

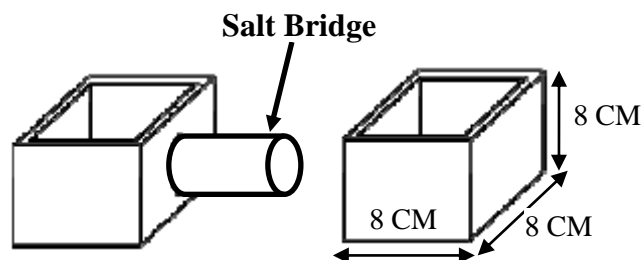
BAB IV

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Desain Microbial Fuel Cell

Desain alat MFC pada penelitian ini menggunakan sel elektrokimia dengan sistem *dual chamber* yang terdiri dari 3 pasang MFC yang rangkai secara seri antara kompartemen anoda dan kompartemen katoda. Menurut Larossa (2009) sistem MFC *dual chamber* merupakan sistem yang sering digunakan untuk menguji pengaruh dari kondisi yang di variasikan. Kedua kompartemen ini didesain mampu menampung volume yang sama yaitu 500 mL. Kedua kompartemen ini dipisahkan dengan sebuah *salt bridge* yang terbuat dari campuran air garam dan kain katun yang berfungsi sebagai membran penukar elektron.

Salt bridge ini digunakan untuk memisahkan kompartemen anoda dan kompartemen katoda secara fisik dalam desain MFC yang digunakan untuk memberikan jalur bagi H^+ dari kompartemen anoda menuju kompartemen katoda, sementara difusi oksigen pada kompartemen anoda direstriksi. Didalam desain MFC yang digunakan, luas membran yang terkena kontak adalah $13,84 \text{ cm}^2$. Sebelum di uji coba *salt bridge* perlu di preparasi untuk meningkatkan pertukaran yang efektif dan memaksimal porositas. *Salt bridge* yang digunakan dihubungkan menggunakan pipa ukuran $\frac{3}{4}$ " dan nepel ukuran $\frac{3}{4}$ " dan direkatkan dengan menggunakan lem kaca serta dilengkapi dengan seltip untuk mencegah kebocoran dan bergesernya *salt bridge* dari posisi yang semula. Berikut gambar 4.1. yang menjelaskan desain MFC yang digunakan pada penelitian kali ini.



Gambar 4.1 Desain MFC *dual chamber*

Pada penelitian ini, sistem MFC menggunakan elektroda grafit yang berupa batang karbon dengan luas permukaan dari elektroda ini sebesar $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ panjang 5,715 cm dan diameter 0,762 cm. Elektroda sebelum digunakan dipreparasi terlebih dahulu dengan direndam didalam larutan garam selama sehari untuk netralisasi. Kabel tembaga untuk menghubungkan sistem MFC sehingga membentuk suatu rangkaian seri.

Kemudian setelah instrumen lengkap dipasang, eksperimen MFC dijalankan dengan mengisi kompartemen anoda dengan kondisi anaerob dan kompartemen katoda diisi dengan air garam dengan kondisi aerob. Rangkaian MFC yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut ini.

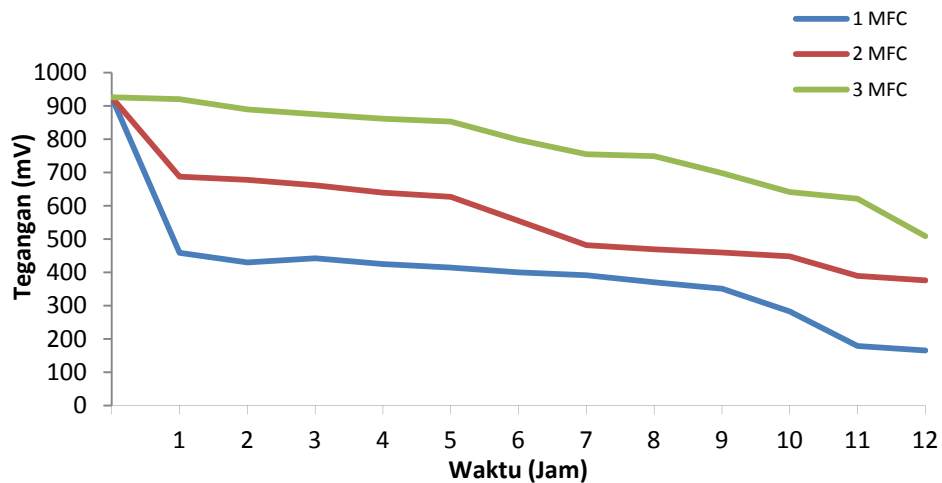


Gambar 4.2 Rangkaian Seri 3 MFC

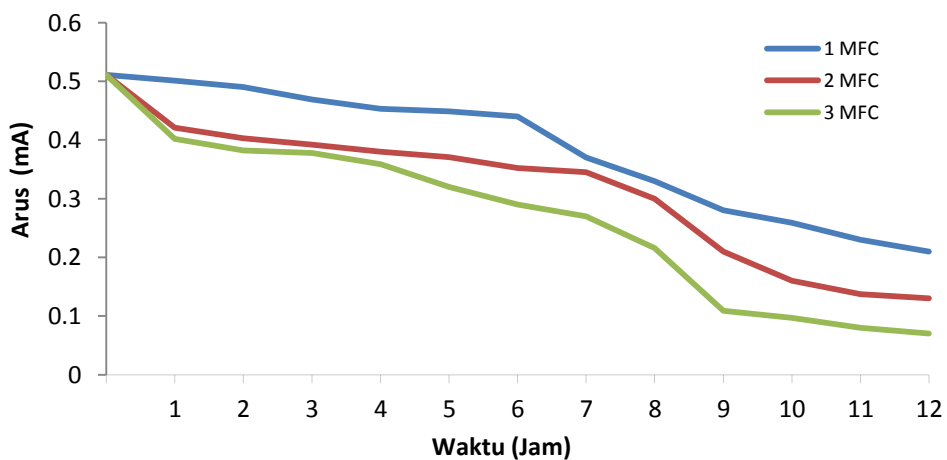
4.2 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Seri

