

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK ALAT BANTU PERANCANGAN SIKLON SEPARATOR HEMAT ENERGI

Prihadi Setyo Darmanto dan Katon Primanto

Laboratorium Teknik Pendingin, Jurusan Teknik Mesin
Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Penelitian ini menampilkan suatu metode optimasi dalam suatu proses perancangan siklon separator. Hasil optimasi tersebut adalah geometri dari suatu siklon modifikasi (DOPOL) dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang memenuhi kriteria rugi tekanan minimum atau efisiensi pemisahan maksimum. Proses perancangan siklon ditampilkan dalam bentuk program komputer, sehingga proses perancangan yang melibatkan perhitungan yang berulang dapat semakin cepat diselesaikan. Beberapa korelasi berkenaan dengan kinerja siklon modifikasi yang digunakan dalam prosedur perancangan siklon modifikasi diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya. Selain dapat digunakan untuk merancang siklon modifikasi (DOPOL), perangkat lunak yang dikembangkan dapat pula digunakan untuk merancang siklon konvensional berdasarkan algoritma perancangan yang biasa dipergunakan.

Abstract

This paper presents an optimization technique applying the design of the cyclone separators. The results of this optimization technique were the main geometric ratio of the modified cyclone (DOPOL), which presented in non-dimensional form, that satisfied the following criteria: minimum pressure drop or maximum separation efficiency. The design procedure of the cyclone was written as the computer software, where the iterative computation design can be proceed faster. This software used the correlations of the cyclone performance obtained by the previous experimental on a modified cyclone. The software not only could be applied for modified cyclone design, but it also could be used for the design of the classical cyclone base on the well-known algorithm.

Keywords : *Cyclone, optimization, iterative computation, pressure drop, separation efficiency.*

1. PENDAHULUAN

Kinerja suatu siklon separator yang berfungsi untuk memisahkan debu padatan dari campurannya (cair atau gas) ditentukan oleh besarnya kemampuan pemisahan dan jumlah energi yang diperlukan untuk mengoperasikannya. Kinerja terbaik suatu siklon biasanya diperoleh pada efisiensi pemisahan yang tinggi dan rugi tekanan yang rendah. Walau demikian, kedua tujuan ini tidak selamanya dapat dipenuhi karena secara umum untuk memperoleh efisiensi pemisahan yang besar diperlukan energi yang besar pula. Dengan demikian dalam proses perancangan siklon diperlukan proses optimasi dalam menentukan dimensi siklon. Beberapa metode optimasi dapat dipilih, diantaranya adalah untuk suatu kebutuhan efisiensi siklon yang ditetapkan, proses optimasi dilakukan dengan cara memilih geometri/dimensi siklon yang memberikan rugi tekanan minimum.

Dalam rangka peningkatan kinerja siklon perlu diupayakan suatu modifikasi atau pengembangan desain siklon, sehingga diperoleh karakteristik dasar yang lebih baik. Berdasarkan pertimbangan tersebut, baik optimasi maupun pengembangan desain siklon, memerlukan suatu cara yang cepat dan tepat dalam melakukan evaluasi perancangan.

Pendekatan teoritis untuk perancangan siklon dikemukakan pertama kali oleh Leith dan Licht [7]. Walaupun pendekatannya memberikan hasil yang mirip dengan beberapa hasil eksperimen, tetapi metode yang diberikan oleh Leith dan Licht tidak dapat diterapkan pada siklon dengan laju aliran udara yang tinggi. Leith dan Licht memperkirakan terdapat batas efisiensi pemisahan yang kurang dari 100% jika aliran udara yang memasuki siklon menjadi tak berhingga jumlahnya. Hal ini disebabkan pada kecepatan yang cukup tinggi terdapat sebagian partikel yang mengalami *reentrainment*, yaitu terdorongnya kembali

partikel keluar dari siklon sebelum sempat terpisahkan. Hipotesis tersebut didukung oleh hasil penelitian dari Zenz [4] pada aliran partikel dalam pipa horizontal yang diterapkan untuk siklon membuktikan bahwa terdapat kecepatan gas maksimum saat memasuki siklon sehingga tidak terjadi *reentrainment* partikel.

