

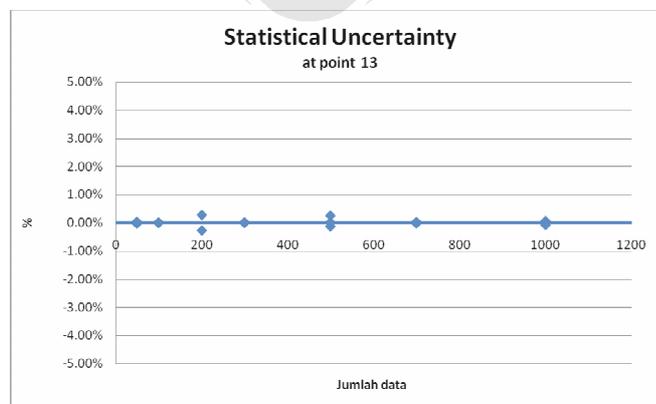
BAB IV

PENGOLAHAN DATA

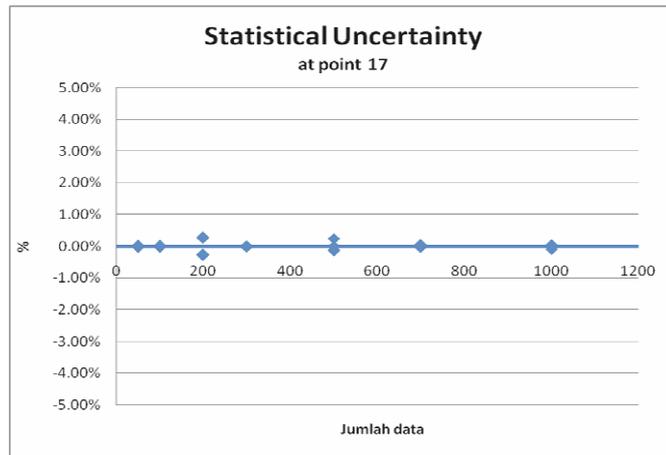
4.1 DATA *UNCERTAINTY*

Dalam setiap penelitian, pengambilan data merupakan hal yang penting. Namun *error* (*kesalahan*) dalam pengambilan data tidak dapat dihindarkan. Kesalahan tersebut dapat diminimalisasi dengan memperbanyak data yang diambil. Karena itu digunakan data *uncertainty* atau ketidakpastian data yang menggambarkan nilai kesalahan data (dalam %) berdasarkan jumlah data yang diambil. Tujuan penentuan data *uncertainty* ini adalah mencari nilai kesalahan data dan kemudian menetapkan jumlah data yang akan diambil untuk pengujian atau eksperimen selanjutnya.

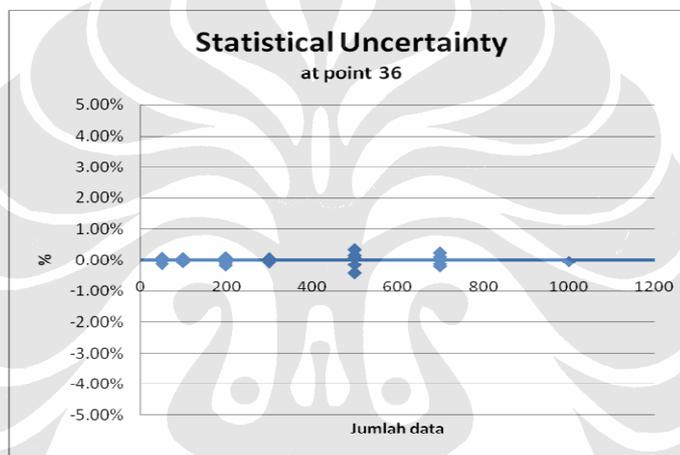
Untuk penentuan *data uncertainty* ini, dipilih menggunakan tiga titik sebagai sampel yaitu pada titik 13, titik 17 dan titik 36 dimana setiap titik mewakili area awal (19 mm sebelum *fence*), area tengah (7 mm setelah *fence*) dan area akhir atau hilir (124 mm setelah *fence*). Pada setiap titik diambil data sebanyak 50, 100, 200, 300, 500, 700 dan 1000 data sebanyak empat hingga lima kali. Gambar 4.1 hingga gambar 4.3 menunjukkan nilai data *uncertainty* yang diperoleh.



