

PENGARUH DEBIT LIQUID TERHADAP EFISIENSI ABSORBSI DALAM PENYISIHAN SO₂ PADA SPRAY TOWER ABSORBER

THE INFLUENCE OF LIQUID DEBIT IN ABSORPTION EFFICIENCY OF SPRAY TOWER ABSORBER APPLIED TO SO₂ REMOVAL

Abdu Fadli Assomadi¹⁾, Agus Slamet¹⁾ dan Rachmat Boedisantoso¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS

email: assomadi@its.ac.id, suga@its.ac.id, boedisantoso@its.ac.id

Abstrak

Salah satu teknik untuk menyisihkan pencemar SO₂ adalah sistem absorpsi gas dengan cairan, misalnya *Spray Tower Absorber*. Penelitian ini dilakukan dengan menguji nilai perubahan pH absorber dan efisiensi removal SO₂ selama 90 menit menggunakan minyak solar 100% dengan tekanan awal tangki bahan bakar = 60, 80, 100 psi; dan debit, volume air, nozzle = 3,5 dan 7 L/menit. Absorber yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan 0,0006% H₂O₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan dan debit absorber berpengaruh nyata terhadap efisiensi absorpsi. Tekanan awal tangki bahan bakar makin besar mengakibatkan penurunan efisiensi absorpsi yang makin cepat. Nilai pH absorber setelah digunakan untuk absorpsi selama 90 menit adalah berkisar 6,79 akibat adanya sistem buffer air baku dari akibat asiditas dan kesadahan. Untuk efisiensi lebih dari 70 %, maka pH absorber terendah adalah dalam kisaran 5,59 – 6,25 dan jumlah resirkulasi untuk debit 3 L/menit maksimal 17 kali, debit 5 l/menit 34 kali dan untuk debit 7 L/menit maksimal 56 kali resirkulasi.

Kata kunci : absorber, pH dan efisiensi, SO₂, *spray tower absorber*

Abstract

One technique to eradicate SO₂ contaminant is gas absorption system with liquid, for instance *Spray Tower Absorber*. The research was performed to examine changes value pH adsorber and SO₂ efficiency removal within 90 minutes using solar oil 100% with initial pressure of fuel tank = 60, 80 and 100 psi; and flow, water volume, nozzle = 3,5 and 7 L/minutes. Absorber used in this experiment was 0,0006% H₂O₂ solution. The result shows that pressure and flow absorber affect the absorption efficiency for real. Initiate pressure of fuel tank that was greater within time had caused the decrease of absorption efficiency faster. The value of pH absorber after being used for absorption within 90 minutes was approximately 6,79 because of the raw water buffer originated by acidity and hardness. For efficiency more than 70%, lowest pH absorber was on range 5,59-6,25 and total recirculation for flow 3 L/minutes was maximum 17 times, flow 5 l/minutes was 34 times and for 7 l/minutes was maximum 56 times of recirculation.

Keywords : absorber, pH and efficiency, SO₂, *spray tower absorber*

1. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk menangani masalah emisi udara diperlukan peralatan kontrol emisi atau peralatan pembersih udara. Berbagai jenis peralatan telah dikembangkan dengan segala jenis kelebihan dan kekurangannya dalam spesifikasi penggunaannya, *settling chamber*, *cyclone*, *fabric filtration*, *electrostatic precipitator (ESP)*, *wet collector (spray tower absorber)*, adsorpsi dan kondensasi (Lee dan Lin, 1999).

Penelitian ini difokuskan pada peralatan *spray tower absorber*, suatu sistem peralatan kontrol emisi

dan pembersih udara sebelum dilepaskan ke atmosfer. *Spray tower absorber* secara prinsip dioperasikan berdasarkan sifat absorpsi partikel cair (liquid) ketika berinteraksi dengan partikel padat atau gas. Secara teknis akan dilakukan evaluasi operasional *spray tower absorber* sehingga didapatkan alternatif penyelesaian untuk mengurangi masalah dan meningkatkan efisiensi dalam mengontrol udara emisi terutama hasil dari pembakaran minyak industri (campuran minyak tanah dan solar).