Dalam perancangan siklon, Koch dan Licht menggabungkan metode dari Leith-Licht untuk memperkirakan efisiensi pemisahan dan hasil penelitian dari Kalen-Zenz untuk menentukan kecepatan optimum. Metode tersebut menghasilkan suatu desain siklon yang optimum dengan sesedikit mungkin *trial-error* selama perhitungan.

Penelitian ini membahas penerapan metode perancangan siklon dari Koch-Licht yang digunakan dalam perancangan siklon modifikasi (DOPOL). Metode perancangan yang diusulkan oleh Koch-Licht ini sebenarnya ditujukan pada perancangan siklon konvensional, sehingga tidak dapat dipergunakan untuk menentukan kondisi optimal kemiringan atap siklon. Untuk mengatasi kendala tersebut, sudut kemiringan atap siklon ditentukan sebesar 15° yang dianggap merupakan sudut kemiringan optimal untuk berbagai batasan desain siklon modifikasi (DOPOL) [6]. Korelasi kinerja siklon modifikasi yang digunakan dalam pembuatan program ini diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan terhadap suatu model siklon tersebut [6].

Dari penelitian ini dihasilkan suatu program aplikasi yang juga dilengkapi dengan hasil optimasi berupa rasio geometri siklon modifikasi yang memenuhi kriteria rugi tekanan minimum atau efisiensi pemisahan maksimum. Dengan kedua kriteria ini, siklon modifikasi dapat diterapkan dalam penggunaan di industri sesuai dengan kebutuhannya.

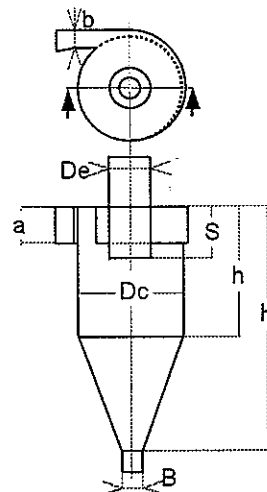
Versi awal program aplikasi ini dibuat pertama kali berdasarkan metode perancangan dari Leith-Licht pada tahun 1994. Versi berikutnya [2] yang dibuat berdasarkan algoritma dari Koch-Licht diselesaikan pada April 1995. Versi ini dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan desain siklon konvensional. Saat ini versi terbarunya [6] dibuat berdasarkan algoritma dari Koch-Licht dengan beberapa penyempurnaan, diantaranya :

- ♦ penggunaan optimasi geometri berdasarkan kriteria rugi tekanan minimum dan efisiensi pemisahan maksimum.
- ♦ penambahan fasilitas untuk perancangan siklon modifikasi (DOPOL) yang lebih hemat energi.

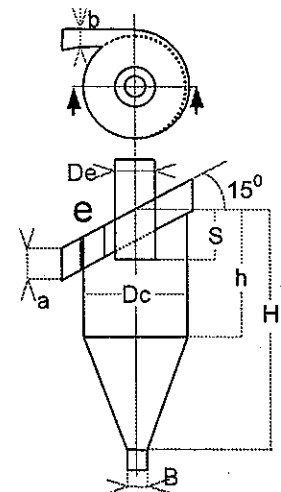
2. STANDAR GEOMETRI SIKLON

Pada Gb.1 diberikan suatu geometri dari siklon konvensional dengan dimensi utama D_c , a , b , D_e , h , H , S , dan B , sedangkan untuk siklon modifikasi (siklon DOPOL) diberikan pada Gb.2.

Rasio dimensi terhadap diameter siklon untuk beberapa model siklon diberikan dalam tabel.1. Dengan demikian, suatu desain siklon cukup diarahkan untuk memperoleh dimensi dari diameter siklon yang optimum, sedangkan dimensi-dimensi yang lain (a , b , H , S , D_e , h , dan B) merupakan penyesuaian berdasarkan rasio standar terhadap diameter untuk suatu jenis siklon.



Gb.1 Siklon Konvensional



Gb.2 Siklon Modifikasi

Tabel 1. Dimensi berbagai desain siklon standar [5]

Ket.	Efisiensi Tinggi (HE)		Penggunaan Umum (GP)		
	Stairman d	Swift	Lapple	Swift	Peterson & Whitby
D_c	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
a	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
S	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
D_e	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	1.5	1.4	2.0	1.75	1.333
H	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5
l	2,48	2,04	2,30	2,30	1,8
G	551,3	699,2	402,9	381,8	324,8
N_R	5,1876	9,204	8,0 (*)	7,599	7,76 (*)

catatan: (*) adalah harga pendekatan.

