

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Aktivitas Penelitian

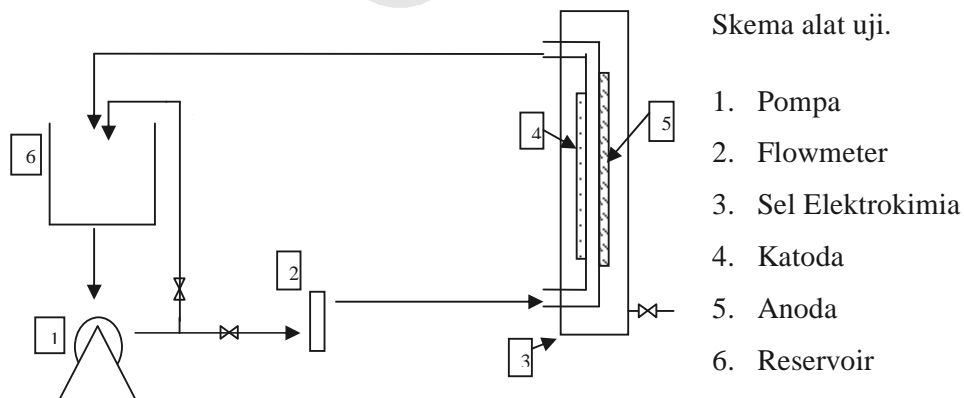
Metode penelitian yang digunakan merupakan sebuah kajian eksperimental dengan rangkaian urutan aktivitas sebagai berikut:

- Kajian Pendahuluan  
Merupakan kegiatan studi literatur yang terkait dengan subjek penelitian.
- Kegiatan Eksperimental
  1. Memodifikasi sistem aliran kanal tertutup dan pemasangan pencetus turbulensi berupa kontur tangga (*step*) sehingga terjadi *wall recess / sudden expansion* pada laluan. Kontur tangga tersebut diletakkan pada katoda di sel elektrokimia plat sejajar yang dipasang vertikal dalam sebuah rig. Sistem aliran tersebut dilengkapi pengontrol laju aliran berupa flowmeter.
  2. Mempersiapkan larutan elektrolit  $\text{CuSO}_4$  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. Mengukur laju perpindahan massa dilakukan dengan teknik pengukuran *limiting diffusion current* (Runchall, 1971) berdasarkan arus listrik dari reaksi reduksi katoda (ada suatu reaksi  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ ). Pengukuran dilakukan 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,  $\text{Re} = 0 - 2800$ )
- Pengolahan dan Analisis data  
Data yang diperoleh diproses dan diplot dalam berbagai grafik yang dapat memberikan informasi-informasi mengenai antara lain :

- Karakteristik koefisien perpindahan massa di setiap titik serta nilai maksimum koefisien perpindahan massa dan lokasinya pada berbagai bilangan Reynolds.
- 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

