

BAB II DASAR TEORI

II.1 Prinsip Dasar Wet Scrubber

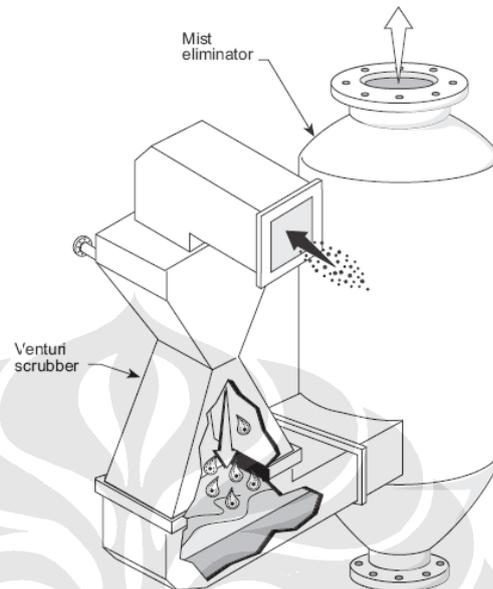
Sistem scrubber adalah kumpulan berbagai macam alat kendali polusi udara yang dapat digunakan untuk membuang partikel dan/atau gas dari arus gas keluaran industri. Dahulu, scrubber berkaitan dengan peralatan kontrol polusi yang menggunakan liquid untuk ‘mencuci’ polutan yang tidak diinginkan dari arus gas. Saat ini, istilah scrubber juga digunakan untuk menggambarkan sistem yang menyuntikkan atau memasukkan bahan aktif kering atau liquid ke dalam arus gas kotor untuk ‘mencuci’ gas asam. Scrubber adalah salah satu peralatan pokok yang mengontrol emisi gas, terutama gas asam.

Wet scrubber adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan liquid untuk membuang polutan. Pada wet scrubber, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan liquid pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkannya atau dengan metode kontak lainnya. Tentu saja desain dari alat kontrol polusi udara (termasuk wet scrubber) tergantung pada kondisi proses industri dan sifat alami polutan udara yang bersangkutan.

Karakteristik exhaust gas dan sifat debu, jika terdapat partikel, adalah hal yang sangat penting. Scrubber dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel dan /atau gas. Wet scrubber membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran liquid. Sedangkan untuk polutan gas proses wet scrubber adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan ke dalam liquid. Adapun butiran liquid yang masih terdapat dalam arus gas pasca pencucian selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat lain yang disebut *mist eliminator* atau *entrainment separator*.

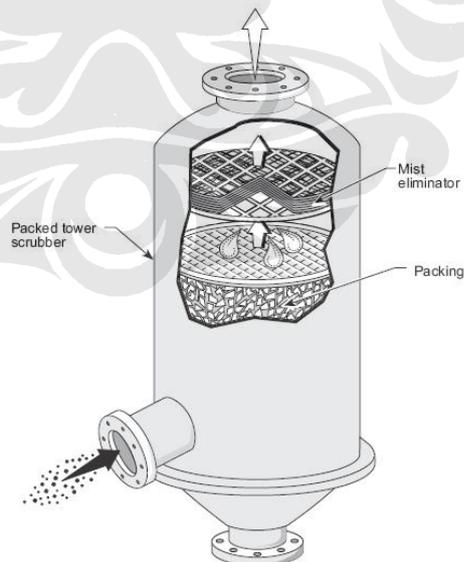
Terdapat banyak konfigurasi scrubber dan sistem scrubber, semuanya didesain untuk menyediakan kontak yang baik antara liquid dan gas kotor. Gambar 2.1 dan 2.2 menunjukkan dua contoh desain wet scrubber, termasuk entrainment separatornya. Gambar 2.1 adalah desain venturi scrubber, yang selanjutnya digunakan dalam tugas akhir ini. Mist eliminator untuk venturi

scrubber biasanya adalah alat terpisah yang disebut cyclonic separator. Gambar 2.2 memiliki desain tower dimana mist eliminator dibangun di atas struktur.



Gambar 2.1 Contoh desain venturi scrubber

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)



Gambar 2.2 Contoh desain tower scrubber

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

Kemampuan wet scrubber untuk mengumpulkan partikulat berukuran kecil seringkali berhubungan langsung atau proporsional dengan input power scrubber. Alat low energy seperti spray tower digunakan untuk mengumpulkan partikel lebih besar dari 5 micrometer . Untuk menghasilkan efisiensi tinggi dari pembuangan partikel 1 mikrometer (atau kurang) umumnya membutuhkan alat *high energy* seperti venturi atau alat besar seperti *condensation scrubber*. Sebagai tambahan, entrainment separator yang didesain dan dioperasikan dengan baik penting untuk mendapatkan efisiensi pembuangan yang tinggi; makin besar jumlah butiran liquid yang tidak tertangkap oleh mist eliminator, makin besar potensi level emisi potensial.

Wet scrubber yang membuang polutan gas disebut absorber. Kontak gas-liquid yang baik sangat penting untuk menghasilkan efisiensi pembuangan yang tinggi pada absorber. Sejumlah desain wet scrubber digunakan untuk membuang polutan gas, dengan packed tower dan plate tower menjadi yang umum digunakan.

