

Re-Desain Dust Collector dengan Cyclone System Untuk Pabrik Semen

Mukhtar Rahman, Rafiuddin Syam dan Jalaluddin

Program Studi Teknik Mesin Jurusan Mesin, Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10, Tamalanrea Makassar – 90245

Email: rafiuddin@internux.web.id

Abstrak

Pada pabrik semen, adanya debu semen yang bertebaran di sekitar lingkungan pabrik akan mencemari lingkungan dan akan menimbulkan banyaknya bahan semen yang tak termamfaatkan. Hal ini akan mengakibatkan kurang maksimalnya hasil produksi. Dust collector ini merupakan alat pengumpul debu yang murah karena hanya menerapkan cyclone system sebagai proses pemisahan debu semen dengan udara yang masuk secara bersamaan. Material semen akan terbawa masuk ke dalam tabung dust collector oleh isapan blower. Debu semen tersebut akan terpisah dengan mengubah gaya grafitasi menjadi gaya sentrifugal. Pada penulis ini akan dibuat redesain dust collector dengan metode cyclone system untuk memisahkan debu semen dari udara. Pabrik Semen dalam memproduksi semen menggunakan proses kering (dry process), seperti proses penghancuran (crushing), pengeringan (drying), penggilingan (milling) dan pencampuran material kering (dry blending). Proses-proses tersebut menghasilkan debu dalam jumlah yang sangat besar sehingga apabila dimanfaatkan maka akan meningkatkan hasil produksi dan mengurangi polusi. Sebagai alternatif digunakan mobile dust collector dengan system cyclone yang merupakan salah satu tipe peralatan pengumpul debu (dust collector) yang banyak digunakan pada material yang berbentuk bubuk. Akan tetapi pengumpul debu (dust collector) yang dimiliki oleh PT. Semen Tonasa sekarang ini masih bersifat konvensional dan kemungkinan terjadinya kehilangan semen masih sangat besar. Bertolak dari hal tersebut diatas, penulis mencoba untuk meredesain dust collector yang ada pada PT. Semen Tonasa. Redesain tersebut menitik beratkan desain pada tabung dust collector dan tabung vakum. Desain tabung dust collector yang ada di PT Semen Tonasa sampai saat ini kami belum menemukan referensinya sehingga kami mencoba meredesain sesuai dengan referensi yang telah ada. Sedangkan desain pada tabung vakum langsung berhubungan dengan pengepakan sehingga lebih praktis dan kemungkinan terjadinya kehilangan debu semen lebih kecil.

Kata kunci: Dust Collector, Cyclone System, blower

Pendahuluan

Negara Indonesia sebagai salah satu negara berkembang yang kaya akan sumber daya alam mineral, senantiasa melakukan pembangunan yang berkesinambungan seiring dengan laju pertumbuhan penduduknya. Bertolak dari hal tersebut, maka PT. Semen Tonasa yang merupakan salah satu perusahaan milik negara yang berada di kawasan timur Indonesia, tepatnya di Tonasa Pangkep Sulawesi Selatan terus melakukan peningkatan pengembangan industri pertambangan khususnya dalam memproduksi semen.

Semen merupakan bahan utama yang digunakan untuk membangun perumahan, gedung perkantoran, sarana transportasi dan lain-lain. Atas dasar itulah maka kuantitas dan kualitas semen harus terus ditingkatkan. Upaya yang perlu ditingkatkan adalah pengontrolan secara kontinu baik dari komposisi semen, maupun sarana produksinya. Kebutuhan terhadap produk semen sangat meningkat dalam berbagai sektor industri. Konsumsi semen dalam negeri diperkirakan naik 10 persen tahun ini. Tahun 2005 konsumsi semen dalam negeri mencapai 30,1 juta ton. Peningkatan penggunaan semen itu karena gencarnya pembangunan infrastruktur seperti proyek jalan tol maupun program pembangunan satu juta rumah, (*sumber : Repulika Online*). Meningkatnya kebutuhan semen tersebut mengakibatkan pabrik-pabrik penghasil semen memicu produksinya. Peningkatan produksi ini dibarengi dengan tingginya polusi yang ditimbulkan dan banyaknya debu-debu semen yang tak termamfaatkan.

