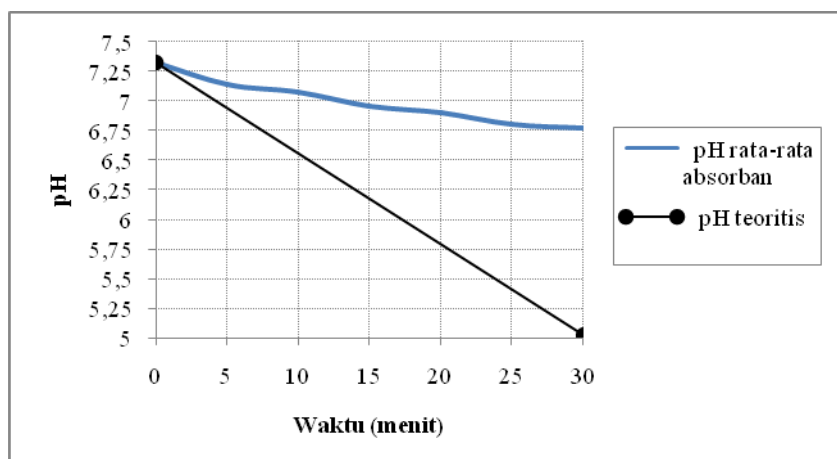
SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 November 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN "Veteran" Jawa Timur



Gambar 4. Grafik perbandingan pH absorbans dan pH teoritis pada media *packing* bergerak dengan $H_{sprinter} = 25$ cm



Gambar 5. Grafik perbandingan pH absorbans dan pH teoritis pada media *packing* statis dengan $H_{sprinter} = 45$ cm





**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

Gambar 6. Grafik perbandingan pH absorban dan pH teoritis pada media *packing* bergerak dengan $H_{sprinter} = 45$ cm

Dari perbandingan data pH teoritis dan pH pengukuran *liquid absorber* pada Gambar 1 s/d Gambar 6, selama periode percobaan 30 menit dapat dilihat keseluruhan tampilan data bahwa pH terukur cenderung bertahan walaupun masih dapat dikatakan sesuai secara teoritis dimana tetap terjadi penurunan pH seiring meningkatnya waktu. Dari penelitian lebih lanjut yang dilakukan terhadap *liquid absorber*, diketahui bahwa terdapat kandungan asiditas dan kesadahan yang berpengaruh menciptakan kondisi *buffer* (sifat larutan untuk mempertahankan kondisi pH-nya). Hal ini dapat dijelaskan bahwa untuk keseluruhan variasi sistem yang lain kondisi pH juga cenderung bertahan pada level yang tidak mencapai penurunan nilai pH sesuai nilai pH teoritis akhir yang telah dihitung. Keberadaan asiditas dan kesadahan di dalam *liquid absorber* disebabkan oleh sumber air yang digunakan adalah berasal dari air PAM. Sebagaimana diketahui proses pemurnian air PAM masyarakat kita masih menyisakan kandungan mineral alkalinitas dan asiditas, dikarenakan prosesnya yang membutuhkan biaya yang relatif sangat mahal, berupa penambahan H_2CO_3 dalam kuantitas besar untuk mengikat mineral-mineral alkali seperti halnya K, Ca dan Mg. Dari percobaan laboratorium yang telah dilakukan terhadap air PAM yang digunakan sebagai *liquid absorber* diperoleh bahwa terdapat kandungan kesadahan garam $CaCO_3$ dan keberadaan asiditas ion bikarbonat (HCO_3^-) yang membentuk kesetimbangan sehingga menciptakan kondisi *buffer*. Keberadaan SO_2 terserap yang terlarut sebagai H_2O_4 akan bereaksi dengan garam $CaCO_3$ membentuk dalam kesetimbangan persenyawaan bikarbonat yang mempunyai sifat asam lemah. Kenyataan ini mengakibatkan level penurunan nilai pH yang cenderung bertahan tidak sesuai dengan hasil perhitungan pH teoritis.

