

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 AKTIVITAS PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan merupakan sebuah kajian eksperimental dengan rangkaian urutan aktivitas sebagai berikut:

- Kajian Pendahuluan
Merupakan kegiatan studi literatur yang terkait dengan subjek penelitian dan perencanaan serta perancangan eksperimental apparatus.
- Kegiatan Eksperimental
 1. Pembuatan sistem aliran kanal tertutup dan pembuatan model eksperimental sel elektrokimia plat sejajar yang dipasang vertikal dalam sebuah rig. Sistem aliran tersebut dilengkapi pengontrol laju aliran berupa flowmeter.
 2. Persiapan larutan elektrolit CuSO_4 dengan mempertimbangkan konsentrasinya untuk mendapatkan sifat-sifat fisika yang memungkinkan eksperimen dapat berlangsung baik (densitas dan viskositas yang memudahkan pengontrolan aliran serta diffusivitas ion yang memadai untuk pengukuran arus listrik).
 3. Pengukuran laju perpindahan massa dilakukan dengan teknik pengukuran *limiting diffusion current* berdasarkan arus listrik dari reaksi reduksi katoda berupa (ada suatu reaksi $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$) Pengukuran dilakukan dengan menggunakan suatu sistem akuisisi data yang terkomputerisasi, tersusun atas subsistem *micro controller* dan *PC*.
 4. Pengukuran dilakukan dalam berbagai variasi kecepatan hulu aliran cairan elektrolit (bilangan Reynolds, $\text{Re} = 0 - 3000$)

- Pengolahan dan Analisis data
Data yang diperoleh diproses dan diplot dalam berbagai grafik yang dapat memberikan informasi - informasi mengenai antara lain :
 - Besar maksimum koefisien perpindahan massa dan lokasi pada berbagai bilangan Reynolds.
 - Menentukan korelasi empiris antar parameter yang dinyatakan dalam bilangan Sherwood (Sh) sebagai fungsi dari bilangan Reynolds (Re) dan bilangan Schmidt (Sc).
- Hasil-hasil berupa grafik dan korelasi yang diperoleh dibandingkan dengan hasil-hasil dari penelitian sejenis yang telah dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya untuk memvalidasi hasil yang diperoleh.

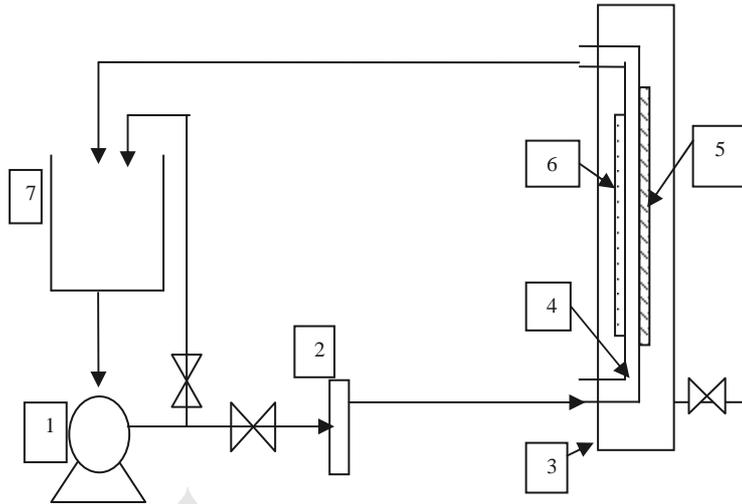
3.2 DESKRIPSI ALAT DAN BAHAN

3.2.1 Deskripsi Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat baru yang harus dibuat terlebih dahulu. Gambar 3.1 menunjukkan skema alat dan gambar 3.2 menunjukkan foto alat yang digunakan. Alat ini memiliki fungsi agar cairan elektrolit mampu mengalir diantara dua buah plat tembaga yang dipasang paralel atau sejajar. Selain itu alat ini dilengkapi dengan *valve* untuk mengatur debit aliran. Cara kerja alat ini adalah mengalirkan cairan elektrolit yang berasal dari reservoir yang kemudian melewati flowmeter untuk mengukur flow dari aliran sebelum memasuki sel elektrokimia. Pada sel elektrokimia ini terdapat dua plat tembaga sejajar yang dipasang sebagai anoda dan katoda untuk dialiri arus listrik dari *power supply* DC. Pada plat katoda ini terdapat 48 titik mikroelektrode yang akan disambungkan ke terminal untuk kemudian dilanjutkan ke digital multimeter sebagai data akuisisi yang terhubung dengan komputer. Didalam sel elektrokimia terdapat pencetus turbulen berupa *fence* / pagar yang membuat aliran menjadi turbulen. Alat ini menggunakan sistem tertutup dimana aliran elektrolit yang keluar kemudian dialirkan kembali ke sel elektrokimia.