Gambar 4.1 Grafik data *uncertainty* di titik 13



Gambar 4.2 Grafik *data uncertainty* di titik 17



Gambar 4.3 Grafik *data uncertainty* di titik 36

Dari grafik *data uncertainty* yang diperoleh, ternyata nilai kesalahan data di setiap titik pada jumlah pengambilan data yang bervariasi menghasilkan nilai yang cukup kecil yaitu berada pada nilai $\pm 1\%$ untuk pengambilan data sebanyak 300 data dan nilai kesalahan pada nilai tersebut cukup kecil karena mendekati 0% sehingga data memiliki nilai kesalahan yang dapat diterima.

4.2 PERHITUNGAN BILANGAN REYNOLDS

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengetahui jenis aliran laminar atau aliran turbulen. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.9). Untuk menentukan nilai d yang merupakan nilai diameter jet pipa, karena pipa pada kanal bukan berbentuk

silinder maka harus menggunakan persamaan diameter hidrolis (2.7). Sedangkan untuk mengetahui nilai u yang merupakan kecepatan aliran CuSO_4 menggunakan persamaan (2.8). Hasil dari perhitungan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.1.

Nilai Re pada eksperimen merupakan variabel kondisi yang akan diubah-ubah sesuai dengan kondisi yang diperlukan. Kondisi ini diubah dengan tujuan memperoleh karakteristik aliran yang berbeda pada bilangan Re yang berubah. Bilangan Re tersebut berubah dengan mengubah nilai debit aliran sehingga kecepatan aliran akan berubah. Dimana nilai bilangan Re sebanding dengan nilai kecepatan aliran, sehingga semakin besar nilai debit aliran yang mengakibatkan nilai kecepatan aliran akan meningkat sehingga nilai bilangan Re menjadi bertambah.

Tabel 4.1 Nilai Re_{jet} dan Re_{duct} dengan variasi debit aliran

Debit (ltr/min)	Re_{jet}	Re_{duct}
0,8	404,81	364,3284
1	551,4096186	496,2687
2	1513,266998	1361,94
3	2856,55058	2570,896

Dari data yang diperoleh maka terlihat bahwa nilai Re pada penelitian ini berkisar antara 300 – 3000 sehingga aliran larutan CuSO_4 sebelum melewati *fence* memiliki jenis aliran laminar dan transisi.

4.3 PERHITUNGAN KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA

Perhitungan koefisien transfer massa dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien untuk perpindahan massa yang terjadi dalam proses elektrokimia yang menggunakan plat tembaga dan larutan elektrolit CuSO_4 . Perhitungan dilakukan setelah memperoleh data berupa besarnya arus pada digital multimeter untuk kemudian diolah dengan menggunakan properties dari masing-masing material yang digunakan.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini berasal dari 48 titik yang terdapat dalam katoda. Hanya saja data pada mikroelektroda yang dapat terbaca oleh digital multimeter hanya berjumlah 26 titik dengan perbandingan 14 titik genap

dan 12 titik ganjil. Dan kemudian yang diambil hanya satu bagian saja yaitu barisan pada titik genap karena memiliki jumlah yang lebih lengkap dan cukup mewakili area-area yang ada pada kanal. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.6). Dimana pada persamaan ini nilai variabel yang diperoleh berasal dari besaran arus yang dialirkan oleh mikroelektroda ke digital multimeter. Sedangkan besaran yang lain diperoleh dari nilai-nilai *properties* dan konstanta dari material. Hasil pengolahan data ditunjukkan pada tabel 4.2 untuk kondisi debit aliran 0,8 ltr/min, tabel 4.3 untuk kondisi debit aliran 1 ltr/min, tabel 4.4 untuk kondisi debit aliran 2 ltr/min, tabel 4.5 untuk kondisi debit aliran 3 ltr/min. Pada tabel 4.6 menunjukkan nilai koefisien pada setiap titik dan setiap kondisi debit aliran.

