

## Perancangan Sistem Pendingin Pada Gasifikasi Biomassa Reaktor Aliran Searah Untuk Pengganti Bahan Bakar Bensin Mesin Generator 2 kVA

Ayudi Setiawan<sup>1</sup>, Novandri Tri Setioputro<sup>2</sup>, Muhtar Kosim<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Subang

<sup>1</sup>[ayudi.setiawan23@gmail.com](mailto:ayudi.setiawan23@gmail.com), <sup>2</sup>[andrisub@gmail.com](mailto:andrisub@gmail.com), <sup>3</sup>[mao.2048@gmail.com](mailto:mao.2048@gmail.com)

**ABSTRAK** : Sejalan perkembangan jaman dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Banyak pembangkit listrik di Indonesia masih mengandalkan bahan bakar fosil, hal itu berbanding terbalik dengan jumlah bahan bakar fosil yang ketersediannya semakin berkurang dan tidak dapat diperbaharui. Gasifikasi biomassa adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil, selain karena ramah lingkungan, di Indonesia bahan utama untuk gasifikasi biomassa ini banyak dijumpai dalam bentuk limbah pertanian berupa sekam, jerami, tempurung kelapa dan lain-lain. Gas produk hasil gasifikasi biomassa memiliki suhu yang tinggi, agar tidak merusak komponen-komponen dalam mesin generator yang tidak tahan panas perlu dilakukan perancangan alat sistem pendingin untuk menurunkan suhu gas produk agar dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar bensin pada mesin generator. Perancangan sistem pendingin ini menggunakan metode konveksi bebas, bahan yang digunakan dalam perancangan ini pipa tembaga dan aluminium dengan diameter luar 1 inch, tebal 1,27 milimeter dan panjang 5,8 meter. Pada hasil akhir perancangan didapat laju perpindahan kalor sebesar 4597,5 Watt, dengan total kebutuhan panjang pipa untuk kedua bahan adalah 9,86 meter.

Kata Kunci : Gasifikasi Biomassa, Sistem Pendingin, Sistem pendingin dan Konveksi Bebas.

## I. Pendahuluan

Sejalan perkembangan jaman dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya sebesar 6,5%[1]. Kapasitas pembangkit listrik terpasang di Indonesia sekitar 62 Gigawatt mengandalkan bahan bakar fosil sebesar 87,27% dan sisanya energi baru terbarukan sebesar 12,73% dengan biomassa sebesar 3,27%[2]. Meskipun belum ada hitungan pasti berapa bahan bakar fosil masih tersedia, hal itu akan habis dan tidak terbarukan. Konsekuensi pelepasan karbon terperangkap dalam bahan bakar fosil ke atmosfer dalam bentuk karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) akan meningkatnya kekhawatiran tentang pemanasan global, sehingga biomassa dapat digunakan sebagai salah satu energi pengganti bahan bakar fosil.

Biomassa mudah didapat dan dijumpai dalam bentuk limbah produk pertanian berupa sekam, jerami, tempurung kelapa, dan lain-lain karena Indonesia merupakan Negara agraris. Potensi biomassa di Indonesia sangat besar, diperkirakan potensi energi dari residu pertanian, perkebunan dan perhutanan sebesar 802,09 juta GJ yang setara 25 ribu unit pembangkit listrik tenaga energi terbarukan dengan kapasitas 10 MW[3].

Gasifikasi merupakan salah satu proses pemanfaatan energi biomassa yaitu dengan mengkonversi energi dari bahan padat (Biomassa) menjadi sintetis gas (sebagai bahan bakar gas) dengan pasokan udara terbatas yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Ada beberapa tipe gasifikasi salah satunya adalah tungku gasifikasi tipe *Downdraft*. Gasifikasi tipe ini memiliki arah kepadatan dan aliran udara yang sama yaitu kebawah.