Skema alat uji.

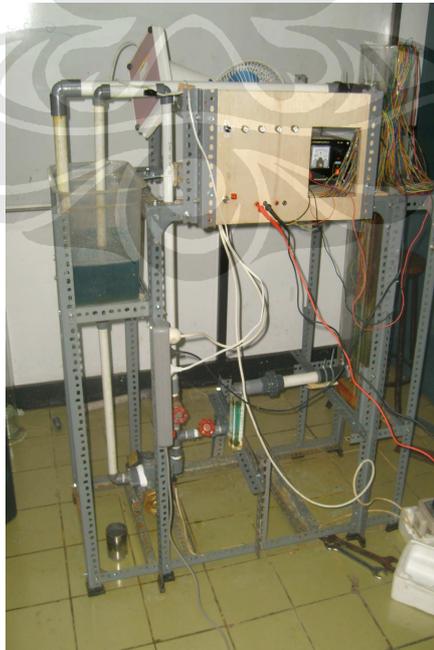
1. Pompa
2. Flowmeter
3. Sel Elektrokimia
4. Kanal Elektrolit
5. Anoda
6. Katoda
7. Reservoir



Gambar 3.1 Skema dari alat penelitian

Proses pengambilan data untuk penelitian ini menggunakan data akuisisi melalui digital multimeter. Pengambilan data pada alat ini meliputi :

1. Perhitungan debit air melalui flowmeter yang diatur melalui *valve* dan mengatur putaran pompa dengan *voltage regulator*.
2. Pengambilan nilai arus pada mikroelektroda pada setiap titik menggunakan digital multimeter.

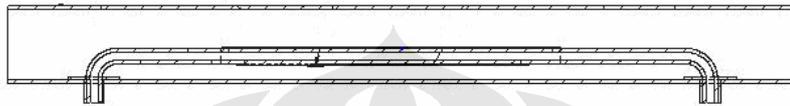


Gambar 3.2 Alat penelitian

Pada alat ini terdapat beberapa komponen yang bekerja sebagai satu kesatuan sehingga alat ini dapat bekerja dengan baik. Komponen tersebut adalah :

1. Sel Elektrokimia

Merupakan komponen inti yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya elektrolit diantara dua buah plat tembaga yang dipasang sejajar. Gambar 3.3 menunjukkan desain sel elektrokimia yang digunakan.



Gambar 3.3 Desain sel elektrokimia

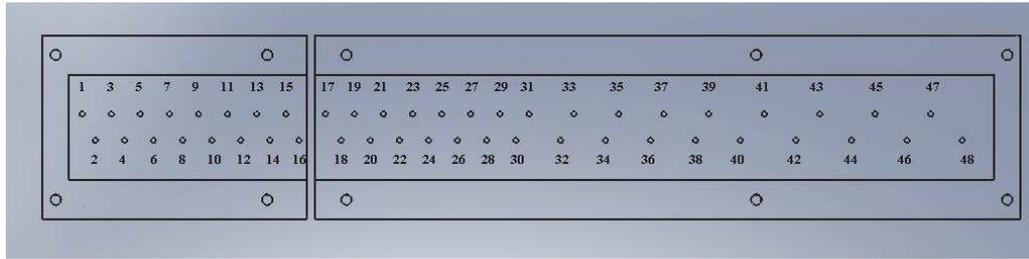
Pada sel elektrokimia ini terdiri dari beberapa bagian penting yaitu :

a. Katoda dan Anoda (makroelektroda)

Katoda dan Anoda ini berfungsi sebagai makroelektroda untuk menghantarkan listrik dari *power supply* agar larutan elektrolit mampu menghantarkan ion-ion elektron. Fungsi dari katoda adalah untuk menghantarkan arus positif dan anoda berfungsi sebagai arus negatif yang menangkap elektron dari katoda melalui larutan elektrolit. Makroelektroda ini terbuat dari tembaga. Kedua bagian ini dipasang disisi sel elektrokimia yang kemudian dibaut dan ditempel dengan silikon untuk menghindari kebocoran.

