

Evaluasi Pengaruh Kecepatan Rotasi Rotor terhadap Efektifitas Rotary Air Preheater Menggunakan Metode ε -NTU

Dewo Sakarum, Teguh Hady Ariwibowo

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111
deo.sacharum@yahoo.com

Abstrak – Air Preheater (APH) merupakan komponen pendukung dalam PLTU yang berfungsi sebagai pemanasan awal (*preheater*) pada saat pembakaran di dalam ruang bakar. Salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya efektivitas pada rotary air preheater adalah kecepatan rotasi rotor. Untuk mengetahui pengaruh besarnya kecepatan rotasi rotor terhadap performansi rotary air preheater digunakan metode ε -NTU. Variasi dilakukan pada kecepatan rotasi 6 RPM, 9 RPM, 12 RPM, 15 RPM, 18 RPM dan pada C^* 0,64 ; 0,78 ; 0,84. Dari lima variasi yang dilakukan menunjukkan bahwa kecepatan rotasi rotor mempengaruhi besarnya efektivitas. Kecepatan tersebut juga mempengaruhi besarnya NTU sehingga efektivitasnya ikut berubah. Efektivitas tertinggi yaitu pada kecepatan 18 RPM dan C^* 0,64 sebesar 0,8750. Pada kecepatan rotasi yang sama efektivitas pada C^* 0,64 mempunyai nilai yang lebih besar dari pada C^* 0,78 dan 0,84.

Kata kunci: Rotary air preheater, RPM, ε -NTU

Abstract – Air preheater (APH) is a supporting component in the plant that use as preheating (*pre-heater*) at the time of combustion in the combustion chamber. One of the parameters that influence the level of effectiveness of the rotary air preheater is the rotational speed of the rotor. To determine the influence of the magnitude of the rotational speed in the performance of rotary air preheater used ε -NTU method. Variations performed at 6 RPM rotational speed, 9 RPM, 12 RPM, 15 RPM, 18 RPM and the C^* 0.64; 0.78; 0.84. Those variations showed that the rotational speed of the rotor affects the amount of effectiveness. The speed also affects the amount of NTU so that its effectiveness also change. Highest effectiveness at a speed of 18 RPM and C^* 0.64 at 0.8750. At the same rotational speed of the effectiveness of the C^* 0.64 has a value greater than the C^* 0.74 and 0.84.

Key words: Rotary air preheater, RPM, ε -NTU

I. PENDAHULUAN

Air Preheater (APH) merupakan komponen pendukung dalam PLTU yang berfungsi sebagai pemanasan awal (*preheater*) pada saat pembakaran di dalam ruang bakar. Pemanasan ini dilakukan sampai ke tingkat temperatur tertentu sehingga dapat menghasilkan pembakaran yang maksimal dalam boiler [1]. Dalam prosesnya, air preheater ini menggunakan gas buang (*flue gas*) hasil pembakaran di boiler sebagai sumber panasnya, menurut Ahmed S.D dan Ir Kadarisman pemanfaatan gas buang ini memiliki keuntungan memperkecil biaya pada proses pemanasan yang dipakai, juga dapat menurunkan temperatur gas buang sehingga memperkecil pencemaran thermal udara lingkungan [2]. Rotary air preheater merupakan tipe *regenerative air heater* yang digunakan sebagai objek penelitian ini.

Menurut Ramesh K. Shah and Dusan P. Sekutic salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya efektivitas pada rotary air preheater adalah kecepatan rotasi rotor [3]. Sementara itu Sanaye, S. dkk dalam penelitiannya yang berjudul *Optimum operational conditions of rotary rotary air preheater using genetic algorithm* membuktikan bahwa dengan meningkatkan besarnya kecepatan rotasi rotor, maka efektivitas pada rotary air preheater akan meningkat pula [4]. Oleh karena itu, peneliti melakukan evaluasi untuk mengetahui pengaruh kecepatan rotasi rotor pada rotary air preheater terhadap terhadap nilai efektivitasnya.