Eksperimen dilakukan menggunakan substrat limbah tahu dengan volume 500 mL dengan ditambahkan ragi dengan perbandingan 1:1 (v/v), dimana kompartemen anoda dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron. Elektron yang dihasilkan merupakan langsung dari proses degradasi senyawa organik oleh mikroba itu sendiri tanpa adanya bantuan dari bahan kimia, yang kemudian

disalurkan menuju elektroda secara langsung. Adapun tegangan yang diukur dalam penelitian kali ini disebut sebagai *Open Circuit Voltage* karena dalam penelitian ini, sistem MFC tidak diberikan beban atau hambatan listrik eksternal seperti resistor atau lampu. Penelitian kali ini melakukan pengukuran tegangan dan arus dengan sistem tunggal dan seri dimana terdapat 2 variasi sistem seri dengan 2 MFC dan 3 MFC. Tujuan penggabungan MFC secara seri adalah meninjau pengaruh konfigurasi reaktor terhadap produksi energi listrik. Diharapkan dengan penggabungan secara seri ini dapat menghasilkan peningkatan energi listrik yang dihasilkan. Berikut gambar 4.3 dan gambar 4.4 adalah grafik hasil pengukuran sistem tunggal dan seri.



Gambar 4.3 Perbandingan Tegangan Rangkaian Tunggal dan Seri pada MFC



Gambar 4.4 Perbandingan Kuat Arus pada Rangkaian Tunggal dan Seri pada MFC

Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat bahwa nilai kuat arus mengalami penurunan jika MFC dirangkai secara seri. Kuat arus maksimum pada reaktor tunggal *dual chamber* dengan volume 500 mL adalah sebesar 0,511 mA. Nilai ini 21,33% lebih besar dibandingkan dengan reaktor rangkaian seri yang menghasilkan kuat arus maksimum sebesar 0,402 mA. Hasil penelitian ini kemudian dibandingkan dengan penelitian Deni Novitasari (2011). Dalam penelitiannya, Deni Novitasari menggunakan reaktor *dual-chamber* yang dirangkai secara seri. Kemudian diperoleh hasil bahwa *current density* (mA/m²) pada reaktor seri lebih rendah daripada reaktor tunggal. Hal ini dapat terlihat lebih jelas pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Kuat Arus pada Variasi Konfigurasi Reaktor

Konfigurasi	Current Density (mA/m ²)
Tunggal	0,536 mA
Seri	0,430 mA

Sumber: Deni Novitasari (2012)

Dari data pada tabel tersebut, diperoleh bahwa kuat arus maksimum pada reaktor rangkaian seri nilainya 19,8% lebih kecil dibandingkan dengan reaktor tunggal. Besarnya penurunan kuat arus pada penelitian Deni Novitasari tidak jauh berbeda dengan penelitian ini. Menurut Momoh, kecilnya nilai kuat arus pada rangkaian seri terjadi karena penambahan nilai hambatan dalam (R_{in}). Pada rangkaian seri, total R_{in} merupakan jumlah masing-masing hambatan dari sumber tegangan, dalam hal ini reaktor MFC. Nilai R_{in} ini berbanding terbalik dengan kuat arus sehingga penambahan R_{in} menyebabkan kecilnya kuat arus yang dihasilkan (Momoh *et al*, 2010).

Berbeda dengan kuat arus, perangkaian reaktor dengan sistem seri mampu menghasilkan nilai tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan reaktor tunggal. Pada reaktor tunggal 500 mL, diperoleh tegangan maksimum sebesar 459 mV. Setelah dirangkai sistem seri 3 MFC tegangan maksimum yang dihasilkan mengalami peningkatan sebesar ~100% menjadi 920 mV. Pada prinsip rangkaian seri, tegangan total merupakan jumlah tegangan dari masing-masing sumber

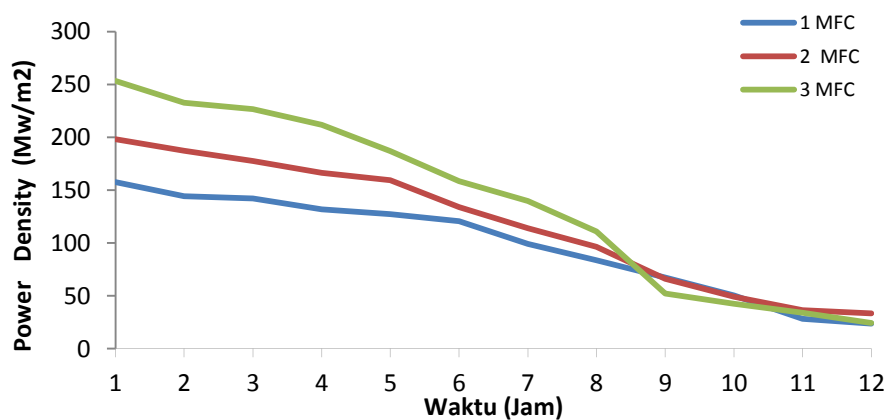
listrik, yaitu reaktor MFC. Oleh karena itu, reaktor yang dirangkai secara seri mampu meningkatkan tegangan yang dihasilkan. Hal ini juga dibuktikan oleh Deni Novitasari (2012) rangkaian seri yang dilakukan olehnya mengalami peningkatan sekitar 50% dengan 2 MFC.