Tujuan utama penelitian adalah mengkaji pengaruh penyerapan polutan SO₂ pada gas buang terhadap perubahan pH air penyerap pada sistem *spray to-*

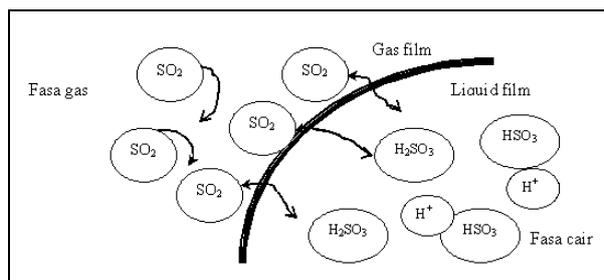
wer absorber dan untuk mengkaji kisaran pH optimal air penyerap pada sistem resirkulasi *spray tower absorber*. Dalam mencapai maksud tersebut, maka dibuat variabel yang diperkirakan berpengaruh dalam perubahan pH dan efisiensi.

Kerusakan material gedung yang terlihat dihubungkan dengan polusi udara. Fenomena degradasi kualitas bangunan sangat kompleks disebabkan oleh berbagai faktor. Salah satu hal yang sangat penting penyebab korosi dan erosi disebabkan oleh SO_2 dan ini sangat dimungkinkan karena sifat asamnya ketika berinteraksi dengan air hujan (Gohara dkk, 1997).

Ditinjau dari energi kontak, maka spray tower absorber termasuk dalam jenis *liquid-phase contacting scrubber* yang menggunakan energi dari aliran *liquid*. Dalam sistem ini, *nozzle* atau *sprayer* menghasilkan droplet dalam tabung dan kontak dengan aliran polutan gas, sehingga terjadi absorpsi. *Spray tower* yang dikenal juga sebagai *gravity spray tower*, *spray chamber* atau *spray scrubber* merupakan alat sederhana yang digunakan untuk absorpsi gas. Bagian utama alat ini adalah tower kosong dengan seri *nozzle* untuk penyemprotan cairan. Aliran *liquid/cairan* dengan aliran gas berlawanan arah (*countercurrent flow*), dengan *pressure drop* antara 1,25 – 4 cm H_2O . Sehingga *spray tower* ini termasuk peralatan yang mempunyai *pressure drop* rendah (Lee dan Lin, 1999).

Bahan bakar diesel adalah bahan bakar yang ditujukan penggunaannya untuk motor bakar berpenyalan tekanan (*compression ignition engine*). Bahan bakar diesel otomotif (*automotive diesel oil*, ADO) atau disebut juga HSD (*high speed diesel*) atau minyak solar. 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 dan Sharma, 1980). Titik didih yang tinggi dari solar membuat pembakaran solar membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan minyak tanah.

Laju absorpsi (transfer massa polutan dari fasa gas ke fasa *liquid*, tergantung pada laju difusi polutan dalam fasa gas (tahap pertama) dan dalam fasa cair (tahap ketiga). Konsep absorpsi gas kedalam larutan dapat dilihat pada Gambar 1 (Lestari, 2004).



Gambar 1. Sketsa Konsep Absorpsi Gas ke dalam *Droplet* Air
(Sumber: Elsam dan Elkraft, 1999)

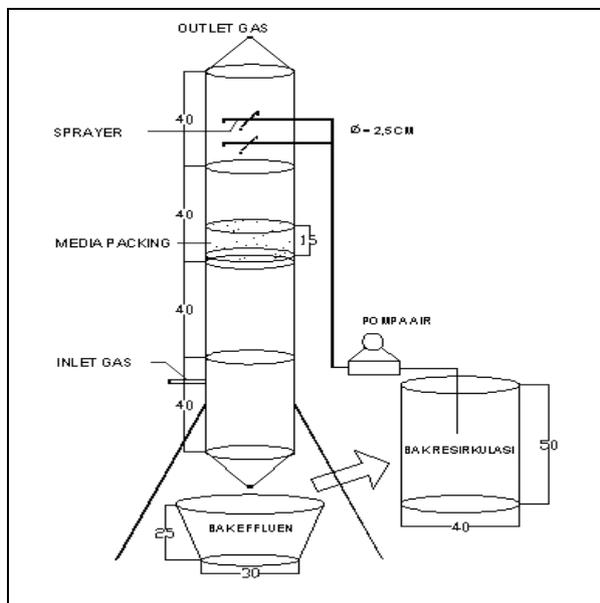
Untuk memperbesar permukaan kontak antara *liquid/cairan* dengan gas, disusun *nozzle/sprayer* atau pengabut untuk mendapatkan *droplet* atau butiran air yang baik dan seragam. Secara teori, tinggi antara *nozzle* dengan dasar *tower* akan menentukan waktu tinggal dan kontak sehingga terjadi absorpsi yang efektif. Namun dalam kenyataannya setelah jatuh dalam jarak tertentu, butir-butir air cenderung untuk teragglomerasi atau bergabung satu dengan yang lainnya, atau mengalir melalui dinding *tower*. Kedua hal ini yang akan menurunkan total permukaan kontak dengan aliran gas dan waktu reaksi.