Tabel 4.2 Nilai koefisien perpindahan massa pada kondisi 0,8 ltr/min

Titik	Jarak (mm)	Arus_{mean} (mA)	K_m (m/s)
2	10	37,21023179	0,000218344
4	21	54,34086093	0,000318864
8	43	57,73645695	0,000338789
10	54	59,96261589	0,000351852
12	65	56,60586093	0,000332155
14	76	57,73698675	0,000338792
16	87	42,12437086	0,000247179
18	103	59,72983444	0,000350486
24	136	53,46625828	0,000313732
30	169	59,91870861	0,000351594
36	214	47,17142384	0,000276795
40	248	61,54390728	0,00036113
42	265	61,97155629	0,00036364
48	328	62,19900662	0,000364974

Tabel 4.3 Nilai koefisien perpindahan massa pada kondisi 1 ltr/min

Titik	Jarak (mm)	Arus_{mean} (mA)	K_m (m/s)
2	10	55,22821	0,000324071
4	21	39,56854	0,000232184
8	43	58,25328	0,00034182
10	54	60,91563	0,000357444
12	65	57,51424	0,000337484
14	76	58,49391	0,000343234
16	87	42,31503	0,000248293
18	103	60,75	0,000356472
24	136	56,05407	0,000328917
30	169	60,58911	0,000355528
36	214	51,52874	0,000302366
40	248	62,56576	0,000367128
42	265	62,52798	0,000366905
48	328	62,79222	0,000368455

Tabel 4.4 Nilai koefisien perpindahan massa pada kondisi 2 ltr/min

Titik	Jarak (mm)	Arus_{mean} (mA)	K_m (m/s)
2	10	52,19751	0,000306
4	21	29,9389	0,000176
8	43	55,15831	0,000324
10	54	56,74661	0,000333
12	65	54,2391	0,000318
14	76	54,81166	0,000322
16	87	39,63458	0,000233
18	103	57,42947	0,000337

24	136	37,12917	0,000218
30	169	57,27674	0,000336
36	214	52,89545	0,00031
40	248	58,82934	0,000345
42	265	58,8787	0,000345
48	328	59,45432	0,000349

Tabel 4.5 Nilai koefisien perpindahan massa pada kondisi 3 ltr/min

Titik	Jarak (mm)	Arus _{mean} (mA)	K _m (m/s)
2	10	54,4839404	0,000319704
4	21	36,72165563	0,000215479
8	43	57,91589404	0,000339842
10	54	59,36692053	0,000348356
12	65	56,42963576	0,000331126
14	76	56,98069536	0,000334352
16	87	41,42503311	0,000243076
18	103	59,32629139	0,000348121
24	136	51,73049669	0,000303556
30	169	58,93847682	0,000345849
36	214	50,18205298	0,000294473
40	248	60,00549669	0,000352105
42	265	60,09672185	0,000352634
48	328	60,2786755	0,000353702

Tabel 4.6 Nilai koefisien perpindahan massa di setiap titik

Titik	Jarak (mm)	K _{m 0.8}	K _{m 1}	K _{m 2}	K _{m 3}
		ltr/min (m/s)	ltr/min (m/s)	ltr/min (m/s)	ltr/min (m/s)
2	10	0,000218344	0,00032407	0,000306288	0,0003197
4	21	0,000318864	0,00023218	0,000175681	0,00021548
8	43	0,000338789	0,00034182	0,000323661	0,00033984
10	54	0,000351852	0,00035744	0,000332981	0,00034836
12	65	0,000332155	0,00033748	0,000318268	0,00033113

14	76	0,000338792	0,00034323	0,000321626	0,00033435
16	87	0,000247179	0,00024829	0,000232574	0,00024308
18	103	0,000350486	0,00035647	0,000336987	0,00034812
24	136	0,000313732	0,00032892	0,000218012	0,00030356
30	169	0,000351594	0,00035553	0,000336092	0,00034585
36	214	0,000276795	0,00030237	0,000310383	0,00029447
40	248	0,00036113	0,00036713	0,000345202	0,0003521
42	265	0,00036364	0,00036691	0,000345491	0,00035263
48	328	0,000364974	0,00036846	0,000348869	0,0003537