b. Mikroelektroda

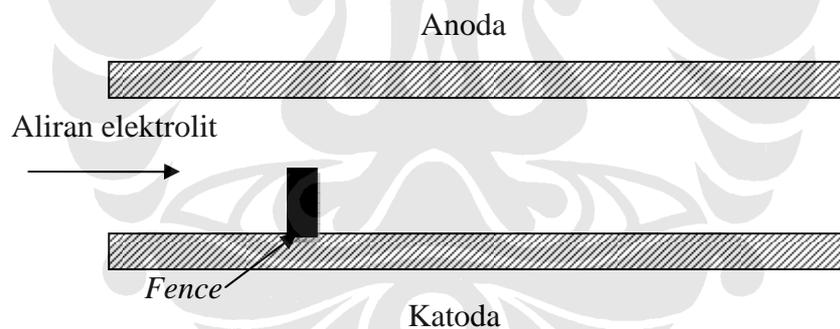
Pada katoda terdapat 48 titik mikroelektroda yang terbuat kabel tembaga berdiameter 1.5 mm^2 yang dilapisi isolator agar tidak terhubung dengan makroelektroda. Mikroelektroda ini nantinya akan terhubung dengan terminal-terminal yang terdapat pada bagian kontrol untuk kemudian disambungkan ke digital multimeter. Gambar 3.4 menunjukkan penomoran pada mikroelektroda.



Gambar 3.4 Penomoran pada mikroelektode

c. Pencetus turbulensi *fence*

Penelitian ini menggunakan pagar (*fence*) sebagai pencetus turbulensi pada kanal elektrolit yang bersifat sebagai kontrol pasif turbulensi. Kontrol pasif adalah kontrol yang diberikan kepada aliran dimana tidak ada energi atau gangguan dari luar yang dapat diberikan untuk mengubah aliran selain dari kontrol pasif tersebut. Dalam eksperimen digunakan adalah *fence* dengan ketinggian ukuran *fence* ini adalah 5 mm dan terbuat dari *acrylic*. Gambar 3.5 merupakan ilustrasi dari posisi kontrol pasif *fence* dalam kanal aliran.

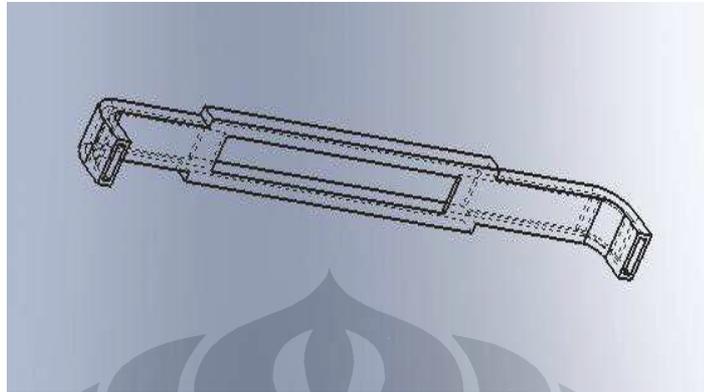


Gambar 3.5 Posisi kontrol pasif *fence*

d. Kanal aliran plat sejajar

Saluran yang terbuat dari *acrylic* ini berfungsi untuk mengalirkan elektrolit agar mampu lewat diantara plat anoda dan plat katoda yang terbuat dari tembaga ini. Pada saluran ini terdapat dua lubang di setiap sisi untuk menempatkan katoda dan anoda dari tembaga. Kanal ini dibuat untuk menghindari kebocoran sehingga, saluran ini dilapisi dengan cairan silicon untuk mencegah agar larutan elektrolit tidak bocor. Agar katoda dan anoda dapat menempel dengan kuat maka dibuat

delapan lubang untuk baut pada bagian anoda dan sepuluh lubang untuk baut pada bagian katoda dan *fence*. Gambar 3.6 menunjukkan desain dari kanal elektrolit yang digunakan.



Gambar 3.6 Desain dari kanal aliran plat sejajar

e. Selubung elektrolit

Sel ini berfungsi untuk menahan dan menampung bocoran dari saluran elektrolit dan juga berfungsi sebagai pondasi dari saluran plat sejajar. Sel ini terbuat dari bahan acrylic agar visualisasi dari aliran dapat terlihat jelas. Sel ini berdiri secara vertikal agar mampu menopang saluran plat sejajar. Pada sel ini terdapat *drain* atau kran untuk mengeluarkan cairan yang berada dibawah sel ini. Gambar 3.7 menunjukkan desain dari selubung elektrolit yang digunakan.