II. LANDASAN TEORI

A. Rotary Air Preheater

Rotary Air Preheater merupakan sebuah disk berongga yang berukuran cukup besar, dibuat dari material yang mempunyai kapasitas panas tinggi dan berputar antara sisi panas dan dingin secara bergantian (satu sisi fluida panas dan sisi lainnya fluida dingin). Alat ini dapat digunakan untuk batas temperatur yang tinggi pada temperatur gas buang. digunakan pada perpindahan panas antara fluida gas dengan gas dan utamanya pada aplikasi sistem *heat recovery*.

B. Kecepatan Rotasi Rotor

Rotary air preheater pada pembangkit listrik mempunyai sebuah rotor berdiameter 10 meter dan kecepatan rotasi rotor berkisar pada range 0,5 sampai 3 rpm. Sementara untuk rotary air preheater dengan diameter 0,25 sampai 3 meter kecepatan rotasi rotornya dapat mencapai hingga 10 rpm. Sedangkan rotary air preheater dengan diameter 0,6 meter, kecepatan rotasi rotor maksimal dapat mencapai 18 rpm [3].

C. ε -NTU untuk counterflow rotary air preheater

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode ε -NTU. Dan aliran yang diamati yaitu pada counterflow rotary air preheater. Rotary air preheater aliran berlawanan memiliki persamaan efektivitas (ε) sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_c(T_{co}-T_{ci})}{C_{min}(T_{hi}-T_{ci})} = \frac{C_h(T_{hi}-T_{ho})}{C_{min}(T_{hi}-T_{ci})} \quad (2.1)$$

$$\epsilon = \epsilon_{cf} \left[1 - \frac{1}{9(C_r^*)^2} \right] \quad (2.2)$$

$$\epsilon_{cf} = \frac{1 - \exp[-NTU_o(1-C^*)]}{1 - C^* \exp[-NTU_o(1-C^*)]} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- ϵ = efektifitas termal pada rotary air preheater
- ϵ_{cf} = efektifitas pada penukar kalor udara dengan aliran fluida berlawanan
- q = laju perpindahan panas actual (KW)
- q_{max} = perpindahan panas maksimal (KW)
- T_{co} = Temperatur cold out ($^{\circ}C$)
- T_{ci} = Temperatur cold in ($^{\circ}C$)
- T_{hi} = Temperatur hot in ($^{\circ}C$)
- T_{ho} = Temperatur hot out ($^{\circ}C$)
- C^* = Perbandingan nilai kapasitas perpindahan panas terkecil terhadap nilai kapasitas perpindahan panas terbesar pada fluida dingin atau panas
- Cr^* = Perbandingan nilai kapasitas perpindahan panas matriks terhadap nilai kapasitas perpindahan panas fluida terkecil pada udara panas atau dingin.
- NTU = Number of Transfer Unit

Untuk nilai kapasitas perpidahan panas minimal (C_{min}) dan kapasitas perpindahan panas maksimal (C_{max}), nilainya didapatkan dari nilai kapasitas perpindahan panas pada fluida panas (C_h) dan fluida dingin (C_c) yang persamaan yaitu :

$$C_h = \dot{m}_h c_{p,h} \quad \text{dan} \quad C_c = \dot{m}_c c_{p,c} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- \dot{m}_h = Laju massa fluida hot (kg/s)
- \dot{m}_c = Laju massa fluida cold (kg/s)
- $c_{p,h}$ = Kalor spesifik fluida sisi hot (J/kg K)
- $c_{p,c}$ = Kalor spesifik fluida sisi cold (J/kg K)

Sementara untuk nilai C^* dan Cr^* didapat dari persamaan :

$$C_r^* = \frac{C_r}{C_{min}} \quad (2.5)$$

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (2.6)$$

Nilai kapasitas kalor pada dinding matriks (C_r) sendiri didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_r = M_w c_w N \quad (2.7)$$

$$M_w = A_r \cdot L \cdot \rho_w \cdot (1 - \sigma) \quad (2.8)$$

$$\sigma = \frac{A_g}{A_{fr}} \quad (2.9)$$

$$\beta = \frac{A}{V_{matriks}} \quad (2.10)$$

Keterangan =

- M_w = massa keseluruhan matriks rotary air preheater (m)
- σ = porosity
- β = kerapatan matriks (m^2/m^3)
- N = Kecepatan putar rotor (RPM)
- A_g = Luas area aliran (m^2)
- A_{fr} = Luas area permukaan inti matriks (m^2)
- ρ_w = Massa jenis matriks (Kg/m^3)
- L = Kedalaman matriks (m)
- A_r = Luas permukaan penukar kalor (m^2)