4.4 PERHITUNGAN BILANGAN SHERWOOD

Bilangan Sherwood merupakan bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengetahui perpindahan massa. Jika untuk perpindahan kalor digunakan bilangan Nusselt untuk merepresentasikan perpindahan kalor, maka untuk perpindahan massa digunakan bilangan Sherwood. Maka persamaan (2.12) yang digunakan untuk menentukan bilangan Sherwood, dimana nilai K_m diperoleh dari hasil pengolahan data sebelumnya dan nilai d adalah diameter jet, sementara D adalah koefisien difusi perpindahan massa pada CuSO_4 . Selain itu hubungan antara bilangan Sherwood, bilangan Reynolds dan bilangan Schmidt dinyatakan dalam persamaan (2.13). Hasil dari perhitungan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data nilai bilangan Sherwood

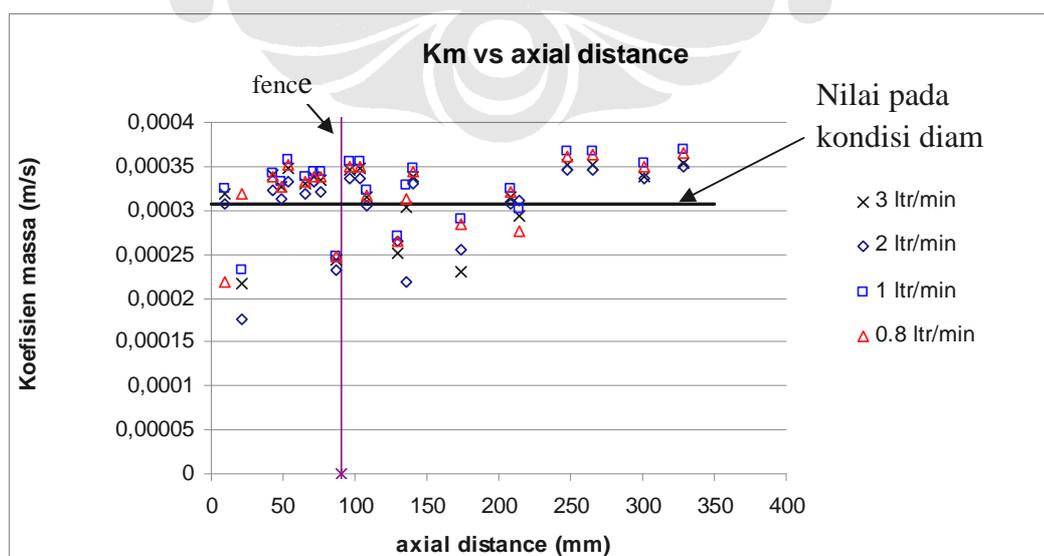
Re_{jet}	Peak K_m	d_{jet}	D	Schmidt	Sherwood
404,81	0,00036510	0,0089	$4,43 \cdot 10^{-10}$	2418	7334,96614
551,4096	0,00038346	0,0089	$4,43 \cdot 10^{-10}$	2418	7703,823928
1513,267	0,000348961	0,0089	$4,43 \cdot 10^{-10}$	2418	7010,728894
2856,551	0,000360286	0,0089	$4,43 \cdot 10^{-10}$	2418	7238,251467

BAB V

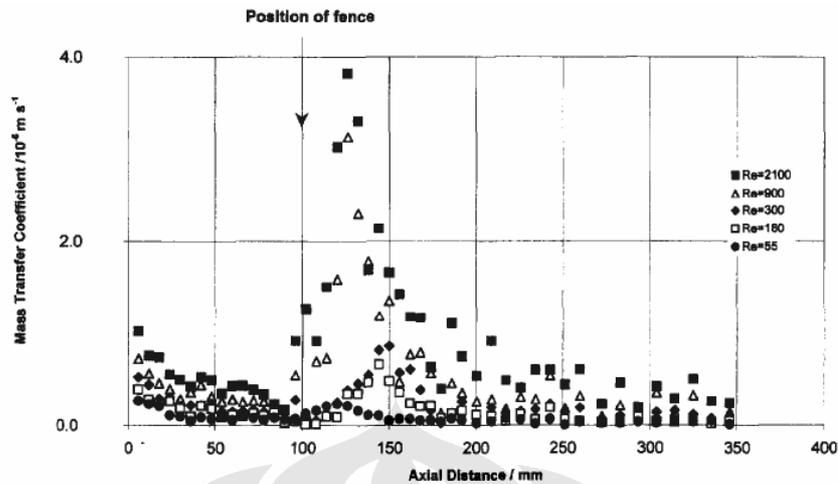
ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 ANALISA KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA