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Tegangan pada Variasi Konfigurasi Reaktor

Konfigurasi	Nilai Tegangan (mV)
Tunggal	457
Seri	685,5

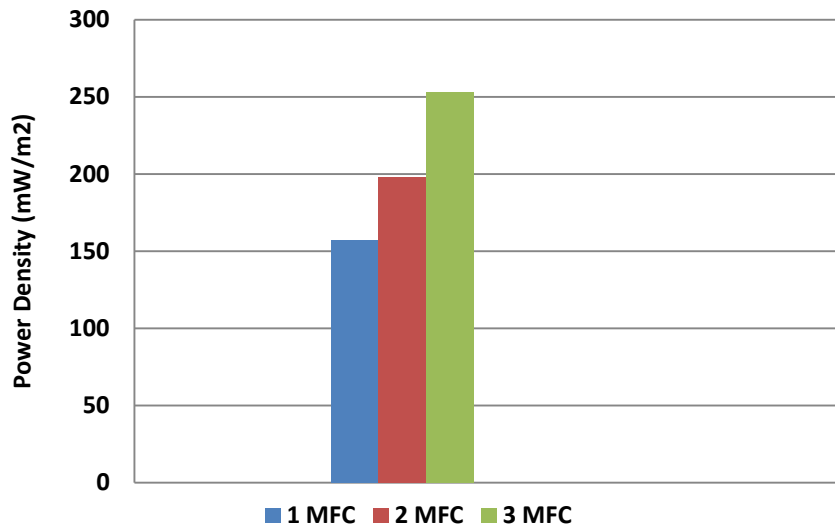
Sumber: Deni Novitasari (2012)

Data berupa kuat arus dan tegangan di atas diolah dengan persamaan 3.1 untuk kemudian mendapatkan nilai *power density* yang dapat mewakili produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem seri MFC. Adapun *power density* yang dihasilkan pada sistem seri ini tersaji dalam gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Produksi Listrik pada Sistem Seri

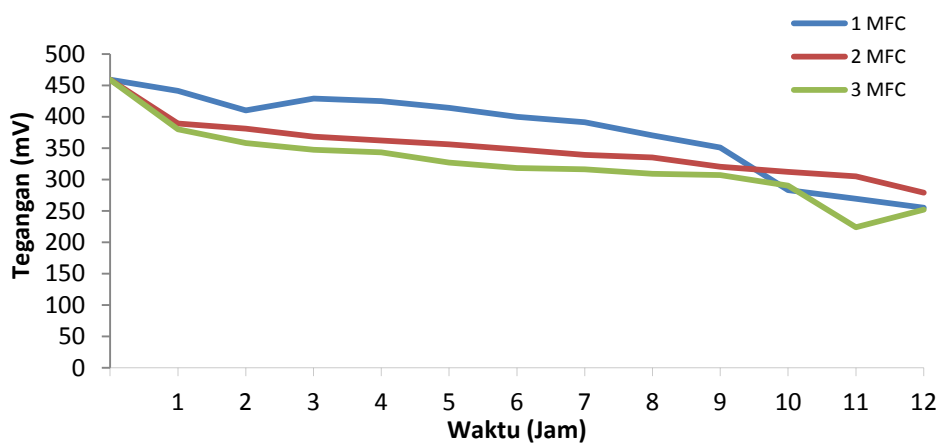
Dari grafik diatas, MFC yang dirangkai secara seri terbukti mampu meningkatkan nilai *power density* yang dihasilkan sebesar 60,83% (253,31 mW/m²) dibandingkan dengan dengan penggunaan 1 MFC. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya diatas, rangkaian seri dapat meningkatkan nilai tegangan. Peningkatan nilai tegangan ini dapat memicu terjadinya peningkatan nilai *power density*. Oleh sebab itu, *power density* pada rangkaian seri akan lebih besar daripada rangkaian tunggal.



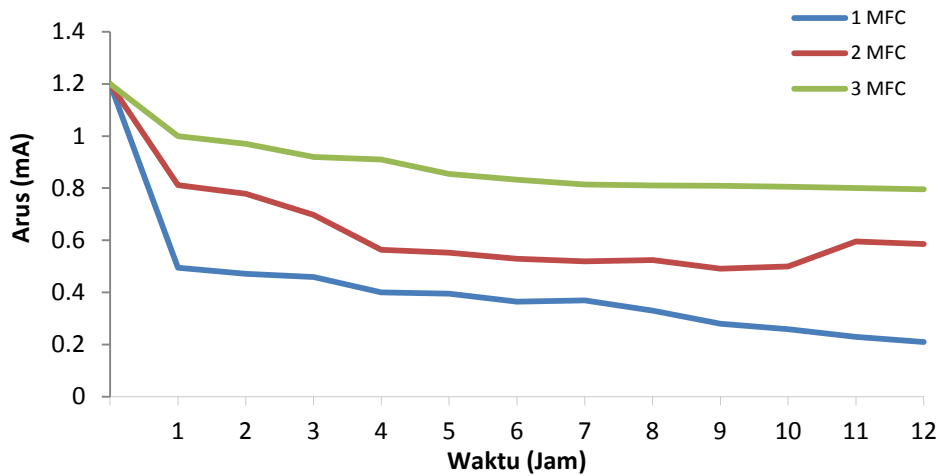
Gambar 4.6 Perbandingan *Power density* pada Variasi Rangkaian Seri

4.3 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Paralel

Setelah dilakukan percobaan dengan merangkai sistem secara seri, selanjutnya peneliti melakukan percobaan dengan merangkai sistem secara paralel. Kemudian kuat arus dan tegangan diukur selama satu siklus. Tujuan dilakukan perancangan sistem paralel ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari sistem terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan. Berikut gambar 4.7 dan gambar 4.8 hasil dari pengukuran kuat arus dan tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4.7 Perbandingan Tegangan MFC pada Rangkaian Paralel