Apabila arus gas produser mengandung kedua polutan gas dan partikel, wet scrubber secara umum adalah satu-satunya alat kendali polusi udara yang dapat membuang kedua jenis polutan. Wet scrubber dapat memperoleh efisiensi pembuangan yang tinggi untuk polutan partikel atau gas, bahkan pada contoh tertentu, dapat memperoleh efisiensi pembuangan yang tinggi untuk kedua polutan pada sistem yang sama. Bagaimanapun juga, di kebanyakan kasus, kondisi operasi terbaik untuk pembuangan partikel adalah yang terburuk bagi pembuangan gas. Secara umum, menghasilkan efisiensi pembuangan partikel dan gas tinggi bersamaan membutuhkan sifat salah satu polutan mudah untuk dibuang (gas yang sangat larut dalam liquid atau partikel yang cukup besar dan mudah tertangkap).

Sebagai alat pengendali partikel, wet scrubber (disebut juga wet collector) dinilai performanya terhadap fabric filter dan electrostatic precipitator (ESPs). Beberapa keunggulan wet scrubber dibandingkan alat-alat tersebut adalah :

- Wet scrubber memiliki kemampuan untuk mengatasi temperatur dan kelembapan tinggi.

- Pada wet scrubber, flue gas didinginkan, menghasilkan kebutuhan ukuran peralatan yang lebih kecil secara keseluruhan.
- Wet scrubber dapat membuang baik polutan gas maupun partikel padat.
- Wet scrubber dapat menetralkan gas yang korosif.

Beberapa kelemahan wet scrubber adalah korosi , kebutuhan akan mist removal untuk menghasilkan efisiensi tinggi,dan kebutuhan akan treatment atau penggunaan kembali liquid pencuci. Tabel 2.1 merangkum keunggulan dan kelemahan tersebut. Wet scrubber telah digunakan di berbagai macam industri seperti acid plants, fertilizer plants, steel mills, asphalt plants, dan power plants skala besar.

Tabel 2.1 Keunggulan dan kelemahan wet scrubber relatif terhadap alat pengendali polusi lainnya

Keunggulan	Kelemahan
<p>Kebutuhan tempat kecil</p> <p>Scrubber mengurangi temperatur dan volume arus gas produser. Oleh karena itu, ukuran vessel termasuk fan dan duct yang mengarah downstream lebih kecil daripada yang terdapat di alat lain. Ukuran yang lebih kecil menghasilkan biaya pokok yang lebih kecil dan lebih fleksibel dalam penempatan lokasi.</p>	<p>Masalah korosi</p> <p>Air dan polutan terlarut dapat membentuk suatu senyawa asam yang sangat korosif. Konstruksi material yang sesuai sangat penting, dan juga area yang rentan akan keadaan basah-kering dapat menimbulkan korosif.</p>
<p>Tidak ada sumber pengotor kedua</p> <p>Begitu partikel terkumpul, partikel tidak dapat keluar selama proses berjalan.</p>	<p>Kebutuhan power tinggi</p> <p>Efisiensi pembuangan tinggi untuk partikel padat hanya dapat dicapai pada pressure drop yang tinggi, yang berujung pada biaya operasi yang tinggi.</p>

Dapat mengatasi gas dengan temperatur tinggi dan humiditas tinggi. Tidak ada batas temperatur atau masalah kondensasi yang terjadi seperti pada baghouse atau ESPs.	Masalah pembuangan air Kemungkinan dibutuhkan penetral limbah air bekas pencucian (untuk skala besar) agar tidak mencemari lingkungan.
Minimal akan kecelakaan ledakan. Beberapa jenis pengotor kering mudah terbakar. Menggunakan air dapat menghilangkan kemungkinan ledakan.	
Kemampuan untuk mengumpulkan kedua jenis pengotor gas dan pertikel padat.	