Proses gasifikasi biomassa terjadi pada suhu tinggi, suhu yang dibutuhkan untuk mendapatkan sintetis gas yang ideal adalah 600-800 °C. Sintetis gas hasil dari proses gasifikasi biomassa akan di alirkan menuju motor bakar sebagai pengganti bahan bakar bensin. Gas produk hasil gasifikasi memiliki suhu tinggi sekitar 800 °C, sedangkan suhu ideal bahan bakar untuk proses pembakaran pada mesin generator harus memiliki suhu rendah (sekitar dibawah 100 °C). Sistem pendingin digunakan untuk menurunkan suhu sintetis gas setelah proses gasifikasi biomassa sebelum masuk kedalam ruang bakar mesin generator.

Maka dari itu perlu dilakukan perancangan sistem pendingin untuk menurunkan suhu sintetis gas yang akan digunakan sebagai pengganti bahan bakar bensin pada mesin generator. Perancangan sistem pendingin ini menggunakan pipa dengan diameter 1 inch, ketebalan 1,27 milimeter dan panjang 5,8 meter dengan menggunakan dua jenis bahan yang berbeda yaitu aluminium dan tembaga. Perancangan sistem pendingin ini menggunakan metode perpindahan panas konveksi bebas, sistem pendingin ini diharapkan dapat menurunkan suhu syngas sampai 50°C.

## II. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Gasifikasi Biomassa

Biomassa adalah bahan bakar padat yang berasal dari hayati yang bisa dirubah menjadi energi yang dapat diperbarui. Biomassa menggabungkan energi matahari dan karbon dioksida menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat melalui fotosintesis. Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar adalah proses netral karbon karena karbon dioksida yang ditangkap di udara selama proses fotosintesis dilepaskan kembali ke udara selama proses pembakarannya.

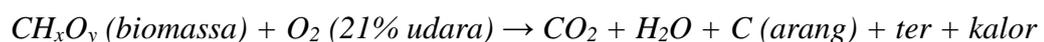
Tempurung kelapa adalah salah satu contoh dari biomassa yang banyak terdapat di alam sekitar. Tempurung kelapa memiliki kandungan debu 0,5 wt% dan nilai kalori 20,56 MJ/kg[4].

Teknologi biomassa kurang diminati sejak diperkenalkan teknologi mesin bahan bakar fosil dengan kemudahan dan murahannya. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui dan akan habis, menjadikan teknologi biomassa menjadi perhatian kembali banyak pihak.

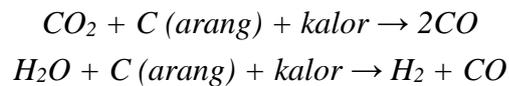
Dua cara utama mengubah energi biomassa (bahan bakar padat) menjadi *biofuel* dan *biopower* adalah konversi biokimia menjadikan cair atau gas dengan fermentasi atau penguraian anaerobik dan proses konversi termokimia mengubah biomassa menjadi bahan bakar dengan cara reaksi pembakaran menghasilkan panas dan reaksi gasifikasi menjadi sintetis gas (*syn-gas*). Sintetis gas adalah gas hasil reaksi gasifikasi yang merupakan campuran gas karbon monoksida, hidrogen, metana, dan lain-lain[5].

Gasifikasi biomassa adalah proses mengubah biomassa menjadi sintetis gas yang mudah terbakar (*combustible gas*) sebesar 60% sampai 90% energi dalam biomassa menjadi energi, sintetis gas yang dihasilkan dapat mudah diaplikasikan ke industri atau rumah tangga dalam bentuk panas dengan cara dibakar, atau menjalankan mesin mekanik atau generator listrik[6].