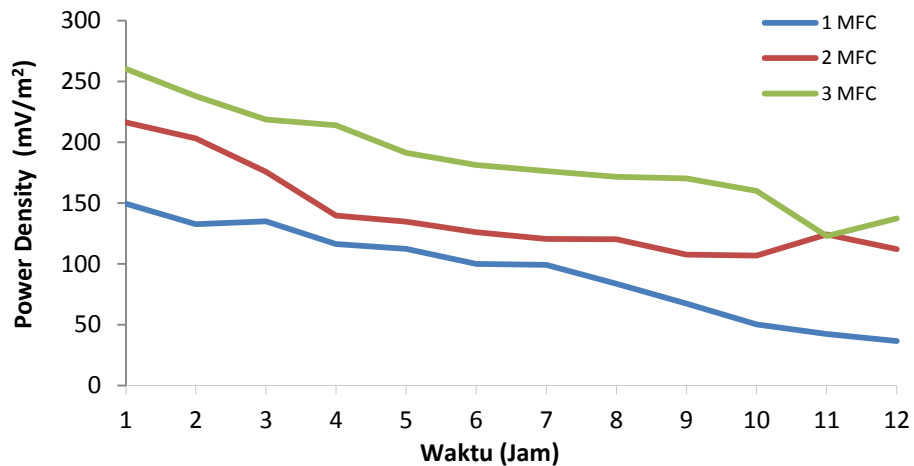
Gambar 4.8 Perbandingan Kuat Arus MFC pada Rangkaian Paralel

Dari data kuat arus dan tegangan yang dihasilkan diatas, dapat membuktikan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ieropoulos (2008) bahwa ketika rangkaian MFC dirangkai secara paralel maka akan dihasilkan kuat arus yang semakin tinggi dan tegangan yang semakin menurun. Dari data diatas arus yang dihasilkan oleh rangkaian tunggal MFC sebesar 0,495 mA dan setelah dirangkai secara paralel besarnya kuat arus menjadi 1 mA kenaikan terjadi sebesar ~ 100%. Hal ini dikarenakan sebagian besar tahanan jika dirangkai dalam rangkaian paralel menyebabkan tahanan total akan mengecil. Oleh sebab itulah, arus total yang didapat jauh lebih besar ketika reaktor MFC dirangkai secara paralel karena kuat arus yang dihasilkan merupakan penjumlahan dari tiap-tiap rektor MFC yang dirangkai.

Berbeda dengan tegangan, perangkaian reaktor dengan sistem paralel ternyata akan mempengaruhi besaran tegangan yang dihasilkan oleh MFC dibandingkan dengan reaktor tunggal. Pada reaktor tunggal 500 mL, diperoleh tegangan maksimum sebesar 441 mV. Setelah dirangkai sistem paralel 3 MFC tegangan maksimum yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar ~ 13,83% menjadi 380 mV. Hal ini dikarenakan pada prinsipnya tegangan yang dirangkai secara paralel disetiap cabangnya akan cenderung sama dan tetap sehingga tegangan total yang dihasilkan merupakan tegangan di tiap-tiap percabangannya. Mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh

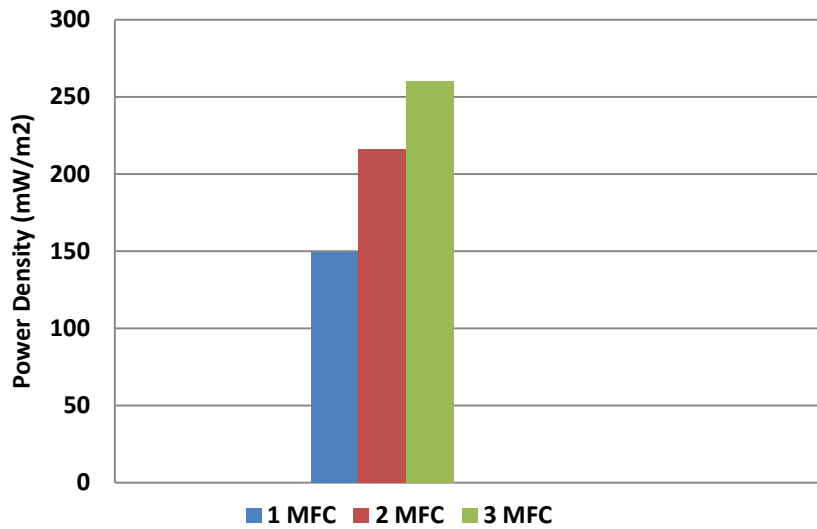
Ieropoulos (2008) pada tabel 4.3 diatas, dapat membuktikan bahwa ketika MFC dirangkai secara paralel maka akan dihasilkan tegangan yang cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan MFC yang dirangkai secara seri

Data berupa kuat arus dan tegangan di atas diolah dengan persamaan 3.1 untuk kemudian mendapatkan nilai *power density* yang dapat mewakili produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem seri MFC. Adapun *power density* yang dihasilkan pada sistem seri ini tersaji dalam gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Produksi Listrik pada Sistem Paralel

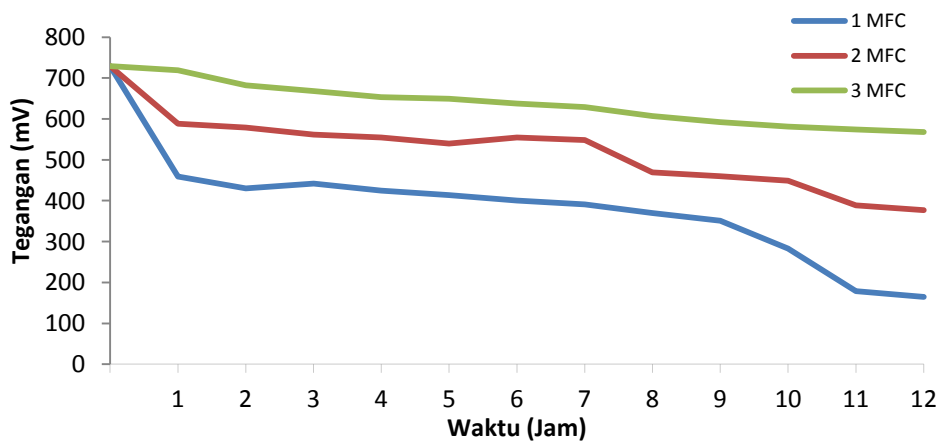
Dari grafik diatas, MFC yang dirangkai secara paralel terbukti mampu meningkatkan nilai *power density* yang dihasilkan sebesar 74,07% (260, 27 mW/m²) dibandingkan dengan penggunaan 1 MFC. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya diatas, rangkaian paralel cenderung mengalami penurunan pada nilai tegangan. Namun, dapat meningkatkan nilai kuat arus sehingga hal tersebut memicu *power density* yang lebih besar. Berikut gambar 4.10 perbandingan *power density* pada MFC dengan sistem rangkaian paralel.