Spray tower biasanya dirancang dalam ukuran aliran air yang dibutirkan 42 sampai 170.000 m^3/jam . Namun demikian harus tetap diperhatikan faktor-faktor berikut untuk kesempurnaan operasionalnya kecepatan aliran gas, stream gas harus cukup rendah dalam *tower*, yaitu antara 0,3–1,0 m/detik. Kecepatan aliran gas ini bisa diatur dengan merubah diameter *tower*. Ukuran butiran air. Secara umum ukuran butiran yang lebih kecil akan memperbesar laju absorpsi, karena naiknya luas permukaan kontak. Namun demikian harus tetap diperhatikan bahwa ukuran tidak boleh terlalu kecil karena akan terjadi penguapan yang cukup besar atau air akan hilang terbawa aliran. Rasio *Liquid-Gas* (L/G), makin besar nilai L/G maka akan terjadi kenaikan efisiensi absorpsi secara langsung.

Gas SO_x atau SO_2 yang terabsorpsi dalam air akan bereaksi dengan air menghasilkan HSO_3^- dan dengan adanya oksigen maka SO_2 akan teroksidasi menjadi SO_4 . Keduanya akan mampu menghidrolisis air menghasilkan ion hidronium atau asam. Makin banyak SO_x yang terabsorpsi maka akan makin asam media pengabsorbnya (*liquid*), dan hal ini akan menurunkan laju absorpsinya. Sehingga makin asam media maka efisiensi absorpsi gas terutama untuk SO_x akan makin menurun.

2. METODOLOGI

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa satu set modul reaktor pembakaran bahan bakar (tangki bahan bakar dan tungku) dan *spray tower absorber* yang didesain khusus untuk penelitian ini, kompresor, barometer, pH-meter, neraca analitis, peralatan gelas analisis (*glassware*), satu set alat sampling dan analisis udara emisi serta termometer. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak solar sebagai pendekatan sifat minyak bakar industri. Bahan lain yang digunakan adalah absorber untuk *spray tower absorber*, dibuat dengan penambahan H₂O₂ pada air PDAM dengan konsentrasi 0,006%. Reaktor yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Reaktor Secara Umum

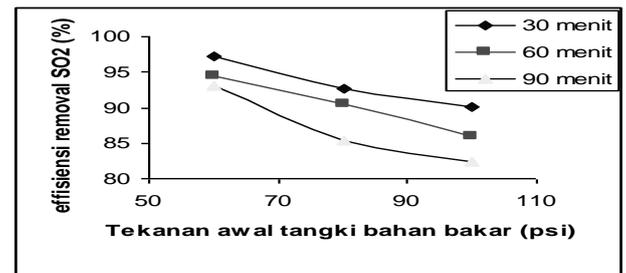
Untuk mengetahui perubahan keasaman pH air karena proses absorpsi dan reaksi dengan zat-zat dalam gas emisi pembakaran (SO_x dan NO_x), maka akan diteliti pengaruh beberapa variabel penelitian dibawah ini terhadap parameter uji yang ditetapkan. Dalam penelitian ini variabel-variabel yang dimaksud adalah pengaruh jenis bahan bakar minyak solar 100%, pengaruh tekanan awal tangki bahan bakar = 60, 80, 100 psi, pengaruh debit absorber = 3, 5, 7 L/menit

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan tangki bahan bakar, dibuat berbeda dengan maksud untuk menghasilkan flow bahan bakar yang berbeda. Makin besar tekanan tangki bahan

bakar, akan didapatkan data jumlah bahan bakar yang habis dalam waktu 30 menit juga makin besar dan juga flow gas emisi yang dihasilkan juga berbeda.

Hasil analisis untuk menentukan hubungan antara tekanan tangki bahan bakar dengan efisiensi penyisihan SO₂ pada *spray tower absorber*, disajikan dalam Gambar 3.

