

RANCANGAN AWAL *SPRAY COOLER* UNTUK SISTEM PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU BATUBARA MENGGUNAKAN MBE

Suprpto, Djoko S. Pudjorahardjo

Puslitbang Teknologi Maju BATAN

ABSTRAK

RANCANGAN AWAL *SPRAYS COOLER* UNTUK SISTEM PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU BATUBARA MENGGUNAKAN MBE. Gas buang dari PLTU berbahan bakar batubara antara lain mengandung SO_2 dan NO_x yang dapat mengakibatkan hujan asam. Salah satu usaha untuk menurunkan kadar SO_2 dan NO_x adalah dengan menerapkan teknologi pengolahan gas buang menggunakan MBE. Gas buang sebelum keluar dari cerobong diiradiasi menggunakan berkas elektron yang dihasilkan oleh MBE. Untuk itu suhu gas buang perlu diturunkan dari sekitar $138^\circ C$ menjadi sekitar $65^\circ C$ menggunakan spray cooler. Pendinginan gas buang di dalam spray cooler karena percampuran gas buang dengan air yang dikabutkan dan suhunya sekitar $30^\circ C$. Untuk rancangan awal spray cooler yang sesuai dengan kebutuhan maka telah dilakukan analisis pendinginan gas buang pada spray cooler. Dari analisis tersebut diperoleh ukuran spray cooler dengan diameter 1,9 m dan tinggi 7,6 m, air pendingin yang diperlukan 705 kg/jam dan kandungan uap air gas buang keluar dari spray cooler adalah 8,1 % (volume). Untuk mengkabutkan air ke dalam spray cooler dengan tekanan 25 kgf/cm^2 dan kapasitas $750 \text{ m}^3/\text{jam}$ diperlukan daya pompa 2,33 kW.

Kata kunci: Pengolahan gas buang, Mesin Berkas Elektron.

ABSTRACT

PRELIMINARY DESIGN OF *SPRAY COOLER* FOR *E-BEAM FLUE GAS TREATMENT SYSTEM* AT COAL FIRED POWER PLANT. Flue gas from coal fired power plant contains SO_2 and NO_x which can yield acid rain. One of the efforts to reduce SO_2 and NO_x from flue gas is by utilization of electron beam flue gas treatment technology. Before leaving exhausting stack, flue gas is irradiated by electron beam from an electron beam machine. For this purpose it is necessary to cool the flue gas from about $138^\circ C$ up to about $65^\circ C$ by using spray cooler. The cooling of flue gas in spray cooler is due to the mixing of flue gas with atomized water which has temperature of about $30^\circ C$. For preliminary design of required spray cooler, it has been analyzed the cooling of flue gas in spray cooler. The analysis yields the dimension of spray cooler, 1.9 m diameter and 7.6 m height, 705 kg/hour cooling water and 8.1 % (volume) water vapour content in flue gas. For water atomizing into spray cooler having pressure of 25 kgf/cm^2 and capacity of $750 \text{ m}^3/\text{hour}$, a 2.33 kW pump power is needed.

PENDAHULUAN

Kebijakan pengelolaan lingkungan hidup pada kegiatan pembangunan pusat-pusat listrik ditetapkan melalui Undang-undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 27 Tahun 1999 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan dan Pedoman tentang pelaksanaannya yang dikeluarkan oleh

Menteri Negara Lingkungan Hidup serta peraturan-peraturan lain yang berkenaan dengan kebijaksanaan pengelolaan lingkungan hidup. Salah satunya adalah peraturan baku mutu emisi tahun 2000 atau BME 2000.

Pusat-pusat listrik di Indonesia saat ini umumnya menggunakan bahan bakar fosil seperti batubara dan minyak bumi. Diantara beberapa jenis pusat listrik, salah satunya adalah jenis Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Indonesia memiliki cadangan batubara 36,5 milyar ton atau sebanyak 3,1% dari seluruh cadangan batubara dunia. Cadangan batubara tersebut 67,9% terdapat di Sumatra, 31,6% terdapat di Kalimantan dan sisanya terdapat di Jawa, Sulawesi dan Papua. Dari sekian banyak cadangan batubara di Indonesia ternyata yang kualitasnya memenuhi standar baku mutu emisi (BME) 2000 kurang dari 10%. Sebagian besar cadangan batubara Indonesia kualitasnya tidak memenuhi standar BME 2000.

Dari pembakaran bahan bakar batubara di PLTU menghasilkan emisi gas buang (*flue gas*) yang mengandung gas SO_2 dan NO_x . Hal ini merupakan sumber polusi udara yang cukup besar. Reaksi yang terjadi di udara akan menyebabkan hujan asam yang berbahaya bagi lingkungan. Meningkatnya penggunaan batubara berkualitas rendah dengan kadar kandungan belerang yang cukup tinggi menyebabkan tingkat pencemaran udara yang makin memprihatinkan. Berbagai teknologi dan proses telah dikembangkan untuk mengurangi emisi SO_2 dan NO_x , diantaranya adalah FGD (*Flue Gas Desulphurisation*), SCR (*Selective Catalitic Reduction*) dan EB-FGT (*Electron Beam Pengolahan gas buang*) menggunakan MBE (Mesin Berkas Elektron).