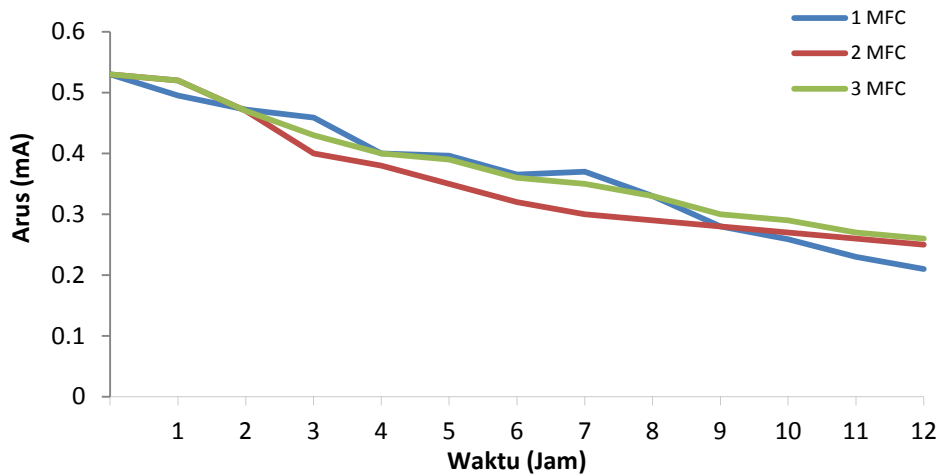
Gambar 4.10 Perbandingan *power density* pada rangkaian paralel

4.4 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Seri Paralel

Eksperimen selanjutnya sistem 3 MFC 500 mL dirangkai secara seri dan paralel, dimana 2 buah MFC dipasangkan secara seri dan 1 buah MFC dipasang secara paralel. kemudian diukur kuat arus dan tegangan untuk mengetahui pengaruh dari sistem seri paralel terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan. Tujuan dari perancangan sistem seri paralel ini diharapkan mampu memproduksi energi listrik yang lebih besar. Berikut adalah grafik hasil pengukuran seri paralel pada 3MFC



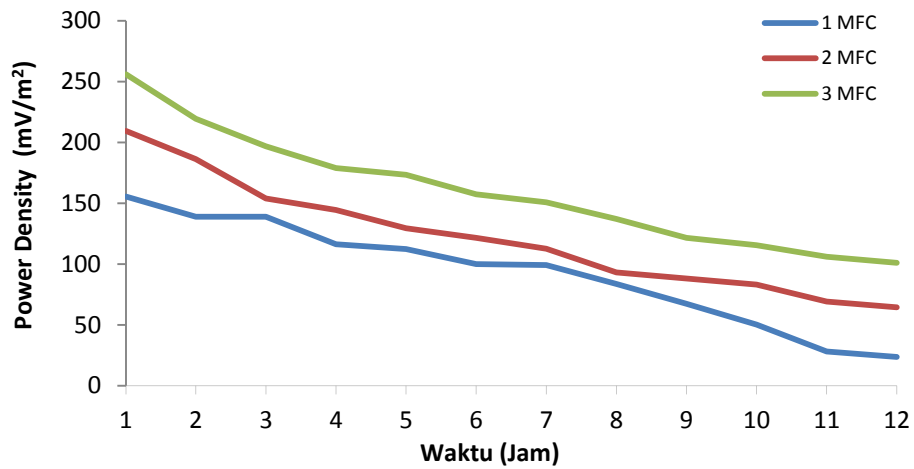
Gambar 4.11 Perbandingan Tegangan MFC pada sistem seri paralel



Gambar 4.12 Perbandingan Kuat Arus MFC pada sistem seri paralel

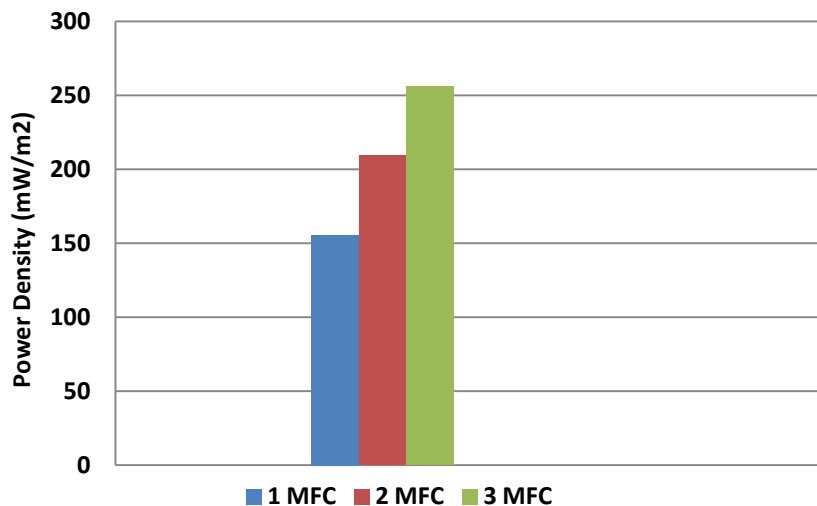
Dari data diatas, terlihat perbandingan tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh MFC yang dirangkaikan secara seri paralel, dimana tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel lebih besar dari rangkaian tunggal, dimana nilai tegangan maksimum yang dihasilkan oleh rangkaian tunggal adalah sebesar 459 mV sementara tegangan maksimum yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel adalah sebesar 719 mV kenaikan yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel sebesar 56,64% . Kenaikan tegangan ini dipengaruhi karena rangkaian seri yang diterapkan terlebih dahulu di dalam sistem kemudian baru dirangkai secara paralel, dari data diatas ternyata rangkaian seri paralel menghasilkan perbedaan kuat arus tidak berbeda jauh, nilai kuat arus maksimum pada rangkaian tunggal adalah sebesar 0,495 mA dan hanya mengalami kenaikan sebesar 4,8% (0,52 mA).