3. EFISIENSI PEMISAHAN

Efisiensi pemisahan merupakan parameter terpenting dalam suatu perancangan siklon. Efisiensi siklon didefinisikan sebagai perbandingan massa padatan yang dapat dipisahkan terhadap massa padatan sebelum memasuki siklon. Penentuan dimensi siklon biasanya didasarkan pada penentuan dimensi yang dapat memberikan kemampuan pemisahan untuk suatu batasan tertentu. Batasan tersebut biasanya adalah kapasitas laju aerosol, ukuran partikel, dsb.

Penentuan efisiensi pemisahan siklon menurut metode Koch-Licht didasarkan pada Teori Pengendapan Turbulen [7] yang digunakan oleh Leith dan Licht dalam perancangan siklon. Secara umum efisiensi pemisahan siklon dapat dihitung berdasarkan persamaan Teori Pengendapan Turbulen, menurut:

$$\eta_c(x) = 1 - \exp \left[-C1 \left(\frac{\tau G Q}{D_c^3} (n+1) \right)^{\frac{C2}{(n+1)}} \right] \quad (1)$$

dengan n adalah eksponen vorteks menurut persamaan:

$$n = 1 - (1 - 0,683 D_c^{0,14}) \left(\frac{T}{294,44} \right)^{0,3} \quad (2)$$

Pada pers. (1), untuk siklon konvensional, harga C1 dan C2 secara empirik masing-masing adalah 2 dan 0,5. Sedangkan untuk siklon modifikasi (DOPOL) hasil pengujian menunjukkan C1 berkisar antara 1,15 sampai 1,33 sedangkan C2 terletak dalam kisaran harga 0,36 sampai 0,4. Hasil selengkapnya tentang karakteristik siklon modifikasi dapat dilihat dalam pembahasan yang diberikan acuan [6]. Harga waktu relaksasi (τ) ditentukan berdasarkan diameter partikel (d_p) serta sifat-sifat fisik fluida dan partikel, yaitu:

$$\tau = \frac{d_p^2 \rho_p}{18 \mu} \quad (3)$$

Faktor geometri G ditentukan berdasarkan konfigurasi yang dipengaruhi oleh tujuh rasio geometri siklon [5]:

$$G = \frac{8 K_c}{K_a^2 K_b^2}; K_a = \left[\frac{a}{D_c} \right]; K_b = \left[\frac{b}{D_c} \right] \quad (4)$$

Konstanta Kc dihitung berdasarkan:

$$K_c = \frac{(2 V_s + V)}{2 D_c^3} \quad (5)$$

Volume ruangan bebas (V_s) di luar saluran gas keluar didefinisikan sebagai:

$$V_s = \frac{\pi (S - a/2) (D_c^2 - D_e^2)}{4} \quad (6)$$

Berdasarkan panjang natural (l), ditentukan pula volume siklon pada panjang naturalnya (V), yaitu:

♦ jika $l = 2,3 D_e \left(\frac{D_c^2}{ab} \right)^{1/3} > (H - S)$; maka:

$$V = \frac{\pi D_c^2}{4} (h - S) + \left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) \left(\frac{H - h}{3} \right) \left(1 + \frac{B}{D_c} + \frac{B^2}{D_c^2} \right) - \frac{\pi D_c^2}{4} (H - S) \quad (7)$$

♦ jika $l = 2,3 D_e \left(\frac{D_c^2}{ab} \right)^{1/3} < (H - S)$; maka:

$$V = \frac{\pi D_c^2}{4} (h - S) + \left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) \left(\frac{1 + S - h}{3} \right) \left(1 + \frac{d}{D_c} + \frac{d^2}{D_c^2} \right) - \frac{\pi D_c^2}{4} \quad (8)$$

dengan,

$$d = D_c - (D_c - B) \left(\frac{S + 1 - h}{H - h} \right) \quad (9)$$

Dengan persamaan-persamaan di atas, jika distribusi partikel diketahui, maka efisiensi pemisahan total (η_c) dapat dilukiskan dalam persamaan berikut:

$$\eta_c = \sum (f_i \eta_i) \quad (10)$$

dengan f_i menyatakan fraksi massa untuk diameter partikel d_i , sedangkan η_i adalah efisiensi pemisahan yang dihitung dari pers. (1) untuk diameter partikel d_i .