Penerapan teknologi EB-FGT di PLTU untuk memecahkan permasalahan yang berhubungan dengan peraturan mengenai pengelolaan lingkungan hidup mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses konvensional (FGD dan SCR). EB-FGT merupakan suatu sistem proses yang kompak karena dapat mengolah SO_2 dan NO_x secara serentak dengan tingkat efisiensi tinggi; sangat cocok untuk pengolahan gas buang dengan kandungan SO_2 yang tinggi dan membutuhkan air proses sedikit dibandingkan FGD; ramah lingkungan karena proses akan mengubah polutan menjadi pupuk pertanian dan tidak menghasilkan limbah/polutan baru; lebih ekonomis ditinjau dari segi konstruksi dan operasi instalasi, serta pengaruh terhadap biaya produksi tenaga listrik relatif kecil bahkan ada kemungkinan berubah menjadi keuntungan bila produk pupuk dapat dikelola dengan baik; lahan yang dibutuhkan untuk instalasi ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan teknologi sejenis yang lain.

Pada pengolahan gas buang PLTU menggunakan teknologi EB-FGT, gas buang dari PLTU sebelum dibuang melalui cerobong diiradiasi dengan berkas elektron agar kadar SO_2 dan NO_x yang keluar dari cerobong berkurang sehingga memenuhi standar BME 2000 yaitu tidak lebih dari 750 mg/m^3 untuk SO_2 dan tidak lebih dari 850 mg/m^3 untuk NO_x . Sebelum diiradiasi dengan berkas elektron, gas buang dari PLTU harus didinginkan terlebih dahulu dari sekitar 138°C menjadi sekitar 65°C . Untuk menurunkan suhu gas buang dilakukan dengan mengalirkan gas buang melalui *spray cooler*. Di dalam *spray cooler* dikabutkan air sehingga terjadi pencampuran antara gas buang dan air. Karena air yang dikabutkan mempunyai suhu kamar (sekitar 30°C) maka terjadi pendinginan. Untuk menentukan spesifikasi teknis *spray cooler* yang sesuai dengan kebutuhan maka telah dilakukan rancangan awal (*preliminary design*) *spray cooler*. Dalam rancangan awal ini dilakukan analisis pendinginan gas buang di dalam *spray cooler*. Setelah rancangan awal harus dilanjutkan dengan rancangan untuk menentukan kekuatan material yang digunakan sampai dihasilkan gambar teknik (*engineering drawing*) untuk acuan dalam pembuatan dan konstruksi *spray cooler*. Dari rancangan awal tersebut diperoleh dimensi *spray cooler*, kebutuhan air pendingin dan perlengkapannya.

DASAR TEORI

Bahan *Spray Cooler*

Spray cooler agar dapat berfungsi dengan baik dan mempunyai umur pakai yang cukup panjang, maka dalam konstruksinya harus menggunakan bahan yang sesuai. Ada beberapa jenis bahan yang dapat digunakan untuk konstruksi *spray cooler* antara lain baja karbon, aluminium dan stainless steel. Masing-masing bahan tersebut mempunyai keunggulan dan kekurangan. Untuk bahan dari baja karbon mempunyai keunggulan murah, namun baja ini tidak tahan terhadap korosi sehingga mudah terjadi korosi akibat gas buang yang disalurkan dan didinginkan dalam *spray cooler*. Untuk bahan dari aluminium mempunyai keunggulan murah, konduktivitas termal besar sehingga baik

untuk konstruksi pendinginannya tetapi sukar dalam konstruksinya karena dalam konstruksi bejana iradiasi banyak pekerjaan pengelasan dan aluminium termasuk bahan yang mempunyai kemampuan las rendah (sukar untuk dilakukan pengerjaan pengelasan). Bahan dari stainless steel mempunyai kekurangan harganya mahal, namun mempunyai kemampuan las baik sehingga mudah dalam konstruksinya dan ketahanan korosi yang baik sehingga tahan terhadap korosi dan kelihatan bersih (estetika baik) serta mempunyai umur pakai yang lama.

Bentuk Bejana *Spray Cooler*

Dalam rancangan *spray cooler*, bentuk *spray cooler* yang direncanakan harus diperhatikan. Bentuk ini harus disesuaikan dengan bentuk peralatan-peralatan yang lain sehingga memudahkan dalam instalasinya. Disamping itu *spray cooler* harus berfungsi dengan baik untuk mendinginkan gas buang yang akan diiradiasi dengan mesin berkas elektron. Pada umumnya *spray cooler* berbentuk silinder dengan volume sesuai dengan kapasitas gas yang didinginkan dan waktu tinggal gas yang didinginkan di dalam *spray cooler* sekitar 5 detik^[1].

Kebutuhan Air Pendingin

Pendinginan gas buang yang akan diiradiasi dengan mesin berkas elektron dilakukan dengan mencampurkan air ke dalam gas buang. Jumlah air yang diperlukan untuk pendinginan disesuaikan dengan kapasitas gas buang yang didinginkan berdasarkan suhu awal dan suhu akhir yang diinginkan. Jumlah kebutuhan air ditentukan dengan menggunakan kesetimbangan energi dan massa. Persamaan dasar kesetimbangan energi dan massa untuk menentukan kebutuhan air adalah^[2]:

a. Kesetimbangan energi

$$m_a h_a + m_b h_b = m_c h_c \quad (1)$$

$$\Delta h = C_p \Delta T \quad (2)$$

b. Kesetimbangan massa

$$m_a + m_b = m_c \quad (3)$$

dengan m_a , m_b , m_c adalah masing-masing massa gas buang, massa air yang ditambahkan dan massa campuran gas buang dan air, h_a , h_b , h_c masing-masing enthalpi gas buang, enthalpi air yang ditambahkan dan enthalpi campuran gas buang dan air.

