

**ANALISIS DESAIN *FLOW FIELD PLATE* DENGAN POLA ALUR KONVERGEN
SERPENTIN MENGGUNAKAN *FLOW SIMULATION 3D* PADA *PROTON EXCHANGE
MEMBRANE FUEL CELL***

Teguh Imam Prasetya¹, Deni Shidqi Khaerudini^{1,2}

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana

Jl. Meruya Selatan, Kebun Jeruk, Jakarta 11650

²Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan 15314

e-mail :¹imamteguh99@gmail.com,² deni.shidqi@gmail.com

ABSTRACT

Limited sources of petroleum energy and its increasing consumption rate are currently the problems. Renewable energy sources need to be developed continuously to anticipate the limitations and scarcity of petroleum. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) is an interesting alternative because it is an environmentally friendly source of electrical energy. This research will focus on PEMFC flow field plate because this component is the heaviest on the mass and most expensive component in the fuel cell stack. Research on PEMFC flow field plate with serpentin convergent flow field pattern is necessary to develop PEMFC concept with better performance. This study aims to determine the effect of channel width convergence on the distribution of flow average speed, flow outlet speed, inlet pressure, average pressure, and outlet pressure. The method used in this research is computational fluid dynamic (CFD) based solidworks flow simulation software. This study provides an overview of the flow field plate with a constant serpentin flow field pattern and a serpentin convergent flow field pattern. The serpentin flow field pattern has a higher average velocity, inlet pressure, and pressure than the constant serpentin flow field pattern. The convergent flow field pattern of serpentin has lower outlet velocity compared to constant serpentin groove pattern and has almost the same number at outlet pressure. Flow field plate with convergent serpentin has the advantage of being able to prevent the occurrence of prohibited reactions and delay the occurrence of polarization. Possible development of this research is the creation of simulation software to calculate other parameters that affect PEMFC performance.

Keywords : *convergen, flow field, PEMFC, serpentin*

INTISARI

Keterbatasan sumber energi minyak bumi dan angka konsumsinya yang terus naik menjadi masalah yang dihadapi pada saat ini. Sumber energi terbarukan perlu dikembangkan terus untuk mengantisipasi keterbatasan dan kelangkaan minyak bumi. Proton Exchange Membrane Fuel Cell menjadi topik yang menarik karena merupakan sumber energi listrik yang ramah lingkungan. Penelitian ini akan fokus pada flow field plate PEMFC karena komponen ini merupakan komponen yang terberat dan termahal dalam susunan PEMFC. Penelitian flow field plate PEMFC dengan pola alur konvergen serpentin perlu dilakukan untuk mengembangkan

konsep PEMFC dengan kinerja yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konvergensi lebar saluran terhadap distribusi kecepatan rata-rata saluran, kecepatan outlet saluran, tekanan inlet, tekanan rata-rata saluran, dan tekanan outlet saluran. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *computational fluid dynamic* menggunakan *software solidworks flow simulation*. Penelitian ini menyajikan tinjauan tentang *flow field plate* dengan pola alur konstan serpentin dan pola alur konvergen serpentin. Pola alur konvergen serpentin mempunyai hasil kecepatan rata-rata, tekanan inlet, dan tekanan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan pola alur konstan serpentin. Pola alur konvergen serpentin memiliki angka kecepatan outlet yang lebih rendah dibandingkan pola alur konstan serpentin dan memiliki angka yang hampir sama pada tekanan outlet. *Flow field plate* dengan konvergen serpentin mempunyai kelebihan mampu mencegah terjadinya reaksi yang dilarang dan menunda terjadinya polarisasi. Kemungkinan pengembangan dari penelitian ini adalah pembuatan *software simulasi* untuk menghitung parameter lain yang mempengaruhi kinerja PEMFC.