4. KECEPATAN SALTASI

Pengaruh kecepatan gas saat memasuki siklon (V_i) terhadap efisiensi pemisahan siklon telah diperoleh oleh Kalen dan Zenz [4]. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa terdapat kecepatan maksimum dimana *reentrainment* partikel mulai terjadi. Untuk mendefinisikan batasan tersebut diperkenalkan kecepatan saltasi yang diberikan sebagai berikut {dalam SI}:

$$V_s = 10,25 \left[\frac{\mu (\rho_s - \rho)}{\rho^2} \right]^{1/3} \times \left[\frac{(b/D_c)}{1 - (b/D_c)} \right]^{1/3} [D_c]^{0,067} [V_i]^{2/3} \quad (11)$$

Hasil eksperimen Kalen-Zenz menunjukkan bahwa efisiensi pemisahan maksimum pada siklon terjadi pada harga $V_i/V_s = 1,25$; sedangkan *reentrainment* mulai terjadi pada harga $V_i/V_s = 1,35$.

5. PROSEDUR PERANCANGAN

Secara umum prosedur perancangan siklon menurut Koch-Licht adalah sebagai berikut [5]:

1. Data yang diperlukan adalah: sifat fisik partikel dan gas, distribusi ukuran partikel, debit aliran, dan debit partikel debu.
2. Menentukan efisiensi keseluruhan yang diharapkan dari sistem siklon.
3. Berdasarkan data distribusi partikel ditentukan kategori partikel menurut tiga standar yang dikemukakan oleh Stairmand, yaitu *superfine*, *fine*, dan *coarse* [5].
4. Memilih jenis siklon standar yang akan digunakan, sehingga rasio geometri siklon dapat ditentukan (tabel 1).

5. Berdasarkan tipe partikel, efisiensi yang diinginkan, dan V_i/V_s ditentukan dimensi dari diameter siklon (D_c) dan kecepatan masuk siklon (V_i) sesuai hasil percobaan pada siklon Stairmand (Gb.10, 11, 12, acuan [5]).
6. Hitung dimensi siklon lain berdasarkan standar yang telah dipilih.
7. Hitung debit udara persiklon.
8. Hitung jumlah siklon yang diperlukan.
9. Hitung kecepatan saltasi.
10. Jika $V_i/V_s > 1.35$, dengan memperbaharui harga V_i/V_s , ulangi langkah 5.
11. Hitung eksponen vorteks (n), faktor konfigurasi siklon(G) dan waktu relaksasi(τ).
12. Hitung efisiensi parsial untuk masing-masing partikel (η_i) dan ulangi mulai dari langkah 11 untuk ukuran partikel yang lain.
13. Hitung efisiensi total (η_c) dari pers. (10).
14. Bandingkan dengan efisiensi yang diinginkan, jika diperlukan dapat diulangi dari langkah ke-1.

6. BATASAN DESAIN

Untuk memperoleh desain yang optimum dimensi-dimensi siklon tidak dapat dipilih secara bebas. Terdapat beberapa batasan yang digunakan pada desain siklon [5], yaitu :

1. $a \leq S$, pada siklon dengan efisiensi pemisahan tinggi, batasan ini untuk menjamin tidak terjadi aliran gas langsung keluar siklon (*short circuit*).
2. $b \leq 1/2(D_c - D_e)$, pada siklon dengan efisiensi pemisahan tinggi dimana rugi tekanan yang terjadi cukup tinggi, batasan tersebut berfungsi untuk mencegah kontraksi aliran di dalam siklon secara tiba-tiba.
3. $S+1 \leq H$, untuk menjaga *vorteks* tetap berada di dalam siklon
4. $S < h$
5. $h < H$
6. $V_i/V_s < 1.35$ untuk mencegah terjadinya *reentrainment*
7. $V_i/v_s = 1.25$ untuk desain yang optimum.
8. Batas maksimum rugi tekanan 10 inch.H₂O (254 mmH₂O).

Tujuan utama desain siklon adalah memilih dimensi yang memenuhi keperluan efisiensi pemisahan dengan rugi tekanan yang serendah mungkin. Aspek lain yang perlu diperhatikan adalah perlunya dilakukan optimasi dalam perancangan siklon.