Data berupa kuat arus dan tegangan diatas diolah dengan persamaan 3.1 untuk mengetahui besarnya produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem MFC ketika dirangkaikan secara seri paralel. Berikut gambar 4.13 perbandingan produksi listrik pada sistem seri paralel.



Gambar 4.13 Produksi Listrik Pada Sistem Seri Paralel

Dari data diatas sistem seri paralel mampu menghasilkan energi listrik yang jauh lebih besar dari rangkaian tunggal, dimana maksimum produksi listrik pada rangkaian tunggal adalah sebesar $155,62 \text{ mW/m}^2$ sedangkan produksi energi listrik maksimum yang dihasilkan oleh rangkaian seri paralel mengalami kenaikan sebesar $64,55\%$ ($256,08 \text{ mW/m}^2$). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14 Perbandingan *power density* pada sistem seri paralel

Ieropoulos (2008) juga telah melakukan penelitian yang serupa yaitu dengan membandingkan kompartemen MFC dengan merangkainya secara seri, paralel, dan campuran (seri-paralel). Ieropoulos menggunakan 10 buah reaktor

MFC yang identik di setiap rangkaiannya. Hasil penelitian Ieropoulos kemudian terangkum ke dalam tabel berikut.

Tabel 4.3 Hasil Penelitian Oleh Ieropoulos (2008)

Jenis Rangkaian pada Reaktor	<i>Power density</i> (mW/m ²)	Tegangan (mV)
Tunggal	0,41	440
Seri	4,2	1400
Paralel	7,5	440
Seri-paralel	5,2	700

Dari data diatas, dapat terlihat bahwa tegangan tertinggi dapat dicapai saat reaktor dirangkai secara seri, yaitu sebesar 1400 mV. Nilai ini meningkat dua kali lipat terhadap jenis rangkaian yang lain. Pada rangkaian seri, semakin banyak reaktor yang dirangkai secara seri maka makin besar tegangan yang dihasilkan.

Dari percobaan Ieropoulos diatas, peneliti kemudian membandingkan dengan ketiga percobaan diatas. Berikut tabel 4.4 merupakan rangkuman dari ketiga percobaan diatas.

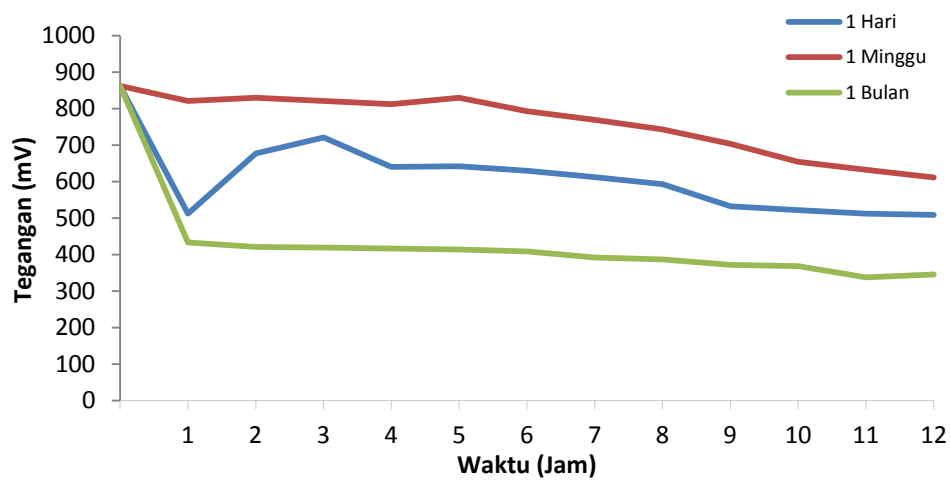
Tabel 4.4 Hasil Ketiga Percobaan

Jenis Rangkaian pada Reaktor	<i>Power density</i> (mW/m ²)	Tegangan (mV)
Tunggal	157,51	459
Seri	253,32	920
Paralel	260,27	380
Seri-paralel	256,08	719

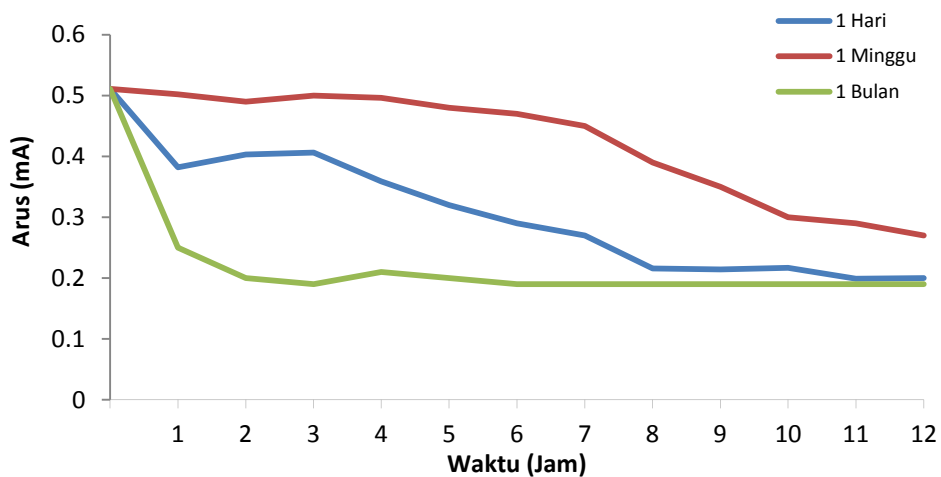
Dari data diatas, ternyata penelitian yang dilakukan ini tidak jauh berbeda pada prinsipnya. Dimana rangkaian seri akan menghasilkan tegangan tertinggi, rangkaian paralel menghasilkan *power density* tertinggi, dan rangkaian seri paralel menghasilkan tegangan dan *power density* yang nilainya diantara kedua rangkaian seri dan rangkaian paralel.