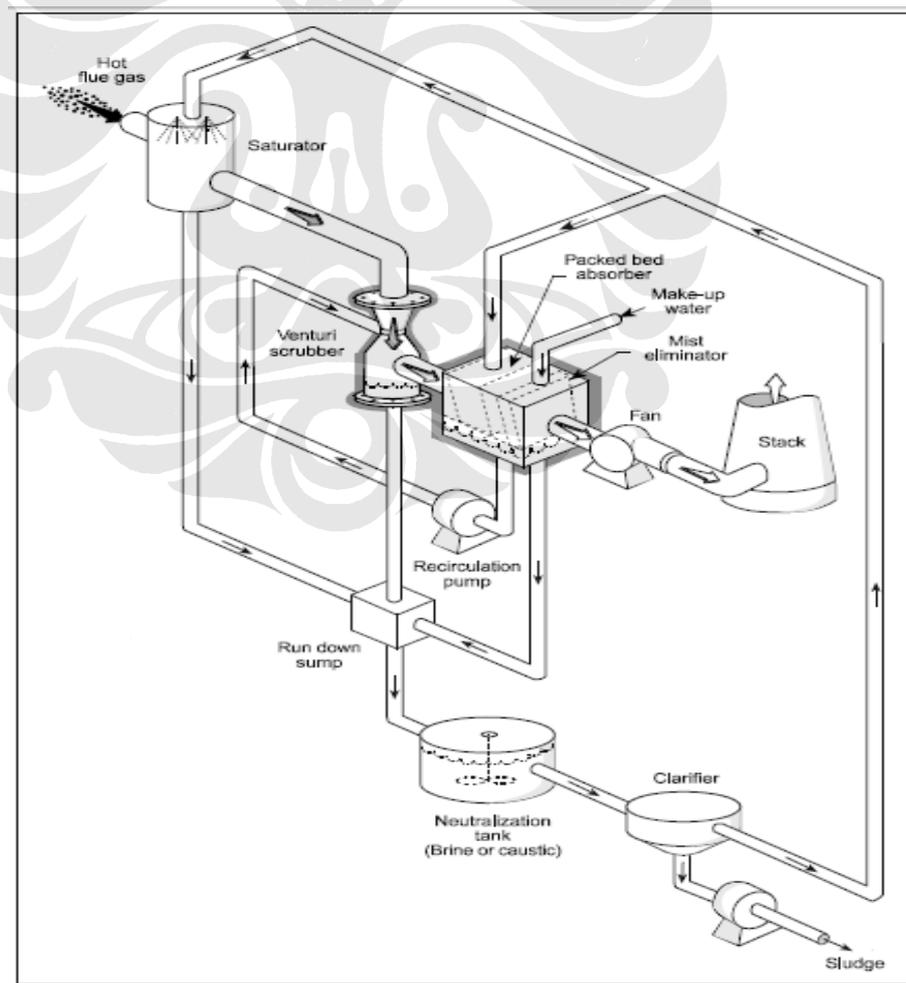
(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

II.1.1 Sistem Wet Scrubber

Wet scrubber systems secara umum terdiri dari komponen-komponen berikut ini :

- *Ductwork* dan sistem fan.
- *Saturation chamber* (pilihan)
- *Scrubbing vessel*
- Mist eliminator
- Pumping (dan sistem recycle yang mungkin)
- *Treatment* scrubbing liquid yang terpakai dan /atau sistem penggunaan kembali
- *Exhaust stack*

Gambar 2.3 menggambarkan proses kerja wet scrubber secara umum. *Flue gas* panas mengalir menuju saturator dimana gas didinginkan dan dilembapkan sebelum masuk area scrubbing. Selanjutnya, gas masuk menuju venturi scrubber dimana kurang lebih setengah volume gas dibuang. Pada waktu dimana gas keluar venturi, 95% partikel pengotor telah dibuang. Gas mengalir menuju scrubber kedua, packed bed absorber, dimana gas dan partikel yang tersisa dikumpulkan. Mist eliminator mengangkat droplet scrubbing liquid (air) yang mungkin terbawa dalam flue gas atau produser gas. Pompa sirkulasi memompa sebagian dari scrubbing liquid kembali ke venturi scrubber dan disirkulasikan kembali, sedangkan sisanya dialirkan menuju sistem treatment. Setelah itu, scrubbing liquid yang telah ditreatment disirkulasikan kembali menuju saturator dan packed bed absorber. Fan dan ductwork menggerakkan arus produser gas mengalir melalui sistem dan keluar menuju cerobong.



Gambar 2.3 Contoh sistem wet scrubber

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

Karena wet scrubber sangat bervariasi baik dalam kompleksitas dan metode operasi, mengkategorikannya dalam kelompok yang benar-benar sesuai sangatlah sulit. Scrubber untuk pengumpulan partikel biasanya dikategorikan dengan *gas-side pressure drop* dari sistem. Gas-side pressure drop diartikan sebagai perbedaan tekanan, atau pressure drop, yang terjadi sebagai akibat dari gas yang ditekan atau ditarik di sepanjang scrubber, dengan mengabaikan tekanan yang digunakan untuk memompa atau menyemprot liquid kedalam scrubber. Klasifikasi scrubber berdasarkan pressure drop adalah sebagai berikut :

- *Low-energy scrubber* yang memiliki pressure drop kurang dari 12,7 cm (5 in.) kolom air.
- *Medium-energy scrubber* yang memiliki pressure drop antara 12,7 dan 38,1 cm (5 dan 15 in.) kolom air.
- *High-energy scrubber* yang memiliki pressure drop lebih besar dari 38,1 cm (15 in.) kolom air.

Bagaimanapun juga, kebanyakan scrubber beroperasi dengan range pressure drop yang lebar, tergantung pada aplikasi spesifiknya, maka membuat kategori seperti ini sangatlah sulit. Cara lain untuk mengklasifikasikan wet scrubber adalah dengan penggunaannya untuk mengumpulkan polutan partikel padat atau gas. Sekali lagi, perbedaan ini tidak selalu jelas karena scrubber dapat digunakan untuk membuang kedua jenis polutan.