7. OPTIMASI GEOMETRI SIKLON MODIFIKASI

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa siklon hasil modifikasi memiliki konsumsi energi yang lebih sedikit dibanding siklon konvensional. Akan tetapi hasil penelitian tersebut tidak memberi informasi tentang rasio geometri untuk

siklon modifikasi tersebut. Pada bagian ini akan dibahas suatu metode optimasi yang dipergunakan untuk menentukan rasio geometri yang optimal dari siklon modifikasi.

Optimasi geometri ditentukan berdasarkan dua tujuan utama perancangan, yaitu:

1. Siklon modifikasi dengan karakteristik rugi tekanan minimum. Jenis ini disebut sebagai siklon model DOPOL penggunaan umum (DOPOL G.P/*General Purpose*).
2. Siklon modifikasi dengan karakteristik efisiensi maksimum. Jenis ini disebut sebagai siklon model DOPOL efisiensi tinggi (DOPOL H.E/*High Efficiency*)

Siklon DOPOL G.P (*General Purpose*)

Siklon jenis ini dirancang khusus untuk penggunaan dengan karakteristik rugi tekanan minimum. Siklon ini secara umum dirancang untuk dapat beroperasi pada laju udara yang tinggi dan kebutuhan efisiensi pemisahan yang tidak terlalu tinggi.

Dari analisis hasil pengujian [6], karakteristik rugi tekanan untuk siklon modifikasi adalah :

$$N_H = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho V_i^2} = [F]^{1,21} \left(2,5 [R] + 5,12 [F]^{2,11} [X] \right) \quad (12)$$

atau,

$$N_Q = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho Q^2} = \frac{1}{(ab)^2} [F]^{1,21} \left(2,5 [R] + 5,12 [F]^{2,11} [X] \right) \quad (13)$$

dengan, $R = D_c/D_e$; $F = (4 a b)/(\pi D_e^2)$; dan $X = D_c/h_i = D_c/(H-S)$.

Untuk memperoleh siklon dengan karakteristik rugi tekanan minimum, pada laju aliran (Q) tertentu harga N_Q pada pers. (13) harus sekecil mungkin. Terlihat pada pers. (13) harga N_Q dipengaruhi oleh beberapa variabel sehingga perlu diberi batasan untuk membatasi keterkaitan variabel-variabel tersebut. Batasan tersebut diambil dari batasan-batasan perancangan seperti yang diberikan pada penjelasan terdahulu (pasal 6).

Dengan demikian persamaan untuk optimasinya adalah:

♦ Fungsi obyektif :

$$\text{Min} \left[\frac{1}{(ab)^2} \left[\frac{4ab}{\pi D_e^2} \right]^{1,21} \left(2,5 \left[\frac{D_c}{D_e} \right] + 5,12 \left[\frac{4ab}{D_e^2} \right]^{2,11} \left[\frac{D_c}{(H-S)} \right] \right) \right] \quad (14)$$

♦ Fungsi konstrain :

1. faktor bentuk (pers.(4)) untuk penggunaan umum ditetapkan :
 $G(D_c, D_e, a, b, H, S, h, B) \geq 50$ (15)
2. harga satuan diameter, $D_c = 1$ (16)
3. menjaga vorteks tetap berada di dalam siklon:
 $S + 1 \leq H$ (17)
4. $S < h$ (18)
5. $h < H$ (19)
6. mencegah terjadinya *reentrainment*,
 $V_i/V_s < 1,35$ (20)
7. agar tidak terjadi penumpukan material pada konis siklon :

$$\arctan \left[\frac{(H-h)}{(D_c-B)/2} \right] \geq 70^\circ \quad (21)$$

Sistem persamaan di atas (1 persamaan obyektif dan 7 persamaan konstrain) tidak menghasilkan solusi yang unik. Karenanya jumlah persamaan dalam fungsi konstrain perlu ditambah. Dengan tambahan konstrain $(H-h)=1$, penyelesaian dengan menggunakan program aplikasi matematika (MAPLE V) menghasilkan solusi unik:

- | | |
|----------------|--------------|
| ♦ $D_c = 1$ | ♦ $H = 3,50$ |
| ♦ $D_e = 0,55$ | ♦ $h = 2,50$ |
| ♦ $a = 0,57$ | ♦ $B = 0,30$ |
| ♦ $b = 0,26$ | ♦ $S = 0,46$ |

Geometri di atas memberikan karakteristik kinerja, $N_Q = 132,918$ dan harga faktor bentuk, $G=262,12$.