Kata kunci : konvergen, pola alur, PEMFC; serpentin

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil dalam jumlah yang besar dapat mencemari udara dengan karbon monoksida dalam jumlah yang besar pula. Masalah ini mendorong terciptanya sumber energi terbarukan untuk lebih menjaga kelestarian lingkungan (Caliskan et al., 2013; Chen et al., 2016). PEMFC menjadi sumber energi yang banyak diteliti karena sumber energi ini dapat menghasilkan arus yang tinggi dengan suhu kerja yang rendah, waktu start-up yang cepat, tidak menghasilkan polusi dan memiliki durability yang baik. Masalah yang masih dihadapi oleh PEMFC saat ini adalah masih rendahnya kualitas transportasi dan masih terjadi penumpukan atau banjir pada kerapatan daya yang tinggi, hal inilah yang menjadi masalah utama komersialisasi PEMFC (Chen et al., 2016).

Pada sistem PEMFC, pelat bipolar merupakan salah satu komponen utama dan penting. Komponen ini memfasilitasi reaktan mengalir melalui saluran yang dirancang. Saat mengalir melalui pelat bipolar, reaktan berdifusi melalui lapisan difusi gas, sehingga terhubung dengan lapisan katalis untuk menghasilkan proton dan elektron dalam anoda dan air dan panas dalam katoda melalui reaksi kimia. Pelat bipolar berfungsi untuk membawa elektron ke rangkaian listrik dan mengalirkan panas dan air dari sel. Pelat bipolar memainkan peran penting dalam sistem sel bahan bakar PEM. Jadi, semakin baik sistem saluran yang dirancang, kinerja sistem akan semakin baik (Chowdhury & Akansu, 2017) Pola alur serpentin dipilih karena terbukti memiliki kerapatan daya yang lebih tinggi dari pada tipe pola alur yang lain. Gas reaktan akan dipaksa mengalir melewati seluruh area aktif. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan tekanan yang besar di sepanjang saluran. Konsep serpentin dengan jumlah saluran lebih dari satu akan mencegah terjadinya penyumbatan (Praneeth et al., 2012). Pola alur paralel mempunyai kekurangan menghasilkan *water-droplet* dan pola alur serpentin dengan empat saluran terbukti dapat meningkatkan kinerja sel dan mengurangi terjadinya *water-droplet* (Dewi & Raharjo, 2008).

Lebar dan tinggi saluran mempengaruhi kinerja PEMFC. Pembuangan air meningkat seiring dengan menurunnya ketinggian saluran, namun kinerja sel juga menurun. Kinerja sel mengalami penurunan seiring dengan kenaikan lebar saluran karena kecepatan gas yang lebih rendah menghasilkan pembuangan air yang lebih

sedikit. Ini menunjukkan kinerja sel lebih baik pada area penampang saluran yang lebih kecil, karena memiliki kecepatan gas yang lebih tinggi (Chiu et al., 2012). Kinerja *PEMFC* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kedalaman saluran (Feng & Su, 2007).

Kualitas *PEMFC* dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kelembaban, komponen gas, dan pemanfaatan reaktan. Penurunan tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan *FFP* lebih rentan tersumbat karena terbentuknya tetesan air pada saluran (Praneeth et al., 2012). Hidrogen yang masuk ke dalam saluran akan mengalami penurunan tekanan. Penurunan tekanan akan berdampak pada arus yang dihasilkan (Larminie et al., 2003). Kecepatan aliran yang didistribusikan secara merata melintasi seluruh area aktif akan mempengaruhi kinerja *PEMFC* (Praneeth et al., 2012)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konvergensi lebar kanal terhadap distribusi kecepatan rata-rata saluran, kecepatan outlet saluran, tekanan inlet, tekanan rata-rata saluran, dan tekanan outlet saluran. Hasil dari penelitian ini akan memperkuat hasil dari penelitian sebelumnya yang menyatakan konvergensi lebar saluran dapat meningkatkan kinerja *PEMFC* (Wang et al., 2017).

