

BAB IV

PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

IV. 1 Skematika Alat Pengujian

Studi implementasi venturi scrubber pada gasifikasi batubara tak dapat terpisahkan dari pengujian laboratorium. Pengujian tersebut berada pada kondisi tekanan atmosfer 1 atm dan temperatur ruang $\pm 27^{\circ}\text{C}$ - 35°C . Proses pengujian dilakukan di kandang laboratorium *gasifier* di daerah pelataran parkir Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



Gambar 4.1 Laboratorium Termodinamika Proyek Gasifikasi



Gambar 4.2 Penerapan sistem venturi scrubber pada laboratorium gasifikasi

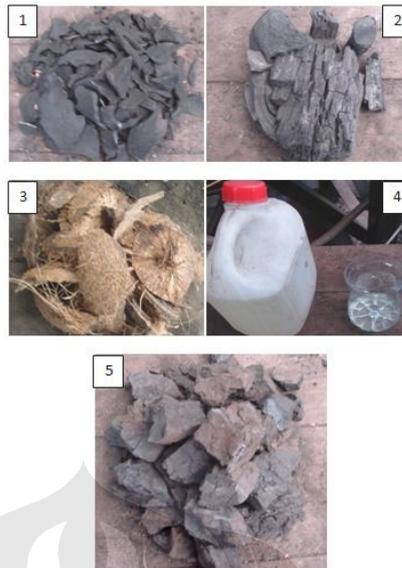
IV. 2 Metodologi Pengujian Dan Pengambilan Data

Untuk melaksanakan pengujian dan pengambilan data, diperlukan beberapa tahapan. Di antaranya adalah tahapan persiapan seperti set up gasifikasi, alat pengujian dan instrumentasi pengambilan data atau pengukuran. Kemudian tahapan pengujian dan pengambilan data.

IV. 3. Persiapan Pengujian

IV. 3. 1. Set Up Bahan Bakar Gasifikasi

Penggunaan bahan bakar untuk gasifikasi terdiri atas arang yang terdiri jenis kayu dan kelapa, batok kelapa dan sabutnya, batubara jenis sub-bituminus, serta minyak tanah. Arang dan batok kelapa merupakan bahan bakar promotor pembakaran awal atau ignisi. Sedangkan minyak tanah sebagai pemercepat proses pembakaran tahap selanjutnya, terutama setelah batubara dimasukkan ke dalam *gasifier*.



Gambar 4.3 Bahan Bakar (1. Arang Kelapa; 2. Arang Kayu; 3. Batok Kelapa; 4. Minyak Tanah; 5. Batubara Sub-Bituminus).

IV. 3. 2. Set Up Peralatan Penunjang

Setelah Venturi scrubber terpasang dalam sistem lab gasifikasi, peralatan penunjang untuk pengujian perlu disiapkan, antara lain : selang berdiameter $\frac{3}{4}$ " sepanjang 13 meter dan 1" sepanjang 2 meter, timbangan digital dengan tingkat akurasi 1 gram, ember, gelas ukur, stopwatch dan saringan. Selang berdiameter dipasang untuk menghubungkan keran air dengan pipa cabang pada venturi scrubber, sedangkan selang berdiameter dipasang untuk membuang air pada bagian bawah entrainment separator.



Gambar 4.4 Peralatan penunjang (1. Selang; 2. Ember; 3. Timbangan; 4. Saringan)

IV. 4. Prosedur Pengujian Dan Pengukuran

Tahapan pengujian adalah :

a) *Persiapan awal*

Setelah peralatan penunjang dipasang, persiapan selanjutnya adalah mengukur laju alir air pada keran menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*. Sebelum gasifikasi dinyalakan dan gas produser mengalir melalui venturi scrubber, perlu dipastikan air mengalir dengan baik sekaligus membersihkan bagian dalam sistem venturi scrubber dari debu dan kotoran lainnya. Berikut ini adalah langkah-langkah mengukur laju alir air pada keran yang akan masuk ke sistem venturi :