Salah satu metoda mengubah biomassa menjadi sintetis gas sebagai *combustible gas* dengan metoda gasifikasi pada temperatur 600 °C – 1000 °C. Biomassa adalah rantai karbon ( $CH_xO_y$ ) terurai menjadi sintetis gas melalui dua tahapan reaksi yaitu pembakaran dan gasifikasi. Proses reaksi pembakaran, biomassa ditambah udara (21% Oksigen) akan menghasilkan kalor, karbon dioksida, uap air, arang dan ter. Persamaan reaksi pembakaran adalah



Selanjutnya produk proses pembakaran beserta kalor yang dihasilkan dapat diarahkan sedemikian rupa sehingga menjalani proses gasifikasi. Persamaan proses reaksi gasifikasi adalah



Arang yang dihasilkan dari hasil reaksi pembakaran, dimanfaatkan dalam reaksi gasifikasi dengan antara arang, karbon dioksida dan uap air. Sisa produk dalam proses ini berupa abu bersifat ringan dan akan terhisap mengikuti aliran sintesis gas. Sintesis gas, terutama campuran CO dan H<sub>2</sub>, adalah komponen utama untuk mensintesis berbagai bahan bakar dan bahan kimia, terutama mengubah sintesis gas menjadi bahan bakar dan menghasilkan *biopower*[5].

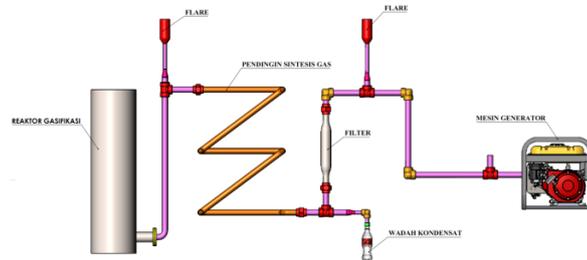
Reaktor gasifikasi (*gasifier*) adalah jantung dari proses. Reaktor gasifikasi dikategorikan berdasarkan jenis alas dan alirannya. Reaktor gasifikasi jenis alas (*bed*) dapat berupa alas tetap (*fixed bed*) dan alas mengalir (*fluidized bed*). Reaktor gasifikasi *fixed bed* dapat diklasifikasikan lebih lanjut sebagai gasifier arus berlawanan dan gasifier arus searah. Pada reaktor gasifikasi arus searah, umpan dan aliran gas produk bergerak kebawah dan menghasilkan temperatur tinggi yang tinggi 800 °C - 1000 °C dibandingkan reaktor gasifikasi arus berlawanan yang menghasilkan temperatur lebih rendah (sekitar 500 °C)[5].

Reaktor gasifikasi arus searah yaitu jenis reaktor dengan cara aliran bahan bakar biomassa searah aliran udara. Syarat utama reaktor gasifikasi adalah aman, karena proses yang membuat bahan bakar yang rentan terbakar atau meledak sehingga sistem digunakan dengan tekanan rendah. Spesifikasi teknis khusus dalam desain reaktor gasifikasi jenis reaktor gasifikasi aliran searah yang dikembangkan dengan baik adalah reaktor terisolasi dengan laju perpindahan panas dibawah 2 Watt/cm<sup>2</sup>, laju pemakanan biomassa 10 kg/jam, kecepatan biomassa yang diproduksi minimal 0,105 cm/s, waktu reaksi tahap pembakaran 656 detik, panjang minimal reaktor mengakomodir reaksi pembakaran 20,33 cm, waktu reaksi gasifikasi 10,50 detik, panjang minimal reaktor mengakomodir reaksi gasifikasi 10,50 cm, dengan suhu reaktor harus dijaga pada 800 °C ke atas[6].

Sintesis gas yang diproduksi oleh reaktor selanjutnya akan melalui beberapa tahapan proses sebelum masuk ke dalam motor bakar dan di ubah menjadi energi listrik. Sintesis gas akan melalui beberapa proses pada sistem gasifikasi seperti didinginkan pada alat penukar kalor agar uap-uap yang terbawa terkondensatkan dan selanjutnya sintesis gas disaring dari partikel kecil dan ringan agar bersih, baru kemudian sintesis gas digunakan sebagai bahan bakar genset.

Genset adalah akronim dari generator set, yaitu suatu mesin atau perangkat yang terdiri dari pembangkit listrik (generator) dengan mesin penggerak yang disusun menjadi satu kesatuan untuk menghasilkan suatu tenaga listrik dengan besaran tertentu. Mesin pembangkit kerja pada genset biasanya berupa motor yang melakukan pembakaran internal, atau mesin diesel yang bekerja dengan bahan

bakar solar atau bensin. Generator adalah alat penghasil listrik. Prinsip kerja generator, yaitu mengubah energi gerak (kinetik) menjadi energi listrik[7].