3. Analisa Pengaruh Variasi Sistem Terhadap Parameter pH

Hampir keseluruhan variasi sistem dalam penelitian ini tidak dapat mencapai pH teoritis akhir yang harusnya dicapai. Pengaruh dari adanya kandungan asiditas dan kesadahan air PAM yang digunakan sebagai *liquid absorber* memberi kontribusi besar dalam menjelaskan kondisi ini. Namun dalam kenyataan di lapangan dengan adanya pengaruh asiditas dan kesadahan serta kehadiran ion hidroksida, SO_2 terlarut dalam *liquid absorber* akan mengalami tiga kemungkinan tahapan reaksi dalam menurunkan nilai pH. Tiga tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

- a. Ion H^+ bereaksi dengan kehadiran OH^- sebagai basa kuat.

H_2O_2 yang ditambahkan ke dalam *liquid absorber* pada awal percobaan dengan maksud difungsikan sebagai oksidator yang membantu pembentukan persenyawaan H_2SO_4 dari SO_2 terlarut, dapat secara spontan di dalam H_2O menghasilkan ion OH^- yang bersifat basa kuat dan umumnya tidak terprediksi (Sastrawijaya, 2000). Pada ujicoba variasi sistem, hal ini ditunjukkan dengan kenaikan nilai pH terukur *liquid absorber* pada menit-menit awal percobaan hingga melebihi pH terukur awalnya.

- b. Ion H^+ bereaksi pada kondisi *buffer* dalam *liquid absorber*.



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

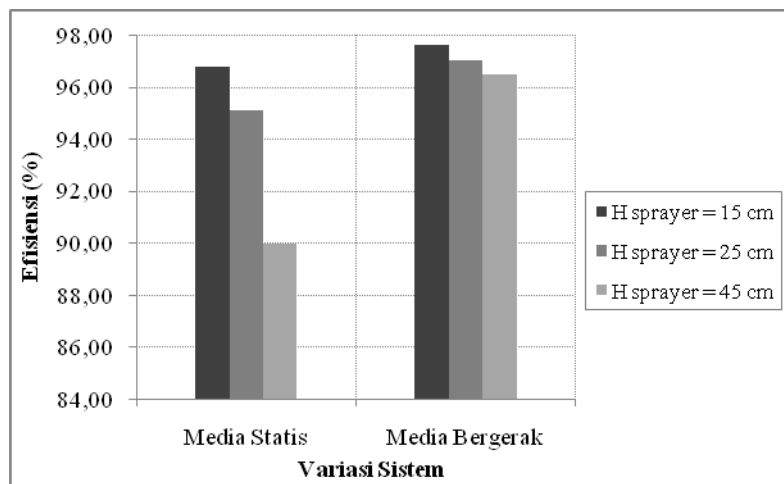
Berdasarkan hasil uji coba laboratorium terhadap *liquid absorber*, ditemukan adanya kandungan kesadahan dalam hal ini ditunjukkan dalam kandungan CaCO_3 . Uji alkalinitas dan asiditas yang dilakukan menunjukkan bahwa penambahan indikator penolphtalien tidak menunjukkan perubahan warna merah pada *liquid absorber*. Dari hal ini sedikit banyak dapat disimpulkan bahwa faktor asiditas lebih berpengaruh dalam menciptakan kondisi *buffer*, hal ini sesuai dengan literatur dimana bikarbonat lebih berperan pada rentang skala pH larutan 4,5 – 8,3. Pada uji coba sampel air yang digunakan sebagai *liquid absorber* ini diperoleh data kuantitatif HCO_3 dan CaCO_3 .

- c. Ion H^+ dari SO_2 terserap dominan menimbulkan penurunan pH *liquid absorber*.

Dari hasil analisa data penurunan pH yang tidak dapat mencapai pH teoritis pada keseluruhan perlakuan pada penelitian ini dapat menunjukkan bahwa faktor penurunan pH dari hasil pengukuran *liquid absorber* tidak dapat langsung digunakan untuk menyimpulkan tentang kemampuan *absorber* dalam *me-removal* SO_2 . Di lain pihak, hal tersebut dapat dilihat dari adanya kecenderungan hasil pengukuran pH *liquid absorber* pada keseluruhan perlakuan variabel yang cenderung mempertahankan kondisi pHnya. Untuk itu dilakukan pengukuran konsentrasi gas SO_2 input dan output pada masing-masing perlakuan untuk mengetahui efisiensi *removal* SO_2 yang diperoleh.

