



Desain *Shell and Tube Heat Exchanger* (STHE) Tipe *Counter Current* dengan Material *Stainless Steel*

Erlinda Ningsih*, Abdul Hamid Fahmi, M. Riyanando, Muhammad Rizal Faiz, Eka Cahya Muliawati, dan Rabbenstain Izroiel

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:

124 – 130

Tanggal penyerahan:

21 November 2022

Tanggal diterima:

07 Desember 2022

Tanggal terbit:

31 Desember 2022

EMAIL

*erlindaningsih84@itats.ac.id

*corresponding author

ABSTRACT

A heat exchanger or commonly referred to as a heat exchanger is a tool that is commonly used in the industrial world. The function of this tool is to cool down a fluid. There are various types of heat exchangers, including shell and tube. The purpose of this research is to design a heat exchanger that is good and correct and has a fairly high effectiveness in accordance with the existing heat exchanger design rules. The object of this research is a heat exchanger with a size of OD in, 16 BWG with stainless steel material which has a counter current type which is used to cool the type of air at a temperature of 80°C to 60°C with the help of an air type fluid also at a temperature of 60°C. 30°C. The effectiveness of the tool is quite large, namely 88.7%.

Kata kunci: *design, shell and tube, stainless, heat exchanger, material*

ABSTRAK

Alat penukar panas atau yang biasa disebut sebagai *heat exchanger* merupakan suatu alat yang umum digunakan pada dunia industri. Fungsi dari alat ini adalah untuk memanaskan ataupun mendinginkan suatu fluida. Terdapat berbagai macam jenis alat penukar panas, diantaranya adalah jenis *shell and tube*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain alat penukar panas yang baik dan benar serta memiliki efektivitas yang cukup tinggi sesuai dengan kaidah perancangan alat penukar panas yang ada. Objek penelitian ini adalah alat penukar panas dengan ukuran OD $\frac{3}{4}$ in, 16 BWG dengan material *stainless steel* yang memiliki tipe aliran berlawanan (*counter current*) yang digunakan untuk mendinginkan fluida jenis air pada suhu 80°C menjadi 60°C dengan bantuan fluida jenis air pula pada suhu 30°C. Diperoleh efektivitas alat yang cukup besar yakni 88,7%.

Kata kunci: *desain, shell and tube, stainless, alat penukar panas, material*

PENDAHULUAN

Alat penukar panas (*heat exchanger*) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menukar kalor (energi panas) antara dua fluida atau lebih dengan kondisi suhu (temperatur) yang berbeda. Fungsi dari alat penukar panas adalah membuat perpindahan panas dari dua fluida atau lebih menjadi lebih efisien [1]. Alat penukar panas adalah alat pendukung proses yang sering digunakan untuk memindahkan panas dari satu fluida ke fluida yang lain. Alat penukar panas dapat berfungsi sebagai pemanas ataupun pendingin suatu fluida [2].

Alat penukar panas memiliki beberapa macam jenis, diantaranya adalah jenis *shell and tube* atau yang biasa dikenal *Shell and Tube Heat Exchanger* (STHE). STHE merupakan salah satu alat penukar panas yang terdiri dari sebuah tabung (*shell*) yang didalamnya terdapat *bundle* (berkas) pipa dengan diameter yang cukup kecil [3].

Alat penukar panas merupakan salah satu dari sekian banyak alat yang sering digunakan baik di industri karena sangat efisien, khususnya jika diterapkan pada industri yang menggunakan proses kimia. Ilmu keteknikan khususnya teknik kimia bahkan secara khusus mempelajari tentang proses perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar panas [4], [5], [14-17].

Alat penukar panas didesain dengan memperhitungkan banyak hal sesuai dengan kaidah desain alat penukar panas yang ada, diantaranya arah aliran, neraca panas, neraca massa, kapasitas panas, jenis material dan ukuran yang akan digunakan, penurunan tekanan, dan masih banyak lagi. Hal ini dilakukan agar alat penukar panas yang didesain mampu bekerja sebagaimana alat tersebut diharapkan. Untuk itu dalam penelitian ini diharapkan peneliti mampu mendesain sebuah alat penukar panas yang baik dan benar serta memiliki efektivitas yang cukup tinggi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana cara mendesain/ merancang sebuah alat penukar panas yang baik dan benar sesuai dengan kaidah yang ada sehingga dapat menjadi acuan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Alat Penukar Panas

Definisi dari alat penukar panas adalah berbagai perangkat apapun yang dapat memindahkan panas dari satu fluida ke fluida yang lain atau dari/ke fluida dan lingkungan [9]. Alat penukar panas memiliki tujuan untuk mengatur sistem (temperatur) dengan cara menambahkan atau menghilangkan energi panas dari suatu fluida ke fluida yang lain. Panas yang dipindahkan diantara fluida yang terdapat pada alat penukar panas bergantung kepada kecepatan aliran fluida, arah aliran fluida, sifat fluida itu sendiri, kondisi permukaan fluida, luas bidang perpindahan panas, dan suhu kedua fluida.