Aplikasi persamaan tersebut untuk perhitungan pendinginan gas buang yang akan diiradiasi dengan mesin berkas elektron adalah pada kondisi masuk dan keluar dari *spray cooler*.

Pada kondisi masuk *spray cooler*

Gas buang yang keluar dari PLTU dan masuk ke dalam *spray cooler* mempunyai kandungan bermacam-macam jenis gas, jika massa gas buang tersebut diuraikan atas dasar kandungan jenis gasnya adalah

$$m_a = m_{O_2} + m_{CO_2} + m_{H_2O(1)} + m_{N_2} + m_{SO_x} + m_{NO_x} \quad (4)$$

dan

$$m_b = m_{H_2O} \text{ yang ditambahkan melalui } \textit{spray cooler}$$

Pada kondisi keluar *spray cooler*

Massa gas buang keluar dari *spray cooler* adalah

$$m_c = m_{O_2} + m_{CO_2} + m_{H_2O(2)} + m_{N_2} + m_{SO_x} + m_{NO_x} = m_a + m_b \quad (5)$$

dan

$$m_{H_2O(2)} = m_{H_2O(1)} + m_b \quad (6)$$

Dalam analisis ini menggunakan kesetimbangan energi dengan kalor jenis pada tekanan tetap (C_p), hubungan antara enthalpi dan kalor jenis ditunjukkan pada persamaan (2). Untuk menentukan besar kalor jenis pada tekanan tetap (C_p) sebagai fungsi suhu fluida dengan persamaan^[2]:

$$C_p = \frac{R_u}{M_w} (a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4) \quad (7)$$

nilai konstanta a , b , c , d dan e ditentukan sesuai jenis fluidanya. Untuk perhitungan pengolahan gas buang harus ditentukan pada kondisi masuk dan pada kondisi keluar yang berdasarkan fraksi massa dari tiap-tiap gas yang dikandungnya.

Berdasarkan persamaan (2) dan kesetimbangan energi maka dapat dituliskan

$$m_a C_{p,a} (T_a - T_o) + m_b C_{p,b} (T_b - T_o) + m_b h_{fg} = m_c C_{p,c} (T_c - T_o) \quad (8)$$

karena suhu akhir (T_o) yang dikehendaki adalah sama dengan suhu gas buang keluar (T_c) yaitu $T_o = T_c$, maka

$$T_o = \frac{m_a C_p (T_a - T_o) + m_b C_p (T_b - T_o) + m_b h_{fg}}{m_a C_{p,a} + m_b C_{p,b}} \quad (9)$$

Prosentase uap air keluar *spray cooler*

Penentuan prosentase volumetrik kandungan uap air dalam gas buang didasarkan pada fraksi massa. Untuk menentukan kandungan uap air ini terlebih dahulu ditentukan densitas gas buang keluar dari *spray cooler* yaitu:

$$\rho_c = \frac{m_{O_2}}{m_c} \rho_{O_2} + \frac{m_{CO_2}}{m_c} \rho_{CO_2} + \frac{m_{H_2O(2)}}{m_c} \rho_{H_2O} + \frac{m_{N_2}}{m_c} \rho_{N_2} + \frac{m_{SO_x}}{m_c} \rho_{SO_x} + \frac{m_{NO_x}}{m_c} \rho_{NO_x} \quad (10)$$

Dengan demikian volume gas buang yang keluar adalah

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (11)$$

Prosentase uap air volumetrik dalam gas buang keluar (R) adalah:

$$R = \frac{V_{H_2O}}{V} 100\% \quad (12)$$

Sistem Pengkabutan

Sistem pengkabutan digunakan untuk mengkabutkan air pendingin ke dalam aliran gas buang dalam *spray cooler*. Pengkabutan ini berfungsi agar air pendingin yang dimasukkan dapat dengan mudah bercampur dengan gas buang sehingga terjadi pendinginan akibat penyerapan panas oleh air untuk penguapan. Sistem pengkabutan ini biasanya terdiri dari pompa, perpipaan dan *nozzle*. Untuk menentukan kebutuhan pompa perlu ditentukan *head* pada instalasi pompa tersebut, *head* ini ditentukan dengan persamaan^[3]

$$H = H_a + H_L \quad (13)$$

dan

$$H_L = \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V^2}{2g} \quad (14)$$

dengan H adalah *head* yang terjadi pada instalasi pompa (m ka), H_a *head* statis yaitu *head* yang disebabkan oleh adanya beda ketinggian dan beda tekanan (m ka), H_L rugi-rugi *head* akibat instalasi (m ka), f koefisien gesek pada instalasi pompa (m), L panjang pipa pada instalasi pompa (m), D diameter pipa (m), K konstanta rugi-rugi *minor* pada perlengkapan instalasi, V kecepatan air di dalam perpipaan (m/detik) dan g gravitasi bumi (m²/detik). Besar koefisien gesek ditentukan berdasarkan bilangan Reynolds dan dengan diagram Moddy. Bilangan Reynolds (R_e) ditentukan dengan persamaan^[3]

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (15)$$

dengan μ viskositas air yang dipompa. Untuk menghitung daya pompa dilakukan dengan persamaan^[4]

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (16)$$

dengan η efisiensi pompa.