Gambar 3.7 Desain dari selubung elektrolit

2. Pompa

Pompa berfungsi untuk menyalurkan elektrolit dari reservoir ke sel elektrokimia yang melalui pipa. Pompa yang digunakan memiliki head maksimum hingga 30 meter. Untuk mengatur aliran elektrolit yang keluar dari pompa ini

digunakan *valve* dan *voltage regulator* agar debit yang masuk ke sel elektrokimia sesuai dengan yang dikehendaki. Gambar 3.8 menunjukkan pompa yang digunakan pada penelitian.



Gambar 3.8 Pompa yang digunakan

Spesifikasi Pompa Sanyo PW H 136

Sumber tegangan	: satu phase 220V 50 Hz
Output	: 125 W
Input	: 260 W
Suction head	: max 9 m
Total Head	: max 30 m
Kapasitas aliran	: max 32 ltr/min
Pipa Hisap	: 1 inch
Pipa Dorong	: 1 inch

3. *Power Supply* DC

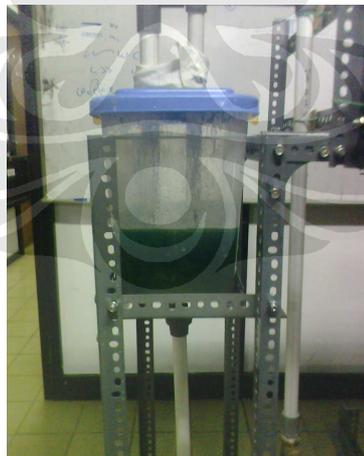
Power supply DC digunakan untuk mengalirkan listrik ke katoda dan anoda maka dibutuhkan *power supply* yang mampu mengalirkan listrik DC agar mudah diatur sesuai kebutuhan. *Power supply* memiliki kemampuan keluaran dengan memberikan tegangan hingga 30 V dan 2 A, dimana tegangan pada *power supply* dapat diatur sesuai kebutuhan. Gambar 3.9 menunjukkan *power supply* yang digunakan.



Gambar 3.9 *Power Supply* yang digunakan

4. Reservoir

Untuk menampung larutan elektrolit CuSO_4 dibutuhkan reservoir ini. Reservoir terbuat dari kotak plastik yang mampu untuk menampung larutan hingga 17 liter. Reservoir ini menerima aliran elektrolit dari sel elektrokimia untuk kemudian disalurkan kembali ke sel elektrokimia melalui pompa yang tersedia. Gambar 3.10 menunjukkan reservoir yang digunakan.



Gambar 3.10 Reservoir untuk menampung larutan CuSO_4

5. Flowmeter

Flowmeter (Rotameter) digunakan sebagai alat ukur untuk mengetahui debit aliran yang akan masuk ke sel elektrokimia. Flowmeter yang akan

digunakan merupakan flowmeter yang biasa digunakan untuk fluida yang memiliki *Specific Gravity* 1 atau biasa digunakan untuk mengalirkan air. Sehingga agar debit aliran pada larutan elektrolit dapat diketahui maka flowmeter perlu dikalibrasi terlebih dahulu. Posisi flow meter berada di antara sisi *output* pompa, dimana sebelum masuk ke flowmeter terdapat *valve* yang digunakan untuk mengatur debit aliran, dan berada di bagian sebelum masuk ke sel elektrokimia. Flowmeter yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Posisi flowmeter

6. Pemipaan

Alat ini menggunakan pipa paralon PVC untuk mengalirkan larutan elektrolit dengan diameter bervariasi antara $\frac{1}{2}$ ' inchi, $\frac{3}{4}$ ' inchi dan 1 inchi. Selain itu juga terdapat 2 *valve* yang digunakan untuk mengatur aliran. Selain itu juga terdapat *water moor* pipa lurus tersebut mudah untuk dibongkar pasang.

7. Voltage regulator

Voltrage Regulator digunakan untuk mengatur tegangan pada pompa sehingga putaran *impeller* pompa dapat diatur sehingga debit aliran yang dikeluarkan pompa dapat diatur sebelum memasuki flowmeter. Voltase yang diatur berkisar dari 0 – 270 volt.