- Memasang busur derajat pada keran yang berfungsi sebagai penunjuk putaran keran saat akan dilakukan pengujian.
- Memutar keran pada derajat angka dimana air mulai mengalir (misal 30^0) dan isi gelas ukur sampai penuh (300 ml), pada saat yang bersamaan tekan *stopwatch*.
- Ketika permukaan air pada gelas ukur sampai pada garis 300 ml, tekan *stopwatch* dan catat waktunya. Kegiatan ini dilakukan sampai 3 kali lalu diambil hasil rata-ratanya.
- Untuk memperoleh laju alir air pada derajat angka 30^0 , dilakukan dengan membagi 300 ml dengan hasil waktu yang diperoleh, maka laju alir air yang didapat dalam satuan ml/detik.
- Mengulangi langkah ke-2 sampai ke-4 dengan putaran keran pada derajat angka berbeda (40^0 , 50^0 , 60^0 , 70^0 , 80^0 , 90^0 , dan seterusnya) sampai putaran keran mencapai batas maksimum.

b) *Penyalan Gasifikasi*

- Memasukkan arang kelapa dan kayu pada dasar refraktori reaktor sampai ke tenggorokan masing-masing ± 2 kg kemudian ditambah 1 kg batok kelapa. Cara pemasukkanya adalah diawali dengan arang kelapa dahulu, lalu arang kayu, kemudian batok kelapa. Bagian teratas dimasukkan sabut kelapa.

- Penyalaan awal dengan bantuan minyak tanah, gunakan sabut kelapa sebagai penyulut untuk memulai proses pembakaran.
- Menunggu ± 15 menit/termokopel 3 menunjukkan 400°C hingga biomass menjadi bara. Bahan bakar pada pengujian kali ini adalah sub-bituminus yang memiliki temperatur penyalaan $400-500^{\circ}\text{C}$
- Setelah timbul asap pekat, ± 20 s/d 25 menit, suplai udara primer mulai diatur dengan mengatur bukaan valve $3/8$ dari $70-90$ derajat (waktu ini disebut waktu ke- nol).
- Menambahkan bahan bakar batubara 3 kg ke dalam *gasifier* untuk menghasilkan *producer gas* yang pekat dan banyak dari hasil pirolisis (penguraian) batubara.
- Setelah $\pm 3-5$ menit, asap terlihat pekat. Kepekatan menandakan terdapat banyak komponen mampu bakar pada *producer gas*. Segera tutup feeding door dengan *mounting*.
- Lakukan penyulutan (ignisi) dengan pemantik kepada ujung *burner*. Bila belum tersulut, lakukan berulang-ulang.
- Lidah api pada *burner* akan terbentuk dan akan bertahan hingga *blow off* dalam waktu ± 3 s/d 5 menit. Bila sudah bertahan dalam waktu itu, maka turunkan blower utama.
- Setelah lidah api *blow off* dan *producer gas* mulai menipis (tidak pekat), segera menambahkan kembali bahan bakar batubara 3 kg.
- Setelah penambahan, dilanjutkan dengan menyalakan *blower mixing* pada *burner*. Lakukan dari bukaan katup terbesar.
- Dan seterusnya hingga bahan bakar seluruhnya terpakai dan gas produser sudah tidak mampu bakar lagi walaupun bahan bakar telah diaduk.

c) Pengukuran

- Setelah asap yang dihasilkan di burner mulai pekat, pengambilan sampel dapat dimulai. Nyalakan air pada laju alir paling rendah, kemudian letakkan tempat penampungan air (ember) di tempat keluarnya air hasil pengujian.

- Membandingkan air hasil pengujian pada ember dengan air sebelum pengujian untuk mengetahui apakah tar sudah mulai tertangkap atau belum.
- Meletakkan saringan pada selang air keluaran dan tunggu sampai ± 2 menit.
- Mengukur massa saringan yang telah berisi tar, dan bandingkan dengan massa saringan sebelum dilakukan percobaan (tanpa tar). Kurangi massa saringan yang berisi tar dengan massa saringan tanpa tar untuk mendapatkan massa tar pada laju alir air saat itu.
- Mengulangi keempat langkah di atas dengan laju alir air yang berbeda.

d) *Selesai pengujian*

- Mematikan air keran, dan melepaskan selang-selang pada venturi scrubber.
- Tetap menyalakan blower *primary air* untuk mengeluarkan seluruh asap dan residu yang masih tersisa di dalam reaktor. Lepaskan seluruh selang saluran *primary air* dari blower utama ke *gasifier*.
- Setelah ± 2 jam (kondisi reaktor mulai dingin dan bara sudah tidak menyala lagi) mengeluarkan abu sisa pembakaran melalui lubang pembuangan pada reaktor *gasifier*.
- Kondisi refraktori reaktor dibiarkan menjadi dingin hingga mencapai temperatur ruang, selama 1 hari penuh. Setelah itu membuka tutup reaktor dan membersihkan seluruh bagian dalam reaktor dan *burner* dengan menyemprotkan udara dari kompresor atau *blower* untuk menghindari tar mengeras menjadi kerak.