TATAKERJA

Persyaratan *spray cooler* yang diperlukan pada pengolahan gas buang dengan MBE untuk mereduksi kandungan SO_x dan NO_x gas buang PLTU dengan bahan bakar batubara ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada analisis *spray cooler* untuk pengolahan gas buang harus dipertimbangan mengenai: kebutuhan air pendingin, kandungan uap air dan sistem instalasi pompa untuk mengkabutkan air pendingin. Konsep gambar teknis *spray cooler* untuk pengolahan gas buang PLTU batubara dengan mesin berkas elektron ditunjukkan pada Gambar 1.

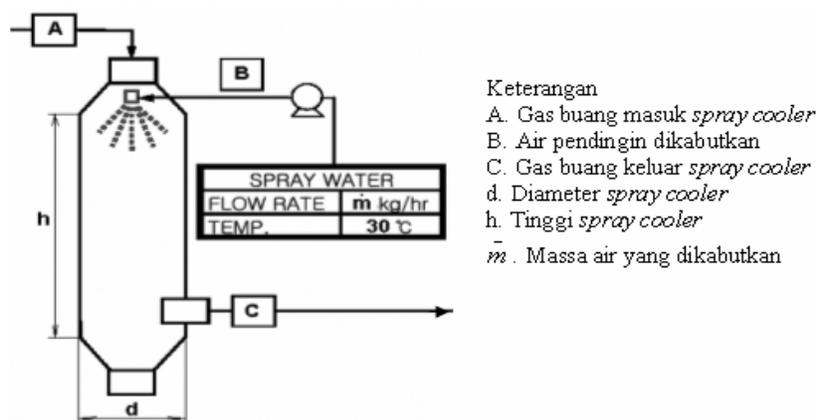
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengolahan gas buang PLTU batubara, gas buang dari generator uap (*boiler*) terlebih dahulu dilewatkan melalui *electrostatic precipitator* (ESP). Di dalam ESP ini debu

layang dan gas dipisahkan sehingga gas keluar dari ESP sudah bersih dari debu layang. Namun demikian gas buang keluar dari ESP masih mempunyai suhu yang cukup tinggi yaitu sekitar $138\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan persyaratan suhu gas buang untuk diolah dengan mesin berkas elektron di dalam bejana proses (*proses vessel*) adalah sekitar $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan kandungan uap air maksimum $11,5\%$ (volume)^[1], sehingga gas buang tersebut belum memenuhi persyaratan dan harus didinginkan. Untuk mendinginkan gas buang ini dilakukan di dalam *spray cooler* dengan cara menambahkan air ke dalam *spray cooler* sehingga terjadi penguapan dan penurunan suhu. Agar jumlah air yang ditambahkan sesuai dengan kebutuhan untuk mendinginkan gas buang, maka perlu dilakukan perhitungan yang teliti. Dalam perhitungan juga harus dipertimbangkan kenaikan kandungan uap air akibat penambahan air pendingin. Berdasarkan jumlah gas buang yang akan diolah sebesar $20.000\text{ Nm}^3/\text{jam}$, maka didapatkan data-data fraksi massa tiap-tiap jenis gas seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Persyaratan *spray cooler* untuk pengolahan gas buang.

Parameter operasi	Keterangan
Kapasitas gas buang	$20.000\text{ m}^3/\text{jam}$
Suhu gas buang masuk	$138\text{ }^{\circ}\text{C}$
Suhu gas buang keluar	$65\text{ }^{\circ}\text{C}$
Sistem pendinginan	Pengkabutan air dengan suhu air $30\text{ }^{\circ}\text{C}$



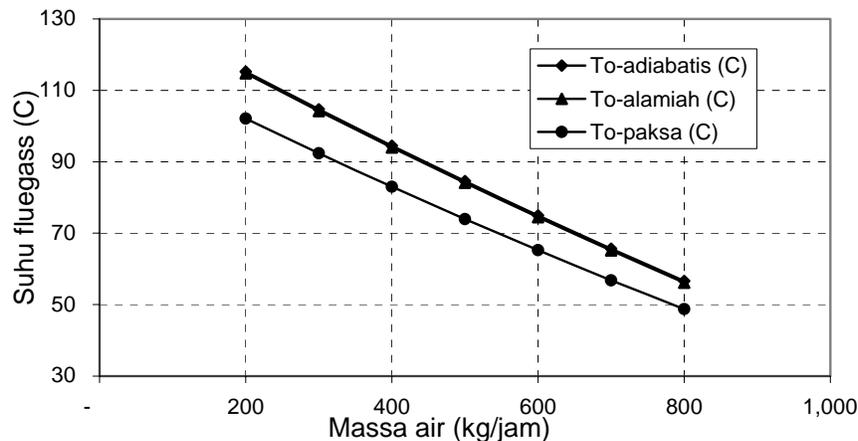
Gambar 1. Rancangan dasar *spray cooler*.

Tabel 2. Fraksi massa gas buang masuk *spray cooler* untuk kapasitas 20.000Nm³/jam⁽¹⁾.

