



## PERANCANGAN KONDESOR TIPE SHELL DAN TUBE DENGAN PENDINGIN AIR KAPASITAS 5 KG

Yohan, Hanif Nur Abdilah, Mulyadi, Fifit Astuti

*Program Studi Teknik, Universitas Pamulang*

*Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia*

E-mail : dosen01358@unpam.ac.id

*Masuk : 21 Februari 2022*

*Direvisi : 6 Maret 2022*

*Disetujui : 29 Maret 2022*

**Abstrak:** Perancangan Kondensor bertujuan untuk mengetahui cara desain *kondensor* untuk *pirolisis*, yang dihasilkan dari proses *kondensasi* dan mengetahui efektifitas kondensasi yang dihasilkan. Perancangan ini mengambil analisis data dari *reaktor* sebelumnya dengan nilai suhu gas masuk 200°C, suhu gas keluar 35°C, suhu air masuk 25°C, suhu air keluar 50°C. Dengan data yang direncanakan kemudian bisa dihitung luas penampang perpindahan panas, ukuran shell dan tube. Menggambar *kondensor* menggunakan autocad pada kondensor dengan reaktor. Pada perancangan ini menghasilkan jumlah tube sebanyak 48 tube dengan luas permukaan 0,754 m<sup>2</sup> dengan pembuangan kalor sebesar 104500 watt dan kekuatan bahan tube dengan tekanan 3 bar digunakan material SS201 dengan tegangan geser 197 Gpa dengan memenuhi kelayakan dan keamanan pakai.

**Kata Kunci :** Pirolisis, Kondensor, shell dan tube, dan konduksi.

**Abstract:** Condenser design aims to determine how to design a condenser for pyrolysis, which is produced from the condensation process and to determine the effectiveness of the resulting condensation. This design takes data analysis from the previous reactor with the inlet gas temperature value of 200°C, outlet gas temperature 35°C, inlet water temperature 25°C, outlet water temperature 50°C. With the planned data, the heat transfer cross-sectional area, shell and tube sizes can be calculated. Drawing a condenser using autocad on a condenser with a reactor. In this design, the number of tubes is 48 tubes with a surface area of 0.754 m<sup>2</sup> with heat dissipation of 104500 watts and the strength of the tube material with a pressure of 3 bar used SS201 material with a shear stress of 197 Gpa fit to the feasibility and safety of use.

**Keywords:** Pyrolysis, Condenser, shell and tube, and conduction.

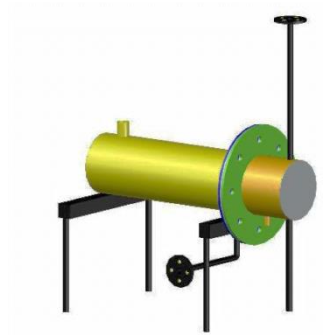
### PENDAHULUAN

Konversi sampah plastik dengan mengubah menjadi cair yang kualitas sama dengan minyak adalah solusi ekonomis dan ramah terhadap lingkungan. Pada akhir ini terdapat pergeseran pengembangan para ilmuwan dan aplikasi pada pemakaian plastik sehari-hari. Pada masa modern ini dan jaman yang diistilahkan “ jaman plastik ”disebabkan plastik merupakan material klasik yang banyak digunakan