Untuk nilai NTU_o didapatkan dari modifikasi persamaan, dimana nilai U_o merupakan koefisien perpindahan panas keseluruhan.:

$$\frac{1}{U_o A} = \frac{1}{(hA)_h} + \frac{1}{(hA)_c} \quad (2.11)$$

$$NTU_o = \frac{U_o A}{C_{min}} \quad (2.12)$$

Untuk nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) dapat dicari menggunakan persamaan:

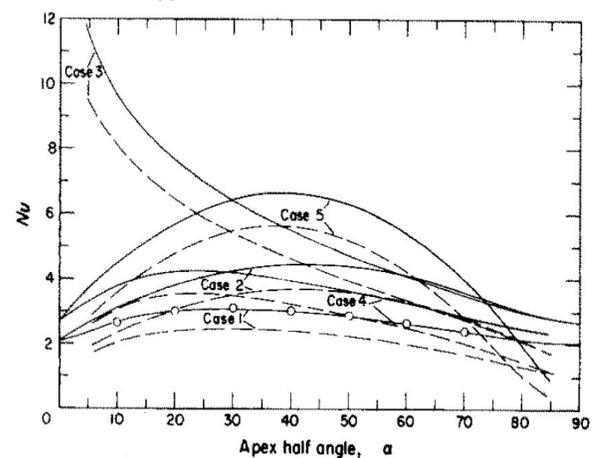
$$h = \frac{Nu.k}{d_{hydraulic}} \quad (2.13)$$

Nilai nusselt bisa didapatkan dari grafik hasil penelitian F.W.Schmidt dan M.E.Newell pada gambar 1. Sementara itu untuk nilai diameter hidrolis, karena matriks berbentuk segitiga (gambar 2), maka dapat dicari menggunakan persamaan:

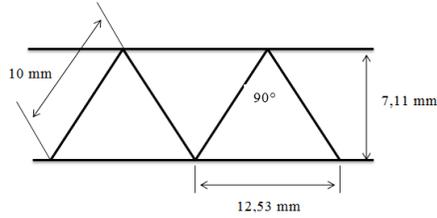
$$d_{hydraulic} = \frac{4.ab}{a + \sqrt{a^2 + 4b^2}} \quad (2.14)$$

Keterangan :

- Nu = bilangan nusselt
- K = Koefisien konduktifitas (W/m.K)
- $d_{hydraulic}$ = diameter hidrolis pada aliran (m)
- a = alas (cm)
- b = tinggi (cm)



Gambar 1. Grafik nusselt terhadap apex half angle

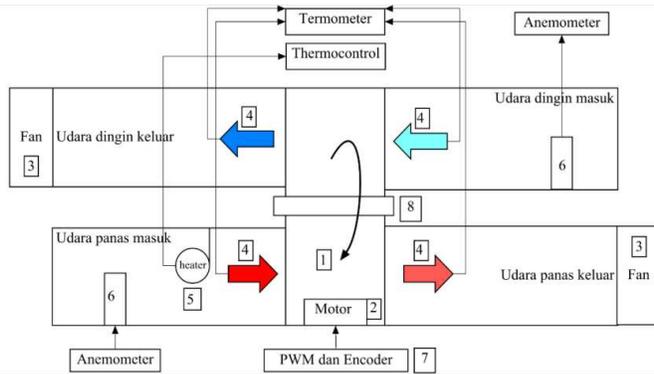


Gambar 2. Geometri matriks

III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

A. Sistem Rotary Air Preheater

Penelitian ini menggunakan alat uji rotary air preheater dengan skala laboratorium. Sistem dari alat ini dapat dilihat pada gambar 2. Pada gambar tersebut udara panas masuk merupakan hasil dari pemanasan udara lingkungan menggunakan heater dengan jenis turbular fin dan dikontrol menggunakan thermocontrol. Range temperature udara panas yang diamati yaitu sebesar 30°C sampai 50°C.