No	1	2	3	4	5	6
Jenis gas	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂	SO ₂	NO _x
Jumlah (kg/jam)	1.304	5.130	1.273	18.588	42	11

Jika dengan asumsi gas buang yang akan diolah berasal dari PLTU batubara di Suralaya, gas buang tersebut masuk *spray cooler* dengan suhu sekitar 138 °C⁽⁵⁾, sehingga harus dilakukan pendinginan. Perhitungan proses pendinginan ini didasarkan pada kesetimbangan massa dan energi yang telah diuraikan yaitu dari persamaan (1) sampai persamaan (9). Hubungan jumlah air yang harus ditambahkan dan suhu gas buang keluar dari *spray cooler* ditentukan dengan persamaan (9) dan massa gas buang dihitung dengan persamaan (4) serta persamaan (5), sedangkan kalor jenisnya dihitung dengan persamaan (7). Hasil perhitungan hubungan suhu gas buang keluar dari *spray cooler* dan jumlah air pendingin yang ditambahkan ditunjukkan pada Gambar 2. Perhitungan ini dengan memvariasi jumlah air pendingin yang ditambahkan mulai dari 200 kg/jam s/d. 800 kg/jam sehingga dapat diketahui perubahan suhu gas buang terhadap

perubahan jumlah air yang ditambahkan. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa suhu gas buang keluar dari *spray cooler* adalah berbanding terbalik dengan jumlah massa air yang ditambahkan dan hubungannya mendekati linier, dengan persamaan regresi $y = -0,0977x + 134,04$ untuk kondisi adiabatik, $y = -0,0976x + 133,51$ untuk kondisi konveksi alam dan $y = -0,0089x + 105,36$ untuk kondisi konveksi paksa. Perhitungan ini dengan mengasumsikan bahwa suhu air pendingin masuk *spray cooler* 30 °C dan dimasukkan dengan cara dikabutkan sehingga semua jumlah air yang ditambahkan menjadi uap dan bercampur dengan gas buang. Jadi perhitungan proses pendinginan gas buang dengan air pendingin mencakup perubahan suhu akibat panas sensibel yaitu perubahan suhu air pendingin dari 30 °C menjadi 65 °C dan panas laten penguapan air pendingin pada suhu 65 °C.



Gambar 2. Suhu gas buang keluar *spray cooler* sebagai fungsi massa air pendingin yang ditambahkan.

Perhitungan ini dilakukan dengan 3 cara yaitu: (a) gas buang di dalam *spray cooler* didinginkan dengan air pendingin yang ditambahkan dan diisolasi terhadap lingkungan dengan sempurna (diisolasi dengan cara adiabatik), (b) gas buang di dalam *spray cooler* didinginkan dengan air pendingin yang ditambahkan dan dengan cara konveksi alamiah dan (c) gas buang di dalam *spray cooler* didinginkan dengan air pendingin yang ditambahkan dan dengan cara konveksi paksa dengan kecepatan udara lingkungan 5 m/detik. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa jika dalam proses pendinginan ditambahkan air pendingin sebanyak 200 kg/jam, maka suhu gas buang keluar *spray cooler* adalah 115 °C untuk cara pendinginan (a) dan (b). Tetapi jika pendinginan dengan cara (c), suhu gas buang mencapai 102 °C. Jika air pendingin yang ditambahkan ke dalam *spray cooler* sebanyak 800 kg/jam didapatkan suhu gas buang keluar *spray cooler* sebesar 57 °C untuk cara pendinginan (a) dan 56 °C untuk cara pendinginan (b) serta 49 °C untuk cara pendinginan (c). Untuk menurunkan suhu gas buang dari 138 °C menjadi 65 °C dengan cara (a) dan (b) dibutuhkan air pendingin sebanyak 705 kg/jam, sedangkan jika didinginkan dengan cara (c) dibutuhkan air pendingin sebanyak 600 kg/jam. Untuk pendinginan dengan cara (c), jika air yang ditambahkan sebanyak 705 kg/jam (jumlah air sama dengan cara (a) dan (b)) didapatkan suhu gas buang sebesar 56 °C. Berdasarkan hasil perhitungan dengan cara (a) yaitu pendinginan dengan air pendingin yang ditambahkan dan diisolasi dengan cara adiabatik dan (b) yaitu didinginkan dengan air pendingin yang ditambahkan dan dengan cara konveksi alamiah tidak jauh berbeda, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh pendinginan dengan cara konveksi alamiah tidak signifikan. Namun demikian untuk standar pendinginan gas buang biasanya *spray cooler* dilapisi dengan *rock wool* tebal 10 cm^[1] sehingga pendekatan yang paling sesuai adalah dengan cara (a) yaitu *spray cooler* diisolasi sempurna terhadap lingkungan (diisolasi dengan cara adiabatik). Jika perhitungan diasumsikan dengan cara (a) hasilnya lebih aman yaitu kemungkinan suhu gas buang tidak tercapai pada suhu yang dikehendaki sangat kecil. Hal ini disebabkan pada kenyataannya proses pendinginan secara adiabatik tidak mungkin, karena disamping didinginkan oleh air pendingin yang ditambahkan juga didinginkan

oleh udara di sekitarnya. Pendinginan oleh udara sekitar dapat berjalan dengan proses pendinginan dengan cara konveksi paksa atau dengan proses pendinginan dengan cara konveksi alam. Proses pendinginan ini tergantung dari kecepatan hembusan udara disekitar *spray cooler*,