Dewasa ini berbagai kasus pencemaran terhadap lingkungan banyak terjadi. Diantaranya pencemaran udara oleh industri polusif dalam bentuk emisi debu. Limbah debu ini dapat mengganggu kesehatan manusia dan makhluk lain di sekitarnya. PT. Semen Tonasa dalam memproduksi semen menggunakan proses kering (*dry process*), seperti proses penghancuran (*crushing*), pengeringan (*drying*), penggilingan (*milling*) dan pencampuran material kering (*dry blending*). Proses-proses tersebut menghasilkan debu dalam jumlah yang sangat besar sehingga apabila dimanfaatkan maka akan meningkatkan hasil produksi dan mengurangi polusi.

Sebagai alternatif digunakan mobile dust collector dengan cyclone system yang merupakan salah satu tipe peralatan pengumpul debu (*dust collector*) yang banyak digunakan pada material yang berbentuk bubuk. Akan tetapi pengumpul debu (*dust collector*) yang dimiliki oleh PT. Semen Tonasa sekarang ini kurang efektif dan masih konvensional serta kemungkinan terjadinya kehilangan semen masih sangat besar. (*sumber : PT. Semen Tonasa*).

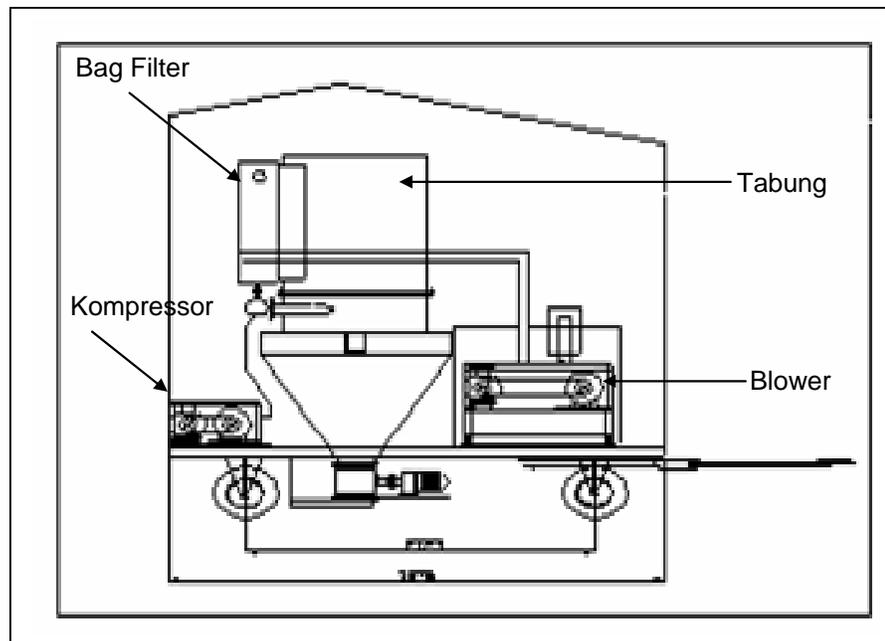
Bertolak dari hal tersebut diatas, penulis mencoba untuk meredesain dust collector yang ada pada PT. Semen Tonasa. Redesain tersebut menitik beratkan pada desain tabung dust collector dan tabung vakum serta proses pemanfaatan blower untuk mendistribusikan semen ke dalam pengepakan. Desain tabung dust collector yang ada di PT Semen Tonasa sampai saat ini belum ditemukan referensinya sehingga kami mencoba meredesain sesuai dengan referensi yang telah ada. Sedangkan desain pada tabung vakum langsung berhubungan dengan pengepakan sehingga lebih praktis dan kemungkinan terjadinya kehilangan debu semen lebih kecil.