Dari pengolahan data yang telah diperoleh pada bab sebelumnya dapat dilihat grafik dan tren yang dihasilkan dari penelitian yang telah dilakukan seperti ditunjukkan pada gambar 5.1. Hasil yang diperoleh nantinya akan dibandingkan dengan hasil penelitian dari Oudouza^[5] yang kami jadikan referensi. Nilai koefisien perpindahan massa diperoleh pada setiap nilai Re yang berbeda dengan membedakan debit aliran yang memasuki kanal elektrolit. Nilai koefisien perpindahan massa memiliki nilai yang cukup kecil, seperti pada titik 2 dengan kondisi pada 0,8 ltr/min yang sebesar 0,0002183 m/s yang berarti massa partikel yang berpindah sejauh 0,21 mm/s. Kecepatan perpindahan ini ekuivalen dengan berpindahnya partikel sebesar 0,39 kg/s pada proses elektrokimia menggunakan plat tembaga.

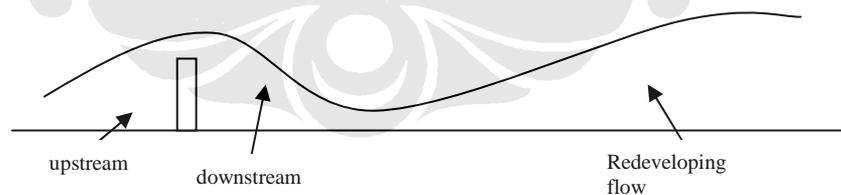


Gambar 5.1 Grafik koefisien perpindahan massa dengan jarak



Gambar 5.2 Grafik koefisien perpindahan massa dengan jarak pada referensi

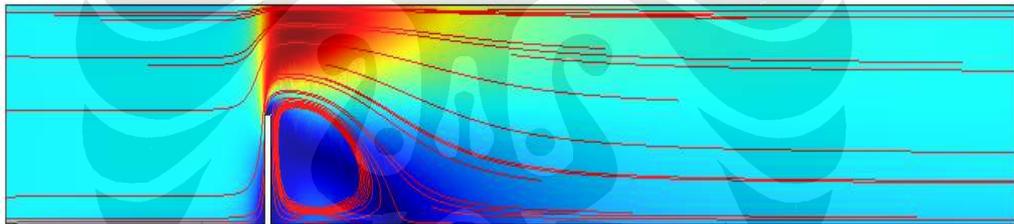
Penggunaan kontrol turbulensi ternyata mengakibatkan kenaikan perpindahan massa seperti terlihat pada gambar 5.1. Kenaikan perpindahan massa yang terjadi sebelum *fence* adalah 14,66%, sedangkan perpindahan massa yang terjadi setelah *fence* adalah 24,75%. Dari gambar 5.1 terlihat hasil yang diperoleh berdasarkan grafik ini menghasilkan tren yang naik pada jarak-jarak awal menuju ke *fence* lalu kemudian menghasilkan tren yang turun setelah melewati *fence* lalu kemudian naik kembali setelah menjauhi *fence*. Secara umum tren yang terjadi dapat diilustrasikan seperti pada gambar 5.3.



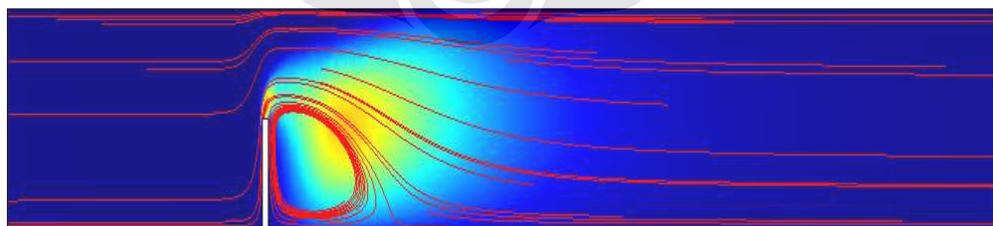
Gambar 5.3 Ilustrasi aliran yang terjadi dalam kanal