Gambar 2.1 Sistem gasifikasi biomassa

## 2.2. Sistem Pendingin

Pendingin sintesis gas berfungsi untuk menurunkan suhu pada sintesis gas pada proses sistem gasifikasi. Suhu sintesis gas pada keluaran reaktor gasifikasi adalah sekitar 800 °C, kemudian sintesis gas akan di alirkan melalui pipa pendingin untuk menurunkan suhu sebelum masuk ke motor bakar.

Secara umum prinsip kerja pada pendingin sintesis gas adalah gas di alirkan melalui pipa pendingin kemudian akan terjadi proses pertukaran panas antara gas dan udara pada lingkungan sekitar karena adanya perbedaan suhu. Panjang pipa, diameter pipa dan bahan pipa pendingin sangat berpengaruh pada saat proses pendinginan agar proses pendinginan sintesis gas bisa lebih optimal dan efisien.

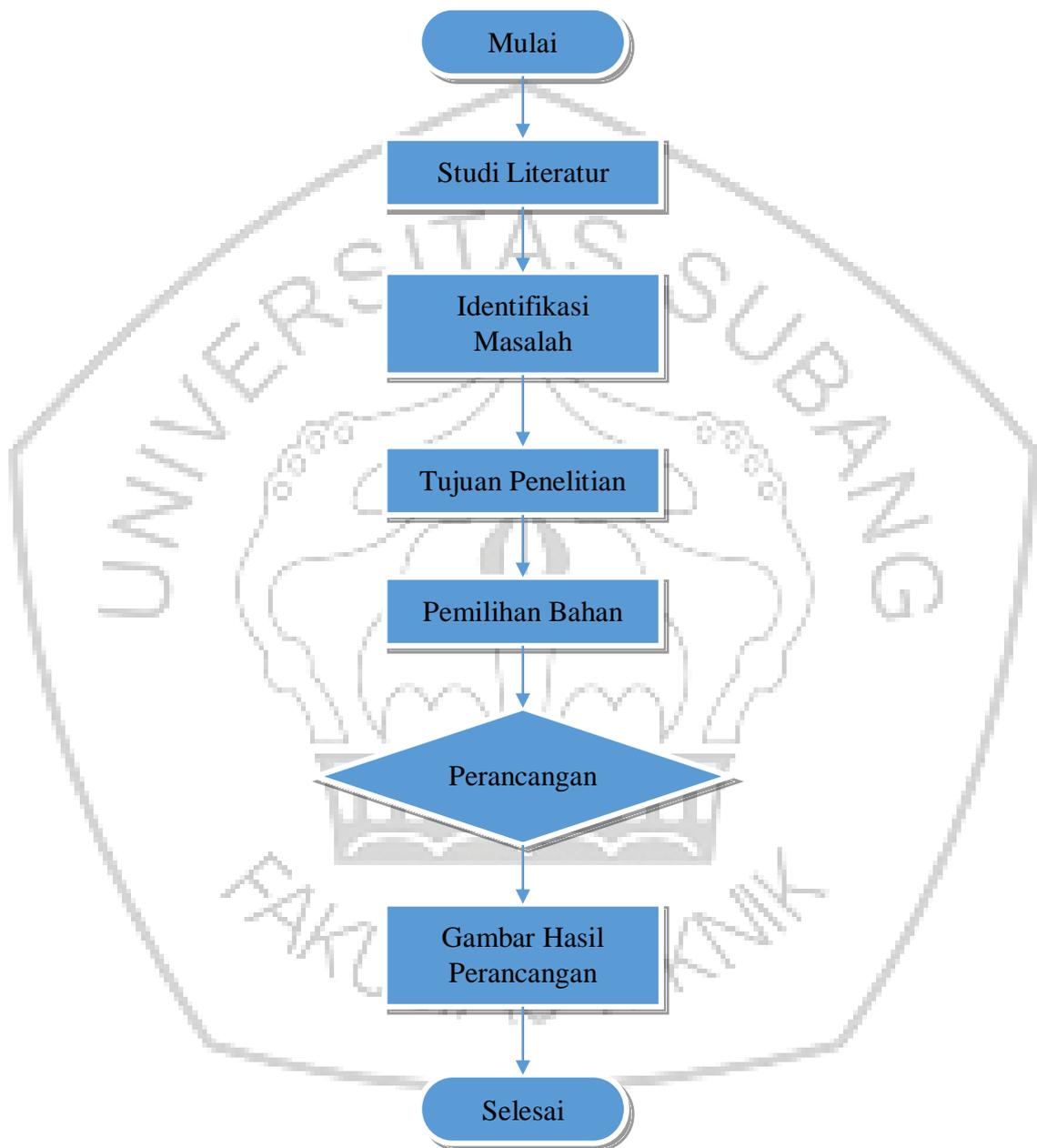
## 2.3. Perpindahan Kalor Konveksi Bebas