Dust Collector Untuk Pabrik Semen

Dust Collector adalah suatu alat yang berfungsi untuk memisahkan material semen dengan udara bersih. Secara umum dust collector terdiri dari empat komponen utama yaitu: *blower*, tabung *dust collector*, kompresor dan *bag filter*.

Prinsip kerja dari dust collector ini adalah material semen yang berterbangan sebagai akibat proses pengepakan diisap oleh blower yang selanjutnya masuk ke dalam tabung dust collector, material semen yang telah bercampur dengan udara akan mengalir ke bawah dengan adanya gaya sentrifugal dan gaya gravitasi bumi.

Di dalam tabung dust collector terdiri dari beberapa bag filter yang berfungsi sebagai tempat menyaring material semen agar tidak terbawa ke dalam blower, dengan selang waktu tertentu material semen yang melekat pada bag filter disemprot dengan udara tekan yang dihasilkan oleh kompresor agar mengalir ke dalam tempat penampungan.

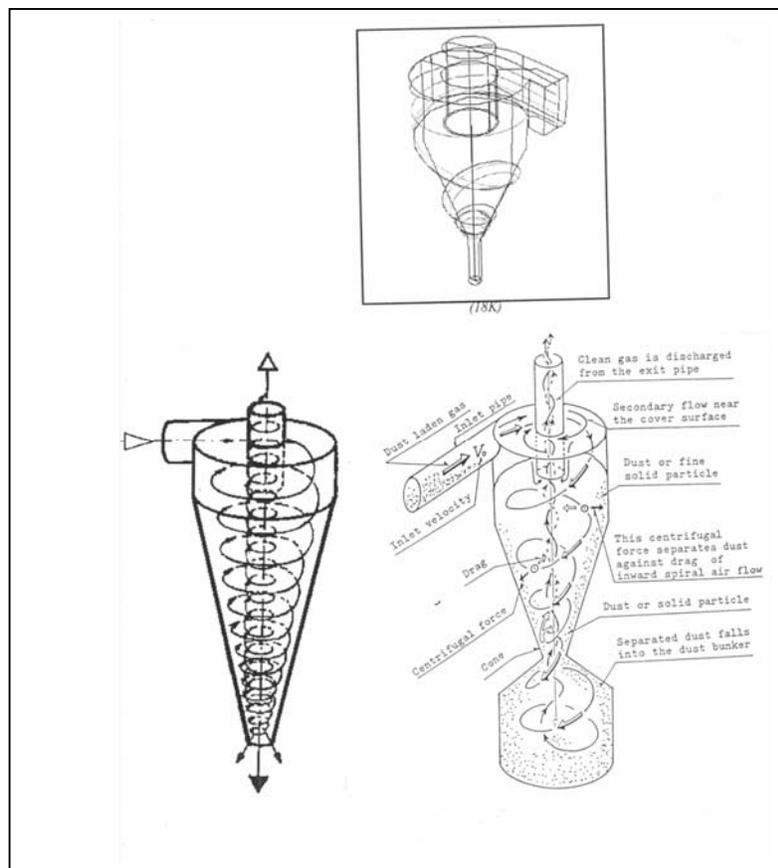


Gambar 1. Skema Dust Collector

Sistem Cyclone; Pengertian dan Fungsi Cyclone

Cyclone adalah salah satu tipe peralatan pengumpul debu (*dust collector*) yang banyak digunakan pada proses pengumpulan dari material yang berbentuk bubuk. Sebuah cyclone dapat memisahkan padatan dari aliran gas, karena adanya gaya sentrifugal. Pemisahan ini tidak hanya ditentukan oleh ukuran partikel, melainkan juga oleh densitas partikel. Sebuah cyclone dapat digunakan untuk melakukan pemisahan berdasarkan ukuran partikel, densitas atau keduanya. Cyclone biasanya terbuat dari bahan plat baja yang diroll, yang bagian atasnya berbentuk silinder dan bagian bawahnya berbentuk cone dengan sudut (15° - 20°), lihat gambar 2.

