

LAPORAN PENELITIAN

**STUDI PENGEMBANGAN MODEL TURBULEN
SPALART-ALLMARAS (S-A), RNG k- ϵ DAN
REYNOLDS STRESS MODEL (RSM)
UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN SIKLON**

Oleh:

**NOVI CAROKO, S.T.
SUYITNO, S.T., M.T.**

**DIBIAYAI PROYEK PENGKAJIAN DAN PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN TERAPAN
DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

NOMOR: 32/H34.21/KTR.PT/2007

**DIREKTORAT OEBMINAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN PADA MASYARAKAT
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
OKTOBER, 2007**

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA

1. a. Judul Penelitian :

**STUDI PENGEMBANGAN MODEL TURBULEN SPALART-ALLMARAS
(S-A), RNG k-ε DAN REYNOLDS STRESS MODEL (RSM) UNTUK
MENINGKATKAN PRESTASI MESIN SIKLON**

b. Kategori Penelitian : 2. Meningkatkan IPTEKS

2. Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap dan Gelar : Novi Caroko, S.T.
b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
c. Pangkat/Golongan/NIP : IIIa/132311152
d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Jurusan Teknik Mesin
f. Univ : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
g. Bidang Ilmu yang Diteliti : 11. Teknologi

3. Jumlah Tim Peneliti : 2 orang

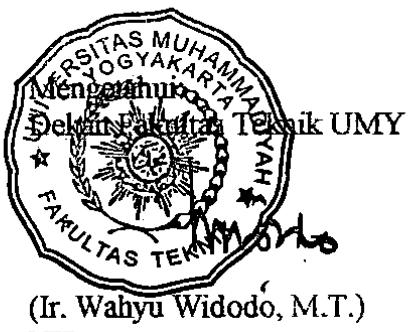
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium

5. Bila penelitian ini merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan sebutkan:

a. Nama Institusi : Laboratorium Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik UNS
b. Alamat : Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta

6. Jangka Waktu Penelitian : 10 bulan

7. Biaya yang Diperlukan : Rp 6.441.000,-
(enam juta empat ratus empat puluh satu ribu rupiah)



Yogyakarta, Oktober 2007
Ketua Peneliti

(Novi Caroko, S.T.)
NIP 132311152

RINGKASAN

Siklon (*cyclone*) karena karakteristiknya sering digunakan sebagai alat pemisah partikel dengan gas. Penggunaan siklon sering dijumpai sebagai alat pengontrol polusi udara dari partikel pengotor. Siklon juga dijumpai pada proses pembakaran untuk peralatan umpan bahan bakar padat (*pulverized*) pada boiler.

Tujuan penelitian adalah mencari cara untuk meningkatkan prestasi mesin siklon (*cyclone*). Mesin siklon yang baik dapat dicirikan dari efisiensi pemisahan partikel yang tinggi dan rugi tekanan yang rendah. Terdapat beberapa parameter penting yang mempengaruhi efisiensi pemisahan partikel dan rugi tekanan mesin siklon diantaranya adalah dimensi mesin siklon, kecepatan gas masuk, dan sudut gas masuk.

Penelitian dilakukan secara perhitungan numerik. Jenis aliran gas dalam mesin siklon dapat dikategorikan sebagai aliran turbulen sehingga perhitungan numerik akan dilakukan dengan menggunakan tiga jenis model turbulen, yaitu Spalart-Allmaras (SA), RNG $k-\varepsilon$ dan RSM (*Reynolds stress model*). Pengembangan analisa numerik pada mesin siklon dengan melibatkan berbagai jenis model turbulen sangat penting untuk memperoleh hasil yang komprehensif dalam menentukan prestasi mesin siklon.

Asumsi-asumsi dan batasan masalah yang digunakan adalah dimensi utama siklon standar dengan diameter 30 cm, kecepatan aliran masuk divariasikan dari 13,6 m/s, 14,7 m/s, 16,3 m/s dan 17,8 m/s, tekanan operasi 1 bar. tidak ada transfer energi dari gas ke partikel atau sebaliknya, partikel tersebar secara merata dalam gas dan tegangan geser pada dinding siklon = 0. Empat kondisi batas yang diperlukan dalam perhitungan turbulen adalah pada sisi masuk dan keluar siklon berlaku bahwa besarnya intensitas turbulen = 10% dan besarnya perbandingan viskositas turbulen (*turbulent viscosity ratio*) = 10.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan efisiensi pemisahan partikel dengan menggunakan model turbulen RNG $k-\varepsilon$ dan RSM lebih baik dibandingkan dengan menggunakan model turbulen SA (1). Hasil perhitungan rugi tekanan mesin siklon dengan menggunakan model turbulen RNG $k-\varepsilon$ dan RSM lebih baik dibandingkan dengan menggunakan model turbulen SA (2). Pada jangkauan kecepatan gas masuk 13,6 sampai 17,8 m/s, hasil perhitungan efisiensi pemisahan partikel dan rugi tekanan dengan menggunakan model turbulen RNG $k-\varepsilon$ sama baiknya dengan menggunakan model turbulen RSM (3). Mesin siklon mampu menghasilkan efisiensi pemisahan partikel di atas 90% untuk kecepatan gas masuk dari 13,6 sampai 17,8 m/s pada sudut gas masuk 0° (4). Semakin tinggi kecepatan