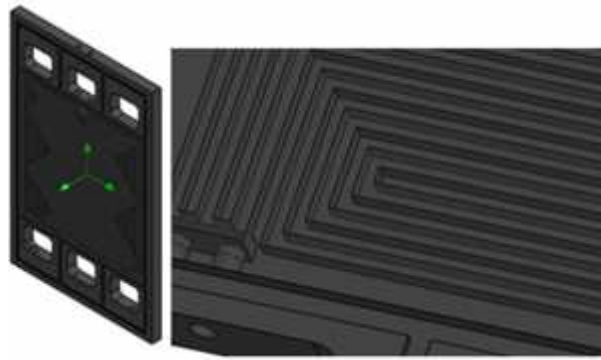
2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengukuran *flow field plate* pada pola alur konstan serpentin. Data tersebut disajikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data konstan serpentin *flow field plate* (Khaerudini, 2018).

No.	Deskripsi	Keterangan
1	Pola Alur	Konstan Serpentin
2	Luas Area Aktif	50 mm x 50 mm
3	Jumlah Saluran Utama	6 saluran
4	Lebar kanal	1 mm
5	<i>Cross Section</i>	<i>Rectangular</i>
6	Kedalaman Saluran	1 mm
7	Jumlah <i>Inlet</i>	2 pcs
8	Diameter <i>Inlet</i>	1,5 mm
9	Jumlah <i>Outlet</i>	4 pcs
10	Diameter <i>Outlet</i>	1,5 mm
11	Material	Grafite

Proses selanjutnya adalah pembentukan model tiga dimensi *FFP*. Model tiga dimensi yang akan digunakan untuk proses simulasi. Proses simulasi yang dilakukan pada *FFP* konstan serpentin bertujuan untuk mengetahui pola distribusi kecepatan dan distribusi tekanan.



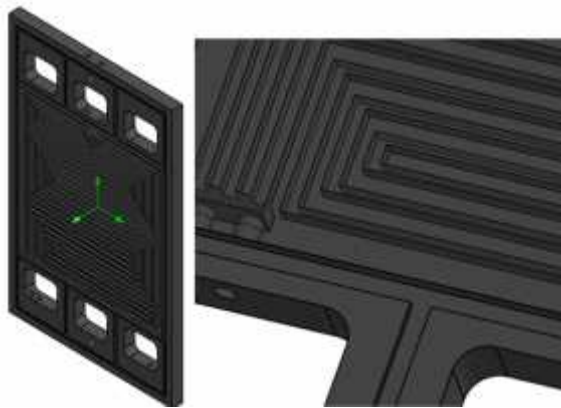
Gambar 1. Desain *flow field plate* dengan konstan serpentin (Khaerudini, 2018).

Desain *flow field plate* dengan pola alur konstan serpentin dikembangkan dalam bentuk konvergen serpentin. Variabel dari penelitian ini lebar kanal yang terdiri dari 1; 0,9; 0,8; 0,7; dan 0,6 mm.

Tabel 2. Data konvergen serpentin *flow field plate*

No.	Deskripsi	Keterangan
1	Pola Alur	Konvergen Sepentin
2	Luas Area Aktif	50 mm x 50 mm
3	Jumlah Saluran Utama	6 saluran
4	Lebar kanal	1 mm, 0,9 mm, 0,8 mm, 0,7 mm, dan 0,6 mm
5	<i>Cross Section</i>	<i>Rectangular</i>
6	Kedalaman Saluran	1 mm
7	Jumlah <i>Inlet</i>	2 pcs
8	Diameter <i>Inlet</i>	1,5 mm
9	Jumlah <i>Outlet</i>	4 pcs
10	Diameter <i>Outlet</i>	1,5 mm
11	Material	Grafite

Proses selanjutnya adalah pembentukan model tiga dimensi konvergen serpentin *flow field plate*. Pembuatan model tiga dimensi akan digunakan untuk proses simulasi dan analisa.