Gas yang mengandung debu (*dust*) masuk ke dalam cyclone secara tangensial pada salah satu titik atau lebih, dan dikeluarkan pada bagian atasnya melalui pipa pembuangan. Gaya sentrifugal melemparkan keluar partikel padat ke dinding cyclone. Sedangkan hasil produk akan tertampung pada bagian bawahnya. Partikel yang gagal memisah akan terikut terbawa oleh gas buang. Pada dasarnya cyclone merupakan suatu ruangan pengendapan, dimana percepatan gravitasi diubah menjadi percepatan sentrifugal.



Gambar 2. Model Cyclone separator

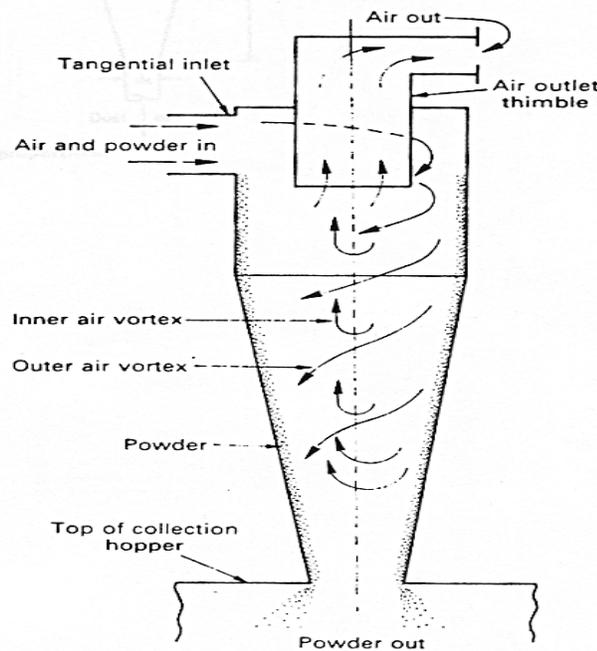
Cyclone umumnya didesain kecepatan inlet sekitar (20–70) ft/s, yang bekerja pada tekanan atmosfer dan tekanan inlet sekitar (5 – 120) psig. Prestasi (*performance*) sebuah cyclone dapat dilihat dari efisiensi pengumpulan (*collection efficiency*) yang dicapai oleh cyclone tersebut. Cyclone yang tidak efisien dalam pemakaiannya adalah bilamana cyclone tersebut tidak dapat mengumpulkan semua hasil semprotan (*spray*) yang terdapat pada dinding cyclone.

Pada pemisahan debu (*dust*), efisiensi pengumpulan dapat diubah menjadi jumlah yang relatif kecil dengan memvariasikan kondisi pengoperasian. Faktor utama dalam desain sebuah cyclone yang dapat digunakan untuk mengontrol efisiensi pengumpulan adalah diameter cyclone.

Cyclone dengan diameter yang lebih kecil yang bekerja dengan pressure drop yang tetap mempunyai efisiensi yang tinggi. Penambahan panjang cone sebuah cyclone juga dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan. Juga reduksi diameter pipa pembuangan gas, akan meningkatkan efisiensi dan pressure drop. Namun demikian penyebab utama dari prestasi (*performance*) cyclone yang jelek adalah terjadinya kebocoran pada dinding cyclone. Dimana kebocoran yang terjadi pada titik ini, meskipun kecil dapat menyebabkan turunnya efisiensi pengumpulan.

Karakteristik Cyclone

Aliran gas yang masuk ke dalam sebuah cyclone melibatkan suatu vorteks ganda double (*double vorteks*). Dimana campuran gas dan serbuk yang berbentuk spiral berputar ke arah bawah sisi luar, dan gas pembuangan berputar ke arah atas pada sisi dalam (lihat gambar 3).