8. Digital Multimeter

Data yang diperoleh dari mikroelektroda berupa arus listrik dengan satuan mA (mili Ampere) ini dibaca oleh digital multimeter ini untuk kemudian data

tersebut dipindahkan ke komputer melalui port USB dan agar dapat dibaca dikomputer maka telah tersedia *software* yang siap diinstall. *Software* yang disediakan adalah WinDMM, *software* ini dapat membaca data tersebut untuk kemudian disimpan dalam format .txt yang dapat langsung dipindahkan ke dalam format Excel. Gambar 3.12 menunjukkan digital multimeter dan *software* yang digunakan untuk mengambil data.



Gambar 3.12 Digital multimeter yang digunakan dan *software*

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah menggunakan plat tembaga sebagai katoda dan anoda dan menggunakan larutan CuSO₄ sebagai elektrolit untuk menghantarkan elektron-elektron pada tembaga. Tabel 3.1 menunjukkan nilai-nilai *properties* yang penting untuk penelitian pada kedua bahan tersebut.

Tabel 3.1 *Properties* pada tembaga dan larutan CuSO₄

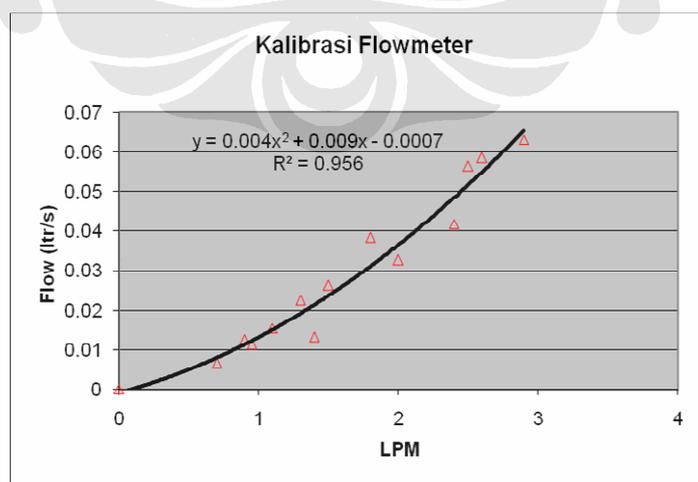
<i>Properties</i>	Tembaga	CuSO ₄
ρ density (kg/m ³)	8933	1072
μ viskositas (kg/m.s)	-	0,001149
ν viskos. kinematik (m ² /s)	-	1,072 x 10 ⁻⁶
Mr berat molekul (gr/mol)	64	250
C konsentrasi (mol/m ³)	-	500
D diffusivitas ion (m ² /s) ^[4]	-	4,43 x 10 ⁻¹⁰
Schmidt	-	2418

3.3 KALIBRASI ALAT UKUR

Karena alat ukur yaitu flowmeter yang digunakan tidak diperuntukkan pada larutan yang sesuai, yaitu pada SG 1, maka harus dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Cairan yang digunakan adalah larutan elektrolit CuSO_4 dengan kelarutan 0.5 M. Langkah kalibrasi ini perlu dilakukan agar nilai yang diperoleh pada alat ukur sesuai dengan kondisi yang diukur dan dapat dipercaya. Langkah – langkah kalibrasi adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan gelas ukur sebesar 1000 ml atau 1 liter pada saluran output.
2. Kemudian, dialirkan larutan elektrolit pada sistem hingga melalui flowmeter.
3. Dinyalakan pompa dan ukur debit aliran yang terbaca pada flowmeter.
4. Lalu, dicatat tinggi larutan yang terbaca pada gelas ukur dan waktunya.
5. Dilakukan sebanyak 20 kali atau lebih pada kondisi debit aliran yang berbeda.
6. Kemudian data disimpan dan diolah data hingga diperoleh persamaan garisnya dari grafik yang diperoleh.

Data yang diperoleh adalah besarnya debit aliran (ltr/min), tinggi awal dan tinggi akhir larutan pada gelas ukur (ml) dan waktu yang diperoleh dari tinggi awal hingga tinggi akhir (sekon). Setelah diperoleh persamaan garisnya maka dimasukkan nilai pada flowmeter ke persamaan tersebut agar diperoleh nilai debit aliran untuk larutan CuSO_4 . Gambar 3.13 menunjukkan hasil yang diperoleh dari proses kalibrasi.