BAB V

HASIL DAN ANALISA

Untuk mengetahui performa venturi scrubber yang diterapkan di dalam sistem gasifikasi batubara, dilakukan dengan mengamati air keluaran yang digunakan pada venturi scrubber. Hal ini dapat dilakukan pada saat gas mampu bakar mulai terbentuk pada burner. Laju alir air yang digunakan perlu diatur untuk memaksimalkan jumlah tar yang dapat direduksi oleh venturi scrubber. Dalam bab ini disajikan perihal kondisi performa peralatan selama pengujian, variasi laju alir air yang digunakan, kondisi air sebelum dan setelah pengujian, jumlah tar yang diperoleh, serta kondisi *flame* secara visual.

V. 1 Kondisi Performa Sistem Venturi Scrubber

Secara umum sistem venturi scrubber dapat bekerja dengan baik dalam penerapannya pada laboratorium gasifikasi. Dimensi sistem yang didesain pun dapat mengatasi laju alir dan temperatur gas produser yang dihasilkan. Gas produser dapat mengalir melalui sistem venturi dan keluar pada burner sebagaimana mestinya.

Namun selama percobaan berlangsung masih terdapat kebocoran air pada sistem venturi scrubber, terutama pada bagian sambungan antara pipa cabang dengan venturi. Pencegahan telah dilakukan dengan menambahkan selotip atau plester di sekitar sambungan, tetapi pada laju alir air yang tinggi kebocoran air masih terjadi. Peristiwa ini terjadi akibat kurang presisinya fabrikasi pipa cabang karena terbuat dari PVC.



Gambar 5.1 Kebocoran air pada pipa cabang

V. 2 Hasil Tar Yang Diperoleh Terhadap Variasi Laju Alir Air

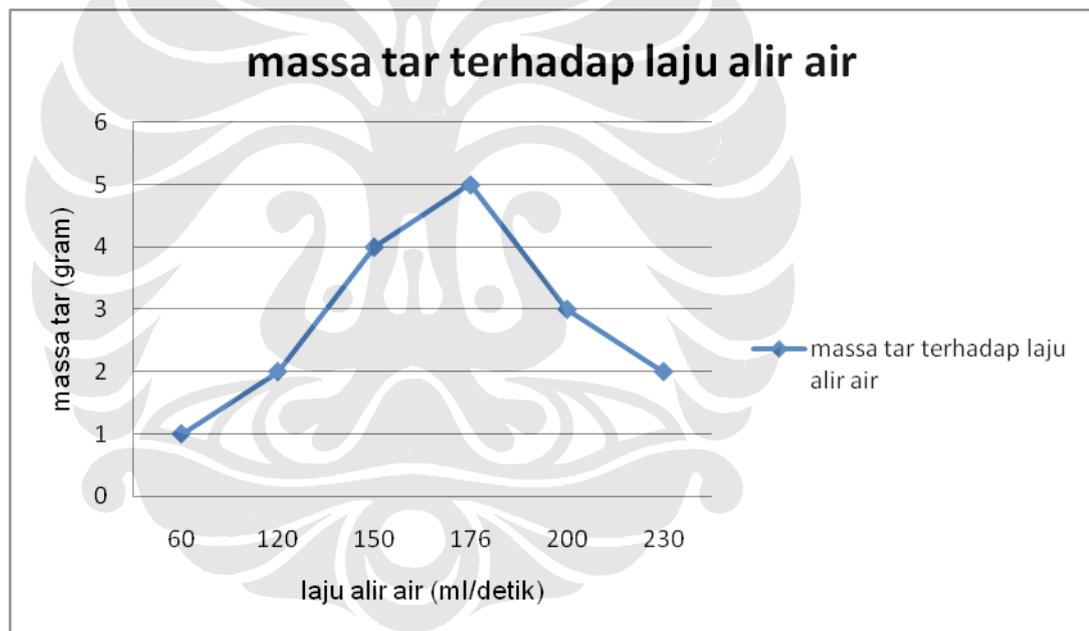
Variasi laju alir air yang digunakan pada venturi scrubber selalu diukur atau disesuaikan terlebih dahulu setiap sebelum melakukan pengujian. Hal ini dikarenakan adanya kemungkinan perubahan laju alir air pada keran air yang digunakan.