Gambar 3. Bentuk aliran gas yang masuk dan keluar pada sebuah cyclone (Perry,1984)

Bilamana gas tersebut memasuki cyclone, maka kecepatan tangensialnya akan mengalami suatu peningkatan seiring dengan mengecilnya diameter cyclone. Hubungan tersebut dinyatakan dalam suatu persamaan empiris (Perry, Th 1984) :

$$V_{ct} = r^{-n} \text{ (ft/s) (1)}$$

Dimana, r = Jari-jari cyclone, n = Eksponen (= 0,5 – 0,7)

Kecepatan spiral tersebut di dalam cyclone dapat mencapai nilai beberapa kali rata-rata kecepatan masuk. Pada dinding cyclone, kecepatan gas mendekati nol, sedangkan kecepatan gas akan mencapai nilai maksimum pada suatu radius tertentu, yang berkurang dengan cepat pada radius yang lebih kecil.

c. Velocity head pada inlet cyclone

Velocity head yang terjadi pada inlet cyclone dapat dihitung dari persamaan empiris (Perry, Th 1984) :

$$H_{vi} = 0,00300 \cdot \rho \cdot V_c^2 \text{ (inchi H}^2\text{O) (2)}$$

dimana,

ρ = Densitas gas(udara) dan V_c = Kecepatan rata-rata gas pada inlet cyclone.

d. Pressure drop relatif dalam cyclone

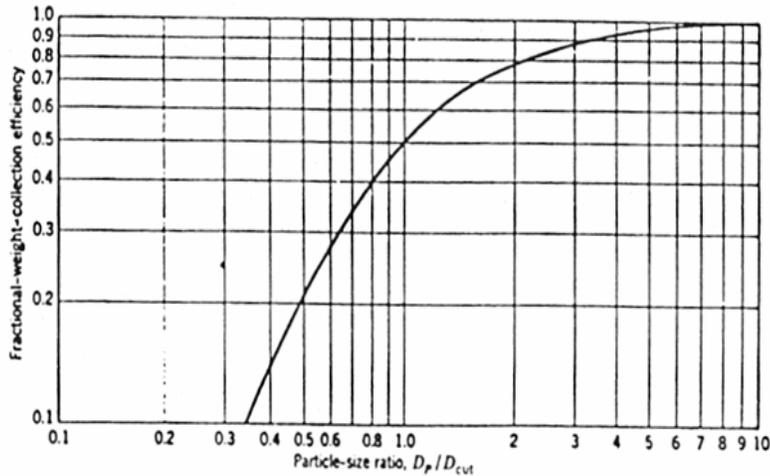
Besarnya pressure drop relatif yang terjadi dalam sebuah cyclone, dapat dihitung dari persamaan empiris (Perry, Th 1984)

$$\Delta P_{Pcv} = K.[Dc/D\theta]^2 \dots\dots\dots (3)$$

dimana, K = 3,2 dan perbandingan : Bc/Dc = 1/8 ÷ 3/8 dan Hc/Dc = 1,0 maka D\theta/Dc = 1/4 ÷ 3/4. Sedangkan untuk perbandingan D\theta/Dc << (sangat kecil) maka nilai K > 3,2 dan untuk perbandingan Bc/Dc << (sangat kecil) maka nilai K > 3,2.

e. Efisiensi pengumpulan (Collection Efficiency)

Penurunan tekanan dan efisiensi adalah berkaitan erat. Efisiensi pengumpulan suatu cyclone dapat diketahui dari gambar 3, jika diameter minimum serbuk yang dihasilkan diketahui, dan diameter partikel ketika efisiensi pengumpulan = 50 % (dpc) juga diketahui.



Gambar 4. Efisiensi pemisahan pada cyclone separator (Perry, Th 1984)

Untuk mengetahui diameter serbuk yang dihasilkan, dapat digunakan persamaan empiris (Perry, Th 1984)

$$Dp \text{ min} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot Bc}{\pi \cdot Nt \cdot Vc \cdot (\rho_s - \rho_c)}} \dots\dots\dots (4)$$

dimana, μ = Viskositas dinamis gas (udara), Nt = Jumlah putaran yang terjadi akibat aliran gas didalam cyclone, ρ_s = Densitas partikel (serbuk), ρ_c = Densitas gas (udara)