Gambar 3.13 Grafik hasil kalibrasi flowmeter.

Persamaan yang diperoleh dari grafik diatas adalah $y = 0.004x^2 + 0.009x - 0.0007$. Sehingga hasil kalibrasi yang diperoleh ditunjukkan oleh tabel 3.2

Tabel 3.2 Nilai perbandingan pada flowmeter dengan hasil kalibrasi

$Q_{\text{flowmeter}}$ (LTR/MIN)	$Q_{\text{kalibrasi}}$ (ltr/s)	$Q_{\text{kalibrasi}}$ (LTR/MIN)	$Q_{\text{flowmeter}}$ (LTR/MIN)	$Q_{\text{kalibrasi}}$ (ltr/s)	$Q_{\text{kalibrasi}}$ (LTR/MIN)
0,8	0,009764	0,58584	2	0,0365	2,19
0,9	0,011486	0,68916	2,1	0,039326	2,35956
1	0,0133	0,798	2,2	0,042244	2,53464
1,1	0,015206	0,91236	2,3	0,045254	2,71524
1,2	0,017204	1,03224	2,4	0,048356	2,90136
1,3	0,019294	1,15764	2,5	0,05155	3,093
1,4	0,021476	1,28856	2,6	0,054836	3,29016
1,5	0,02375	1,425	2,7	0,058214	3,49284
1,6	0,026116	1,56696	2,8	0,061684	3,70104
1,7	0,028574	1,71444	2,9	0,065246	3,91476
1,8	0,031124	1,86744	3	0,0689	4,134
1,9	0,033766	2,02596	3,1	0,072646	4,35876

3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida yang berada di lantai tiga Departemen Teknik Mesin Fakultas Indonesia. Pengujian pada penelitian ini dilakukan pada tiga kondisi yang berbeda yaitu pada *flow* yang bervariasi antara 0.8 ltr/min, 1 ltr/min, 2 ltr/min dan 3 ltr/min agar diperoleh nilai *Re* yang berbeda. *Flow* atau debit aliran ini dapat dibaca dengan menggunakan alat ukur berupa flowmeter.

Sebelum pengambilan data ini yang perlu dipersiapkan adalah penyediaan larutan elektrolit berupa CuSO_4 dengan molaritas sebesar 0.5 M sebanyak 20 liter. Larutan elektrolit CuSO_4 ini berwarna biru terang. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data :

1. Memeriksa tidak ada cairan elektrolit yang mengalir dalam sistem.
2. Kemudian disiapkan elektrolit yang dibutuhkan dalam reservoir.
3. Menyiapkan peralatan elektronik yang akan digunakan (*power supply*, pompa, *voltage regulator*, *Digital Multimeter* dan Komputer).

4. Lalu mengatur *flow* yang diperlukan untuk pengambilan data dengan bantuan *valve* dan *voltage regulator*.
5. Mengatur *voltage* diposisi 800 mV (0.8 V) pada *Power Supply*
6. Menentukan satu titik mikroelektroda (1-48 titik) yang akan diambil datanya dengan *selector* pada panel kontrol.
7. Setelah itu, mengatur *digital multimeter* untuk membaca arus / current dan periksa apakah data sudah bisa *diinput* ke komputer.
8. Pengambilan data sebanyak 2-3 menit pada setiap mikroelektroda.
9. Melakukan langkah nomor 6 – 8 pada titik mikroelektroda yang berbeda.
10. Menyimpan data yang telah diambil.
11. Membersihkan alat dengan membuang/menguras semua cairan elektrolit.
12. Mengalirkan air bersih pada sistem 3 – 4 kali agar elektrolit dapat terkuras semua.
13. Membuang air yang telah digunakan dan membersihkan Rotameter.
14. Membersihkan dan merapikan alat sebelum ditinggalkan.

Data yang ingin diambil berada dalam kondisi debit aliran yang berbeda-beda yaitu pada kondisi 0,8 ltr/min, 1 ltr/min, 2 ltr/min dan 3 ltr/min. Nilai debit ini merupakan nilai yang terbaca pada flowmeter yang digunakan. Dari total 48 titik yang disiapkan, ternyata hanya terdapat 26 titik yang dapat diambil datanya dengan rincian 14 titik genap dan 12 titik ganjil. Titik-titik tersebutlah yang kemudian dapat diambil datanya untuk kemudian diolah dan ditampilkan dalam grafik.