Siklon DOPOL H.E (High Efficiency)

Untuk memperoleh karakteristik pemisahan terbaik siklon ini dirancang dengan faktor geometri (G , pers. (4)) maksimum, tetapi memiliki karakteristik rugi tekanan yang dibatasi pada suatu harga maksimum tertentu. Siklon ini dirancang khusus untuk keperluan pemisahan yang tinggi.

Dari kriteria tersebut disusun persamaan optimasi sebagai berikut :

- ♦ Fungsi obyektif :
 $\text{Max } \{ G(D_c, D_e, a, b, H, S, h, B) \}$ (22)
- ♦ Fungsi konstrain :
 1. karakteristik rugi tekanan maksimum $[N_Q]_{\text{Max}} < [N_Q]_{\text{Min}}$, karena $[N_Q]_{\text{Min}} = 132,918$, maka :
 $[N_Q] = [N_Q]_{\text{Max}} \leq 265,836$ (23)
 2. harga satuan diameter, $D_c = 1$ (24)
 3. mencegah *short circuit* aliran, $a \leq S$ (25)
 4. mencegah kontraksi tiba-tiba,
 $b \leq 1/2 (D_c - D_e)$ (26)
 5. menjaga vorteks tetap berada di dalam siklon.
 $S + 1 \leq H$ (27)
 6. $S < h$ (28)
 7. $h < H$ (29)
 8. mencegah terjadinya *reentrainment*,

$$V_i/V_s < 1.35 \quad (30)$$

9. agar tidak terjadi penumpukan material pada konis siklon :

$$\arctan \left[\frac{(H-h)}{(D_c-B)/2} \right] \geq 70^\circ \quad (31)$$

Solusi unik untuk pers. (22) sampai pers. (30) dengan menggunakan MAPLE V untuk $(H-h)=1$ menghasilkan dimensi :

- | | |
|---------------|--------------|
| ♦ $D_c = 1$ | ♦ $H = 3,70$ |
| ♦ $D_e = 0,5$ | ♦ $h = 2,70$ |
| ♦ $a = 0,44$ | ♦ $B = 0,30$ |
| ♦ $b = 0,20$ | ♦ $S = 0,50$ |

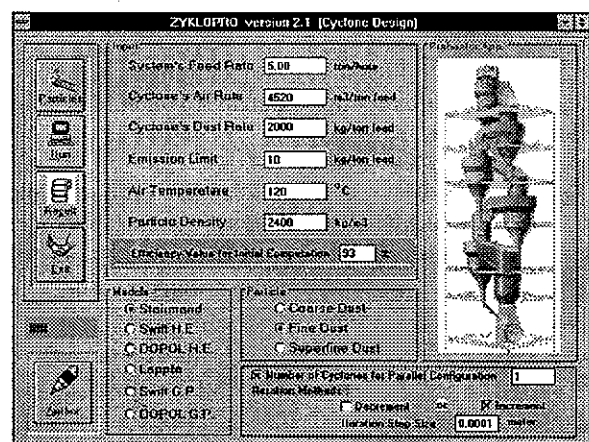
Geometri siklon modifikasi efisiensi tinggi tersebut memberikan karakteristik kinerja, $N_Q = 258,878$ dan harga faktor bentuk, $G=918,640$.

8. TAMPILAN PROGRAM

Program ini dibuat dalam bentuk tampilan grafis (*Graphics User Interface/GUI*) yang diharapkan dapat bersifat komunikatif dengan penggunanya (*User Friendly*). Untuk memenuhi tujuan tersebut, program komputer yang dibuat dalam penelitian ini sepenuhnya memanfaatkan *Visual Basic 3.0* sebagai alat untuk merancang tampilan dan rutin perhitungannya. Penggunaan *Visual Basic* didasarkan atas dua alasan utama, yaitu :

1. Bahasa pemrograman yang relatif mudah dipelajari.
2. *Visual Basic* menyediakan bermacam-macam modul-modul untuk membuat tampilan semenarik mungkin.