Sedangkan diameter partikel pada saat efisiensi pengumpulan = 50 % (dpc) dapat dihitung dari persamaan empiris (Perry J.H) :

$$Dpc = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot Bc}{2 \cdot \pi \cdot Ne \cdot Vc \cdot (\rho_s - \rho_c)}} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana, Ne = Nt dan Ne = Jumlah putaran efektif yang terjadi akibat aliran udara di dalam cyclone. Suatu metode estimasi untuk mendapatkan nilai Ne (Wadden Richard. A and Scheff Peter. A)

$$Ne = \frac{1}{Hc} \cdot \left[Lc + \frac{Zc}{2} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Nilai Ne dapat dianggap sebagai suatu ukuran perkiraan keefektifan dalam mendesain sebuah cyclone. Beberapa data pabrik dan hasil pengujian pada laboratorium, diperoleh nilai Ne = 5, tetapi dalam pengujiannya diperoleh Ne > 10. Untuk cyclone dengan proporsi seperti pada gambar 2 sekitar 5 ÷ 6.

Aliran Fluida dalam pipa

Fluida adalah zat yang tidak dapat menahan tegangan geser yang dikerjakan padanya sehingga selama gaya ini bekerja maka fluida ini akan bergerak dan berubah bentuk secara terus-menerus. Secara umum fluida dapat dibedakan ke dalam dua macam bentuk, yaitu zat cair dan gas. Perbedaan antara keduanya bersifat teknis, yaitu berhubungan dengan akibat gaya kohesif. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya dan akan membentuk permukaan bebas dalam medan gravitasi jika tidak tertutup dari atas, karena zat cair terdiri atas molekul-molekul tetap rapat dengan gaya kohesi yang relatif kuat. Sedangkan pada gas, karena jarak antara molekul-molekulnya besar dan gaya kohesinya terabaikan, gas akan memuai dengan bebas sampai tertahan oleh dinding yang mengukurngnya, gas tidak dapat membentuk permukaan bebas. Karena itu, aliran gas jarang dikaitkan dengan efek gravitasi selain apungan. (White, 1988).

Viskositas gas meningkat seiring dengan naiknya suhu, tetapi viskositas cairan berkurang dengan naiknya suhu. Hal ini disebabkan karena tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada gaya kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Sifat kohesi cairan yang lebih besar dari gas seiring dengan kenaikan suhu akan berkurang, sedangkan gas, akibat gaya kohesi yang sangat kecil, maka sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan molekular. Viskositas dikenal dalam dua pembagian secara umum, yaitu :

Viskositas Kinematis dapat diformulasikan sebagai berikut

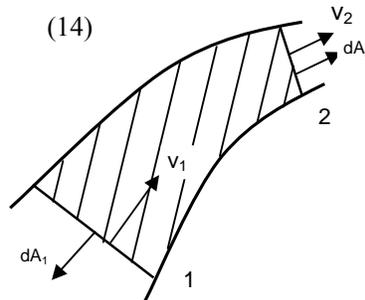
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

Viskositas Dinamis

$$\mu = \frac{\tau}{\partial u / \partial y} \quad (\text{N.s/m}^2) \quad \dots\dots\dots (13)$$

Persamaan kontinuitas yang diterapkan pada dua penampang di sepanjang sebuah tabung dalam aliran stedi dinyatakan melalui persamaan

$$\rho_1 \cdot u_1 \cdot dA_1 = \rho_2 \cdot u_2 \cdot dA \quad \dots\dots\dots (14)$$



Gambar 5. Aliran stedi melalui tabung bundar
Sumber : Streeter,(1999).