Saat pengujian berlangsung dan asap mulai pekat, venturi scrubber mulai beroperasi dengan laju alir air yang berbeda. Penggunaan tiap laju alir air dilakukan ± 2 menit bersamaan dengan pengambilan sampel tar yang dihasilkan. Tar yang diperoleh kemudian ditimbang bersama dengan saringannya dengan menggunakan timbangan digital dengan tingkat keakuratan 1 gram. Kemudian berat tar diperoleh dengan mengurangi berat keseluruhan dengan berat saringan.

Pada bab 3 disebutkan bahwa jumlah air cadangan sebagai pengganti air yang menguap akibat kontak dengan gas adalah 0.0232 gpm atau $1,5\text{ ml/detik}$. Jumlah ini dapat diabaikan karena jumlah air yang digunakan berkisar antara $60\text{--}230\text{ ml/detik}$ agar tekanan air cukup untuk naik menuju venturi scrubber. Tabel 5.1 berikut ini menunjukkan penggunaan laju alir air yang digunakan beserta berat tar yang dihasilkan, adapun massa saringan yang digunakan adalah 19 gram .

Tabel 5.1 Massa tar terhadap laju alir air

| Derajat putaran keran ($^{\circ}$) | Waktu /300ml (detik) | Laju alir air (ml/detik) | Massa tar (gram) |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|
| 30 | 5 | 60 | 1 |
| 40 | 2,5 | 120 | 2 |
| 50 | 2 | 150 | 4 |
| 65 | 1,7 | 176 | 5 |
| 75 | 1,5 | 200 | 3 |
| 90 | 1,3 | 230 | 2 |



Gambar 5.2 Grafik massa tar terhadap laju alir air

Pada gambar grafik 5.2, dapat dilihat perolehan jumlah atau massa tar yang terkumpul dalam air keluaran venturi scrubber terhadap laju alir air yang digunakan. Pada awalnya jumlah tar yang terkumpul bertambah seiring dengan bertambahnya laju alir air yang digunakan. Namun pada titik tertentu, yaitu laju alir air 176 ml/detik, massa tar yang diperoleh mencapai jumlah terbanyak yaitu 5

gram seperti ditunjukkan gambar 5.3 di bawah ini. Setelah itu jumlah tar yang terkumpul mengalami penurunan ketika laju alir air terus ditambah.