4.5 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Setelah didapatkan jenis rangkaian yang menghasilkan *power density* yang lebih besar, yaitu pada rangkaian 3 MFC. Kemudian dilakukan variasi waktu inkubasi pada limbah tahu. Kompartemen anoda kembali dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron. Kuat arus dan tegangan diukur selama satu siklus. Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh 3 pasang MFC dengan durasi waktu inkubasi yang berbeda tersaji dalam gambar 4.15. dan gambar 4.16.

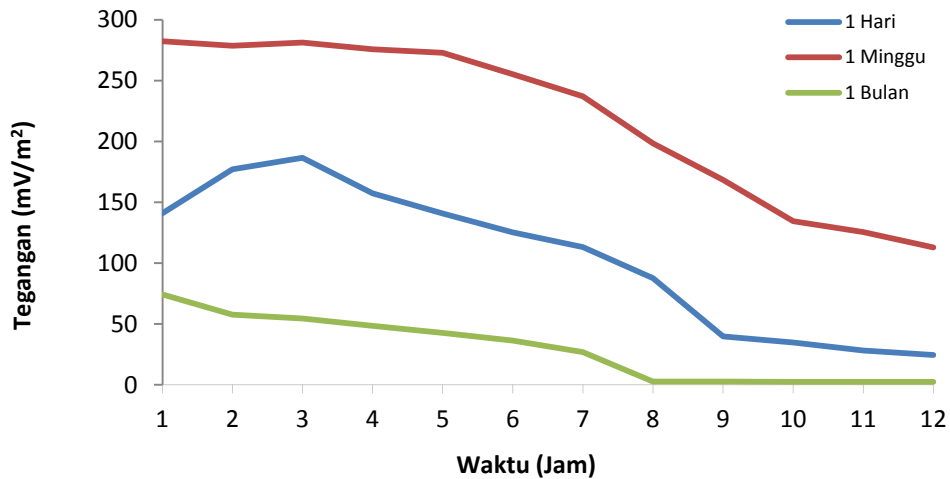


Gambar 4.15 Perbandingan Tegangan pada Variasi Lama Waktu Inkubasi



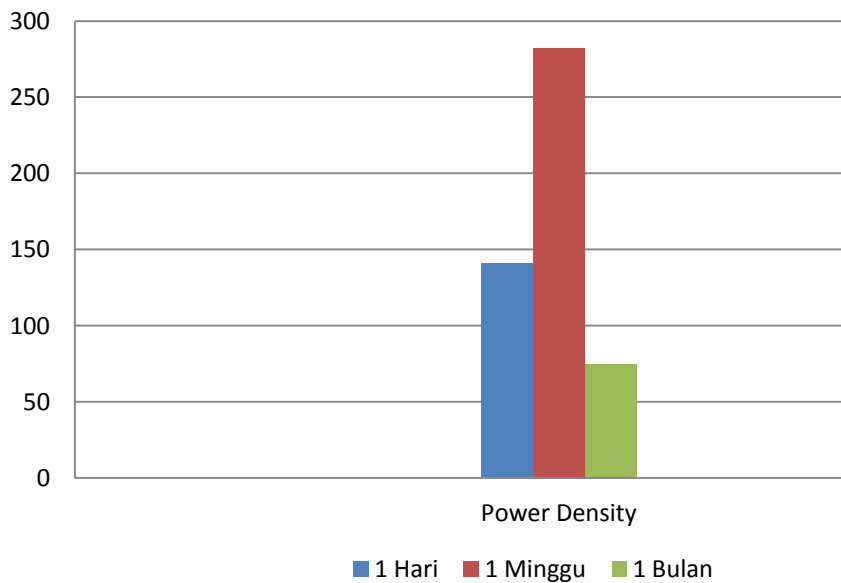
Gambar 4.16 Perbandingan Kuat Arus pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Power density yang dihasilkan sistem MFC dengan variasi lama waktu inkubasi tersaji dalam gambar 4.17.



Gambar 4.17. Produksi Listrik pada Variasi Lama Waktu Inkubasi

Dari data pengamatan yang didapatkan, terlihat bahwa limbah tahu dengan inkubasi 1 minggu memberikan produksi listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu inkubasi 1 hari dan 1 bulan. Perbandingan energi persatuan luas yang dihasilkan masing-masing substrat dengan lama waktu inkubasi yang berbeda tersaji dalam gambar 4.18.



Gambar 4.18. Perbandingan *power density* pada variasi Lama Waktu Inkubasi

Hal ini disebabkan pada waktu inkubasi 1 minggu, mikroba yang tinggal didalam kompartemen akan mendegradasi senyawa organik lebih stabil dibanding limbah dengan waktu inkubasi satu hari. Hasil pengamatan pada penelitian MFC ini menggunakan substrat limbah tahu dengan lama waktu inkubasi 1 bulan menunjukkan hasil yang berbeda pula. Limbah tahu dengan waktu inkubasi 1 bulan menghasilkan *power density* maksimal yang paling rendah jika dibandingkan dengan substrat pada awal eksperimen, yaitu 141 mW/m^2 .

Hal ini disebabkan oleh terdegradasinya kandungan organik pada substrat seiring dengan diinkubasikan. Namun dari data diatas, limbah dengan waktu inkubasi 1 bulan menghasilkan kuat arus dan tegangan yang lebih stabil dari waktu inkubasi 1 hari dan 1 minggu. Hal ini dikarenakan waktu inkubasi 1 bulan dapat membentuk biofilm yang lebih stabil pada substrat kemudian biofilm inilah yang membuat MFC memproduksi listrik menjadi lebih lama. Mikroba membutuhkan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya dan untuk bereproduksi sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama agar terbentuk konsorsium mikroba yang stabil.

Biofilm yang stabil akan mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga produksi listrik hasil metabolisme mikroba yang terbentuk agak kecil di awal eksperimen namun cenderung lebih stabil seiring dengan berjalannya waktu karena kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik dalam substrat.