juga untuk berbagai variasi sudut gas masuk dari 0° sampai 60° (5). Sudut gas masuk berpengaruh pada efisiensi pemisahan partikel. Untuk berbagai variasi sudut gas masuk dari 0° sampai 60° , rata-rata efisiensi pemisahan partikel yang terjadi masih di atas 90% (6). Sudut gas masuk berpengaruh pada besarnya rugi tekanan yang terjadi dalam mesin siklon. Rugi tekanan yang paling rendah terjadi pada sudut gas masuk 15° (7).

Selanjutnya penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan modifikasi geometri dan ukuran siklon untuk memperoleh penurunan tekanan yang rendah. Validasi untuk berbagai distribusi diameter partikel juga perlu dilakukan baik secara eksperimen maupun secara numerik. Penelitian terhadap berbagai model turbulen yang lain juga dapat terus dilanjutkan.

SUMMARY

Cyclones due to its characteristics are often used as separation equipments for particles and gases. The utilization of cyclones is often found as air pollution control tools from particle polluter. Cyclones can also be found in the combustion process for solid fuel (pulverized) feeding in the boiler.

The objective of this research is to find the method for increasing cyclone performance. The good quality cyclones have high particles separation efficiency and low pressure drop. There are many important parameters that can affect the particles separation efficiency and pressure drop. Some of them are cyclone dimension, inlet gas velocity, and inlet gas angle.

The research is carried out numerically. Gas flow in the cyclone can be categorized as turbulent flow therefore the numerical calculation will be done by using three turbulence models, i.e. Spalart-Allmaras (SA), RNG $k-\epsilon$, and RSM (Reynolds stress model). The development of numerical analysis in cyclone by involving some turbulence model is very important to obtain comprehensive results in determining the cyclone performance.

The assumptions and boundary conditions that be used are the main cyclone design is standard with diameter 30 cm, inlet gas velocity is varied 13.6 m/s, 14.7 m/s, 16.3 m/s, and 17.8 m/s, operating pressure 1 bar, no energy transfer between particles and gases and vice versa, particles are spread prevalently in gases and shear stress on the cyclone wall is 0. Four boundary conditions that are used in turbulence calculation are the amount of turbulent intensity is 10% and turbulent viscosity ratio is also 10% at inlet and outlet cyclone.

From the research can be concluded that the calculation result of particle separation efficiency by using RNG $k-\epsilon$ and RSM turbulence model is better than using SA turbulence model (1). The calculation result of the pressure drop by using RNG $k-\epsilon$ and RSM turbulence model is better than using SA turbulence model (2). At the inlet gas velocity range of 13.6 to 17.8 m/s, the calculation result of the particle separation efficiency and the pressure drop by using RNG $k-\epsilon$ turbulence model has the same quality as by using RSM turbulence model (3). The cyclone is able to yield particle separation efficiency higher than 90% for inlet gas velocity of 13.6 to 17.8 m/s at inlet gas angle of 0° (4). Increasing inlet gas velocity causes increasing pressure drop for some inlet gas angles from 0° to 60° (5). Inlet gas angle affects to the particles separation efficiency. For inlet gas angle variation from 0° to 60°, the average of particles separation efficiency is still above 90% (6). Inlet gas angle affects to the pressure

Furthermore, the research can be continued by modification of the cyclone geometry and size to obtain the further lowering of pressure drop. Validation for other particle diameter distribution is also needed experimentally and numerically as well. The research for other turbulence models can also be continued.

PRAKATA

Puji syukur peneliti panjatkan kehadirat Allah Illahi Rabbi, karena penelitian dosen muda ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini berhubungan dengan pengembangan model turbulen SA, RNG $k-\varepsilon$, dan RSM dalam mesin siklon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan mesin siklon yang mempunyai prestasi yang baik. Sebuah mesin siklon dikatakan mempunyai prestasi yang baik jika mempunyai efisiensi pemisahan partikel yang tinggi dan mempunyai rugi tekanan yang rendah. Dengan berhasilnya penelitian ini dapat menjadi dasar penelitian-penelitian lanjutan yang lebih besar.