Berdasarkan bentuk dan perpindahan panasnya, alat penukar panas juga dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) jenis, yakni [6] :

- a) *Double Pipe Heat Exchanger* (DPHE)
- b) *Shell and Tube Heat Exchanger* (STHE)
- c) *Compact Heat Exchanger*
- d) Alat Penukar Panas Alir Silang

Jenis Aliran Alat Penukar Panas

- a) *Counter current flow*
- b) *Parallel flow/co-current*
- c) *Cross flow*

Perancangan Alat Penukar Panas

Terdapat berbagai langkah dalam mendesain alat penukar panas *shell and tube*, yang pertama yaitu menentukan desain alat yang telah dirancang oleh peneliti terdahulu. Langkah berikutnya yakni mengembangkan desain yang ada untuk meningkatkan kinerja serta efektivitas alat penukar panas. Salah satu caranya yakni dengan mengganti ukuran konstruksi. Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan analitik alat penukar panas sesuai dengan kaidah yang ada [6]. Adapun tahap – tahap perhitungannya adalah sebagai berikut:

- 1) Mencari neraca panas

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad (1)$$

Dimana $Q_c = Q_h$, maka:

$$\dot{m}_c C_{p_c} \Delta T_c = \dot{m}_h C_{p_h} \Delta T_h \quad (2)$$

- 2) Menghitung *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_h - \Delta T_c}{\ln \frac{\Delta T_h}{\Delta T_c}} \quad (3)$$

Kemudian mencari nilai:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (5)$$

Sehingga diperoleh data F_T , maka dapat diketahui:

$$\Delta t = F_T \times \text{LMTD} \quad (6)$$

- 3) Menghitung temperatur kalorik

a. Fluida panas:

$$T_{ch} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (7)$$

b. Fluida dingin:

$$T_{cc} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (8)$$

- 4) Menghitung *flow area*

a. Fluida panas:

$$a_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{144 \times P_T} \quad (9)$$

b. Fluida dingin:

$$a_t = \frac{Nt \times at'}{144 \times n} \quad (10)$$

- 5) Menghitung *Mass Velocity*

a. Fluida panas:

$$G_s = \frac{\dot{m}_h}{a_s} \quad (11)$$

b. Fluida dingin:

$$G_t = \frac{\dot{m}_t}{a_t} \quad (12)$$

- 6) Menghitung Bilangan Reynolds

a. Fluida panas:

$$Re_s = \frac{De' \times G_s}{\mu_h} \quad (13)$$

b. Fluida dingin:

$$Re_t = \frac{ID_t \times G_t}{\mu_c} \quad (14)$$

- 7) Menghitung Faktor Perpindahan Panas

Nilai faktor perpindahan panas pada *shell* dapat dilihat pada fig. 28 (Kern, 1965) dan pada *tube* dapat dilihat pada fig. 24 (Kern, 1965).

- 8) Menghitung Bilangan Prandtl

$$Pr = \left(\frac{Cp\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (15)$$

- 9) Menghitung Rasio Viskositas Fluida

$$\phi_s = \left(\frac{\mu_s}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (16)$$

$$\phi_t = \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (17)$$

- 10) Menghitung Perpindahan Panas Terkoreksi

a. Pada *tube*

$$hi = \phi_t \times j_H \times \frac{k}{ID_t} \times Pr \quad (18)$$

b. Pada dinding *tube*

$$hio = hi \times \frac{ID_t}{OD_t} \quad (19)$$

c. Pada dinding *shell*

$$h_o = \phi_s \times j_H \times \frac{k}{De} \times Pr \quad (20)$$

- 11) Menghitung Koefisien
- Clean Overall*

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (21)$$

- 12) Menghitung Koefisien Desain Menyeluruh

$$U_d = \frac{Q}{(a'' \times L \times Nt) \times \Delta t} \quad (22)$$

- 13) Menghitung
- Fouling Factor*

$$Rd = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (23)$$

- 14) Menghitung
- Pressure Drop*

a. Pada *shell*

$$\Delta P_s = \frac{f_s \times Gs^2 \times ID_s \times (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} \times De' \times Sg_s \times \phi_s} \quad (24)$$

b. Pada *tube*

$$\Delta P_s = \frac{f_t \times Gt^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times ID_t \times Sg_t \times \phi_t} \quad (25)$$

$$\Delta P_r = \frac{4n}{Sg_t} \times \frac{v^2}{2g} \quad (26)$$

c. Total

$$\Delta P_r = \frac{4n}{Sg_t} \times \frac{v^2}{2g} \quad (27)$$

Efektivitas

Perhitungan efektivitas alat penukar panas dapat mengikuti kaidah sebagai berikut:

- 1) Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} \quad (28)$$

- 2) Menghitung Laju Kapasitas Panas Fluida

a. Fluida panas

$$C_h = \dot{m}_h \times Cp_h \quad (29)$$

b. Fluida dingin

$$C_c = \dot{m}_c \times Cp_c \quad (30)$$

- 3) Menghitung Laju Perpindahan Panas Aktual

$$Q_{act} = C_h \times (T_1 - T_2) \quad (31)$$

$$Q_{act} = C_c \times (t_1 - t_2) \quad (32)$$

$$Q_{act} = U \times (A - LMTD) \quad (33)$$

- 4) Menghitung Laju Perpindahan Panas Maksimal

$$Q_{max} = C_{min} \times (T_{in} - T_{out}) \quad (34)$$

- 5) Menghitung Nilai Efektivitas

$$\epsilon = \frac{Q_{Act}}{Q_{max}} \times 100\% \quad (35)$$

METODE

Pengumpulan data dilakukan dengan cara studi kepustakaan dimana penulis melakukan pengumpulan data kepustakaan melalui jurnal ilmiah, buku, skripsi, serta internet yang berhubungan dengan perancangan alat penukar panas jenis *shell and tube*. Data yang didapatkan berupa ukuran alat, ukuran pipa *inlet* dan *outlet*, jenis fluida yang digunakan, laju alir volumetrik fluida, serta suhu fluida. Perencanaan desain alat penukar panas disajikan dalam Gambar 1. Pengolahan data dilakukan dengan cara meninjau data yang terdapat dalam jurnal, buku, skripsi, serta literatur lain sehingga didapatkan hasil yang dapat digunakan untuk merancang sebuah alat penukar panas sesuai dengan kaidah perancangannya. Hasil tinjauan literatur yakni diputuskan untuk merancang

alat penukar panas yang bertujuan mendinginkan fluida jenis air dengan bantuan fluida yang jenisnya sama juga, yaitu air. Suhu fluida panas yang masuk sebesar 80°C, sementara suhu fluida yang diinginkan yakni sebesar 60°C. Suhu fluida dingin yang masuk sebesar 30°C, sementara suhu fluida dingin yang keluar didapatkan dari perhitungan neraca panas, yakni sebesar 67,6°C.

Referensi literatur yang digunakan berasal dari skripsi yang ditulis [6], [11] dengan mengubah beberapa variabel seperti arah aliran serta ukuran *shell* dan *tube*. Informasi lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

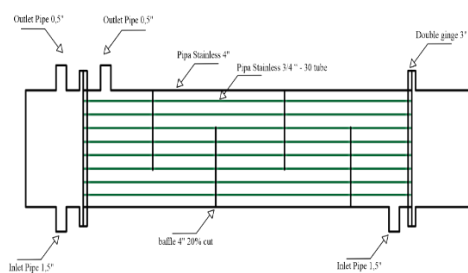
Bahan

Bahan yang digunakan untuk membuat alat penukar panas ini terbuat dari material *stainless steel* dengan ketentuan ukuran panjang *shell* yakni 0,3048 m (1 ft), ukuran *tube* OD $\frac{3}{4}$ inci, BWG 16, dan *pitch* disusun secara triangular 1 inci.

Tabel 1. Perbandingan Spesifikasi Alat Penukar Panas antara Referensi dan Rancangan

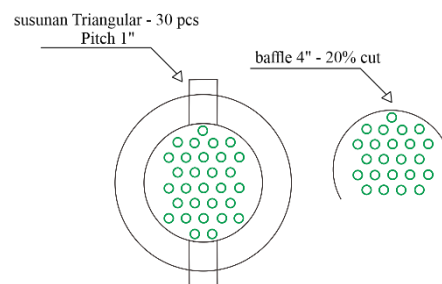
Uraian	Referensi	Rancangan
Tipe	1 – 2 pass	1 – 2 pass
Arah aliran	Searah	Berlawanan
Panjang <i>shell</i>	600 mm	304,8 mm
Jenis <i>tube</i>	OD 4 in, sch 40	OD $\frac{3}{4}$ in, 16 BWG
Jumlah <i>tube</i>	18 buah	30 buah
Susunan <i>pitch</i>	Triangular 1in	Triangular 1in
Fluida panas	Air	Air
Laju alir	396,8 lb/h	384,4 lb/h
Suhu masuk	80°C	80°C
Suhu keluar	50°C	60°C
Fluida dingin	Air	Air
Laju alir	158,7 lb/h	158,5 lb/h
Suhu masuk	30°C	30°C
Suhu keluar	50°C	67,6°C
<i>Baffle</i>	Horizontal 20% cut	Horizontal 20% cut