II.1.2 Prinsip Operasi Wet Scrubber

Wet scrubber membuang polutan partikel dari arus gas dengan menangkap partikel tersebut dalam tetesan/butiran liquid atau lapisan scrubbing liquid (biasanya air) lalu memisahkan tetesan air tersebut dari arus gas. Beberapa variabel proses mempengaruhi penangkapan partikel; variabel tersebut adalah

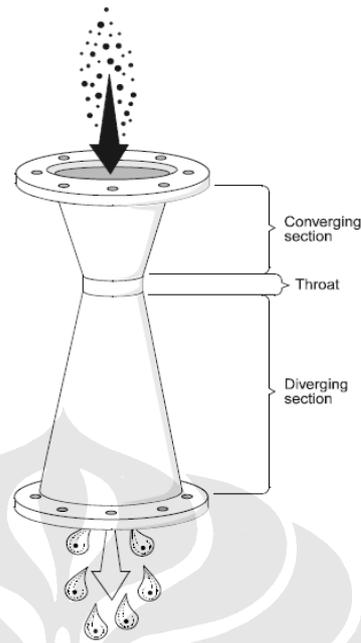
ukuran partikel, ukuran droplet liquid, dan kecepatan relatif partikel dengan droplet liquid, dengan ukuran polutan partikel menjadi parameter yang paling. Secara umum, partikel yang lebih besar lebih mudah untuk ditangkap daripada yang lebih kecil. Kunci dari penangkapan partikel yang efektif pada wet scrubber adalah dengan menciptakan kabut atau droplet kecil yang bertindak sebagai target pengumpul : biasanya, makin kecil droplet dan makin banyak droplet yang tercipta, makin baik kemampuan untuk menangkap partikel berukuran kecil.

Penangkapan partikel secara umum meningkat seiring dengan tingginya energi sistem yang digunakan karena energi dibutuhkan untuk memproduksi kabut droplet air. Kecepatan relatif yang tinggi antara partikel dan droplet liquid (partikel bergerak cepat terhadap droplet liquid) juga mendukung pengumpulan partikel.

Untuk pengumpulan atau pembuangan polutan gas, polutan tersebut harus mudah terlarut dalam liquid yang dipilih. Sebagai tambahan, sistem harus didesain sedemikian rupa agar dapat menyediakan pencampuran yang baik antara fase gas dan liquid, dan waktu yang cukup (*residence time*) untuk polutan gas dapat larut. Pertimbangan lain yang cukup penting untuk kedua jenis pengumpulan polutan adalah jumlah liquid yang digunakan atau diinjeksikan ke dalam scrubber per volume gas yang dihasilkan (disebut juga sebagai *liquid-to-gas ratio*) dan pembuangan tetesan air yang terbawa dalam gas. *liquid-to-gas ratio* sangat penting untuk menjamin jumlah liquid agar cukup untuk pembuangan polutan yang efektif.

II.1.3 Venturi Scrubbers

Venturi scrubber didesain sedemikian rupa untuk secara efektif menggunakan energy yang berasal dari arus gas exhaust atau produser gas untuk mengatomisasi scrubbing liquid. Peralatan venturi telah digunakan selama lebih dari 100 tahun untuk mengukur aliran fluida (nama tabung venturi berasal dari G. B. venture, seorang ilmuwan italia). Sekitar 35 tahun yang lalu, Johnstone (1949) dan peneliti lainnya menemukan bahwa mereka dapat secara efektif menggunakan konfigurasi venture untuk membuang partikel pengotor dari arus gas exhaust. Gambar 2.4 menggambarkan konfigurasi venturi klasik.



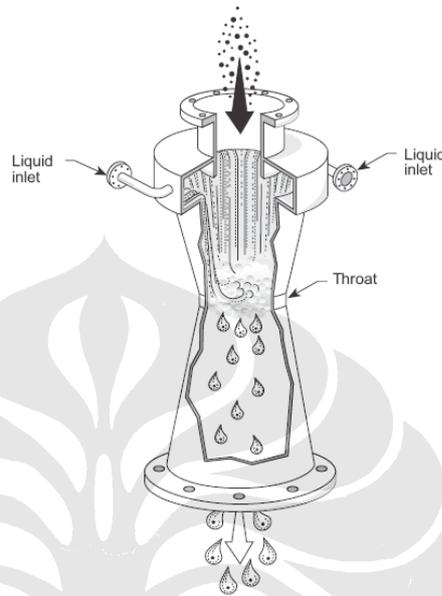
Gambar 2.4 Konfigurasi venturi

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

Sebuah venturi scrubber terdiri dari 3 bagian : bagian *converging*, *throat*, dan *diverging*. Gas exhaust masuk menuju bagian *converging* dan seiring luas area mengecil maka kecepatan meningkat. Liquid pencuci gas dimasukkan pada bagian *throat* atau pintu masuk menuju bagian *converging*. Gas exhaust, yang dipaksa masuk dengan kecepatan sangat tinggi pada bagian *throat* yang sangat kecil, menyemprot liquid pada dinding venturi dan menghasilkan droplet sangat kecil dalam jumlah sangat banyak. Pemisahan partikel dan gas terjadi pada bagian *throat* dimana gas exhaust bercampur dengan kabut droplet dari scrubbing liquid. Gas exhaust kemudian keluar menuju bagian *diverging* dimana gas dipaksa untuk melambat. Venturi dapat digunakan untuk memisahkan partikel dan gas, namun lebih efektif untuk memisahkan partikel daripada gas.