hampir di setiap bidang. Upaya mengatasi sampah plastik yang terakumulasi, sampah plastik dikomversi ke produk yang lebih menguntungkan seperti bahan kimia, bahan bakar dan energi [1]. Beberapa alternatif yang dipilih untuk menangani pengolahan kembali limbah plastik dengan cara *recycle* dan *energy recovery*. Proses konversi yang dipilih yaitu pirolisis merupakan metode *energy recovery*. Pada pirolisis, parameter merupakan hal terpenting dalam menoptimalkan hasil produk seperti temperatur, tekanan, jenis reaktor, waktu, katalis, jenis dan laju aliran gas. Dalam Desain reaktor yang perlu diperhatikan adalah desain pencampuran, katalis, waktu, perpindahan panas dan reaksi yang terjadi [2]. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga dapat dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti premium (bensin) dan solar. Kuantitas energi yang terkandung dalam 1m<sup>3</sup> Polypropilen, Polyethylen, Polystiren masing-masing memiliki nilai kalori 86,58, 81,09, dan 78,89 MJ/m<sup>3</sup> [3]. Apabila rata-rata setiap mahasiswa unpam menghasilkan sampah 0,3 kg per hari, maka sampah plastik yang di hasilkan dari jumlah mahasiswa 75.152 dan dosen 2.024 sekitar 15 ton sampai 20 ton per hari. Kuantitas sampah ini dapat dimanfaatkan untuk menerapkan hasil karya penelitian yang berupa modul teknologi pirolisis yang sederhana dengan pengoperasian yang mudah. Harapannya pihak unpam dapat mengelola sampah secara mandiri sehingga permasalahan sampah dapat segera terselesaikan. Produksi sampah perhari yang diprediksi sekitar 15 ton yang dikaitkan dengan banyaknya sampah yang dihasilkan dari mahasiswa. Jumlah sampah yang banyak menjadi susah dikendalikan dan perlu adanya pemahaman terhadap mahasiswa tentang dampak lingkungan akibat permasalahan sampah. Kegiatan ini bertujuan untuk mengenalkan teknologi kondensor shell and tube untuk pirolisis yang bertujuan untuk mengolah sampah plastik menjadi gas yang sama nilainya dengan solar atau bensin / premium yang terdapat nilai ekonomis. Kondensor yang sering dibuat adalah jenis spiral tube dan mempunyai kelemahan dalam hal sulitnya dicleaning disebabkan permanen pada konstruksinya dan dapat mengakibatkan scaling pada pemakaiannya. konsep keseimbangan energi antara pendingin dan pemanas gas pirolisis pada penukar kalor tipe shell and tube ditentukan laju alir gas dan panjang pipa. Karakteristik kinerja shell and tube penukar kalor dapat disimulasi dengan menggunakan CFD kode ANSYS CFX 20.2 dibawah kondisi operasi nominalnya [4]. Kondesor tipe shell dan tube merupakan kondesor (penukar kalor) yang dapat didesain dengan manfaat mudah dibersihkan dan dibongkar pasang sehingga sangat cocok untuk aplikasi produksi. Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh salvi, dkk pada tahun 2021 dalam pemisahan minyak organik volatil menggunakan kondensor sistem shell and tube tipe counter flow dimana shell dapat dipisahkan agar dapat dibersihkan pada permukaan luar kondensor penukar kalor [5]. Oleh karena itu kegiatan ini dilakukan perancangan kondensor tipe shell and tube dengan kapasitas yang diperlukan dalam jumlah sampah yang akan dikonversi menjadi bahan bakar.

## METODOLOGI

Proses pirolisis untuk mengubah plastik menjadi gas yaitu dengan memanaskan bahan plastik dengan suhu diatas 400°C agar plastik dapat berubah menjadi gas dengan melakukan pemanasan berada diruangan tanpa oksigen. Pada proses tersebut rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Apabila suhu sudah tercapai untuk mengubah gas menjadi cair diperlukan proses kondensasi dengan menurunkan suhu gas dengan tabung pendingin atau kondensor. Kondensor pada penelitian ini adalah tipe shell dan tube. Pada tahap ini metode perancangan dilakukan untuk mengetahui dimensi tube, shell, dari kecepatan alir fluida pada proses pirolisis yang digambarkan pada Gambar 1. ilustrasi perancangan model kondesor tipe *shell and tube* .



Gambar 1. Kondensator tipe shell and tube

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan kondensator telah diperoleh dengan kalkulasi keseimbangan energi pada kalor yang diabsorpsi dan kalor yang dibuang menggunakan fluida air dan kecepatan fluida gas dan air. Jumlah kalor yang diabsorpsi pada kondensator dapat ditentukan dengan perhitungan luas penampang yang dibutuhkan sehingga didapatkan nilai panjang tube pada material. Material Tube yang digunakan pada penukar kalor adalah jenis SS 201 L. Hasil perhitungan didapatkan jumlah tube yang dibutuhkan sebanyak 24 dengan diameter 9,5 mm. Selain itu didapatkan juga tekanan maksimum yang diijinkan pada kondisi statis yaitu 4503 kN.