Gambar 2. Desain *flow field plate* dengan tipe konvergen serpentin

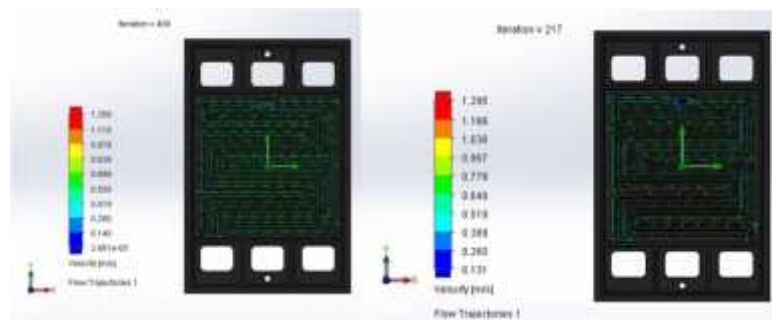
Flow field plate serpentin dengan lebar kanal konstan dan konvergen dilakukan proses simulasi. Proses simulasi menggunakan parameter batas seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Kondisi parameter simulasi

Parameter	Nilai
Debit inlet (cm^3/s)	1 s/d 5
Tekanan (Pa)	101325
Suhu (K)	323

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi distribusi kecepatan menunjukkan pola distribusi kecepatan yang meningkat dari area inlet sampai ke area outlet, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tipe konvergen serpentin memiliki angka kecepatan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan tipe konstan.

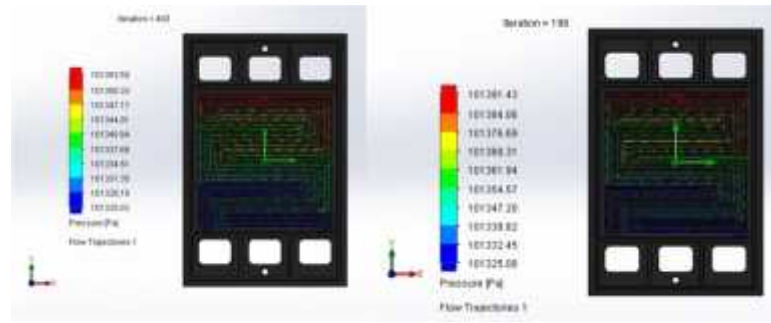


(a) Konstan serpentin

(b) Konvergen serpentin

Gambar 3. Pola distribusi kecepatan aliran pada debit $3 \text{ cm}^3/\text{s}$.

Hasil simulasi distribusi tekanan aliran menunjukkan pola penyebaran tekanan di seluruh area aktif. Pola penyebaran tekanan menunjukkan hasil yang hampir sama, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



(a) Konstan serpentin

(b) Konvergen serpentin

Gambar 4. Pola distribusi tekanan aliran pada debit $3 \text{ cm}^3/\text{s}$.

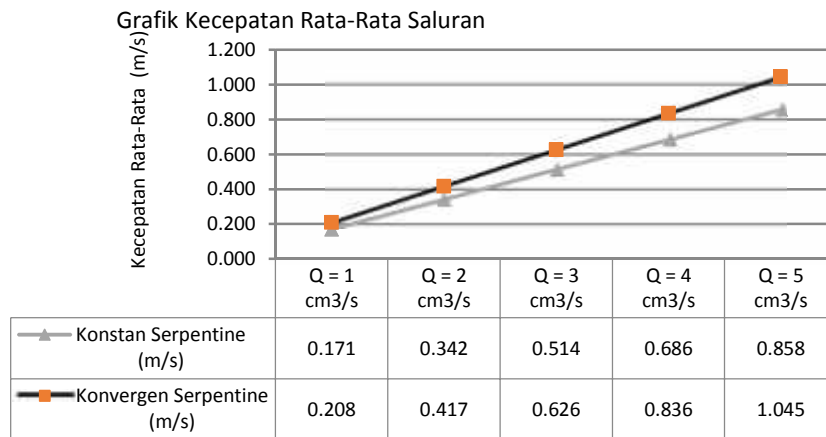
Hasil dari penelitian ini berupa data tentang kecepatan rata-rata, kecepatan *outlet*, tekanan *inlet*, tekanan rata-rata, dan tekanan *outlet*. Perbedaan data dapat dilihat dalam bentuk tabel berikut ini :

Tabel 4. Hasil Simulasi distribusi kecepatan dan distribusi tekanan aliran.