Liquid dapat diinjeksikan pada bagian *converging* atau *throat*. Gambar 2.5 menunjukkan liquid diinjeksikan pada bagian *converging*. Lalu liquid melapisi *throat* venturi dan membuat venturi sangat efektif mengatasi gas exhaust yang

panas, kering dan mengandung debu. Kalau tidak, debu akan memiliki kecenderungan untuk menumpuk atau mengabrasi throat yang kering. Venturi seperti ini terkadang disebut memiliki pendekatan basah atau *wetted approach*.



Gambar 2.5 Venturi scrubber dengan throat basah
(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

II.2 Metode Pengumpulan Partikel

Wet scrubber menangkap partikel debu yang kecil relatif terhadap butiran liquid yang besar. Di kebanyakan wet scrubber, droplet yang dihasilkan biasanya adalah lebih dari 50 micrometer (dalam range 150 – 500 micrometer). Sebagai tolak ukur, ukuran diameter rambut manusia berkisar antara 50 sampai 100 micrometer. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung dari sumber. Contohnya, partikel yang dihasilkan dari peralatan mekanik (crush atau grind) cenderung besar (di atas 10 micrometer); sedangkan partikel yang berasal dari combustion atau reaksi kimia akan memiliki partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submikrometer. Ukuran partikel yang paling kritis adalah antara 0,1 – 0,5 micrometer karena partikel dengan ukuran tersebut adalah yang paling sulit dikumpulkan atau dibuang oleh wet scrubber.

Droplet atau butiran air dihasilkan dengan beberapa metode sebagai berikut :

- Injeksi liquid pada tekanan tinggi melalui nozzle yang didesain khusus.
- Mengalirkan arus gas menuju kolam liquid.
- Membenamkan rotor yang berputar dalam kolam liquid.

Droplet – droplet tersebut mengumpulkan partikel dengan menggunakan satu atau lebih mekanisme pengumpulan. Mekanisme tersebut adalah impaction, direct interception, diffusion, electrostatic attraction, condensation, centrifugal force, dan gravity, yang akan dijelaskan pada tabel 2.2 di bawah ini. Namun impaction dan diffusion dua mekanisme yang utama.

Tabel 2.2 Mekanisme pengumpulan partikel

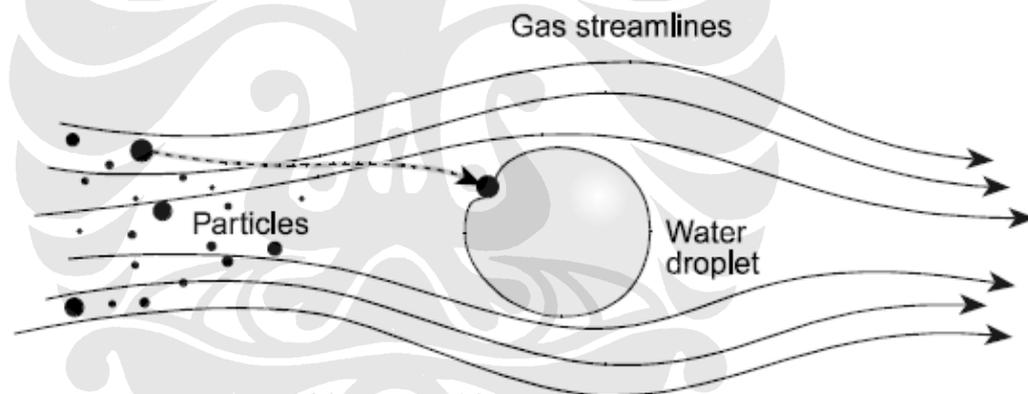
Mekanisme	Penjelasan
<i>Impaction</i>	Partikel yang terlalu besar untuk mengalir disepanjang arus streamline gas di sekitar droplet akan bertubrukan dengannya.
Difusi	Partikel yang sangat kecil bergerak secara acak , bertubrukan dengan droplet karena mereka terkurung dalam ruang yang terbatas.
<i>Direct interception</i>	Kelanjutan dari mekanisme impaction. Titik pusat partikel mengikuti streamline sekitar droplet, namun peleburan terjadi jika jarak antara partikel dan droplet kurang dari radius partikel.
<i>Electrostatic attraction</i>	Partikel dan droplet menjadi saling berlawanan dan tertarik satu sama lain.
Kondensasi	Ketika gas panas menjadi dingin dengan cepat, partikel dalam arus gas dapat bertindak sebagai inti kondensasi, dan akhirnya semakin besar.
Gaya sentrifugal	Bentuk atau kurvatur dari sistem menyebabkan arus gas berputar dalam gerakan spiral, melemparkan partikel besar ke dinding sistem.