Kecepatan rata-rata pada suatu penampang diberikan oleh :

$$V = \frac{1}{A} \int u dA \quad (\text{m/s}^2) \quad \dots\dots\dots (15)$$

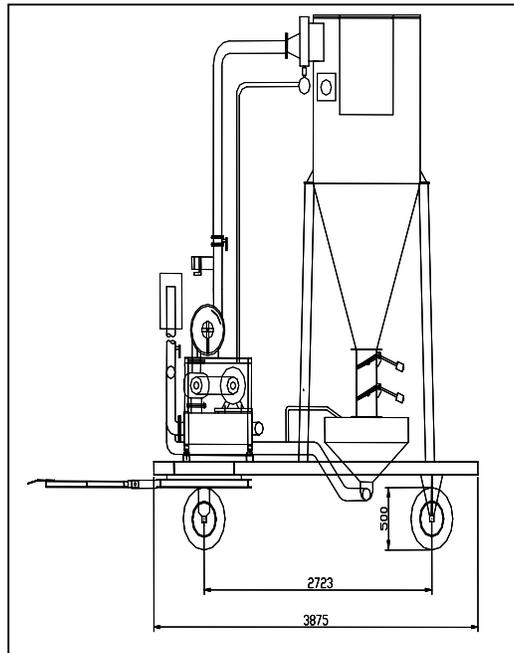
Debit Q (laju aliran volumetrik) didefenisikan sebagai :

$$Q = A \cdot V \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \dots\dots\dots (16)$$

Untuk aliran stedi tak mampu mampat

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad \dots\dots\dots (17)$$

Desain dust Collector



Gambar 6 . Desain Dust Collector

PEMBAHASAN

A. Proses Terpisahnya Debu Semen dari Udara

Debu semen yang masuk ke dalam tabung dust collector dengan kecepatan tertentu akan mengalir secara sentrifugal. Udara yang membawa debu semen tersebut akan terlempar secara sentrifugal sehingga akan berkumpul di sekitar dinding tabung dust collector dan pada massa tertentu akan jatuh ke bagian bawah cone karena adanya gaya gravitasi. Bentuk cone pada sisi bawah dinding tabung dust collector memungkinkan tertampungnya debu semen dan akan mengalir ke dalam tabung penampungan seiring dengan pertambahan massa debu semen. Debu semen yang ukuran partikelnya kecil dan masih melekat pada dinding tabung dust collector akan terbawa kembali oleh kecepatan udara yang akan di teruskan ke outlet.

B. Perbedaan Proses Kerja Dust Collector PT Semen Tonasa dengan Dust Collector Hasil Redesain

Pada dust collector PT Semen Tonasa, udara terisap oleh blower dan masuk ke inlet cyclone yang akan mengalir secara sentrifugal. Udara yang membawa debu semen tersebut akan mengalir ke dalam talang penampungan melalui rotary slice secara perlahan-lahan agar tidak ada kebocoran udara sehingga debu semen yang akan mengalir ke talang tidak terbawa lagi oleh udara tersebut. Debu semen yang tidak sempat berkumpul pada dinding tabung dust collector akan terbawa oleh udara yang akan diteruskan ke dalam blower. Sebelum masuk ke dalam blower dipasang bag filter yang berguna untuk menyaring debu semen tersebut agar tidak masuk ke dalam blower bersama udara yang akan mengganggu kinerja dari blower. Debu semen yang mempunyai ukuran partikel sangat kecil akan tersaring di bag filter dan pada periode waktu tertentu kompressor akan menekan bag filter tersebut dengan udara yang telah dikompresi dengan tekanan tertentu agar debu semen yang menempel dapat terlepas dan mengalir ke dalam talang penampungan. Debu semen yang telah tertampung dalam talang selanjutnya ditarik keluar agar dapat dipindahkan ke tempat pengepakan.

Sedang pada hasil redesain yang sesuai dengan referensi yang ada memungkinkan koefisien kerugian pada inlet cyclone lebih kecil. Udara akan mengalir secara sentrifugal di dalam tabung dust collector sehingga dengan kecepatan tertentu udara yang membawa debu semen akan menabrak

dinding-dinding tabung dust collector. Debu semen tersebut akan berkumpul pada dinding tersebut dan pada berat tertentu akan mengalir ke bagian cone yang mempunyai sudut tertentu. Cone tersebut berfungsi tempat penampungan debu semen yang jatuh dan pada volume tertentu akan meluncur ke dalam *gravity valve*.