Deskripsi	Cross Section	Debit Inlet (cm^3/s)				
		1	2	3	4	5
Kecepatan Rata-Rata	Konstan Serpentin (m/s)	0,171	0,342	0,514	0,686	0,858
	Konvergen Serpentin (m/s)	0,208	0,417	0,626	0,836	1,045
Kecepatan Outlet	Konstan Serpentin (m/s)	0,164	0,332	0,503	0,677	0,855
	Konvergen Serpentin (m/s)	0,157	0,318	0,481	0,646	0,812
Tekanan Inlet	Konstan Serpentin (Pa)	101334,833	101344,705	101354,610	101364,551	101374,530
	Konvergen Serpentin (Pa)	101343,355	101362,600	101381,491	101400,403	101419,407
Tekanan Rata-Rata	Konstan Serpentin (Pa)	101329,918	101334,854	101339,804	101344,770	101349,753
	Konvergen Serpentin (Pa)	101336,840	101349,302	101361,505	101373,711	101385,972
Tekanan Outlet	Konstan Serpentin (Pa)	101325,001	101325,005	101325,011	101325,021	101325,033
	Konvergen Serpentin (Pa)	101325,001	101325,005	101325,011	101325,020	101325,031

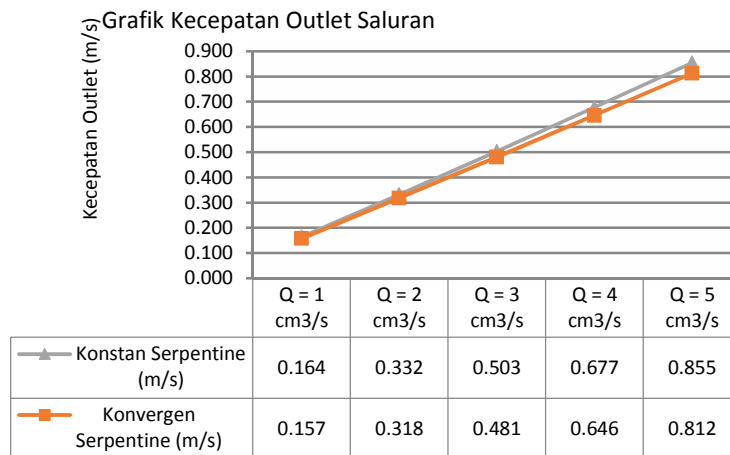
Tekanan yang Hilang	Konstan Serpentin (Pa)	9,832	19,700	29,598	39,530	49,497
	Konvergen Serpentin (Pa)	18,354	37,595	56,480	75,383	94,375

Hasil kecepatan rata-rata saluran menunjukkan bahwa tipe konvergen serpentin memiliki kecepatan rata-rata saluran yang lebih tinggi dari pada tipe konstan serpentin. Perbandingan hasil kecepatan rata-rata saluran ditunjukkan pada Gambar 5.



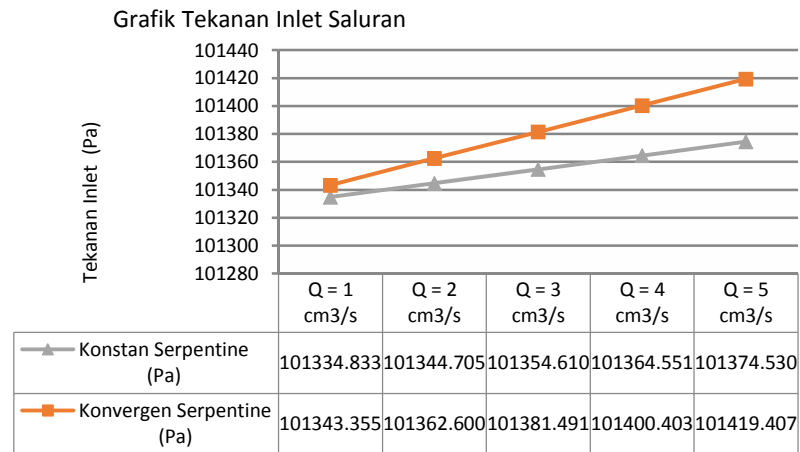
Gambar 5. Grafik kecepatan rata-rata *flow field plate* serpentin

Hasil kecepatan outlet saluran menunjukkan bahwa tipe konvergen serpentin memiliki kecepatan rata-rata saluran yang lebih rendah dari pada tipe konstan serpentin. Perbandingan hasil kecepatan outlet saluran ditunjukkan pada Gambar 6.