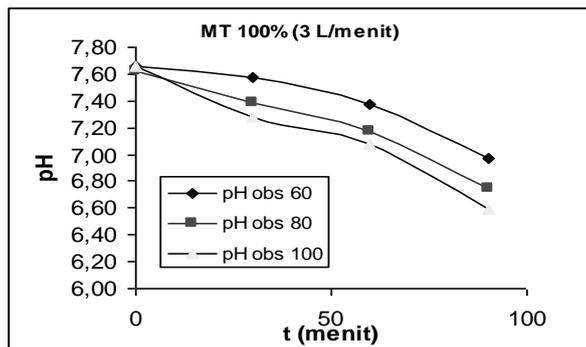


Gambar 3. Pengaruh Tekanan Tangki Bahan Bakar terhadap Efisiensi Absorber

Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa tekanan tangki bahan bakar cukup berpengaruh dalam penurunan efisiensi selama waktu operasional resirkulasi. Pada tekanan yang rendah (60 psi), laju penurunan efisiensi lebih kecil daripada laju penurunan efisiensi yang disebabkan oleh tekanan tangki yang besar (80 psi) dan 100 psi. Dalam uji analisis varian menggunakan ANOVA, didapatkan nilai F hitung variabel tekanan vs efisiensi cukup besar, 3,25 dan $P < 0,05$. Hal ini berarti ada pengaruh nyata antara tekanan dengan efisiensi absorpsi.

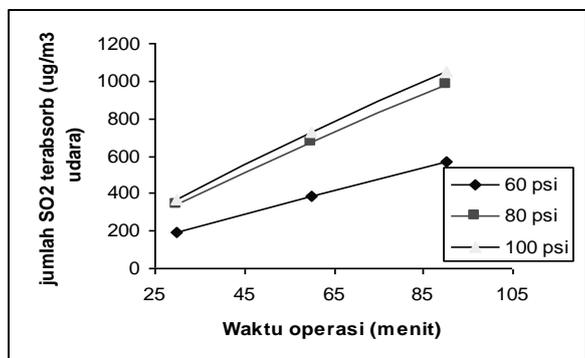
Besarnya konsentrasi gas emisi dari pembakaran dengan tekanan yang lebih tinggi berpengaruh langsung terhadap jumlah SO₂ yang terserap absorber. Makin besar SO₂ yang terserap, setelah terkonversi menjadi asam sulfat, maka tingkat keasaman absorber menjadi lebih besar atau nilai pH menjadi turun.

Dari Gambar 4 diatas, terlihat bahwa pada tekanan yang lebih tinggi, penurunan nilai pH makin besar. Secara grafik dapat dilihat bahwa ada pengaruh tekanan pembakaran terhadap perubahan pH absorber selama resirkulasi. Dalam analisis statistik, diperoleh nilai varian untuk hubungan kedua faktor ini mempunyai F hitung 1,22 dan $P < 0,05$, yang artinya Ho bisa ditolak pada tingkat kepercayaan 95%, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa ada hubungan pengaruh yang nyata antara tekanan bahan bakar dengan pH absorber selama resirkulasi.



Gambar 4. Pengaruh Tekanan Tangki Bahan Bakar terhadap pH Absorber

Penurunan nilai pH ini juga dapat dijelaskan dengan melihat jumlah SO₂ yang terserap dan terkonversi menjadi asam sulfat selama proses berlangsung. Setiap sirkulasi maka SO₂ dari stream gas akan masuk dan bereaksi dengan oksidator peroksida menghasilkan asam sulfat yang cukup stabil dalam fasa larutan. Sehingga pada sirkulasi berikutnya (resirkulasi), jumlah asam sulfat akan terakumulasi dengan penyerapan sulfur dioksida sebelumnya. Jumlah akumulasi SO₂ yang terserap selama proses absorpsi berlangsung dapat dilihat pada Gambar 5.