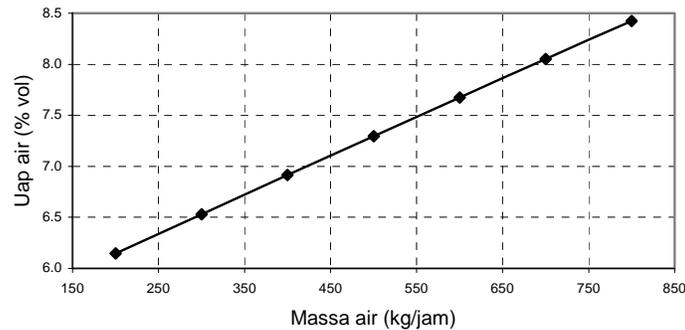
Pada proses pengolahan gas buang PLTU batubara dengan mesin berkas elektron, disamping suhu gas buang saat masuk bejana proses, hal yang harus diperhatikan adalah kandungan uap air dari gas buang tersebut. Kandungan uap air ini dibatasi maksimum sebesar 11,5 % volume^[5]. Agar terpenuhi batas maksimum ini maka harus diperhitungkan pengaruh penambahan air pendingin terhadap perubahan kandungan uap air pada gas buang. Untuk menghitung penambahan kandungan uap air dengan persamaan (10), (11) dan (12). Hasil perhitungan hubungan kandungan uap air pada gas buang terhadap penambahan air pendingin ditunjukkan pada Gambar 3. Perhitungan ini dengan memvariasi penambahan air pendingin mulai dari 200 kg/jam s/d. 800 kg/jam.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk gas buang sebelum didinginkan (belum ada penambahan air pendingin) mempunyai kandungan uap air 5,4 % (volume) dan setelah ditambah air pendingin sebanyak 200 kg/jam kandungan uap air menjadi 6,1 % (volume), kenaikan kandungan uap air 0,7 % (volume). Untuk penambahan air pendingin sebanyak 800 kg/jam, kandungan uap air menjadi 8,4 % (volume) sehingga kenaikannya adalah 3 % (volume). Untuk mendinginkan gas buang dari suhu 138 °C menjadi 65 °C diperlukan air pendingin 705 kg/jam untuk cara (a) dan (b), dengan penambahan air pendingin ini didapatkan kandungan uap air 8,1 % (volume) sehingga kenaikan kandungan uap air sebesar 2,7 % (volume). Tetapi jika pendinginan dengan cara (c) dibutuhkan air pendingin sebanyak 600 kg/jam dan didapatkan kandungan uap air sebesar 7,7 % (volume) sehingga kenaikannya sebesar 2,3 % (volume). Jadi pendinginan gas buang dari suhu 138 °C menjadi 65 °C baik dengan cara (a), (b) dan (c) didapatkan kandungan uap air dibawah batas yang dipersyaratkan yaitu 11,5 % (volume)^[1]. Disamping kebutuhan air pendingin dan kandungan uap air dari gas buang keluar *spray cooler*, hal yang harus diperhatikan adalah dimensinya. Dimensi

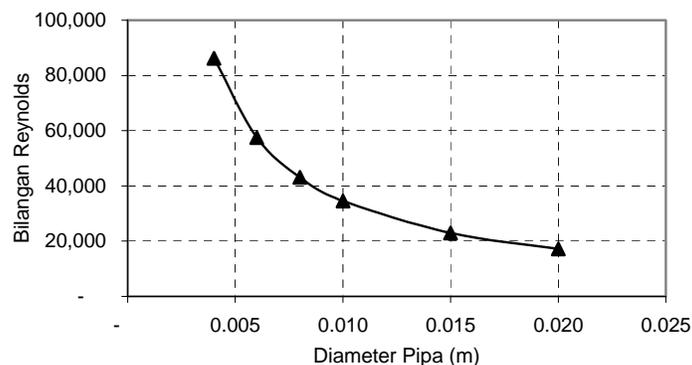
ini dihitung berdasarkan kecepatan gas buang di dalam *spray cooler* dan waktu tinggal yang dipersyaratkan. Waktu tinggal yang dipersyaratkan adalah 5 detik^[1], sehingga untuk kapasitas 20.000 m³/jam dari hasil perhitungan didapatkan dimensi *spray cooler* 1,9 m dan tinggi 7,6 m.

Proses pendinginan gas buang di dalam *spray cooler* menggunakan air pendingin yang dikabutkan langsung dan bercampur dengan gas buang sehingga diperlukan suatu pompa dan instalasinya. Kebutuhan pompa dan instalasinya ini telah dilakukan analisis dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4, 5 dan 6. Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil analisis karakteristik aliran air yaitu bilangan Reynolds (R_e) yang sangat berperan di dalam instalasi pompa. Bilangan Reynolds ini ditentukan

dengan persamaan (15). Bilangan Reynolds dari suatu aliran sangat menentukan besarnya gesekan yang terjadi. Analisis ini dilakukan secara simulasi dengan menentukan kapasitas sesuai kebutuhan air pendingin yaitu 705 kg/jam. Disamping itu, simulasi dilakukan dengan memvariasi diameter pipa yang digunakan untuk instalasi pompa sehingga didapatkan pengaruh diameter terhadap bilangan Reynolds dan pada akhirnya pada *head* dan daya pompa yang diperlukan. Hasil simulasi untuk menentukan bilangan Reynolds ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa hubungan diameter pipa pada instalasi pompa dengan nilai bilangan Reynolds adalah berbanding terbalik yaitu makin kecil diameter pipa makin besar bilangan Reynolds yang terjadi.