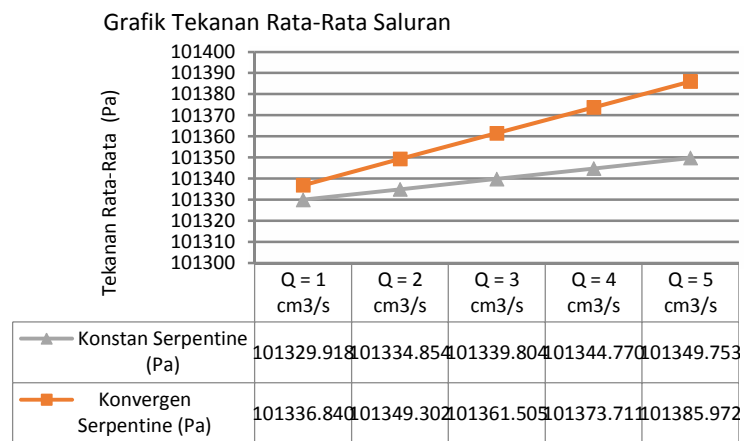
Gambar 6. Grafik kecepatan outlet *flow field plate* serpentin

Hasil tekanan inlet saluran menunjukkan bahwa tipe konvergen serpentin memiliki tekanan inlet yang lebih tinggi dari pada tipe konstan serpentin. Perbandingan hasil tekanan inlet ditunjukkan pada Gambar 7.



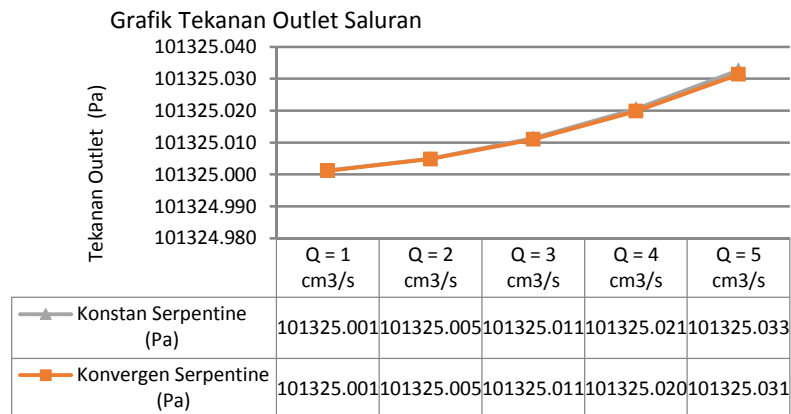
Gambar 7. Grafik tekanan inlet *flow field plate* serpentin

Hasil tekanan rata-rata saluran menunjukkan bahwa tipe konvergen serpentin memiliki tekanan rata-rata yang lebih tinggi dari pada tipe konstan serpentin. Perbandingan hasil tekanan inlet ditunjukkan pada Gambar 8.



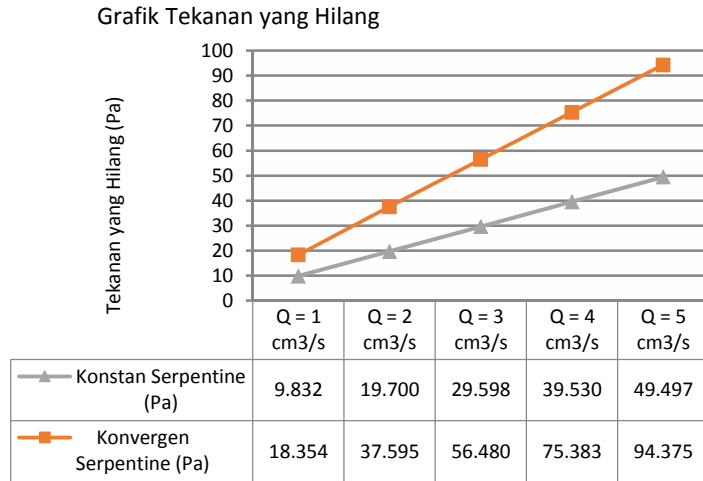
Gambar 8. Grafik tekanan rata-rata *flow field plate* serpentin