Gravitasi	Partikel yang cukup besar dan bergerak lambat akan jatuh dan dikumpulkan.
-----------	---

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

II.2.1 Impaction

Pada sistem wet scrubber, partikel debu cenderung untuk mengikuti streamline dari arus gas. Namun, ketika droplet liquid diinjeksikan ke dalam arus gas, partikel tidak dapat selalu mengikuti streamline tersebut karena partikel akan menyimpang di sekitar droplet (gambar 2.6). Massa partikel menyebabkan partikel labil dari streamline dan *impact* atau menabrak droplet.



Gambar 2.6 *Impaction*

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

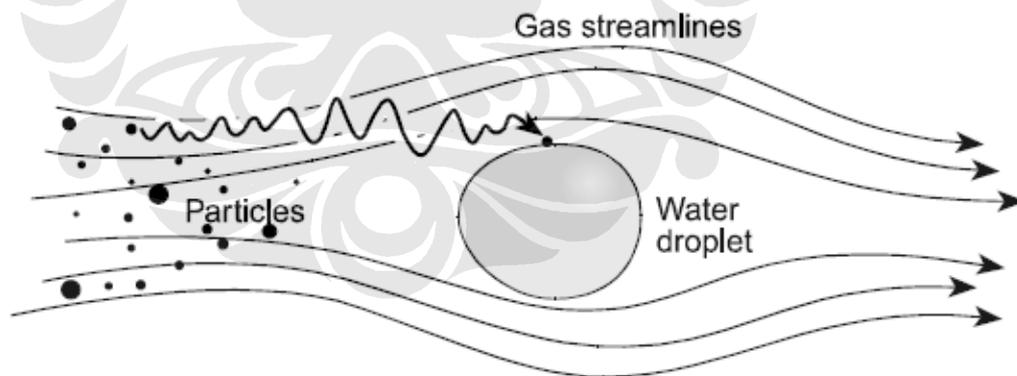
Impaction meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran diameter partikel dan kecepatan relatif antara partikel dan droplet. Semakin besar ukuran partikel, makin susah ia untuk mengikuti arus streamline di sekitar droplet. Dan juga jika partikel bergerak lebih cepat relatif terhadap droplet liquid, maka kesempatan partikel akan menabrak droplet semakin besar. Impaction adalah mekanisme pengumpulan yang paling dominan untuk scrubber yang memiliki

kecepatan arus gas lebih dari 0.3 m/s (1 ft/s) (Perry 1973). Kebanyakan scrubber memang beroperasi dengan kecepatan di atas 0.3 m/s. Oleh karena itu, pada kecepatan ini, partikel dengan diameter lebih besar dari 1.0 μm dapat terkumpul oleh mekanisme ini.

Impaction juga meningkat seiring berkurangnya ukuran droplet liquid, karena kehadiran droplet yang lebih banyak di dalam vessel meningkatkan kecenderungan partikel akan menabrak droplet.

II.2.2 Diffusion

Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0.1 μm dalam diameter) selalu bergerak secara acak dalam arus gas. Partikel-partikel tersebut sangat kecil sehingga seperti menyatu dengan molekul gas saat bergerak dalam arus gas. Sifat bercampur tersebut menyebabkan partikel tersebut untuk bergerak satu arah dahulu lalu arah lain dalam gerakan acak, atau terdifusi, di dalam gas. Gerakan tidak beraturan ini dapat menyebabkan partikel bertubrukan dengan droplet dan terkumpul (gambar 2.7). Karena itu, difusi adalah mekanisme pengumpulan utama untuk wet scrubber untuk partikel lebih kecil dari 0.1 μm .



Gambar 2.7 Difusi

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

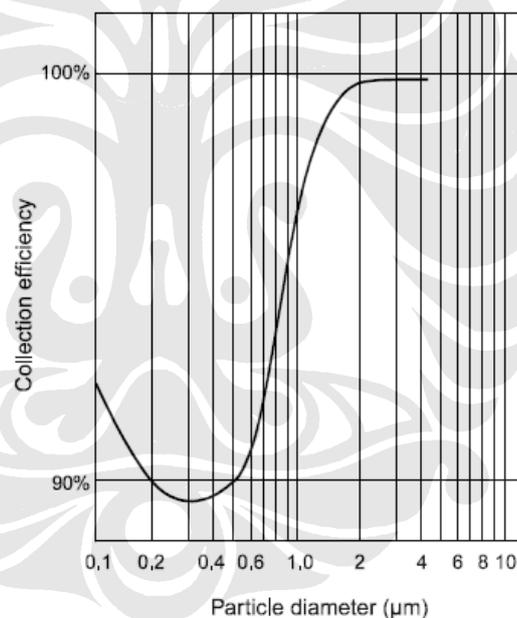
Laju difusi tergantung pada :

- Kecepatan relatif antara partikel dan droplet.
- Diameter partikel.

- Diameter droplet.

Untuk Impaction dan difusi, collection efficiency meningkat seiring meningkatnya kecepatan relatif (input tekanan liquid atau gas) dan penurunan ukuran liquid-droplet.