Dari ilustrasi gambar 5.3, aliran sebelum *fence* yaitu aliran upstream memberikan gambaran bahwa kecepatan massa yang berpindah cenderung naik ketika mendekati *fence*. Hal ini terjadi, karena aliran yang membawa partikel-partikel tersebut harus melewati area yang menyempit dan timbulnya turbulensi yang cukup besar akibat adanya *fence*. Akibatnya partikel-partikel tersebut

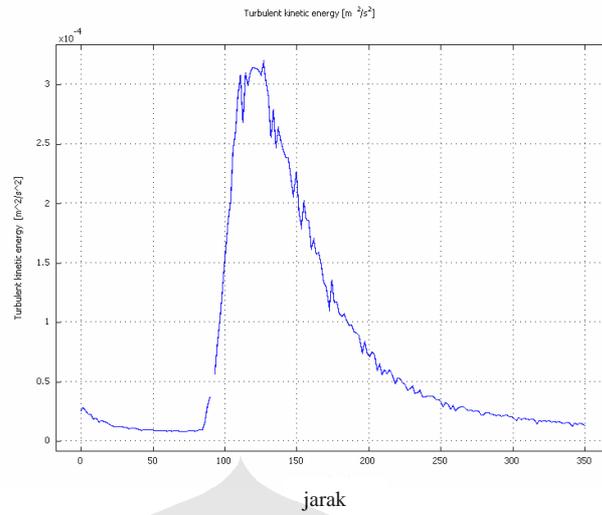
menjadi bergerak lebih dinamis didekat *fence* sehingga nilai koefisien perpindahan massa menjadi naik. Namun pada gambar 5.1 terlihat ada satu data yang sangat dekat dengan *fence* memiliki nilai yang rendah. Pada titik tersebut diperlihatkan aliran terjebak sehingga partikel-partikel massa tersebut hanya berputar-putar dilokasi tersebut saja. Akibatnya nilai arus yang terbaca sangat kecil. Setelah melewati *fence* karakter dari nilai koefisien perpindahan massa tersebut cenderung menurun seiring dengan melemahnya tingkat turbulensi setelah melewati *fence*. Namun, partikel-partikel yang berpindah mengalami pergerakan acak hingga terdapat efek yang menyebabkan tertahannya proses perpindahan massa sehingga koefisien perpindahan massa lebih kecil dari kondisi tanpa aliran. Pada daerah yang letaknya cukup jauh dari penghalang aliran berkembang kembali (*redevelop*) dengan kondisi yang lebih stabil dan tingkat turbulensi yang lebih tinggi sehingga laju perpindahan massa lebih besar dari kondisi diam dengan distribusi yang lebih merata.



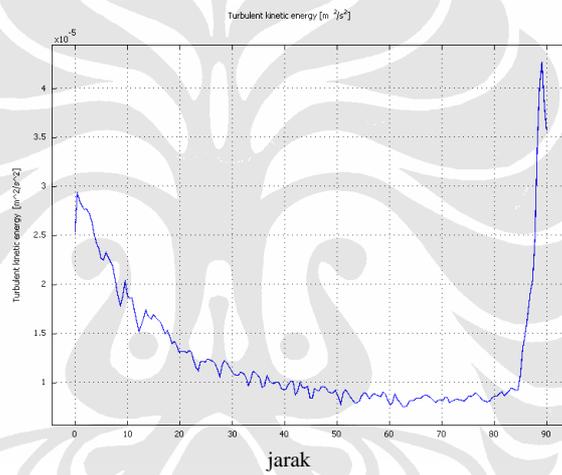
Gambar 5.4 Distribusi kecepatan aliran dan *streamline* menggunakan CFD



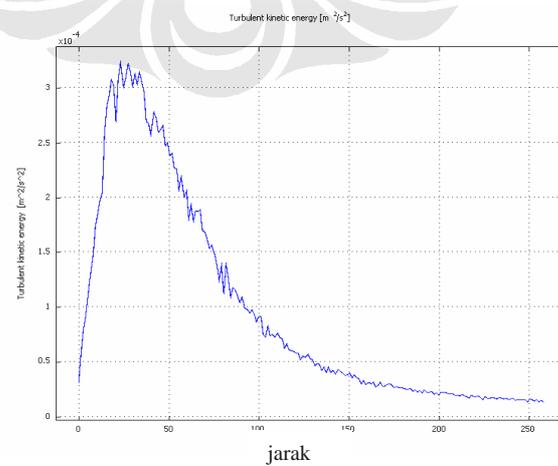
Gambar 5.5 Distribusi Turbulen kinetik energi menggunakan CFD