#### 1. Kecepatan fluida gas pirolisis

Fluida pada gas pirolisis diandaikan adalah campuran senyawa 60% pentana dan 40% heksana

##### 4.2.1. Kondisi Fluida

Temperatur Fluida pirolisis

$$Th \text{ in} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Th \text{ out} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Kecepatan fluida pirolisis} = 0.04 \text{ g/s}$$

Temperatur Fluida kondensor (air)

$$Tc \text{ in} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Tc \text{ out} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ air dingin} = 4180 \text{ j/kg}^\circ\text{C}$$

$$m \text{ air} = 0,1 \text{ kg/s}$$

#### 2. Perhitungan luas penampang

$$Q = Q \text{ air} = Q \text{ pirolisis} \dots \dots \dots (1)$$

$$= m \text{ air} \times cp \text{ air} (Tc \text{ out} - Tc \text{ in})$$

$$= 0,1 \text{ kg/s} \times 4180 \text{ j/kg}^\circ\text{C} (50 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 10450 \text{ W.}$$

LMTD APK berlawanan

$$\text{arah} \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta T1 \left\{ \begin{array}{l} Th \text{ in} \rightarrow Th \text{ out} \\ Tc \text{ out} \leftarrow Tc \text{ in} \end{array} \right\} \Delta T2$$

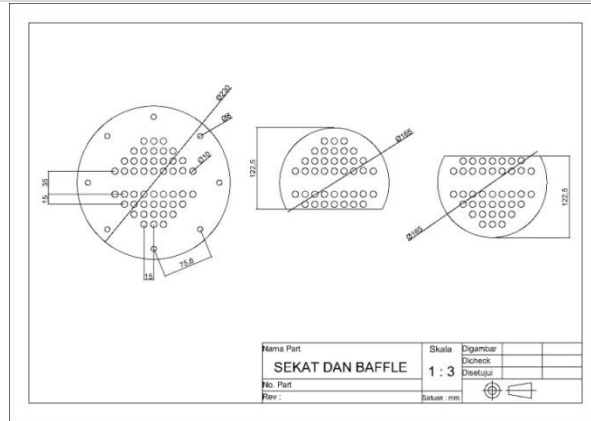
$$150 \text{ }^\circ\text{C} \left\{ \begin{array}{l} 200^\circ\text{C} \rightarrow 35^\circ\text{C} \\ 50^\circ\text{C} \leftarrow 25^\circ\text{C} \end{array} \right\} 10^\circ\text{C}$$

$$LMTD = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln\left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2}\right)} = \frac{150 \text{ }^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{150 \text{ }^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C}}\right)} = \frac{140^\circ\text{C}}{2,71} = 51,66^\circ\text{C}$$

#### 3. Perhitungan Luas Penampang

$$Q = UxAxLMTD \dots \dots \dots (3)$$

$$A = \frac{Q}{UxLMTD} = \frac{10450 \text{ W}}{268 \text{ W/m}^\circ\text{C} \times 51,66^\circ\text{C}} = \frac{10450 \text{ m}}{13844,88} = 0,75479 \text{ m}^2$$



Gambar 2. Jumlah tube pada baffle dan sekat pada kondesor pirolisis

4. Jumlah tube dalam pipa shell

$$Nt = 0.785 \left( \frac{CL}{CTP} \right) \frac{Ds^2}{Pr (Do^2)}$$

Ds = diameter shell = 165 mm

Do = diameter tube = 9,5 mm

Pr = jarak antar tube = 5 mm

CL = 0,87 (tube layout 30° dan 60°)

CTP = 0,90 (dua tube pass)