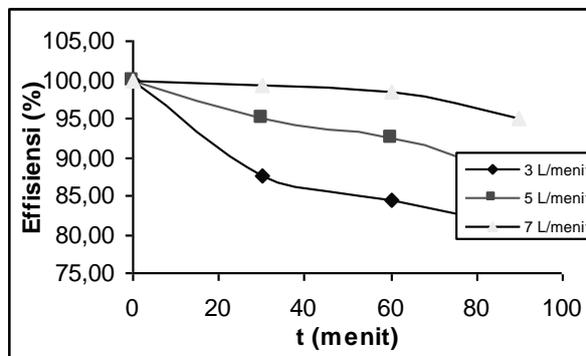


Gambar 5. Jumlah SO₂ yang Mampu Diabsorpsi Selama Waktu Operasional pada Berbagai Tekanan Awal Tangki Bahan Bakar

Debit absorber yang berbeda dan jumlah total volume absorber yang sama, maka akan berpengaruh pada jumlah resirkulasi. Dengan total volume 30 L untuk tiap percobaan dan debit absorber 3 L/minit, 5 L/minit dan 7 L/minit maka jumlah resirkulasinya masing-masing yaitu 9, 15 dan 21.

Hasil analisis untuk menentukan pengaruh debit absorber terhadap efisiensi penyisihan SO₂, disajikan dalam Gambar 6 berikut dan dijelaskan dengan

analisa varian dengan statistik. Selain dipengaruhi oleh waktu operasional atau jumlah resirkulasi, efisiensi penyisihan SO₂ pada *spray tower* wet absorber ini juga dipengaruhi secara jelas oleh debit absorber.



Gambar 6. Pengaruh Debit Absorben terhadap Efisiensi Absorber

Dalam uji statistik, diperoleh bahwa debit absorben sangat berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyisihan SO₂. Dari uji statistik yang nilai F-hitung tertera pada Tabel 1 di atas, dapat dijelaskan bahwa debit dan tekanan memberikan pengaruh yang nyata secara individu, tabel ANOVA menunjukkan pada derajat kepercayaan = 0,05 (F-test p-values < 0,05). Dan tidak ada pengaruh nyata untuk variabel jenis bahan bakar. Sedangkan interaksi-interaksi antar dua variabel tidak memberikan pengaruh yang nyata. Hal demikian berarti variabel-variabel ini akan berpengaruh baik terhadap pH maupun efisiensi secara individual. Interaksi antar dua variabel, tidak akan mempengaruhi secara signifikan terhadap parameter uji.

Tabel 1. Hasil Uji Analisis Varian untuk pH dan Efisiensi

Analisis Varian untuk pH			Analisis Varian untuk Efisien		
sumber	F	P	sumber	F	P
Debit	0,94	0,392	Debit	22,27	0,000*
Tekanan	1,22	0,299	Tekanan	4,70	0,011*
Interaction	0,10	0,983	Interaction	0,05	0,995

Selama percobaan, juga diukur pH absorber tiap 30 menit untuk memperoleh data pH awal (0 menit), pH 30 menit, 60 menit dan 90 menit untuk tiap perubahan perlakuan variabel. Nilai-nilai pH ini adalah merupakan data perubahan pH pengamatan. Nilai pH atau tingkat keasaman absorber yang terukur akan menggambarkan kekuatan asam hasil konversi dari SO₂ yang terserap oleh absorber, dalam sistem penelitian ini.

Kedua nilai pH yang didapatkan ini (pH teoritis dan pH pengamatan) dibandingkan untuk melihat kesesuaian antara pengamatan dan perhitungan. Perbandingan kedua nilai pH ini sebagian dapat dilihat pada Tabel 2. Perbedaan pH pengukuran dengan pH teoritis ini, kemungkinan besar disebabkan adanya zat dalam air absorber yang berperan sebagai penyangga pH. Sehingga walaupun ditambahkan suatu asam kuat, maka pH absorber tidak terlalu mengalami penurunan banyak. Karena sistem penyangga ini, yang tentunya merupakan zat asam lemah dan garamnya atau basa lemah dan garamnya, akan berdisosiasi menggunakan ion asam atau basa lemah dan konjugatnya untuk menetralkan penambahan asam atau basa dari luar, meskipun asam atau basa tersebut sangat kuat. Sehingga air absorber ini akan mengalami penurunan pH yang signifikan saat zat penyangga ini telah habis aktifitasnya, terjadi ketika zat tersebut habis atau ditambahkan asam melebihi kapasitas buffer. Selama hal ini belum tercapai maka, pH absorber tetap akan berada pada sekitar pH buffernya.