Desain Alat Penukar Panas



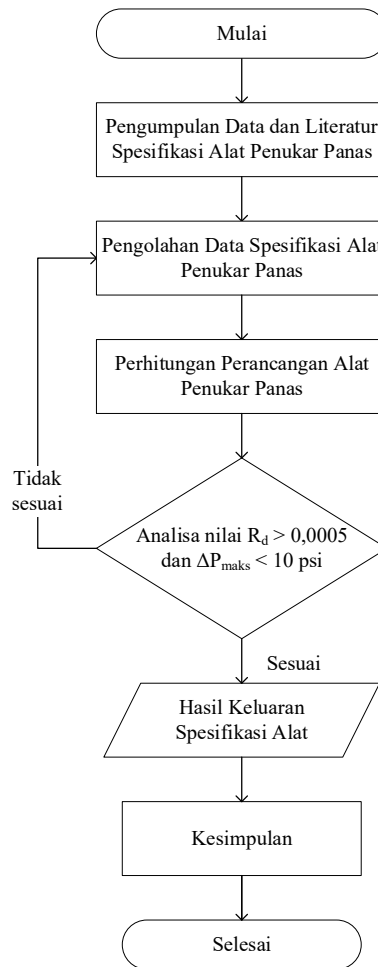
Gambar 2. Desain Alat Penukar Panas

Sumber : dokumen pribadi redaksi



Gambar 3. Desain Susunan Pitch

Sumber : dokumen pribadi redaksi



Gambar 1. Flowchat Rancangan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan

Spesifikasi desain *shell and Tube Heat Exchanger* (STHE) dengan tipe aliran *counter current* dengan material *stainless steel* dapat dilihat pada Tabel 2. Proses rancangan disesuaikan dengan kaidah perancangan alat penukar panas yang ada, sesuai dengan buku yang ditulis oleh Kern (1965). Adapun penelitian ini hanya sampai pada tahap rancangan saja [12], [13]. Nilai efektivitas yang diperoleh yakni sebesar 88,7%, kemudian nilai *fouling factor* yang diperoleh sebesar 0,0044 h.ft² °F/Btu, sementara nilai *pressure drop* yang diperoleh sebesar 0,00035 psi pada bagian *shell* dan 0,0081 psi pada bagian *tube*. Hasil yang diperoleh sesuai dengan syarat ketentuan keamanan rancangan alat penukar panas yang ada, yakni sebesar 0,0005 h.ft² °F/Btu dan 10 psi.

Tabel 2. Spesifikasi Desain Alat Penukar Panas

Uraian	Hasil
Tipe alat	1-2 pass
Tipe aliran	<i>Counter current</i>
Panjang <i>shell</i> (m)	0,3048
Material <i>shell</i>	<i>Stainless steel</i>
Material <i>tube</i>	<i>Stainless steel</i>
Jenis <i>tube</i> (buah)	OD ¾ in, 16 BWG
Jumlah <i>tube</i> (buah)	30
Susunan <i>pitch</i>	Triangular 1 in

Uraian	Hasil
Fluida panas	Air
Laju alir (mL/s)	50
Suhu masuk (°C)	80,0
Suhu keluar (°C)	60,0
Fluida dingin	Air
Laju alir (mL/s)	20
Suhu masuk (°C)	30,0
Suhu keluar (°C)	67,6
Jenis <i>Baffle</i>	<i>Horizontal 20% cut</i>