Gambar 3. Kandungan uap air dalam gas buang keluar *spray cooler* sebagai fungsi massa air pendingin yang ditambahkan.

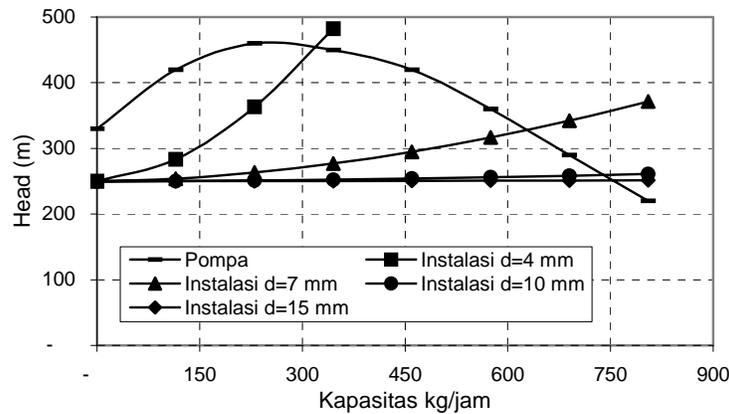


Gambar 4. Bilangan Reynolds pada instalasi pompa air di *spray cooler* sebagai fungsi diameter pipa.

Setelah simulasi untuk menentukan nilai bilangan Reynolds dilanjutkan simulasi untuk menentukan *head* pada instalasi dan daya pompa yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Untuk simulasi *head* yang terjadi pada instalasi pompa didasarkan pada persamaan (13) dan (14). Hasil simulasi *head* pada instalasi pompa (Gambar 5) sekaligus dapat diketahui kinerja dari instalasi pompa meliputi kinerja pompa dan perpipaannya.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa makin kecil diameter pipa pada instalasi pompa makin besar *head* yang terjadi dan makin kecil kapasitas yang dihasilkan pada instalasi pompa, walaupun didasarkan diagram Moddy didapatkan koefisien gesek antara air dengan permukaan pipa makin kecil karena bilangan Reynolds makin besar^[4]. Pompa yang digunakan untuk memompa air dan dikabutkan ke dalam *spray cooler* adalah jenis pompa sentrifugal^[1],

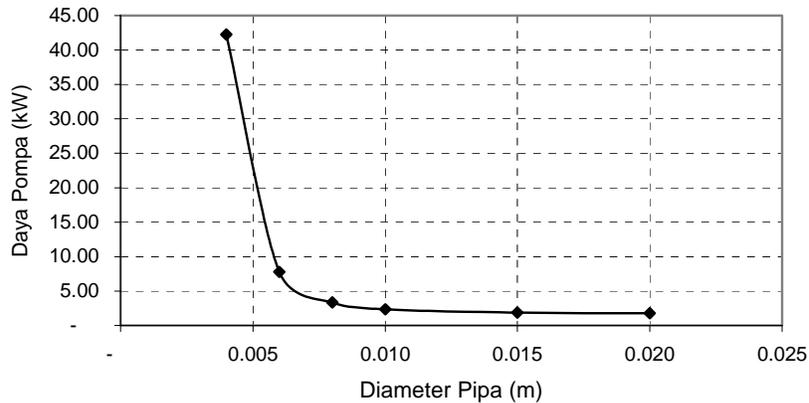
sedangkan kinerja pompa dalam simulasi ini diasumsikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (kurva pompa)^[6]. Didasarkan simulasi didapatkan hasil kapasitas dan *head* dari instalasi pompa seperti pada Tabel 3. Dari hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh diameter pipa sangat signifikan terbukti dengan perubahan *head* yang terjadi. Untuk diameter pipa pada instalasi 4 mm didapatkan *head* instalasi cukup besar dan kapasitasnya kecil. Makin besar diameter pipa yang digunakan, makin kecil *head* yang terjadi dan makin besar kapasitas air yang dipompa. Tetapi untuk diameter pipa 10 mm dan 15 mm tidak terjadi perubahan yang signifikan, jadi pada diameter pipa antara 10 mm s/d. 15 mm untuk instalasi ini sudah cukup baik terbukti dengan sedikitnya perubahan *head* dari instalasi. Akibat sedikitnya perubahan *head* maka perubahan kapasitas pada instalasi pompa cukup kecil.



Gambar 5. Kinerja pompa dan instalasi perpipaan air di *spray cooler* sebagai fungsi diameter pipa.

Tabel 3. Kapasitas dan *head* hasil simulasi instalasi pompa pada *spray cooler*.

No.	Diameter pipa (mm)	Kapasitas (kg/jam)	Head (m ka)
1	4	310	460
2	7	625	325
3	10	745	261
4	15	755	252



Gambar 6. Daya pompa yang diperlukan sebagai fungsi diameter pipa.