- 1. Matriks
- 2. Motor
- 3. Fan
- 4. Thermocouple tipe K
- 5. Heater
- 6. Anemometer
- 7. PWM dan Encoder
- 8. Sealing

Gambar 2. Skema alat uji

Udara panas tersebut akan memindahkan panas menuju udara dingin melalui air preheater yang diputar dengan kecepatan rotasi tertentu, yaitu dalam penelitian ini akan divariasikan sebesar 6, 9, 12, 15 dan 18 rpm. Fluida udara ini dialirkan menggunakan exhaust fan yang diatur menggunakan dimmer. Sudut seal yang digunakan sebesar 0°. Matriks pada air preheater menggunakan bentuk segitiga. Dimensi matriks tersebut dapat dilihat pada gambar 3. Alat yang digunakan untuk memutar air preheater menggunakan motor DC 24 V dan untuk mengatur kecepatannya menggunakan pulse width modulation (PWM) dengan rotary encoder. Masing-masing temperatur pada bagian udara panas dan dingin diukur menggunakan thermocouple tipe K. Sedangkan untuk mengukur kecepatan masuk udara dingin maupun panas digunakan anemometer.

Berikut ini adalah spesifikasi alat yang digunakan dan batas kerja sistem yang diamati :

Tabel 1. spesifikasi alat yang digunakan dan batas kerja sistem

Spesifikasi alat	
Fan	Exshhaust fan
Motor	DC dengan gearbox
Heater	Turbular fin 950W
Material matriks	Alumunium
Diameter matriks	550 mm
Kedalaman matriks	200 mm
Termometer	Thermocouple tipe K
Batas kerja sistem	
Kecepatan putar matriks	6 – 18 rpm
Laju massa udara dingin atau panas	0,1 – 0,3 kg/s
Temperatur udara panas masuk (Thi)	30 – 50°C
Temperatur udara dingin masuk (Tci)	27 – 33°C
Sudut seal	0°

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian

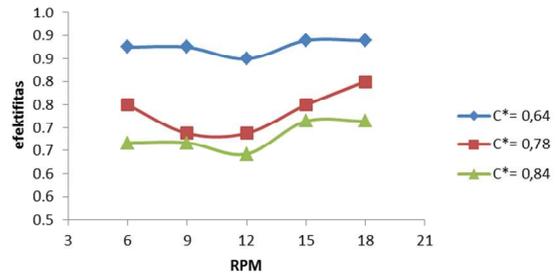
Setelah dilakukan penelitian, didapatkan data yang menunjukkan adanya pengaruh kecepatan rotasi rotor terhadap nilai efektifitas rotary air preheater. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai efektifitas

RPM	Efektifitas		
	C*=0,64	C*=0,78	C*=0,84
6	0,875	0,75	0,6667
9	0,875	0,6875	0,6667
12	0,8	0,6875	0,6429
15	0,8889	0,75	0,7143
18	0,8889	0,8	0,7143

Dari data di atas didapatkan grafik antara hubungan besarnya kecepatan rotasi rotor terhadap besarnya efektifitas.