Hasil tekanan outlet menunjukkan bahwa tipe konvergen serpentin memiliki tekanan outlet yang lebih rendah dari pada tipe konstan serpentin. Perbandingan hasil tekanan outlet ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik tekanan rata-rata *flow field plate* serpentin.

Hasil tekanan yang hilang menunjukkan bahwa tipe konvergen serpentin memiliki tekanan yang hilang lebih tinggi dari pada tipe konstan serpentin. Perbandingan hasil tekanan yang hilang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik tekanan yang hilang *flow field plate* serpentin

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian diatas telah disimulasikan, dianalisa, dan diolah data. Kecepatan rata-rata saluran tipe konvergen serpentin yang lebih tinggi dibandingkan konstan serpentin dapat mencegah terjadinya reaksi yang dilarang, menunda terjadinya polarisasi, dan meningkatkan kinerja sel. Kecepatan outlet saluran tipe konvergen yang lebih rendah dibandingkan konstan serpentin dapat memberikan keuntungan, memastikan reaksi berjalan lebih sempurna sebelum gas keluar melalui saluran outlet. Tekanan inlet, tekanan rata-rata, dan tekanan yang hilang saluran tipe konvergen menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan tipe konstan serpentin dikarenakan tipe konvergen memiliki volume kerja yang lebih kecil dibandingkan tipe konstan. Tekanan outlet saluran tipe konvergen serpentin dan tipe konstan serpentin memiliki hasil yang hampir sama dikarenakan area tersebut dekat dengan area bebas yang bertekanan 1 atm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada program Magister Teknik Mesin dan Pusat Penelitian Fisika LIPI yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Caliskan, H., Dincer, I., & Hepbasli, A. (2013). Energy, exergy and sustainability analyses of hybrid renewable energy based hydrogen and electricity production and storage systems: modeling and case study. *Applied Thermal Engineering*, 61(2), 784–798.
- Chen, X., Gong, G., Wan, Z., Zhang, C., & Tu, Z. (2016). Performance study of a dual power source residential CCHP system based on PEMFC and PTSC. *Energy Conversion and Management*, 119, 163–176.

- Chiu, H.-C., Jang, J.-H., Yan, W.-M., Li, H.-Y., & Liao, C.-C. (2012). A three-dimensional modeling of transport phenomena of proton exchange membrane fuel cells with various flow fields. *Applied Energy*, 96, 359–370.
- Chowdhury, M. Z., & Akansu, Y. E. (2017). Novel convergent-divergent serpentin flow fields effect on PEM fuel cell performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25686–25694. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.079>
- Dewi, E. L., & Raharjo, J. (2008). Perbandingan Grafit Bipolar Plate Model Parallel dan Serpentin sebagai Komponen Separator pada Pemfc. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, 3(November), 47–50.
- Ferng, Y. M., & Su, A. (2007). A three-dimensional full-cell CFD model used to investigate the effects of different flow channel designs on PEMFC performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(17), 4466–4476. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.05.012>
- Khaerudini, D. S. (2018). *Desain Bipolar Plate H2 T5*.
- Larminie, J., Dicks, A., & McDonald, M. S. (2003). *Fuel cell systems explained* (Vol. 2). J. Wiley Chichester, UK.
- Praneeth, S., Das, A., & Liou, F. (2012). *Design of metallic bipolar plates for PEM fuel cells*. Missouri University of Science and Technology. Center for Transportation
- Wang, C. T., Ou, Y. T., Wu, B. X., Thangavel, S., Hong, S. W., Chung, W. T., & Yan, W. M. (2017). A modified serpentin flow slab for in Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs). *Energy Procedia*, 142, 667–673. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.110>