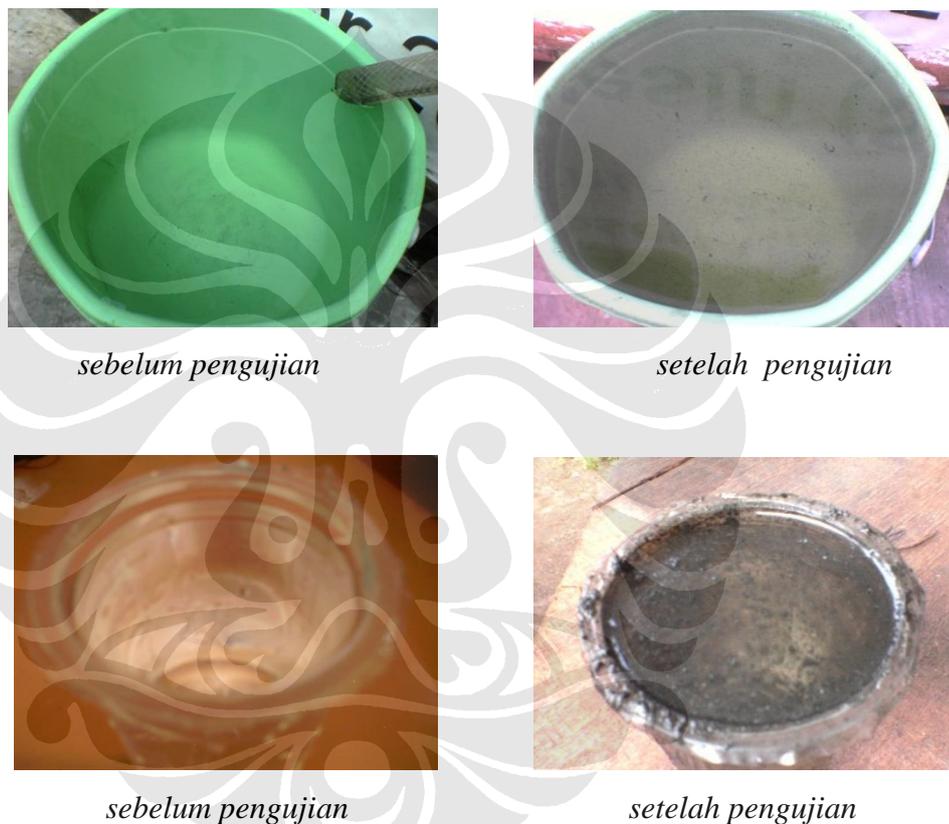


Gambar 5.3 Pengukuran massa tar pada laju alir air 176 ml/detik

Penelitian yang dilakukan oleh A.P. Ribeiro dari Federal University of São Carlos mengatakan bahwa jumlah tar dan pengotor lainnya yang terkumpul meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan. Namun dari gambar grafik di atas terlihat bahwa saat jumlah air yang digunakan melebihi batas tertentu, jumlah tar yang diperoleh menurun. Hal ini dikarenakan ketika jumlah air yang digunakan melebihi batas tertentu (176 ml/detik untuk skala penelitian ini), air akan langsung membanjiri bagian throat pada venturi tanpa membentuk cipratan atau droplet air. Sedangkan Gerald T. Joseph mengungkapkan bahwa *collection efficiency* suatu venturi scrubber meningkat seiring bertambahnya luas permukaan air yang tercipta, dalam hal ini adalah terbentuknya droplet-droplet air yang mampu menangkap tar dan pengotor lainnya.

Selain itu terbentuknya lapisan air pada dinding bagian dalam throat juga mendukung meningkatnya *collection efficiency* suatu venturi scrubber. Pada saat laju alir air 176 ml/detik, lapisan air yang terbentuk pada dinding bagian dalam venturi scrubber dan percikan atau droplet yang tercipta, mencapai tingkat maksimum dalam menangkap tar dan pengotor lainnya. Sehingga jika penggunaan laju alir air kurang dari titik tersebut, lapisan air pada dinding throat belum sempurna, dan jika lebih dari titik tersebut droplet yang tercipta akan berkurang.

Namun jumlah tar yang ditangkap pada pengukuran di atas hanyalah tar yang berukuran lebih dari 0,5 mm, karena saringan yang digunakan memiliki lubang berukuran $\pm 0,5$ mm. Sedangkan tar dan pengotor lainnya yang terlarut dalam air berukuran mulai dari 0,1 μm . Oleh karena itu gambar 5.4 di bawah ini menunjukkan keadaan air yang digunakan sebelum pengujian dan setelah pengujian berlangsung.



Gambar 5.4 Perbandingan keadaan air sebelum dan setelah pengujian

Fenomena unik yang menarik untuk dicermati saat pengujian berlangsung adalah terbentuknya gelembung tar pada saat pengambilan sampel seperti terlihat pada gambar 5.5. Hal ini terjadi karena tar banyak yang terlarut dalam air dan membuat warna air menjadi hitam. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa pada studi pengujian venturi scrubber ini, air yang digunakan tidak disirkulasi sebagaimana mestinya. Selain karena pengujian yang berskala lab (sehingga tidak

menuntut penggunaan jumlah air yang banyak), air keluaran venturi scrubber secara umum sangat kotor bahkan berwarna hitam pekat, sehingga mustahil untuk digunakan kembali dalam sistem venturi atau dilakukan treatment untuk menetralkan air yang kotor.

Efektifitas atau pengaruh venturi scrubber ini dalam membersihkan gas dan mereduksi tar terlihat saat air yang mengalir dihentikan. Ketika air dihentikan selama ± 5 menit, dan kemudian air dialirkan kembali ke dalam sistem venturi scrubber, air keluaran yang diperoleh menjadi hitam pekat daripada sebelumnya dan terdapat gelembung tar di permukaannya seperti ditunjukkan pada gambar 5.6 di bawah ini. Hal ini dikarenakan ketika air berhenti mengalir, tar yang terdapat pada gas yang mengalir tertangkap dan terkondensasi pada lapisan air yang terbentuk pada dinding venturi dan mengendap di dasar venturi, sehingga ketika air kembali dialirkan endapan tar yang larut pada air yang tersisa di venturi akan tersapu oleh air yang baru dijalankan dan proses pembersihan kembali berlangsung.