Kecepatan rotasi terhadap efektifitas

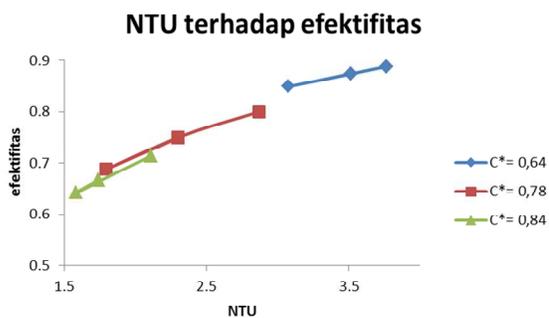


Gambar 4. Grafik pengaruh kecepatan rotasi terhadap efektifitas

Dari gambar 4 didapat hubungan pengaruh kecepatan rotasi terhadap besarnya efektifitas. Pada lima variasi RPM yang dilakukan dengan C^* konstan, terlihat bahwa tren grafik cenderung naik seiring dengan naiknya kecepatan rotasi. Kecepatan rotasi sendiri mempengaruhi besarnya efektifitas dikarenakan setiap kenaikan dari kecepatan rotasi hal itu membuat nilai kapasitas kalor pada dinding matriks (C_r) akan semakin meningkat. Sehingga besarnya panas yang mampu ditransferkan menuju sisi yang lain menjadi semakin besar. Dari grafik diatas seiring perubahan C^* , terlihat dari masing-masing variasi kecepatan rotasi menunjukkan adanya nilai efektifitas yang fluktuatif. Pada RPM 12 nilai efektifitas cenderung turun dan kemudian naik lagi hingga efektifitas terbesar yaitu pada RPM 18 dan C^* 0,64 sebesar 0,875. Nilai yang fluktuatif tersebut diakibatkan dari persamaan (2.1) yaitu selisih temperatur Th_i dikurangi temperatur Th_o lebih besar dibandingkan dengan selisih temperatur Th_i dikurangi temperatur Tc_i . Sehingga saat pada penelitian nilai temperatur tersebut berubah-ubah seiring dengan perubahan kecepatan rotasi maka nilai efektifitasnya juga akan fluktuatif.

Nilai C^* merupakan besarnya perbandingan nilai kapasitas perpindahan panas terkecil (C_{min}) terhadap nilai kapasitas perpindahan panas fluida terbesar (C_{max}) pada udara, semakin kecil nilai C^* maka nilai efektifitas akan semakin besar. Hal itu dapat dilihat pada persamaan (2.3). Pada persamaan tersebut jelas terlihat bahwa nilai efektifitas akan semakin naik apabila nilai C^* semakin kecil, karena efektifitas merupakan hasil perbandingan dari nilai C^* .

Selain mempengaruhi efektifitas, besarnya kecepatan rotasi rotor juga mempengaruhi nilai NTU. Dari nilai NTU tersebut, akan mempengaruhi besarnya efektifitas pula. Hal tersebut dapat dilihat berdasarkan pada persamaan (2.2) dan (2.3). Sementara itu untuk mengetahui hubungan antara besarnya NTU dan efektifitas dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik NTU terhadap efektifitas

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai NTU maka nilai efektifitas juga semakin besar pada C^* yang konstan. Tren grafik efektifitas terhadap NTU ini sesuai dengan teori bahwa pada C^* yang semakin kecil, maka nilai efektifitasnya akan semakin besar dan nilainya mendekati tak hingga.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar nilai kecepatan rotasi rotor, maka efektifitas cenderung mengalami kenaikan.
2. Efektifitas tertinggi yaitu pada C^* 0,64 dengan kecepatan rotasi rotor 18 RPM sebesar 0,8889.
3. Nilai efektifitas pada C^* 0,64 lebih besar daripada C^* 0,78 dan C^* 0,84
4. Besarnya nilai NTU mempengaruhi besarnya efektifitas

PUSTAKA

- [1] Anonim, *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri Asia*, 2006. Website: www.energyefficiencyasia.org, diakses tanggal 11 Juli 2014.
- [2] Ahmed S.D dan Ir Kadarisman., *Pengaruh Penambahan Regenerator Pada Sistem Turbin Gas Siklus Terbuka Sederhana (Studi Kasus PT. Indonesia Power UBP Pamaran Singaraja Bali)*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
- [3] Shah, Ramesh K., and Sekulic, Dusan P., *Fundamentals of Heat Exchanger Design*, John Wiley & Sons, Inc. 2003.
- [4] S. Sanaye, S. Jafari, and H. Ghaebi, Optimum Operational Conditions of a Rotary Regenerator Using Genetic Algorithm, *Energy and Buildings*, vol. 40, 2008, pp. 1637-1642.
- [5] Schmidt, F.W., and Newell, M.E., Heat Transfer In Fully Developed Laminar Flow Through Rectangular and Isosceles Triangular Ducts, *int. J. Heat Mass Transfer*. Vol. 10, 1967, pp. 1121-1123.