Perpindahan kalor konveksi dapat di klasifikasikan menurut sifat alirannya. Kita berbicara tentang konveksi paksa (*forced convection*) ketika alirannya disebabkan oleh sarana eksternal, seperti oleh kipas, pompa, atau angin atmosfer[9].

Konveksi alamiah (*natural convection*), atau konveksi bebas (*free convection*), terjadi karena fluida yang, karena proses pemanasan, berubah densitasnya (kerapatannya), dan bergerak naik. Radiator panas yang digunakan untuk memanaskan ruang merupakan suatu contoh piranti praktis yang memindahkan kalor dengan konveksi bebas. Gerakan fluida dalam konveksi bebas, baik fluida itu gas maupun zat cair, terjadi karena gaya apung (*buoyancy force*) yang dialaminya apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kaklor berkurang sebagai akibat proses pemanasan. Gaya apung itu tidak akan terjadi apabila fluida itu tidak mengalami sesuatu gaya dari luar seperti gravitasi (gaya berat), walaupun gravitasi bukanlah satu-satunya medan gaya luar yang dapat menghasilkan arus konveksi bebas; fluida yang terkurung dalam mesin rotasi mengalami medan gaya sentrifugal, dan karena itu mengalami arus konveksi bebas bila salah satu atau beberapa permukaannya yang dalam kontak

dengan fluida itu dipanaskan. Gaya apung yang menyebabkan arus konveksi bebas disebut gaya badan (*body force*)[8].

### III. Metodologi Penelitian



#### IV. Pembahasan

##### 4.1. Perbandingan Pipa Bahan Aluminium Dengan Pipa Bahan Tembaga

Pada perancangan sistem pendingin ini digunakan dua buah pipa dengan bahan yang berbeda, sebelum menghitung kebutuhan panjang total pipa yang dibutuhkan untuk sistem pendingin ini terlebih dahulu kita akan membandingkan kelebihan dan kekurangan kedua buah pipa tersebut.

Pipa dengan bahan aluminium memiliki kelebihan yaitu harga yang lebih murah dibandingkan dengan pipa dengan bahan tembaga, kemudian dari segi perpindahan panasnya pipa dengan bahan aluminium memiliki kelebihan mudah melepaskan panas ke udara sekitar, namun untuk kemampuan menghantarkan panas pipa dengan bahan tembaga jauh lebih baik karena memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih besar dibandingkan pipa dengan bahan aluminium.