Bagaimanapun juga, pengumpulan polutan dengan cara difusi meningkat seiring menurunnya ukuran partikel. Mekanisme ini memungkinkan scrubber tertentu untuk secara efektif membuang partikel yang sangat kecil (kurang dari 0.1 μm). Dalam range partikel kira-kira 0.1 – 1.0 μm , tidak ada mekanisme pengumpulan yang mendominasi baik impaction atau difusi. Hubungan ini digambarkan dalam gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva hipotesis yang menggambarkan hubungan antara ukuran partikel dan collection efficiency untuk wet scrubber (sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

II.2.3 Mekanisme Pengumpulan Lainnya

Beberapa tahun terakhir ini, beberapa produsen manufaktur scrubber telah menelaah mekanisme pengumpulan yang lain seperti *electrostatic attraction* dan *condensation* untuk memaksimalkan pengumpulan partikel tanpa meningkatkan konsumsi power. Pada *electrostatic attraction*, partikel ditangkap dengan cara discharge terlebih dahulu. Lalu, partikel yang telah terisi akan terikat satu sama lain, membentuk partikel yang lebih besar dan mudah untuk dikumpulkan, atau terkumpul di permukaan. *Condensation* uap air pada partikel memicu pengumpulan dengan menambah massa pada partikel. Mekanisme lain seperti gravitasi, gaya sentrifugal, dan *direct interception* sedikit mempengaruhi pengumpulan partikel.

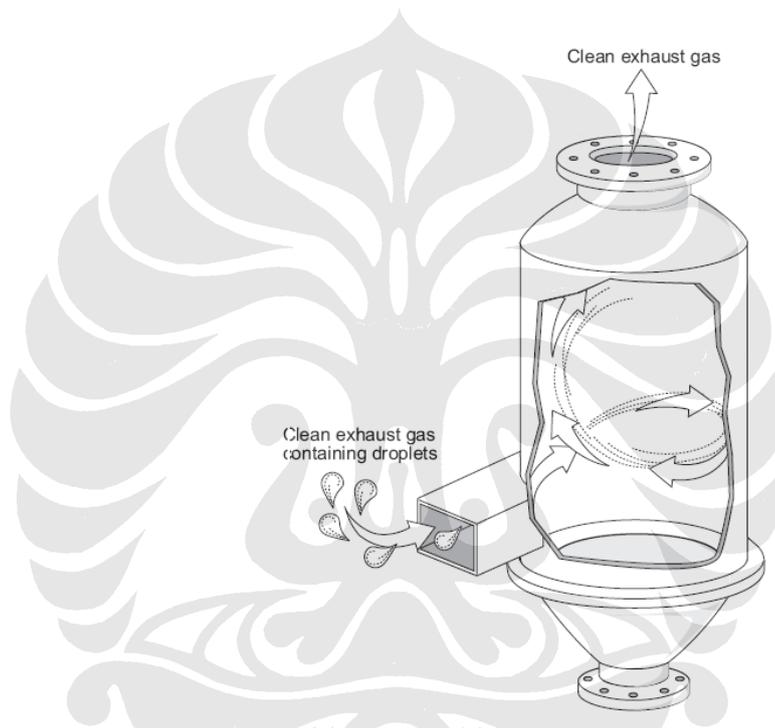
II.3 Entrainment Separator

Seperti telah disebutkan sebelumnya, polutan pertama-tama harus kontak dengan liquid, lalu droplet liquid harus dipisahkan dari gas sebelum gas dapat digunakan. Entrainment separator atau disebut juga *mist eliminator* digunakan untuk memisahkan droplet liquid dari gas. Walaupun fungsi utama Entrainment separator adalah untuk mencegah liquid yang terbawa dalam gas, namun juga sebagai fungsi scrubber tambahan dan mengganti cairan scrubbing, sehingga dapat menghemat biaya operasi. Oleh karena itu, entrainment separator biasanya adalah bagian terintegrasi dari sistem wet scrubbing apapun.

Liquid yang terbawa memiliki ukuran yang bervariasi tergantung bagaimana droplet terbentuk. Droplet yang terbentuk secara fisik dari liquid (air) cukup besar (10 – 100 μm dalam diameter), sedangkan droplet yang terbentuk akibat reaksi kimia atau kondensasi berdiameter sekitar 5 μm atau kurang. Sejumlah tipe entrainment separator mampu memisahkan droplet tersebut, yang paling banyak digunakan untuk tujuan pengendalian polusi udara adalah cyclonic, mesh-pad, dan blade separator.

Cyclonic (centrifugal) separator yang biasanya digunakan bersama venturi scrubber, adalah sebuah tanki silinder dengan inlet tangensial dan vane pembelok. Inlet tangensial atau vane pembelok menciptakan gerakan memutar pada

campuran arus gas-droplet. Droplet akan terlempar menuju dinding silinder akibat gaya centrifugal. Pada gambar 2.9 terlihat bahwa droplet bersatu dan jatuh turun dari dinding silinder menuju pusat lokasi dan akan didaur ulang. Konstruksi seperti ini tidak memiliki part atau bagian bergerak. Namun, memiliki masalah plugging atau penyumbatan bila terus digunakan secara kontinu. Pemisahan yang baik dari droplet berdiameter 10 – 25 μm dapat dilakukan. Pressure drop di sepanjang separator adalah 10 – 15 cm (4 -6 in.) kolom air atau 98 % efisiensi pemisahan droplet pada range ukuran 20 – 25 μm .