Untuk simulasi daya pompa yang diperlukan yaitu kelanjutan dari simulasi *head* dan kapasitas instalasi pompa, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6. Simulasi ini untuk kapasitas air yang dipompa sebesar 750 kg/jam pada *head* statis yaitu tekanan pengabutan 25 kg/cm². Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa makin kecil diameter pipa makin besar daya pompa yang diperlukan. Tetapi untuk diameter pipa diatas 10 mm tidak memberikan perubahan daya pompa yang signifikan. Untuk diameter pipa 10 mm didapatkan daya pompa sebesar 2,33 kW, sedangkan untuk diameter pipa 15 mm dan 20 mm masing-masing daya pompa yang diperlukan adalah 1,86 kW dan 1,79 kW. Dari hasil simulasi instalasi ini didapatkan bahwa diameter pipa untuk instalasi pompa sebaiknya sekitar 15 mm agar didapatkan kapasitas aliran air sesuai yang diharapkan dan daya pompa yang diperlukan relatif kecil sehingga dapat menghemat pemakaian bahan, ukuran pompa dan daya listrik yang digunakan.

Berdasarkan analisis diatas dapat ditentukan spesifikasi teknis *spray cooler* dan perlengkapan yang diperlukan untuk pengolahan gas buang dari PLTU batubara dengan kapasitas 20.000 m³/jam sebagai berikut:

1. Parameter gas buang (*flue gas*) pada *spray cooler*
 - a. Suhu gas buang masuk : 138 °C
 - b. Suhu gas buang keluar : 65 °C

- c. Kandungan uap air keluar : 8,1 %
 - d. Waktu tinggal (*Retention time*) : 5 detik
2. Parameter air yang dikabutkan (*spraying water*) pada *spray cooler*
 - a. Suhu air masuk : 30 °C
 - b. Laju alir massa : 705 kg/cm²
3. Bejana *spray cooler*
 - a. Bentuk bejana : Silinder vertikal
 - b. Bahan : SS 304 tebal 6 mm
 - c. Diameter : 1,9 m
 - d. Tinggi : 7,6 m
4. Pompa pengabut air
 - a. Jenis : Pompa sentrifugal
 - b. Tekanan (luaran) : 25 kgf/cm²
 - c. Kapasitas maksimum (masukan) : 750 kg/jam
 - d. Motor penggerak : 2 set (*stand by* 1 set)
 - e. Daya motor pompa : 2,33 kW

KESIMPULAN

Dari hasil analisis pendinginan gas buang dalam *sprays cooler* untuk sistem pengolahan gas buang PLTU menggunakan MBE dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk mendinginkan gas buang dengan kapasitas 20.000 m³/jam dari 138 °C menjadi 65 °C dilakukan dengan mengkabutkan

705 kg/jam air pendingin ke dalam *spray cooler* agar terjadi penguapan dengan cepat dan bercampur dengan gas buang.

2. Berdasarkan waktu tinggal 5 detik, didapatkan *spray cooler* dengan diameter 1,9 m dan tinggi 7,6 m.
3. Kandungan uap air keluar dari *spray cooler* adalah 8,1 % (volume) dan jauh dibawah batas maksimum yang dipersyaratkan yaitu 11,5 % (volume).
4. Untuk mengkabutkan air ke dalam *spray cooler* dengan tekanan 25 kgf/cm² dan kapasitas 750 m³/jam didapatkan daya pompa 2,33 kW.

Hasil ini menunjukkan bahwa dalam analisis *spray cooler* memenuhi persyaratan untuk pengolahan gas buang dari PLTU batubara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Darsono, M.Sc. APU dan Sutadi, ST. serta seluruh Tim *flue gas treatment* yang telah melakukan diskusi dan memberikan informasi yang berhubungan dengan perhitungan-perhitungan *spray cooler* hingga terselesainya penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] -----, *Proposal for Electron Beam Flue Gas Treatment System*, EB-Tech Co., Ltd, Daejeon, Republic of Korea, 2005.
- [2] WARK, K., *Thermodynamics*, Mc. Graw Hill, Inc., New York, 1983.
- [3] FOX, R.W. and McDONALD, A.T., *Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1985.
- [4] ESPOSITO, A., *Fluid Power With Applications*, Fifth Edition, Prentice Hall International, Inc., London, 2000.
- [5] MUNAWIR, Z., SANDA, SRI DEWI MAHARANI dan KARSONO, *Rancangan Sistem Pengolahan Gas Buang SO_x dan No_x Berbasis MBE*, Laporan Kegiatan Flue

Gas Treatment (belum dipublikasikan), Pusat Pengembangan Perangkat Nuklir, BATAN.

- [6] DIETZEL, F, *Turbinen, Pumpen und Verdichter*, Diterjemahkan oleh Sriyono, Dakso Dengan Judul *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta, 1992.

TANYA JAWAB

Sanda

- *Berapa Rh flue gas yang masuk ke spray cooler.*
- *Apakah flue gas yang masuk ke vesel tidak banyak mengandung uap air.*

Suprpto

- *RH flue gas tidak dihitung, yang dihitung kandungan uap airnya yaitu 5,4% (volume) saat masuk spray cooler dan saat keluar 8,1% (volume). Persyaratannya maksimal 11,5% (volume) keluar spray cooler.*
- *Flue gas masuk ke vesel kandungan uap airnya sama dengan yang keluar dari spray cooler yaitu 8,1% (volume).*

Eko P.

- *Apakah detail disain yang disesuaikan dengan debit air yang diperlukan sudah dibuat/diperhitungkan.*

Suprpto

- *Yang dilakukan beru preliminary design yaitu analisis pendinginan gas buang di dalam spray cooler. Untuk rancangan detail merupakan kelanjutan dari preliminary design.*