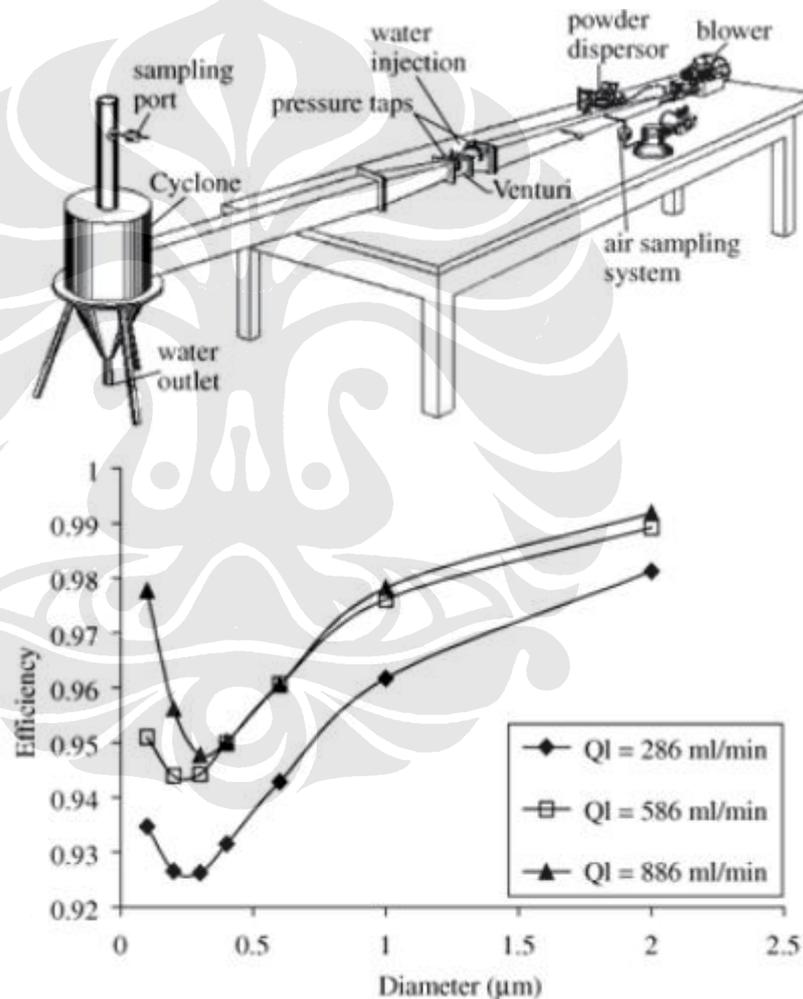


Gambar 5.5 Air keluaran menjadi hitam pekat dan terdapat gelembung tar

V.3 Perbandingan Hasil

Hasil yang diperoleh pada pengujian ini kemudian dibandingkan dengan percobaan yang sudah pernah dilakukan dan diakui di dunia internasional. Parameter yang akan dibandingkan dalam hal ini adalah pengaruh laju alir air terhadap jumlah partikel pengotor yang tertangkap.

Maria Angélica Martins Costa et al, Universitas Federal de São Carlos, brasil pada tahun 2005 pernah melakukan percobaan serupa dengan menggunakan venturi scrubber namun dengan skala yang lebih kecil. Venturi scrubber yang digunakan juga berjenis *rectangular* atau persegi. Debu atau pengotor yang digunakan adalah *mineral rock* dengan densitas 3030 kg/m^3 dan dapat larut dalam air. Untuk mengetahui lebih detail mengenai percobaan ini dapat dilihat pada lampiran. Gambar 5.6 di bawah ini menunjukkan skematik percobaan dan hasil grafik yang diperoleh.