Gambar 2.9 Cyclonic separator

(sumber : Gerald T. Joseph, Scrubber system operation review Self-instructional manual, North Carolina State University)

II.4 Parameter Desain

Parameter yang mempengaruhi performa wet scrubber secara keseluruhan adalah :

- *Waste gas flow rate, temperature dan humidity*
- Kecepatan gas dan *pressure drop*
- *Liquid-to-gas (L/G) ratio*

- *Residence time*
- *Droplet size*; dan
- Persamaan Pressure drop

Performa suatu jenis scrubber tertentu sangat tergantung pada distribusi ukuran partikel pengotor dalam arus gas produser. Distribusi ukuran menentukan mekanisme penangkapan yang mendominasi seperti impaction, interception, atau diffusion. Kebanyakan desain wet scrubber mengandalkan hampir secara keseluruhan pada inertial impaction untuk pengumpulan partikel. partikel berukuran lebih kecil dari 0.1 μm paling banyak tertangkap melalui mekanisme difusi.

II.4.1 Waste Gas Flow Rate, Temperature, dan Humidity

Laju aliran arus gas produser adalah parameter untuk pengukuran dimensi yang paling penting pada wet scrubber. Makin tinggi laju aliran gas, makin besar sistem venturi dan volume scrubbing liquid yang dibutuhkan untuk mencuci gas. Wet scrubber beroperasi pada laju alir gas lebih kecil daripada baghouses atau ESPs karena injeksi liquid.

Temperatur gas produser dan humiditas juga berpengaruh pada desain venture. Ketika udara melewati wet scrubber, air menguap dan menyebabkan humiditas meningkat dan mendinginkan arus gas. Jumlah penguapan ditentukan oleh temperatur inlet dan humiditas. Laju penguapan yang tinggi akan meningkatkan konsumsi air yang dibutuhkan atau liquid-to-gas ratio. Untuk aplikasi pembuangan partikel, wet scrubber secara umum terbatas pada range temperatur 50°F - 700°F karena penguapan. Quencher mungkin dibutuhkan untuk aplikasi temperatur lebih tinggi. Temperatur tinggi mempengaruhi material yang digunakan untuk membuat scrubber.

II.4.2 Kecepatan Gas dan Pressure Drop

Meningkatkan kecepatan relatif antara gas dan droplet liquid meningkatkan momentum partikel, menyebabkan partikel lebih kecil untuk terkumpul oleh mekanisme impaction. Kecepatan relatif dapat ditingkatkan

dengan cara mempersempit throat, menginjeksikan liquid counter-current ke aliran gas, atau menyemprot liquid ke throat. Namun, meningkatkan kecepatan relatif biasanya meningkatkan pressure drop, kebutuhan energi, dan biaya operasi scrubber.

II.4.3 Liquid-to-Gas Ratio

Liquid-to-gas ratio (L/G) adalah volume liquid yang diinjeksikan per volume gas masuk. Secara umum, L/G ratio meningkatkan collection efficiency karena density droplet di sepanjang area permukaan tertentu pada scrubber lebih tinggi. Laju aliran liquid antara 7 dan 10 gal/1000ft³ memberikan performa maksimal. L/G ratio pada range ini menghasilkan collection efficiency cukup konstan pada pressure drop yang konstan. Walaupun meningkatkan L/G ratio akan meningkatkan collection efficiency sampai batas tertentu, hal ini akan meningkatkan biaya operasi karena penggunaan scrubbing liquid yang besar dan penggunaan pompa.

II.4.4 Residence Time

Menambah panjang throat dan bagian diverging, meningkatkan waktu kontak antara liquid dan partikel pengotor dalam arus gas. Untuk sistem energi tinggi, direkomendasikan panjang bagian diverging dari throat minimal 4 kali lebar throat agar memenuhi waktu kontak yang cukup.

II.4.5 Droplet Size

Terdapat ukuran droplet optimum untuk memaksimalkan pengumpulan partikel. Droplet lebih kecil memiliki permukaan lebih besar terhadap rasio volume, maka akan menangkap partikel lebih banyak per volume yang diinjeksikan. Bagaimanapun juga, jika ukuran droplet terlalu kecil, momentum dari arus gas dapat berpindah ke droplet yang akan menurunkan kecepatan relatif antara droplet dan partikel. Sedangkan kecepatan relatif rendah menghasilkan collection efficiency yang rendah pula.

II.4.6 Persamaan Pressure drop

Persamaan pressure drop yang paling banyak dipakai untuk venturi scrubber adalah :

$$\Delta P = k v^2 \rho_g \left(\frac{L}{G} \right) \quad (2.1)$$

ΔP = Pressure drop di sepanjang venturi

v = Kecepatan di throat

ρ_g = Density gas

L/G = Rasio liquid-gas

k = Faktor korelasi untuk scrubber tertentu

Persamaan lain yang lebih luas diterima untuk memperkirakan pressure drop di sepanjang venturi scrubber diperkenalkan oleh Calvert :

$$\Delta P = 5.4 \times 10^{-4} v^2 \rho_g \left(\frac{L}{G} \right) \quad (2.2)$$