4. Efisiensi *Removal* Gas SO_2 pada Perlakuan Beda Letak Ketinggian *Spray Nozzles*.

Pada pengamatan perlakuan variasi ketinggian *spray nozzles* untuk menghasilkan *droplet* absorban pada kondisi butiran yang seragam terhadap permukaan *packing* secara teoritis akan menentukan waktu tinggal dan kontak sehingga terjadi absorpsi yang efektif.



Gambar 7. Grafik perbandingan variasi tinggi *sprayer* dan efisiensi *removal* SO_2

Dari Gambar 7, dapat kita simpulkan efisiensi *removal* SO_2 cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya kecenderungan *droplet liquid absorber* teragglomerasi atau bergabung satu sama lain. Tingkat agglomerasi semakin besar dengan ditambahkannya jumlah tingkat *spray* yang ditunjukkan dengan

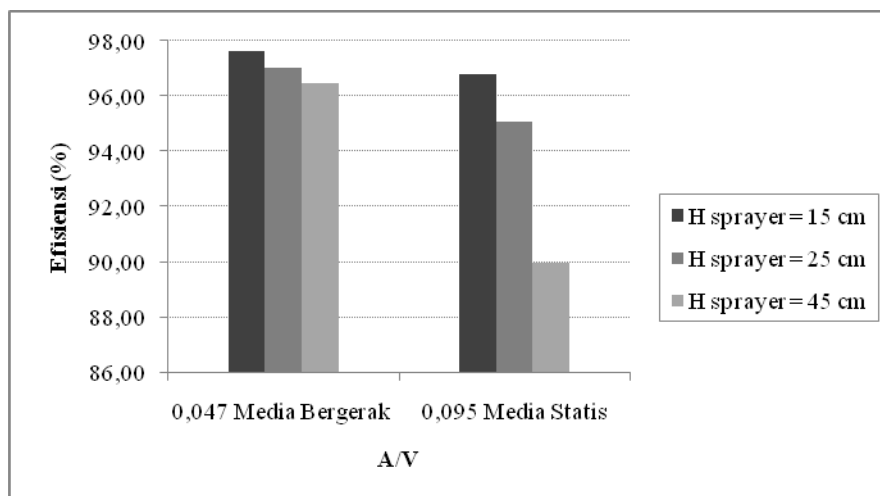


**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

perolehan efisiensi *removal* SO_2 yang lebih rendah. Hal ini mempengaruhi kapasitas transfer massa SO_2 ke dalam *droplet* air. Keefektifan proses absorpsi gas SO_2 akan semakin menurun dengan keberadaan ukuran *droplet* yang semakin besar. Mekanisme difusi yang seharusnya lebih efektif bagi transfer massa gas semakin kecil untuk terjadi, dikarenakan butir *droplet* teragglomerasi membentuk ukuran yang lebih besar. Keberadaan ini ditunjukkan dengan didapatinya kabut *droplet* yang semakin turun ke bawah semakin jarang. Faktor sebaran *droplet* dimana luasan sebaran konstan dan ketinggian *sprayer* yang semakin dinaikkan juga berpengaruh terhadap efisiensi *removal* SO_2 . Hal ini dikarenakan potensial terbenturnya *droplet* air ke dinding reaktor semakin besar dan yang berakibat sejumlah besar debit *liquid absorber* mengalir di dinding, dimana kondisi ini dapat menurunkan kinerja absorpsi dari prinsip utama *countercurrent packed column tower*. Pada hasil percobaan yang dilakukan, *sprayer* dengan ketinggian 15 cm pada reaktor *countercurrent packed column tower* memiliki perolehan efisiensi *removal* SO_2 yang lebih besar dibandingkan dengan ketinggian yang lain.

5. Efisiensi *Removal* Gas SO_2 pada Perlakuan Variasi Susunan *Media Packing*.

Pada pengamatan perlakuan variasi susunan *media packing* secara teoritis berpengaruh pada luasan dan distribusi transfer massa yang dalam hal ini dijelaskan dengan perbandingan A/V.