Gravity valve berfungsi mengatur masuknya kumpulan semen ke dalam tabung vakum dan mencegah adanya kebocoran udara yang akan mengakibatkan debu semen tersebut akan terbawa ke dalam blower. Debu semen yang terbawa oleh udara karena ukuran partikelnya yang terlalu kecil kemudian disaring oleh bag filter agar tidak mengalir ke dalam blower. Debu semen yang tersaring tersebut, pada selang waktu tertentu akan ditekan dengan tekanan udara tertentu oleh kompressor agar dapat mengalir ke dalam *gravity valve* yang selanjutnya ditampung di tabung vakum. Dengan volume tertentu, semen tersebut akan ditekan oleh gas dari blower yang telah dikompresi pada tabung blower dengan tekanan tertentu yang selanjutnya mengalir ke dalam pengepakan. Pemamfaatan gas kompresi dari blower tentunya dengan mengeset katup pada pipa sebelum masuk blower dan pipa yang berhubungan langsung dengan udara bebas.

Beberapa keuntungan Dust Collector Hasil Redesain Dibanding Dengan Dust Collector PT Semen Tonasa

- Desain sesuai dengan referensi yang telah ditemukan sehingga efisiensi pengumpulan lebih besar.
- Penggunaan *gravity valve* yang lebih sederhana yang akan mencegah terjadinya over load dan mencegah kebocoran udara yang memungkinkan semen dapat terbawa oleh udara masuk ke dalam tabung dust collector. Sedangkan pada desain lama menggunakan rotary slice yang akan memungkinkan terjadinya over load dan harganya lebih mahal.
- Pemamfaatan blower untuk menekan kumpulan debu pada tabung vakum sehingga dapat mengalir ke dalam tempat pengepakan sedangkan pada desain lama hanya menggunakan talang yang selanjutnya ditarik oleh operator sehingga tidak praktis dan kemungkinan banyak semen yang hilang.
- Penggunaan tabung vakum akan mencegah kebocoran udara sehingga kemungkinan semen dapat terbawa oleh udara masuk ke dalam tabung sangat kecil.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa data dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu: Jumlah putaran efektif yang terjadi akibat aliran udara di dalam cyclone hasil redesain lebih kecil dibandingkan dengan desain dust collector PT Semen Tonasa yaitu $6 < 13,05$. Sedangkan efisiensi pengumpulan hasil redesain lebih besar dibandingkan dengan desain dust collector pada PT Semen Tonasa yaitu $76\% > 33\%$. Dimana diameter partikel serbuk terkecil yang dapat ditangkap hasil redesain lebih kecil dibandingkan dengan desain dust collector PT Semen Tonasa yaitu $0,023 \mu m < 35,05 \mu m$. Untuk Kecepatan gas pada inlet cyclone hasil redesain lebih kecil dibandingkan dengan desain dust collector PT Semen Tonasa yaitu $10336,2664 \text{ ft/hr} < 69585,84 \text{ ft/hr}$. Velocity head pada inlet cyclone hasil redesain lebih kecil dibandingkan dengan desain dust collector PT Semen Tonasa yaitu $1,8003 \cdot 10^{-3} \text{ lb/ft.s}^2 < 0,08159 \text{ lb/ft.s}^2$. Desain sebuah dust dust collector sangat tergantung oleh dimensi tabung dust collector untuk mendapatkan efektifitas maksimal dan penambahan tabung vakum serta *gravity valve* akan mengurangi kehilangan semen.

Daftar Pustaka

- Frank M. White, Manahan Hariandja, (1988). *Mekanika Fluida*, (terjemahan). Edisi Kedua Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Frank M. White, Manahan Hariandja, (1991). *Mekanika Fluida*, (terjemahan). Edisi Kedua, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Streeter, V, L & Wylie, Atko Prijono, (1988), *Mekanika Fluida*, (terjemahan). Edisi 8, Jilid 1 Erlangga, Jakarta.
- Perry J.H.Green D, (1988) *Chemical Engineer's Handbook*, 6 th ed, McGraw-Hill Book Comp, Inc, New York.