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan desain STHE disimpulkan bahwa cara merancang alat penukar panas tipe 1 – 2 pass dengan arah aliran berlawanan sesuai dengan kaidah perancangan alat penukar panas yang sudah ada dan didapatkan hasil nilai efektivitas sebesar 88,7%, nilai *fouling factor* sebesar 0,0044 h.ft² °F/Btu dan *pressure drop* sebesar 0,00035 psi pada bagian *shell* dan 0,0081 psi pada bagian *tube*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan jurnal ini. Selain itu kami juga berterima kasih kepada ibu Erlinda selaku dosen pembimbing yang senantiasa mengingatkan kami untuk tidak lelah dalam menulis jurnal, serta teman – teman kami khususnya Nurul dan Dimas yang sangat mendukung kami dalam menuliskan jurnal ini. Tanpa kalian mungkin kami tidak akan pernah melangkah sejauh ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Thulukkanam, “Heat Exchanger Design Handbook, Second Edition - Kupan Thulukkanam,” p. 1260, 2013.
- [2] J. Saari, “Faculty of Technology LUT Energy HEAT EXCHANGER,” pp. 1–101, 2011.
- [3] R. Mukherjee, “s Figure 1. TEMA designations for shell-and-tube heat exchangers,” no. February, 2015.
- [4] B. Septian, A. Aziz, and P. D. Rey, “Design of Heat Exchanger Shell and Tube,” *J. Baut dan Manufaktur*, vol. 03, no. 1, pp. 53–60, 2021.
- [5] S. T. Pramesti and I. Made Arsana, “Experimental study of baffle angle effect on heat transfer effectiveness of the shell and tube heat exchanger using helical baffle,” *J. Mech. Eng. Res. Dev.*, vol. 43, no. 3, pp. 332–338, 2020.
- [6] E. Ningsih, Fitriana, and D. Pratiwi, “Desain Alat Penukar Panas Tipe Shell and Tube dengan Material Stainless Steel,” pp. 81–89, 2022.
- [7] A. Ratnawati, A. S.-T. J. P. Studi, and undefined 2018, “DESAIN ULANG ALAT PENUKAR KALOR TIPE SHELL AND TUBE DENGAN MATERIAL TUBE CARBON STEEL DAN STAINLESS STEEL 304,” *pdfs.semanticscholar.org*, Accessed: Aug. 27, 2022. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/c127/013a8858357beb8ffda84417024f1683460b.pdf>.
- [8] R. Wicaksono, R. A. Wicaksono, and A. B. K. Putra, “Studi Numerik Perpindahan Panas Konveksi Paksa pada Pin Fin Berpenampang Circular dengan Susunan Staggered,” *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. B87–B93, Jan. 2020, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.47384.
- [9] P. Sampelawang, N. Pasae, N. Nitha, and W. Y. Tandirerung, “KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS HEAT EXCANGER DALAM ENCLOSURE PADA POSISI SIMETRIS DENGAN PERUBAHAN BEBAN PANAS,” *Mech. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–4, Nov. 2019, Accessed: Aug. 27, 2022. [Online]. Available: <http://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/mes/article/view/795>.
- [10] E. Rohani, “PROSES PENGOLAHAN MINYAK MENTAH PT. Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati,” 2022, Accessed: Aug. 30, 2022. [Online]. Available: <http://repository.upnjatim.ac.id/8151/3/18031010166-BAB2.pdf>.
- [11] A. Shalsa, B. Wardhani, and A. T. Labumay, “Influence of Fluid Inflow Rate on Performance Effectiveness of Shell and Tube Type Heat Exchanger,” 2022, doi: 10.31284/j.jmesi.2022.v2i1.2993.
- [12] R. Beldar and S. Komble, “Mechanical Design of Shell and Tube Type Heat Exchanger as per ASME

- Section VIII Div.1 and TEMA Codes for Two Tubes,” *Int. J. Eng. Tech. Res.*, vol. 8, no. 7, pp. 1–4, 2018.
- [13] M. Bakrie and M. Fatimura, “Optimalisasi Rancangan Shell-Dan-Tube Heat Exchagers (Tinjauan Literatur),” *J. Redoks*, vol. 5, no. 2, p. 116, 2020, doi: 10.31851/redoks.v5i2.4992.
- [14] Muliawati, E. C., Santoso, M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Salleh, M. T., Nurherdiana, S. D., & Widiastuti, N. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated polyetherimide new blends membrane promising for direct methanol fuel cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(3), 659-668.
- [15] Muliawati, E. C., Ismail, A. F., Jaafar, J., Widiastuti, N., Santoso, M., Taufiq, M., ... & Atmaja, L. (2019). Sulfonated PEI membrane with GPTMS-TiO₂ as a filler for potential direct methanol fuel cell (DMFC) applications. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), 555-560.
- [16] Muliawati, E. C., Widiastuti, N., Santoso, M., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated Polyetherimide-Titanium Dioxide (TiO₂) New Blends Membrane Promising For Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Proceedings Book*, 36.
- [17] Muliawati, E. C., & Mirzayanti, Y. W. (2021). Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) Sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung. *Journal of Research and Technology*, 7(2), 247-256.