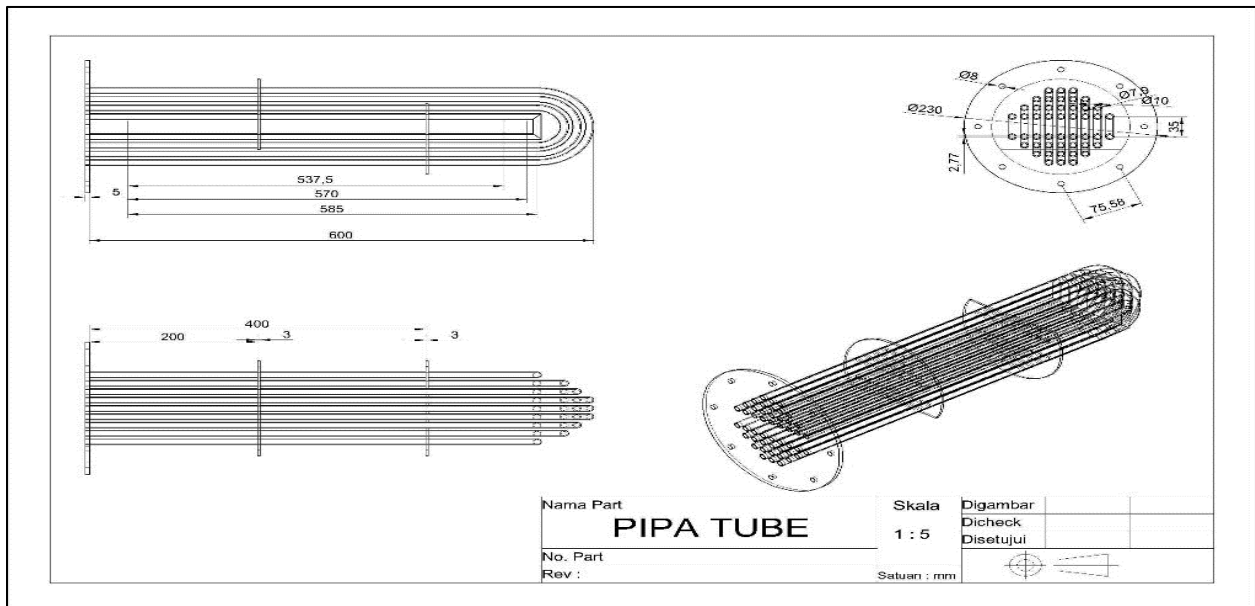
$$Nt = 0.785 \left( \frac{0,87}{0,90} \right) \frac{165^2}{5(9,5^2)}$$