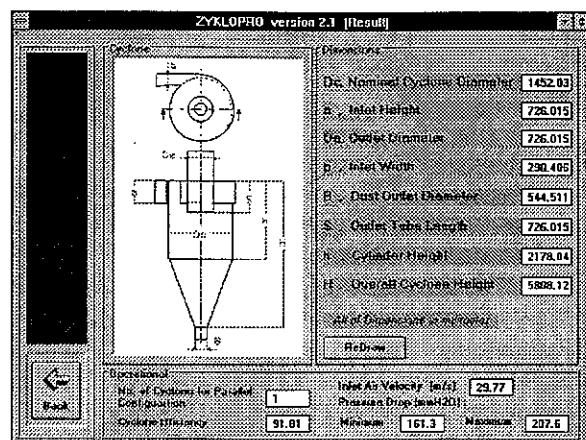
Menu utama tampilan program aplikasi ini diberikan pada Gb.3 berikut ini, yang berisi informasi umum yang perlu diberikan sebelum perancangan atau penentuan dimensi siklon dilakukan.



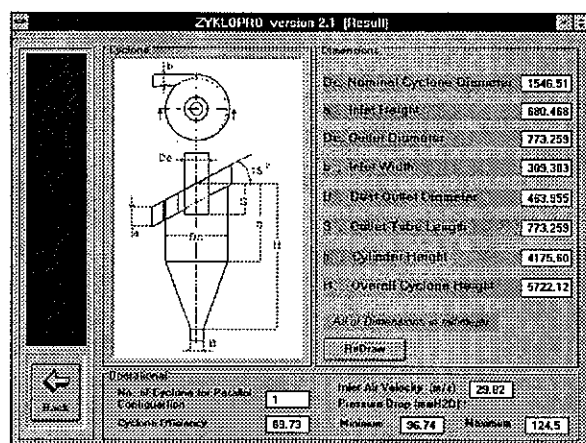
Gb.3. Tampilan utama program aplikasi

Pada Gb.4 dan Gb.5 berikut ini ditunjukkan suatu tampilan program tentang hasil perhitungan dan optimasi dimensi suatu siklon konvensional dan siklon

modifikasi (DOPOL). Tampilan hasil perancangan tersebut memberikan informasi pada pengguna program tentang data dimensi siklon hasil perhitungan, perkiraan operasi siklon (rugi tekanan, efisiensi pemisahan, dsb). Hasil perancangan tersebut sepenuhnya diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan metode Koch-Licht.



Gb.4 Hasil untuk siklon konvensional



Gb.5 Hasil untuk siklon modifikasi (DOPOL)

9. VALIDASI PROGRAM

Pada pasal berikut ini akan diberikan suatu contoh hasil optimasi yang diperoleh dari perangkat lunak dan perbandingannya dengan siklon yang telah diuji kinerja pemisahan dan rugi tekanannya. Data perancangan yang diberikan adalah:

- ♦ *System's Feed Rate* = 1 ton/jam.
- ♦ *Cyclone's Air Rate* = 1152 m³/ton feed = 0,32 m³/s.
- ♦ *Cyclone's Dust Rate* = 1440 kg/ton feed = 0,40 kg/s.
- ♦ *Air Temperature* = 30 °C.
- ♦ *Particle Density* = 2400 kg/m³.

Data distribusi partikel yang digunakan dalam pengujian ditunjukkan pada tabel 2.

Pada tabel 3 ditunjukkan perbandingan antara hasil optimasi dan pengujian siklon yang kesemuanya didasarkan pada data perancangan (pada tabel 2).

Perbandingan tersebut diharapkan dapat menjadi validasi hasil perancangan dari program aplikasi ini.

Tabel.2 Distribusi Partikel

Dia. Partikel (µm)	% (w/w)	Dia. Partikel (µm)	% (w/w)
10	10	110	5
30	30	130	2
50	25	150	1
70	15	160	1
90	10	170	1

Dari tabel 3 tersebut terlihat untuk suatu data masukan tertentu program aplikasi memberikan suatu dimensi diameter siklon yang bila diuji memiliki harga efisiensi pemisahan yang mirip atau mendekati hasil optimasi dan perhitungan dari program aplikasi tersebut. Terlihat hanya terdapat perbedaan sebesar 2%, hal ini disebabkan program aplikasi telah mengikuti proses optimasi di dalamnya. Proses optimasi tersebut menyebabkan pula perbedaan/penurunan rugi tekanan antara hasil perhitungan dan pengukuran. Optimasi tersebut terlihat secara jelas terutama pada perubahan dimensi *outlet tube* (De), tinggi S, dan rasio De/Dc.