Gambar 8. Grafik perbandingan A/V dan efisiensi *removal* SO_2

Dari Gambar 8, dapat kita simpulkan efisiensi *removal* SO_2 cenderung menurun dengan semakin meningkatnya total rasio A/V. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya pengaruh pemvariasian media terhadap kondisi distribusi dan pencampuran dari proses absorpsi yang berlangsung. Kondisi media yang bergerak memiliki rasio A/V yang lebih kecil daripada media yang terkondisikan dalam keadaan statis, dimana nilai perolehan efisiensi *removal* SO_2 -nya lebih besar. Hal ini dapat dijelaskan, dimana pada kondisi bergerak terbentuk distribusi proses absorpsi yang lebih dapat menghasilkan mekanisme transfer massa yang lebih efektif. Jika dibandingkan dengan media yang berada dalam kondisi statis, media bergerak lebih dapat mengurangi proses agglomerasi dan *channelling* yang dapat terbentuk pada permukaan media terbasahi. Berdasarkan analisa yang tertera pada Gambar 8 dapat diketahui bahwa sistem *single tray* dengan kondisi media



**SEMINAR NASIONAL
IMPLEMENTASI TEKNOLOGI INFORMASI DALAM PENGEMBANGAN
INDUSTRI PANGAN, KIMIA DAN MANUFAKTUR
Surabaya, 25 Nopember 2009
Diselenggarakan Oleh Fak Teknik Industri & LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur**

bergerak memiliki kinerja *removal* SO₂ yang paling tinggi dan efektif. Hal ini dikarenakan sistem tersebut memiliki kombinasi ketinggian *sprayer* yang lebih efektif mencegah timbulnya proses agglomerasi – *chanelling* dari *droplet liquid absorber* dan kondisi pencampuran serta luasan/distribusi transfer massa menunjang tercapainya proses absorpsi yang lebih efektif.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan efisiensi *removal* gas so₂ pada perlakuan beda letak ketinggian *spray nozzles* serta pada perlakuan variasi susunan *media packing* didapat suatu kesimpulan bahwa :

1. *sprayer* dengan ketinggian (H) 15 cm pada reaktor *countercurrent packed column tower* memiliki perolehan efisiensi *removal* SO₂ yang lebih besar dibandingkan dengan ketinggian yang lain yaitu 96,78% pada media statis dan 97,62% pada media bergerak.
2. Perbandingan kinerja dari variasi sistem *countercurrent packed column tower* dilihat dari pengaruh letak ketinggian *sprayer* terhadap perolehan efisiensi *removal* SO₂ yang paling efektif adalah pada ketinggian *sprayer* 15 cm baik pada media statis maupun media bergerak.
3. Sistem *single tray* dengan kondisi media bergerak memiliki kinerja *removal* SO₂ yang paling tinggi dan efektif sebesar 97,62% dibandingkan dengan kondisi media statis sebesar 96,78%.

DAFTAR PUSTAKA

- Boedisantoso, R., (2003), **Teknologi Pengendalian Pencemar Udara**, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.
- Cheremisinoff, N. Paul., (1993), **Air Pollution Control and Design for Industry**, Marcell Dekker, 270 Madison Avenue-New York.
- Holmes, MJ., Farthing, GA., Madden, DA., (1998), **Advanced Emission Control Development Program**, US DOE/FETC, Babcock & Wilcox Company, Mc Dermott Technology, Ohio.
- Lee, CC., Lin, DS., (1999), **Handbook of Environmental Engineering Calculation**, McGraw-Hill Companies, USA.
- Lestari, P., (2004), **Air Pollution Control Technology for Gaseous and Particulate Emission, modified and developed from APTI 413 and 415**, Department of Environmental Engineering-ITB, Indonesia.
- Mathur, M.L., Smith, J.C., Harriot, P., (1980), **A Course in Internal Combustion Engines**, Dhanpat Rai & Son, India.
- Mycook, J.C., McKenna, J.D., Harriot, P., (1993), **Air Pollution Control Engineering 5th Edition**, McGraw-Hill Book Co, New York.
- Sastrawijaya, A.T., (2000), **Pencemaran Lingkungan**, PT. Rineka Cipta, Jakarta.