Namun, jika terlalu lama maka senyawa organik yang terdapat dalam limbah akan terus terdegradasi. Menurut Logan (2006) menyatakan bahwa jika tidak ada senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun dikarenakan tidak ada lagi senyawa yang dapat di oksidasi oleh bakteri. Menurut Kim et al (2007). Biofilm yang terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu dapat menutup elektroda dan meningkatkan hambatan internal anoda sehingga menyebabkan penurunan nilai *power density* yang dihasilkan sistem MFC.

4.6 Potensi Penggunaan Limbah Tahu Terhadap *Power density*

Setelah didapatkan data seperti diatas, kemudian peneliti membandingkan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya untuk dapat mengetahui potensi penggunaan limbah tahu dalam memproduksi listrik. Pada tabel 4.5 berikut terdapat rangkuman perbandingan hasil optimum penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, yaitu berupa kuat arus, tegangan, dan *power density*.

Penelitian ini menggunakan bakteri tahu waste pada reaktor *dual chamber* dengan menggunakan grafit sebagai elektroda dan air garam sebagai larutan elektrolit. Berdasarkan tabel diatas, dapat dikatakan bahwa hasil yang didapatkan pada penelitian ini cukup memiliki nilai yang besar, meskipun jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Trinh (2009), Li (2010), Lee (2010), serta Ge dan He (2016) yang menghasilkan produksi listrik yang jauh lebih besar.

Keunggulan hasil Trinh ini kemungkinan besar disebabkan oleh penggunaan katalis Pt sebagai elektrodanya sehingga transfer elektron jadi lebih cepat. Selain itu, bakteri yang digunakan Trinh adalah *Geobacter sulfurreducens*, yang merupakan bakteri produksi Fe^{2+} dan dapat melakukan transfer elektron secara langsung ke elektroda tanpa melalui mediator (Trinh 2009). Hasil yang diperoleh oleh Lee (2010) juga menunjukkan nilai yang tinggi, hal ini menurut Nevin (2008) Lee menggunakan kultur campuran bakteri, di mana kultur campuran akan memberikan energi listrik yang jauh lebih besar dibandingkan kultur tunggal.

Penelitian Li (2010) menghasilkan *power density* yang lebih besar dari penelitian ini dikarenakan penggunaan *Granular Activated Carbon* (GAC) sebagai elektroda. GAC memiliki bentuk berupa butiran karbon aktif sehingga memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan batang grafit pada penelitian ini. Selain itu, Li tidak menggunakan membran, sehingga tidak adanya hambatan dalam yang ditimbulkan oleh keadaan membran.

Oleh karena itu dihasilkan energi yang lebih tinggi penelitian yang dilakukan oleh Ge dan He (2016) merupakan penelitian yang menghasilkan *power density* terbesar, hal ini disebabkan Ge dan He menggunakan butiran karbon aktif sehingga memiliki luas permukaan yang lebih besar serta didukung dengan volume reaktor yang mampu menampung 20 L *municipal waswater*, serta menggunakan variasi rangkaian seri dan paralel yang kemudian dihubungkan dengan *boost converter*, sehingga didapatkan hasil energi listrik maksimal yang mampu menghidupkan pompa 60 W DC.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Penelitian

Sumber	Mikroorganisme	Reaktor	Eelektroda	Larutan Elektrolit	I (mA)	V (mV)	Power Density (mW/m ²)
Trinh (2009)	<i>G-Sulfurreducens</i>	<i>Dual Chamber, Tunggal</i>	Anoda: Karbon Katoda: platina(katalis)	<i>Fumarat</i>	0,19	-	418
Velasquez-orta (2009)	<i>Schwannella Oneidensis</i>	<i>Single Chamber, Tunggal, Riboflavin</i>	Lempeng-grafit Pt	-	0,230	-	117
Guerrero-Larosa (2010)	<i>Wastewater</i>	<i>Dual Chamber, Tunggal</i>	Grafit Karbon	<i>Buffer posfat</i>	-	790	30
Lee (2010)	<i>Microbacterium sp</i>	<i>Single chamber, Tunggal</i>	<i>Grafit-Neutral Red-anoda(katalis) dan Fe(II)-carbon cathode</i>				7100
	<i>Pseudomonas sp</i>						2300
Li (2010)	<i>Wastewater</i>	<i>Dual Chamber, membranless</i>	<i>Granular Activated Carbon</i>	<i>Nitrat</i>	784	431	557
Momoh (2010)	<i>Wastewater</i>	<i>Dual Chamber, paralel</i>	Grafit	-	0,413	650	20,71
Novitasari (2011)	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<i>Dual Chamber, seri</i>	Batang grafit	<i>Kalium Permanganat</i>	0,430	685,5	201,8
Kristin (2012)	<i>Tempe waste</i>	<i>Dual Chamber, mediatorless,</i>	Batang grafit	<i>Buffer posfat</i>	-	-	9,59
Arbianti (2013)	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<i>Dual Chamber, Seri</i>	Batang grafit	<i>Buffer posfat dan pottasium ferricyanide</i>	0,413	685,5	201,8
Rosmalawati (2014)	<i>Fishery waste</i>	<i>Single Chamber, Seri</i>	Grafit Karbon	-	-	763	122
Ardhita (2015)	<i>Rice wastewater</i>	<i>Dual chamber, Tunggal</i>	Grafit Karbon	-	-	364	49,86
Ge dan He (2016)	<i>Municipal Wastewater</i>	<i>Single chamber, seri, paralel</i>	Anoda: <i>carbon brush</i> Katoda: <i>carbon powder</i>	-	150	5000	750
Indratomo (2017)	<i>Tempe waste</i>	<i>Dual chamber, tunggal</i>	Grafit Karbon		-	-	222,348
	<i>Tahu waste</i>				-	-	116,1
Irpan (2018)	<i>Tahu waste</i>	<i>Dual chamber, tunggal, seri, paralel</i>	Grafit Karbon	<i>Salt Water</i>	0,402	920	260,27