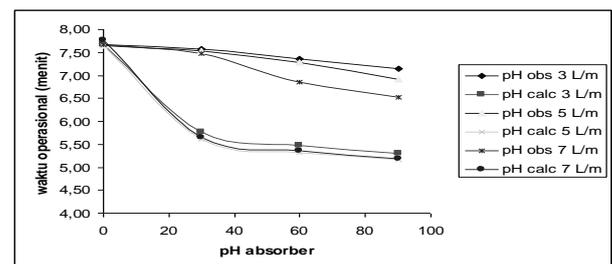
Tabel 2. Nilai pH Absorber Setelah Operasional Resirkulasi 90 Menit

BBM	Debit	Tekanan	Waktu	pH obs	pH teoritis
SL 100	3	60	90	6,79	4,68
SL 100	3	80	90	6,68	4,54
SL 100	3	100	90	6,45	4,49
SL 100	5	60	90	6,63	4,54
SL 100	5	80	90	6,90	4,51
SL 100	5	100	90	6,70	4,51
SL 100	7	60	90	7,02	4,52
SL 100	7	80	90	6,93	4,42
SL 100	7	100	90	6,80	4,42

Fenomena absorpsi didominasi oleh sifat reaksi SO₂ dengan oksidator menghasilkan asam sulfat yang sangat larut dan tidak kembali lepas ke fasa gas, sehingga nilai L/G akan berubah dari teoritis untuk absorpsi SO₂ dengan air murni, dimana konstanta Henry bernilai 42. Artinya dalam kesetimbangan alamiahnya, maka jumlah mol parsial dalam fasa gas 42 kali lebih besar daripada SO₂ yang berada dalam fasa larutan. Dalam uji selanjutnya, didapatkan air mengandung CO₂ dan HCO₃⁻. Hasil uji asiditas CO sebesar 8,8 mg/L dan HCO₃ sebesar 30,5 mg/L sedangkan kesadahan air (CaCO₃) sebesar 364,3 mg/L.

Pada saat pengukuran diperoleh pH awal air absorber adalah sekitar 7,6 untuk pengamatan pada menit ke-0, seharusnya larutan bersifat asiditas (pH<7). Hal ini terjadi karena penambahan peroksida (H₂O₂) dalam larutan absorber dapat menaik-

kan pH larutan dimana peroksida dalam air dengan cepat akan menghasilkan ion hidroksida (OH⁻) sehingga larutan sedikit basa, seperti terlihat pada Gambar 7. Pada saat absorpsi SO₂, dengan adanya oksidator H₂O₂, maka akan segera terbentuk asam sulfat (H₂SO₄). Asam ini kemudian bereaksi dengan garam CaCO₃ membentuk HCO₃⁻. Sehingga penurunan pH absorber ini terjadi karena terbentuknya HCO₃⁻, tidak terlalu besar karena sifat HCO₃⁻ yang merupakan asam lemah dengan nilai K_a=4,5 x 10⁻⁷. Dalam perhitungan, pH untuk sistem buffer ini berkisar antara 6,79.



Gambar 7. Nilai Perubahan pH Pengamatan dan pH Teoritis

Ketika terjadi proses absorpsi SO₂ yang terserap dan terkonversi menjadi H₂SO₄ akan bereaksi dengan sistem buffer asiditas dan kesadahan. H₂O₂ yang membentuk basa dalam air makin lama makin habis bereaksi dengan SO₂, hal ini yang menyebabkan pH absorber turun cukup signifikan dari sekitar 7,6 menjadi dibawah 7. Dalam kisaran pH sekitar pH buffer (6,79) perubahan pH menjadi tidak signifikan lagi karena asam yang masuk akan bereaksi dengan CO₃⁼ membentuk HCO₃⁻.

Dari Gambar 7 dapat diambil suatu penjelasan bahwa perbedaan debit akan menyebabkan efisiensi dan perubahan efisiensi yang berbeda sebagai fungsi waktu. Pertama, dapat dijelaskan bahwa, dengan berjalannya waktu operasional, maka debit yang rendah (3 L/menit) memberikan efisiensi yang lebih kecil sekitar 86% pada menit 30, 80% pada menit ke 60 dan 78% pada menit ke 90. Sedangkan untuk debit yang besar (7 L/menit), perubahan efisiensi tidak terlalu besar. Efisiensi untuk debit 7 L/menit ini sekitar 99,5% pada menit 30, pada menit ke 30 adalah 97,5% dan pada menit ke 90 sekitar 94 %.