Terima kasih peneliti haturkan kepada DP3M DIKTI yang telah membiayai penelitian dasar ini. Terima kasih kami ucapkan juga kepada Lembaga Penelitian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang menjadi payung dari penelitian dasar ini. Terima kasih peneliti haturkan kepada rekan sejawat dan mahasiswa di Lab Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin FT UMY. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Tri Istanto selaku ketua Lab Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin FT UNS atas kerjasamanya yang baik.

Terakhir, masukan yang membangun selalu kami nantikan untuk pengembangan lebih lanjut penelitian ini.

Yogyakarta, Agustus 2007

Peneliti

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Analisa ayak partikel yang masuk siklon	11
Tabel 2.	Parameter simulasi numerik	14
Tabel 3.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen SA dengan rugi tekanan hasil eksperimen	18
Tabel 4.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RNG dengan rugi tekanan hasil eksperimen	20
Tabel 5.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RSM dengan rugi tekanan hasil eksperimen	23
Tabel 6.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 15° dengan rugi tekanan hasil eksperimen	25
Tabel 7.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 30° dengan rugi tekanan hasil eksperimen	27
Tabel 8.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 45° dengan rugi tekanan hasil eksperimen	28
Tabel 9.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 60° dengan rugi tekanan hasil eksperimen	30
Tabel 10.	Perbedaan rugi tekanan hasil simulasi CFD model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 60° dengan rugi tekanan hasil eksperimen	30
Tabel 11.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen SA pada sudut gas masuk 0°	34
Tabel 12.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RNG pada sudut gas masuk 0°	34
Tabel 13.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 0°	34
Tabel 14.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 15°	35
Tabel 15.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 30°	35
Tabel 16.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 45°	35
Tabel 17.	Laju aliran partikel dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 60°	36
Tabel 18.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen SA pada sudut gas masuk 0°	36
Tabel 19.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RNG pada sudut gas masuk 0°	36
Tabel 20.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 0°	37
Tabel 21.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 15°	37
Tabel 22.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 30°	37
Tabel 23.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 45°	38
Tabel 24.	Laju aliran gas dalam mesin siklon (kg/s) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 60°	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Prinsip kerja siklon	6
Gambar 2.	Dimensi siklon yang diteliti ($D = 30$ cm) (Funk, P.A, et al., 2000).	12
Gambar 3.	Diagram alir penelitian	13
Gambar 4.	Distribusi kumulatif partikel	15
Gambar 5.	Grid dari mesin siklon.	16
Gambar 6.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen SA.	17
Gambar 7.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen SA.	18
Gambar 8.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RNG.	19
Gambar 9.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RNG.	20
Gambar 10.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM.	22
Gambar 11.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM.	23
Gambar 12.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 15° .	24
Gambar 13.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 15° .	24
Gambar 14.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 30° .	26
Gambar 15.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 30° .	26
Gambar 16.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 45° .	27
Gambar 17.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 45° .	28
Gambar 18.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 60° .	29
Gambar 19.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM antara sudut gas masuk 0° dan 60° .	29
Gambar 20.	Efisiensi pemisahan partikel terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM untuk berbagai sudut gas masuk.	31
Gambar 21.	Rugi tekanan terhadap kecepatan gas masuk pada mesin siklon dengan model turbulen RSM untuk berbagai sudut gas masuk.	31
Gambar 22.	Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen SA pada sudut gas masuk 0° .	39
Gambar 23.	Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen RNG pada sudut gas masuk 0° .	40
Gambar 24.	Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 0° .	41
Gambar 25.	Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 15° .	42
Gambar 26.	Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 30° .	43
Gambar 27.	Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen RSM.	

Gambar 28. Tekanan statis dalam mesin siklon (Pa) dengan model turbulen RSM pada sudut gas masuk 60° .

45

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I: Data Hasil Perhitungan	34
LAMPIRAN II: Personalia Peneliti	47

LAMPIRAN III: Daftar Pustaka

DAFTAR ISI

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
SUMMARY	v
PRAKATA	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	10
IV. METODE PENELITIAN	11
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
5.1. Model turbulen Spalart-Allmaras (SA).	16
5.2. Model turbulen RNG .	18
5.3. Model turbulen RSM.	21
5.4. Model turbulen RSM dengan sudut gas masuk 15°.	23
5.5. Model turbulen RSM dengan sudut gas masuk 30°.	25
5.6. Model turbulen RSM dengan sudut gas masuk 45°.	27
5.7. Model turbulen RSM dengan sudut gas masuk 60°.	28
5.8. Pengaruh Sudut Gas Masuk	30
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	34