Gambar 5.6 Skematik percobaan dan hasil grafik percobaan Universitas Federal de São Carlos, brasil

(sumber : Scielo.php.htm, Maria Angélica Martins Costa et al, Universitas Federal de São Carlos, brasil)

Dari gambar grafik di atas terlihat bahwa jumlah partikel pengotor yang tertangkap (ditunjukkan oleh efisiensi) meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai batas tertentu. Efisiensi pada laju alir 286 ml/min dan 586 ml/min terlihat cukup meningkat. Namun efisiensi dari laju alir 586 ml/min ke 886 ml/min hanya mengalami sedikit kenaikan, bahkan cenderung sama untuk partikel berukuran 0,5 – 0,7 μm . Hal ini menunjukkan bahwa pada batas laju alir air ini efisiensi sudah tidak meningkat jika jumlah air terus ditambah. Jumlah air yang terlalu banyak akan membuat droplet yang terbentuk tidak maksimal untuk menangkap partikel, dengan kata lain air tidak akan sempat untuk menangkap partikel. Lapisan air pada dinding venturi juga akan cepat bertambah sehingga menjadi kurang maksimal dalam menangkap partikel pengotor.

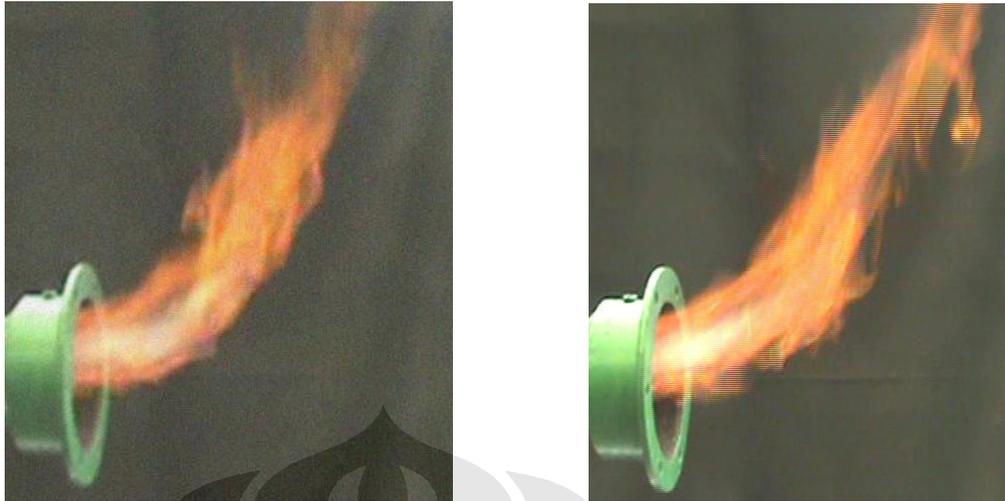
Kecenderungan ini juga terjadi pada pengujian yang dilakukan oleh penulis seperti terlihat pada gambar grafik 5.2 di atas. Efektifitas venturi scrubber meningkat seiring bertambahnya jumlah air yang digunakan sampai batas tertentu, yaitu 176 ml/detik. Kemudian akan menurun jika jumlah air berlebihan.

Adapun lekukan yang terjadi pada gambar grafik 5.6 pada ukuran partikel $\pm 0,3 \mu\text{m}$ di ketiga laju alir air, disebabkan oleh mekanisme penangkapan partikel. Inertial impaction bekerja pada partikel berukuran besar, dan difusi bekerja pada partikel yang sangat kecil.

V. 4 **Kondisi *Flame* Secara Visual**

Visualisasi api memperlihatkan kualitas gas yang dihasilkan. Pengambilan gambar di bawah ini dilakukan untuk melihat tampilan *flame* dari sistem lab gasifikasi yang telah menggunakan sistem pembersihan gas venturi scrubber. Gambar diambil pada 1 november 2008 dengan cuaca cerah, suhu relatif 27-32 $^{\circ}\text{C}$.

Selama berlangsungnya pengujian *flame* yang dihasilkan cukup stabil terhadap waktu. Secara umum kondisi *flame* yang terbentuk tidak berubah jika air yang mengalir pada sistem venturi scrubber dihentikan. Gambar 5.7 di bawah ini memperlihatkan kondisi *flame* sebelum dan sesudah sistem venturi scrubber dipasang. Secara kasat mata kualitas *flame* tidak terlalu berbeda. Namun dapat dipastikan gas yang dibakar lebih bersih jika merujuk pada air yang keluar dari sistem venturi scrubber.



Sebelum

sesudah

Gambar 5.7 Kondisi flame sebelum dan sesudah menggunakan venturi scrubber