$$= 0.785(1,07) \frac{27225}{5.90,25}$$

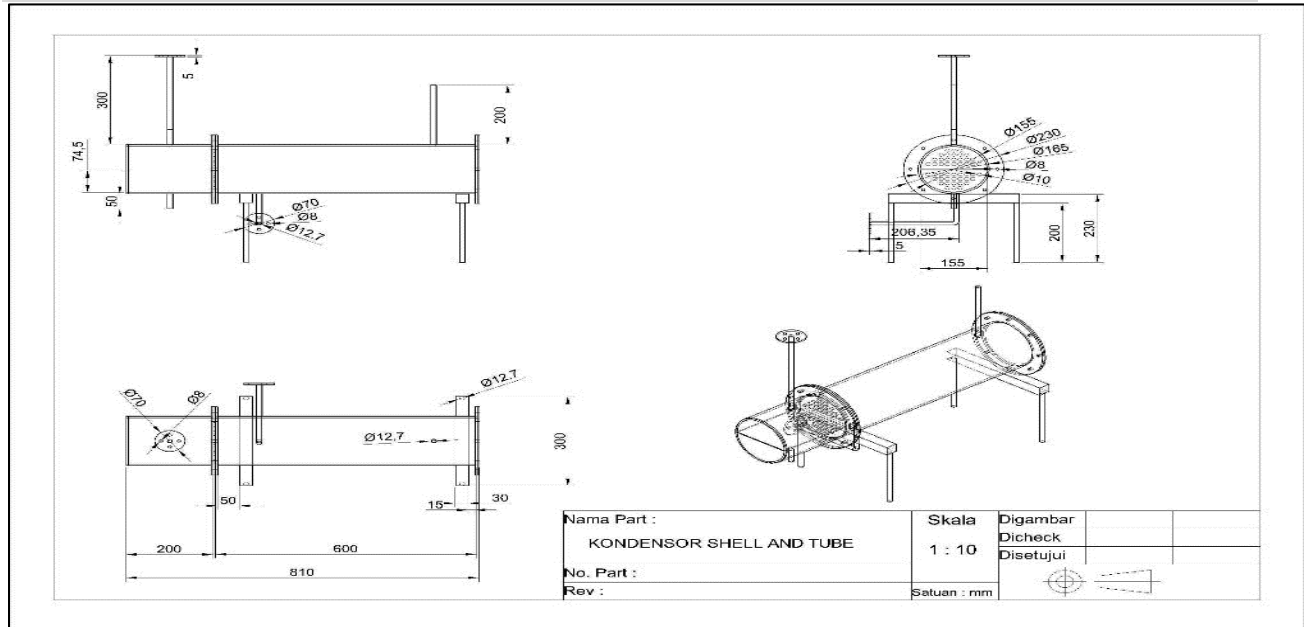
$$= 0.785(1,07) \frac{27225}{451,25}$$

$$= 0.785(1,07)60,33241 = 50,676 = 50 \text{ tube}$$

(dibuat jumlah 48 tube)



Gambar 3. Desain Pipa tube di dalam kondensor pirolisis



Gambar 4. Desain Kondensor Pirolisis

## 5. Kekuatan tube

Pipa tube yang dipakai jenis SS201 dengan spesifikasi :

Koefisies thermal ekspansi :  $16.6 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$

Konduktivitas termal :  $16.3 \text{ W}/\text{mK}$

Sifat Mekanik :

Tekanan tarik : 685 Mpa

Modulus elastistas : 197 GPa

Rasio poison : 0.27 – 0.30

Rumus yang digunakan tegangan dan regangan dengan rumus :

$$\text{Rumus } \frac{P}{A} = \sigma$$

P = Tekanan maksimum

$$A = \pi(r_1^2 - r_2^2) = 3,14 (0,00475^2 - 0,00395^2) = 0000218544 \text{ m}^2$$

$$\sigma = 197 \text{ GPa}$$

Maka tekanan maksimum yang diijinkan

$$\frac{P}{A} = \sigma$$

$$P = \sigma * A = 197 \times 10^9 \text{ Pa} \times 0,00002185 \text{ m}^2 = 4305316,8 \text{ N} = 4305 \text{ kN}$$

Maka tekanan maksimal yang dapat ditahan pada pipa tube 4305 kN

## KESIMPULAN

Pada perancangan sistem shell and tube kondensor didapat dengan jumlah tube 48 lubang dan 24 pipa tube panjang tube 1.436 mm panjang shell 600 mm dan diameter 9,5 mm dapat membuang panas sebesar 10450 Watt. Pada tube pirolisis memiliki tekanan fluida sebesar 3 bar maka bahan yang layak untuk digunakan adalah SS201 yang memiliki kekuatan tegangan geser sebesar 197 Gpa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Salem, S. M. (2019). Introduction. *Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications*, 3–20. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00001-7>
2. Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2016.02.037>
3. Honus, S., Kumagai, S., Fedorko, G., Molnár, V., & Yoshioka, T. (2018). Pyrolysis gases produced from individual and mixed PE, PP, PS, PVC, and PET—Part I: Production and physical properties. *Fuel*, 221, 346–360. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2018.02.074>
4. Manolakos, S., Aldi, N., Casari, N., Pinelli, M., Suman, A., & Vulpio, A. (2022). *Performance Degradation of a Shell-and-Tube Heat Exchanger Due to Tar Deposition*. <https://doi.org/10.3390/en15041490>
5. Salvi, B. L., Soni, T., Jindal, S., & Panwar, N. L. (2021). Design improvement and experimental study on shell and tube condenser for bio-oil recovery from fast pyrolysis of wheat straw biomass. *SN Applied Sciences*, 3(2). <https://doi.org/10.1007/S42452-021-04165-8>