##### 4.2. Perhitungan Laju Aliran Massa Sintesis Gas

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi(4000 \text{ rpm})}{60}$$

$$\omega = 418.879 \text{ rad/s}$$

$$\text{gas intake} = \frac{\omega}{2} V$$

$$\text{gas intake} = \frac{418.879 \text{ rad/s}}{2} \times 183 \text{ cc}$$

$$\text{gas intake} = 38327 \text{ cc/s} = 0.038327 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot \text{gas intake} \cdot 50\%$$

$$\dot{m} = 0.2681 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.038327 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 50\%$$

$$\dot{m} = 0.005 \text{ kg/s}$$

##### 4.3. Perhitungan Laju Perpindahan Kalor

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot c_p (T_1 - T_2)$$

$$\dot{q} = 0.005 \text{ kg/s} \cdot 1226 \text{ J/kg} \cdot \text{K} (800^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

$$\dot{q} = 4597.5 \text{ Watt}$$

##### 4.4. Perhitungan Angka Rayleigh

$$D_i = D_o - (2t)$$

$$D_i = 33.4 \text{ mm} - (2 \cdot 1.27 \text{ mm})$$

$$D_i = 30.86 \text{ mm} = 0.031 \text{ m}$$

$$T_{f_1} = \frac{T_{\infty} + T_w}{2}$$

$$T_{f_1} = \frac{800 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_{f_1} = 400 \text{ }^{\circ}\text{C} = 673 \text{ K}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{T_{f_1}}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{673 \text{ K}}$$

$$\beta_1 = 1.49 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Ra_{D_i} = \frac{g\beta_1(T_s - T_{\infty})D_i^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_{D_i} = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 1.49 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot (800 \text{ }^{\circ}\text{C}) \cdot (0.031 \text{ m})^3}{1.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \cdot 2.401 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Ra_{D_i} = 8.53 \times 10^3$$

$$T_{f_2} = \frac{T_{\infty} + T_w}{2}$$

$$T_{f_2} = \frac{32 \text{ }^{\circ}\text{C} + 800 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_{f_2} = 416 \text{ }^{\circ}\text{C} = 689 \text{ K}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{T_{f_2}}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{689 \text{ K}}$$

$$\beta_2 = 1.45 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Ra_{D_o} = \frac{g\beta_2(T_s - T_{\infty})D_o^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_{D_o} = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 1.45 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \cdot (800 - 32) \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (0.0334 \text{ m})^3}{1.655 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \cdot 2.277 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Ra_{D_o} = 1.08 \times 10^6$$

**4.5. Perhitungan Angka Nusselt**

$$\overline{Nu}_{D_i} = CRa_{D_i}^m$$

$$\overline{Nu}_{D_i} = 0.850 \cdot (8.53 \times 10^3)^{0.188}$$

$$\overline{Nu}_{D_i} = 4.660$$

$$\overline{Nu}_{D_o} = CRa_{D_i}^m$$

$$\overline{Nu}_{D_o} = 0.480 \cdot (1.08 \times 10^6)^{0.250}$$

$$\overline{Nu}_{D_o} = 15.5$$

**4.6. Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi**

$$\bar{h}_i = \frac{\overline{Nu}_{D_i} \cdot k_{syngas}}{D_i}$$

$$\bar{h}_i = \frac{4.660 \cdot 0.07894 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.031 \text{ m}}$$

$$\bar{h}_i = 11.866 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\bar{h}_o = \frac{\overline{Nu}_{D_o} \cdot k_{udara}}{D_o}$$

$$\bar{h}_o = \frac{15.5 \cdot 0.02625 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.0334 \text{ m}}$$

$$\bar{h}_o = 12.181 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

**4.7. Perhitungan Tahanan Termal dan Konveksi Pada Pipa**

$$R_{th_1} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k_{aluminium} L}$$

$$R_{th_1} = \frac{\ln(0.0167 \text{ m}/0.01543 \text{ m})}{2\pi \cdot 177 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 5.8 \text{ m}}$$

$$R_{th_1} = 1.226 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

$$R_{th_2} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k_{tembaga} L}$$

$$R_{th_2} = \frac{\ln(0.0167 \text{ m}/0.01543 \text{ m})}{2\pi \cdot 401 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 5.8 \text{ m}}$$

$$R_{th_2} = 5.410 \times 10^{-6} \text{ K/W}$$

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i}$$

$$R_i = \frac{1}{(11.866 \text{ W/m} \cdot \text{K})\pi(0.031 \text{ m})(5.8 \text{ m})}$$