Dari hal di atas, maka yang cukup baik dalam efisiensi penyisihan (penyerapan) dan penurunan pH adalah pengoperasian dengan debit 5 L/menit. Pada kondisi ini efisiensi rata-rata pada menit ke 30 ada-

lah 94%, pada menit ke 60 sekitar 90% dan pada menit ke 90 adalah 87%. Dan penurunan pH bisa mencapai 6,78. Pada pengoperasian dengan debit ini, jumlah absorber cukup untuk mendapatkan perbandingan absorber dan gas yang besar dan dengan *pressure loses* udara yang masih mampu untuk mengalir dengan baik.

Dalam hal tekanan tangki bahan bakar, maka operasional yang baik dengan tekanan awal 60 psi, 80 psi dan 100 psi, menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan terbesar didapatkan jika *spray tower* digunakan untuk menyerap gas emisi dari pembakaran dengan tekanan awal yang rendah (60 psi). Makin besar tekanan awal, maka efisiensi akan makin turun. Hal ini terjadi karena dengan tekanan yang makin tinggi, jumlah bahan bakar yang terproses makin banyak dan rasio F/A makin besar. Implikasinya adalah konsentrasi gas yang dihasilkan juga makin besar.

Dari data-data dan pengolahan statistik (ANOVA dan regresi) maka dapat dilakukan perhitungan teoritis tentang kinerja *spray tower* absorber dalam penelitian ditinjau dari pH saat efisiensi mencapai 70%. Dalam perhitungan yang telah dilakukan dengan dasar volume absorber 30 L dan dilakukan resirkulasi, diperoleh waktu operasional maksimum hingga diperoleh efisiensi 70%, jumlah resirkulasi, maksimum dan pH efektif minimum. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Teoritis Jumlah Resirkulasi dan pH Saat Efisiensi 70 %

Effisiensi (%)	Debit (L/menit)	Tekanan (psi)	Waktu (menit)	jml resirkulasi	pH
70	3	60	173,87	17	6,07
70	3	80	158,70	16	6,16
70	3	100	143,53	14	6,25
70	5	60	206,62	34	5,83
70	5	80	191,45	32	5,92
70	5	100	176,28	29	6,01
70	7	60	239,37	56	5,59
70	7	80	224,20	52	5,68
70	7	100	209,03	49	5,77

Dari perhitungan nampak bahwa pH minimum dan jumlah resirkulasi maksimum hingga dicapai efisiensi 70%, lebih dipengaruhi oleh debit absorber dan tekanan tangki bahan bakar. Sedangkan jenis bahan bakar sangat kecil pengaruhnya. Sehingga kalau diperhatikan, sebenarnya makin besar debit, untuk jika dioperasikan sampai kisaran efisiensi

yang sama maka waktu operasionalnya bisa lebih panjang, pada debit 7 l/menit waktu operasi maksimalnya mencapai 224 menit, debit 5 dengan 191 menit dan untuk debit 3 L/menit waktu operasionalnya hanya sekitar 159 menit. Sedangkan variabel lain tidak terlalu nyata pengaruhnya baik dalam analisis grafik maupun analisis varian dan regresi.

4. KESIMPULAN

Nilai pH absorber tidak berubah secara signifikan karena adanya sistem buffer pasangan HCO_3^- dan CaCO_3 yang berada dalam air baku absorber. Kapasitas atau efisiensi penyerapan SO_2 makin menurun dengan jumlah resirkulasi yang makin besar. Secara perhitungan berdasarkan data dalam penelitian didapatkan bahwa untuk efisiensi lebih dari 70%, maka pH absorber terendah adalah 5,59 – 6,25 dan jumlah resirkulasi untuk debit 3 L/menit maksimal 17, debit 5 L/menit 34 dan untuk debit 7 L/menit maksimal 56 resirkulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Elsam dan Elkraft, (1999), **Wet Fuel Gas Desulphurisation Packed Tower Absorber**, the Technical Research Council of Denmark and the Technical University, Denmark.
- Lee, CC., dan 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, Depart of Environmental Engineering – ITB, Indonesia.
- Gohara, WF., Strock, TW. dan Hall, WH., (1997), **New Perspective of Spray Tower Absorber Fluid Mechanics in an Advanced Tower Design**, EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium, August 25-29, Washington D.C.
- Mathur M.L, dan Sharma R.P, (1980), **A Course in Internal Combustion Engine**, Dhanpatrai & Son, India.