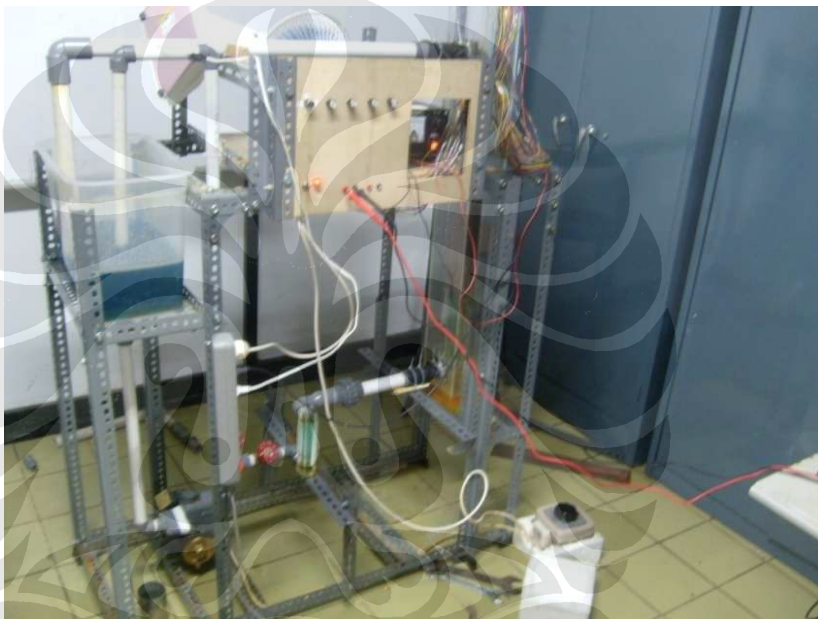
Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat baru yang sebelumnya digunakan untuk penelitian yang sama dengan pencetus turbulensi aliran berupa fence (pagar). Alat ini memiliki fungsi agar aliran elektrolit mampu lewat diantara dua buah plat tembaga yang dipasang paralel atau sejajar. Selain itu alat ini dilengkapi dengan *valve* untuk mengatur aliran. Cara kerja alat ini adalah mengalirkan fluida yang berasal dari reservoir menggunakan pompa, 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 *step* (kontur tangga) yang membuat aliran menjadi turbulen. Alat ini menggunakan sistem tertutup dimana aliran elektrolit yang keluar kemudian dialirkan kembali ke sel elektrokimia.



**Gambar 3.1** Skema dari alat sel elektrokimia plat sejajar

Proses pengambilan data untuk penelitian ini menggunakan data akuisisi berupa digital multimeter dengan data logger sehingga dapat langsung terhubung ke komputer. Pengambilan data pada alat ini meliputi :

1. Menentukan voltage sebesar 0,8 V pada *power supply*.
2. Perhitungan debit air melalui flowmeter yang diatur melalui *valve* dan mengatur putaran pompa dengan *voltage regulator*.
3. Pengambilan nilai arus pada mikroelektrode pada setiap titik menggunakan digital multimeter.

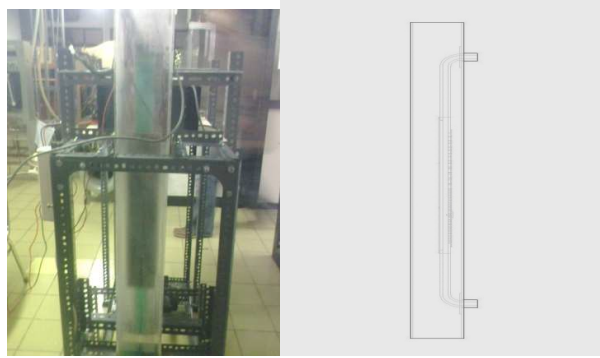


**Gambar 3.2** Sel elektrokimia plat sejajar

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

#### 1. Sel Elektrokimia

Merupakan komponen inti yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya larutan elektrolit diantara dua buah plat tembaga yang dipasang sejajar.