Tabel 3 Dimensi dan Kinerja Siklon

	OPTIMASI DOPOL H.E	OPTIMASI DOPOL G.P	Terukur
Dc (mm)	398,40	313,82	410
a (mm)	175,30	178,88	200
De (mm)	199,20	172,60	160
b (mm)	79,68	81,59	90
B (mm)	119,52	94,15	75
S (mm)	199,20	144,355	255
h (mm)	1075,67	784,541	580
H (mm)	1474,07	1098,35	1070
Efisiensi (%)	98,55	97,82	96,2
Kecepatan (m/s)	22,91	21,92	17,78
ΔP min. (mmH ₂ O)	58,08	48,04	89
ΔP maks. (mmH ₂ O)	95,27	78,81	125

10. KESIMPULAN

Dari analisis dan pembuatan perangkat lunak alat bantu desain siklon separator diperoleh beberapa kesimpulan utama, diantaranya adalah :

1. Metode perancangan dari Koch-Licht dapat diterapkan dalam merancang siklon modifikasi yang hemat energi.

2. Penggunaan metode optimasi menghasilkan suatu geometri siklon yang mengkompromikan parameter rugi tekanan dan efisiensi pemisahan.
3. Dengan menggunakan metode optimasi diperoleh rasio geometri standar siklon modifikasi berdasarkan kriteria penggunaan umum (*general purpose*) dan penggunaan efisiensi tinggi (*high efficiency*).

11. SARAN-SARAN

1. Pada metode perancangan yang digunakan pada penelitian ini, perhitungan selalu diawali dari hasil pengujian yang diberikan oleh Stairmand untuk 3 klasifikasi debu (*superfine, fine, dan coarse*). Pada umumnya partikel yang akan dipisahkan tidak dapat diklasifikasikan secara tepat berdasarkan ketiga golongan partikel tersebut, sehingga sulit diperoleh efisiensi pemisahan yang sesuai dengan harapan perancang. Dengan demikian untuk memperbaiki kondisi tersebut, sebaiknya metode perancangan disusun berdasarkan pada algoritma baru yang tidak bergantung pada ketiga klasifikasi debu di atas, tetapi lebih bersifat umum.
2. Selama ini penentuan dimensi siklon bergantung pada harga diameter dan rasio dimensi tersebut terhadap diameter. Pada masa yang akan datang sebaiknya perancangan disusun atas algoritma yang dapat menentukan dimensi siklon tanpa bergantung pada rasio standar yang ada. Hal ini berkenaan dengan optimasi yang lebih luas yang dapat dilakukan jika diperoleh lebih banyak variasi hasil perhitungan.

3. Perlunya ditambah dan divalidasi data empirik hasil pengujian yang melandasi perhitungan dalam perangkat lunak yang dibuat.

12. DAFTAR PUSTAKA

1. Burkholtz, A. , "*Droplet Separation*", VCH VmbH, 1989.
2. Fitradi, H.E, "*Pengembangan Perangkat Lunak Desain Siklon Separator*", Tugas Akhir Teknik Mesin-ITB, 1997.
3. Fuchs, N. A., "*The Mechanics of Aerosol*", Pergamon Press, 1964.
4. Kalen, B. & Zenz, F.A., "Theoretical-Empirical Approach to Saltation Velocity in Cyclone Design", *A.I.Ch.E. Symp. Series Vol.70*-no.137, 1974.
5. Koch, W.H. & Licht, W. "New Design Approach Boosts Cyclone Efficiency", *Chemical Eng.*, 1977.
6. Kurniawan, K.P., "*Pengembangan Siklon Separator Hemat Energi*", Tesis Magister, Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, 1997
7. Leith, D. & Licht, W. , "Air Pollution and It's Control", *A.I.Ch.E. Symposium Series Vol.68*-no.126, 1972.
8. Ontko, J.S., "Cyclone Separator Scaling Revisited", *Powder Technology Vol.87*, Elsevier 1996.
9. Stairmand, J.C., "The Design and Performance of Cyclone Separators", *Trans. Inst. Chemical Engineers Vol.29*, 1951.
10. Svarovsky, L. "Solid-Gas Separation", *Handbook of Powder Technology, Vol.3*, Elsevier, 1981.
11. Stoecker, W.F., "*Design of Thermal Systems*", McGraw Hill, 1989.