$$R_i = 0.149 \text{ K/W}$$

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o}$$

$$R_o = \frac{1}{(12.181 \text{ W/m} \cdot \text{K})\pi(0.0334 \text{ m})(5.8 \text{ m})}$$

$$R_o = 0.135 \text{ K/W}$$

#### 4.8. Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

$$U_{o1} = \frac{1}{A_o \sum R}$$

$$U_{o1} = \frac{1}{[\pi(0.0334 \text{ m})(5.8 \text{ m})] \cdot [0.149 + (1.226 \times 10^{-5}) + 0.135] \text{ K/W}}$$

$$U_{o1} = 5.7855 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_{o2} = \frac{1}{A_o \sum R}$$

$$U_{o2} = \frac{1}{[\pi(0.0334 \text{ m})(5.8 \text{ m})] \cdot [0.149 + (5.410 \times 10^{-6}) + 0.135] \text{ K/W}}$$

$$U_{o2} = 5.7856 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 4.9. Perhitungan Panjang Total Pipa yang Dibutuhkan

Pipa Aluminium

$$\dot{q} = UA_o \Delta T$$

$$\dot{q} = U_{o1} \pi D_o L_1 (T_s - T_\infty)$$

$$L_1 = \frac{\dot{q}}{U_{o1} \pi D_o (T_s - T_\infty)}$$

$$4597.5 \text{ Watt}$$

$$L_1 = \frac{4597.5 \text{ Watt}}{(5.7855 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})\pi(0.0334 \text{ m})(800 - 32)^\circ \text{C}}$$

$$L_1 = 9.86 \text{ m}$$

Pipa Tembaga

$$\dot{q} = UA_o \Delta T$$

$$\dot{q} = U_{o2} \pi D_o L_2 (T_s - T_\infty)$$

$$L_2 = \frac{\dot{q}}{U_{o2} \pi D_o (T_s - T_\infty)}$$

$$4597.5 \text{ Watt}$$

$$L_2 = \frac{4597.5 \text{ Watt}}{(5.7856 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})\pi(0.0334 \text{ m})(800 - 32)^\circ \text{C}}$$

$$L_2 = 9.86 \text{ m}$$

## V. Kesimpulan

1. Laju perpindahan kalor yang terjadi pada sintesis gas yang didinginkan pada suhu 800°C ke 50°C adalah 4597,5 Watt.
2. Total panjang pipa yang dibutuhkan untuk sistem pendingin sintesis gas dengan menggunakan bahan aluminium ataupun tembaga memiliki total panjang yang sama yakni 9,86 meter
3. Bahan aluminium dan tembaga bisa digunakan.

## Daftar Pustaka

- [1] Moch. Muklis. dan Adhi Darma Permana, ""PROYEKSI KEBUTUHAN LISTRIK PLN TAHUN 2003 sd 2020,"", Jakarta, 2003.
- [2] Kemen ESDM, ""Booklet Energi Berkeadilan Hasil Kerja 2017 dan Semester I 2018,"", Jakarta, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018, p. 50.
- [3] Bambang Prastowo, ""Potensi Sektor Pertanian Sebagai Penghasil dan Pengguna Energi Terbarukan,"", *Vol. %1 dari %2 Vol. 6 No. 2. ISSN: 1412-8004.*, Desember 2007.
- [4] O. Kitani, C. W. Hall, "Biomass Handbook", New York: Gordon and Breach science publishers, 1989.
- [5] David D. Jones, Milford A. Hanna and Ajay Kumar, ""Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology,"", *Energies 2009, 2, ISSN 1996-1073*, p. 26, 21 July 2009.
- [6] T.B. Reed and A. Das, Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System, Colorado: Solar Energy Research Institute, 1988.
- [7] HARTECH DIESEL GENERATING SET, [Online]. Available: <http://www.hartech.co.id/post/berita/Mengenal-Genset-dan-Kegunaannya.html#.W902eSyyRnE>.
- [8] Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition", USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [9] J. Holman, "Perpindahan Kalor", Jakarta: Penerbit Erlangga, 1991.