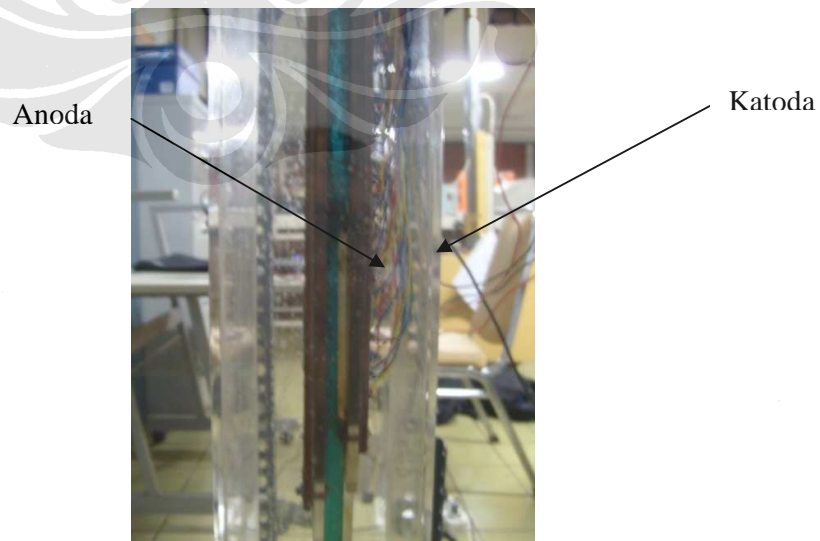


**Gambar 3.3** Desain sel elektrokimia plat sejajar (kanan), sel elektrokimia yang digunakan dalam penelitian (kiri)

Pada sel elektrokimia ini terdapat beberapa bagian penting yaitu :

a. Katoda dan anoda (makroelektroda)

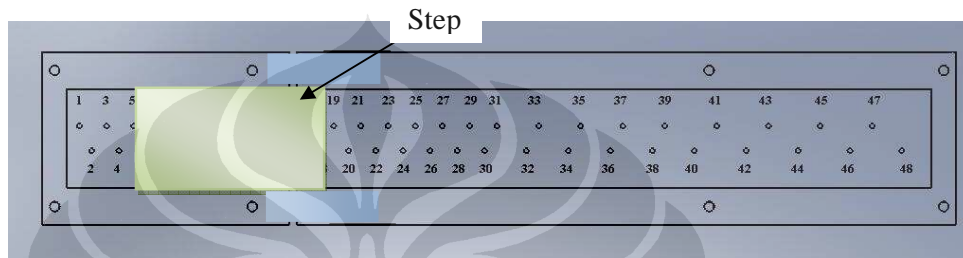
Katoda dan Anoda ini berfungsi sebagai makroelektroda untuk menghantarkan listrik dari *power supply* agar larutan elektrolit mampu menghantarkan ion-ion elektron. Dimana fungsi dari katoda adalah untuk menghantarkan arus positif dan anoda berfungsi sebagai arus negatif yang menangkap elektron dari katoda 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.



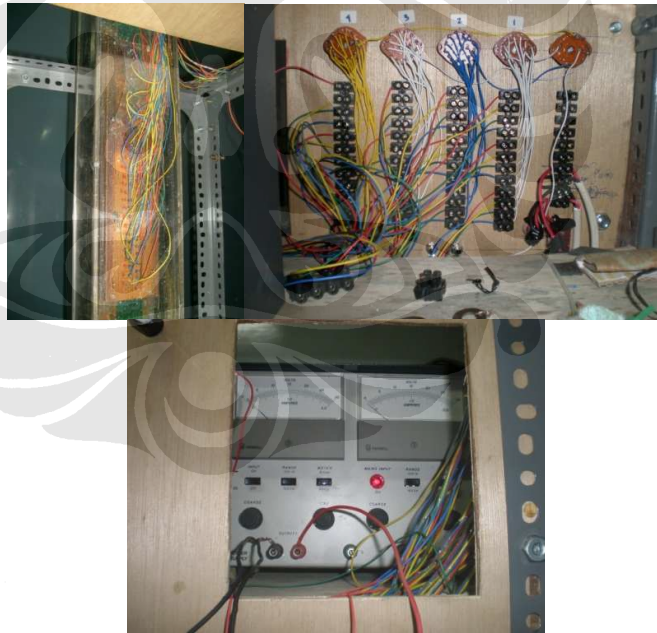
**Gambar 3.4** Plat sejajar anoda dan katoda

## b. Mikroelektroda

Pada katoda terdapat 48 titik mikroelektroda yang terbuat kabel tembaga berdiameter  $1.5 \text{ mm}^2$  yang dilapisi isolator agar tidak terhubung dengan makroelektroda. Namun pada penelitian ini, titik-titik mikroelektroda yang digunakan hanya 30 titik, mulai dari titik 19 sampai titik 48. Mikroelektroda ini nantinya akan terhubung dengan terminal-terminal yang terdapat pada bagian kontrol untuk kemudian disambungkan ke digital multimeter.



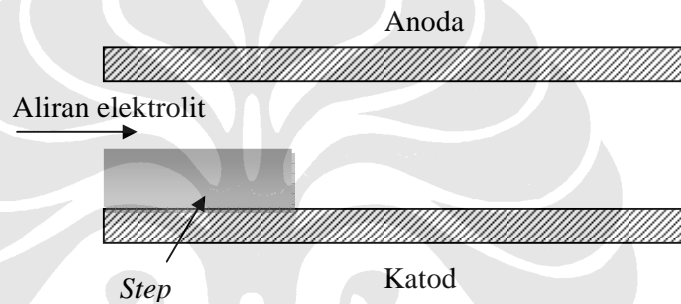
**Gambar 3.5** Penomoran pada mikroelektode



**Gambar 3.6** Susunan kabel mikroelektroda

c. Pencetus turbulensi berupa *step*

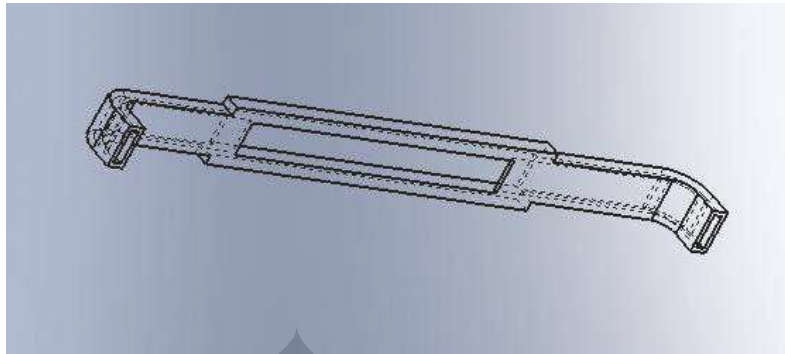
Penelitian ini menggunakan kontur tangga (*step*) sebagai pencetus turbulen pada kanal elektrolit yang bersifat sebagai kontrol pasif turbulensi. Kontrol pasif adalah kontrol yang diberikan kepada aliran dimana tidak ada energi atau gangguan dari luar yang dapat diberikan untuk mengubah aliran selain dari kontrol pasif tersebut. Pada penelitian ini kontrol pasif yang digunakan adalah *step* dengan dimensi ukuran *step* ini adalah tinggi 5 mm, lebar 40 mm, dan panjang 100 mm, serta terbuat dari *acrylic*. Gambar 3.7 merupakan ilustrasi dari posisi kontrol pasif *step* dalam kanal aliran.



**Gambar 3.7** Posisi *step* dalam kanal larutan elektrolit

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. Saluran ini dilapisi dengan *sealant* berupa silicon untuk mencegah agar larutan elektrolit tidak bocor. Kemudian, agar katoda dan anoda dapat menempel dengan kuat maka dibuat delapan lubang untuk mur dan baut pada bagian anoda dan delapan lubang juga untuk mur dan baut pada bagian katoda.



**Gambar 3.8** Desain dari kanal aliran plat sejajar

e. Sel elektrokimia

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 apabila terjadi kebocoran.



**Gambar 3.9** Desain dari sel elektrokimia

2. Pompa

Berfungsi untuk menyalurkan elektrolit dari reservoir ke sel elektrokimia yang melalui pipa dengan diameter yang bervariasi.. 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 3.10** Pompa yang digunakan beserta letak katup untuk mengatur laju aliran

#### 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

Untuk mengalirkan listrik ke katoda dan anoda 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. Pada penelitian ini, tegangan diatur sebesar 0,8 V. Untuk mengetahui nilai tegangan dari power supply serta untuk menjaga agar tegangan tetap stabil di nilai 0,8 V, maka digunakan digital multimeter untuk mengecek nilai tegangan setiap beberapa waktu sekali.



**Gambar 3.11** *Power Supply* yang digunakan

#### 4. Reservoir

Untuk menampung larutan elektrolit  $\text{CuSO}_4$  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 3.12** Reservoir untuk menampung larutan  $\text{CuSO}_4$ .

## 5. Flowmeter

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



**Gambar 3.13** Posisi flowmeter setelah pompa.

## 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 serta terdapat juga *water moor* agar pipa lurus tersebut mudah untuk dibongkar pasang.



**Gambar 3.14** Water moor

### 7. Voltage regulator

Digunakan untuk mengatur tegangan pada pompa sehingga putaran *impeller* pompa dapat diatur. Oleh karena itu, debit aliran yang dikeluarkan pompa dapat diatur sebelum memasuki flowmeter. Voltase yang diatur berkisar dari 0 – 270 volt.



**Gambar 3.15** Voltage regulator

### 8. Digital Multimeter

Data yang diperoleh dari mikroelektroda berupa arus listrik dengan satuan mA (mili Ampere). Data yang diperoleh ini kemudian dibaca oleh digital multimeter untuk kemudian data tersebut dipindahkan ke komputer melalui port USB. Agar data tersebut dapat dibaca di komputer maka telah tersedia *software* yang siap diinstall. *Software* ini dapat membaca data tersebut untuk kemudian disimpan dalam format .txt yang dapat langsung dipindahkan ke dalam format Excel.



**Gambar 3.16** Digital multimeter yang digunakan dan *software* yang digunakan untuk membaca data di komputer

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah menggunakan plat tembaga sebagai katoda dan anoda serta menggunakan larutan  $\text{CuSO}_4$  sebagai elektrolit untuk menghantarkan elektron-elektron pada tembaga. Tabel 3.1 di bawah ini adalah nilai-nilai *properties* yang penting untuk penelitian pada kedua bahan tersebut.

**Tabel 3.1** *Properties* pada tembaga dan larutan  $\text{CuSO}_4$

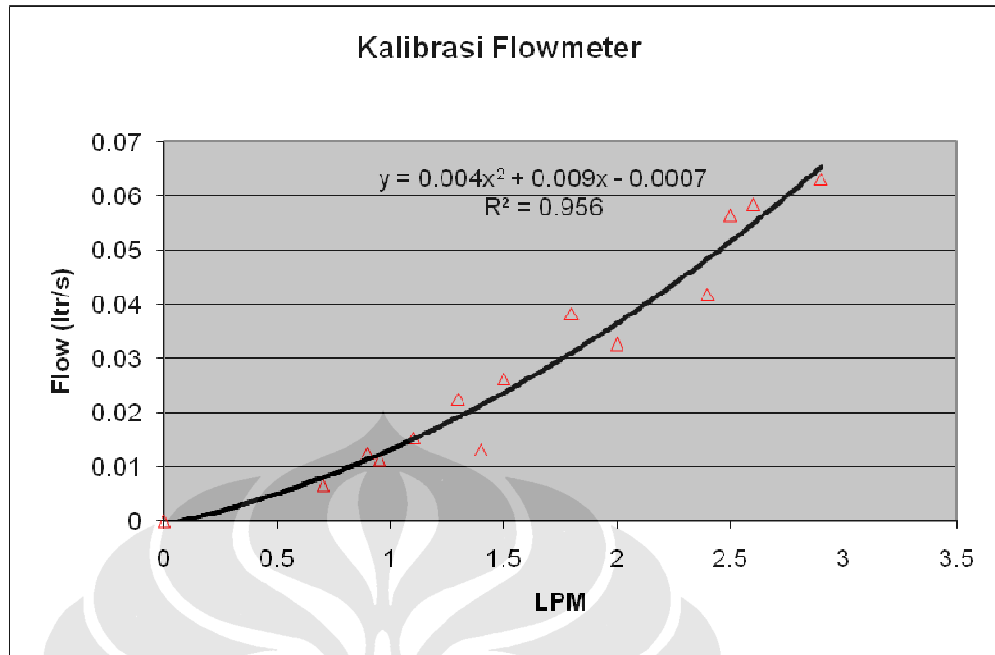
<i>Properties</i>	Tembaga	$\text{CuSO}_4$
$\rho$ density ( $\text{kg/m}^3$ )	8933	1072
$\mu$ viskositas ( $\text{kg/m.s}$ )	-	0,001149
$\nu$ viskos. kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	-	$1,072 \times 10^{-6}$
Mr berat molekul ( $\text{kg/mol}$ )	64	250
C konsentrasi ( $\text{mol/m}^3$ )	-	500
D diffusivitas ion ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	-	$4,43 \times 10^{-10}$
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 kita harus melakukan kalibrasi terlebih dahulu. Cairan yang kita gunakan adalah larutan elektrolit  $\text{CuSO}_4$  dengan kelarutan 0.5 M. Langkah kalibrasi ini perlu dilakukan agar nilai yang kita peroleh 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. Mengalirkan larutan elektrolit pada sistem hingga melalui flowmeter.
3. Menyalakan pompa dan mengukur debit aliran yang terbaca pada flowmeter.
4. Mencatat tinggi larutan yang terbaca pada gelas ukur dan waktunya.
5. Melakukan sebanyak 20 kali atau lebih pada kondisi debit aliran yang berbeda.
6. Menyimpan data dan mengolah data tersebut hingga diperoleh persamaan garisnya dari grafik yang kita peroleh.

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 nilai yang ada pada flowmeter kemudian dimasukkan ke persamaan tersebut agar diperoleh nilai debit aliran untuk larutan  $\text{CuSO}_4$ . Berikut adalah hasil yang diperoleh dari proses kalibrasi.



**Gambar 3.17** Grafik hasil kalibrasi flowmeter.

Persamaan yang diperoleh dari grafik 3.17 di atas adalah  $y = 0.004x^2 + 0.009x - 0.0007$ . Sehingga hasil kalibrasi yang diperoleh adalah sebagai berikut

**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  $\text{CuSO}_4$  dengan molaritas sebesar 0.5 M sebanyak 20 liter. Larutan elektrolit  $\text{CuSO}_4$  ini berwarna biru terang. Berikut adalah langkah-langkah yang kita lakukan untuk pengambilan data :

1. Memastikan tidak ada cairan elektrolit yang mengalir dalam sistem.
2. Menyiapkan elektrolit yang dibutuhkan dalam reservoir.
3. Menyiapkan dan menghidupkan peralatan elektronik yang akan digunakan (*power supply*, pompa, *voltage regulator*, *Digital Multimeter* dan Komputer).
4. Mengatur *flow* yang diperlukan untuk pengambilan data dengan bantuan *valve* dan *voltage regulator*.
5. Mengatur voltage di posisi 800 mV (0.8 V) pada *Power Supply*
6. Menentukan satu titik *mikroelectrode* (titik 19-48) yang akan diambil datanya dengan *selector* pada panel kontrol.
7. Mengatur *digital multimeter* untuk membaca arus / *current* dan periksa apakah data sudah bisa *diinput* ke komputer.
8. Mengambil data sebanyak 2-3 menit pada setiap *minielectrode* (sebanyak  $\pm 300$  data).
9. Melakukan langkah nomor 6 – 8 pada titik elektrode yang berbeda.
10. Menyimpan data yang telah diambil.

11. Mematikan semua peralatan elektronik jika pengambilan data sudah selesai.
12. Membersihkan alat dengan membuang/menguras semua cairan elektrolit.
13. Mengalirkan air bersih pada sistem 3 – 4 kali agar elektrolit dapat terkuras semua.
14. Membuang air yang telah digunakan dan bersihkan Rotameter.
15. Membersihkan dan merapikan alat sebelum ditinggalkan.

Data yang akan 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 30 titik yang diambil datanya, ternyata hanya terdapat 22 titik yang dapat kita ambil datanya dengan rincian 10 titik genap dan 12 titik ganjil. Titik-titik tersebutlah yang kemudian dapat diambil datanya.