Gambar 5.6 Grafik turbulen kinetik energi dengan jarak



Gambar 5.7 Grafik turbulen kinetik energi pada area sebelum *fence*

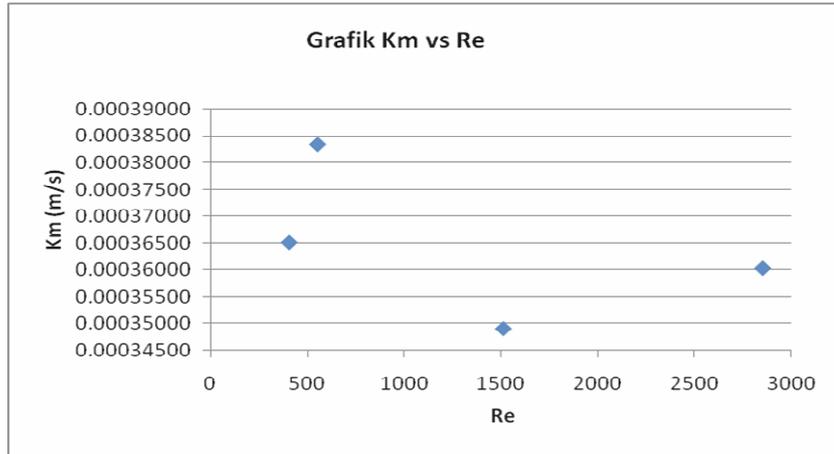


Gambar 5.8 Grafik turbulen kinetik energi pada area setelah *fence*

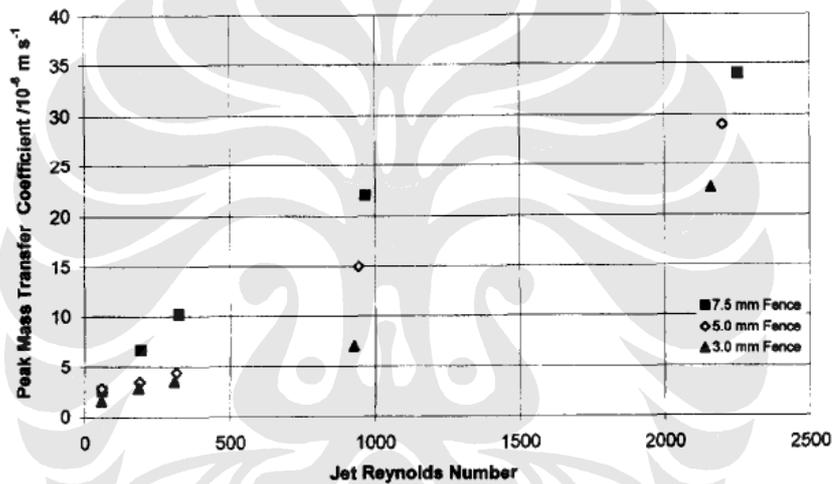
Pada gambar 5.4 menunjukkan bahwa karakteristik aliran yang ditunjukkan oleh CFD tidak terlalu jauh berbeda dengan hasil yang diperoleh melalui eksperimen. Pada eksperimen terdapat titik yang jatuh atau bernilai kecil pada posisi tepat sebelum *fence* dan titik tersebut menunjukkan bahwa perpindahan massa yang terjadi sangat kecil. Hasil CFD menunjukkan bahwa kecepatan pada posisi tersebut sangat kecil. Sedangkan pada aliran setelah *fence* terdapat turbulensi sehingga kecepatan aliran berlawanan dengan kecepatan aliran yang menuju hilir yang menyebabkan kecepatan di posisi tersebut sangat rendah sehingga aliran menurun. Kondisi tersebut juga cukup tergambarkan oleh grafik yang diperoleh dari eksperimen. Namun, ada kondisi yang berbeda yang ditunjukkan oleh grafik. Pada grafik kondisi kecepatan aliran cenderung naik sedangkan pada gambar CFD, kecepatan aliran menunjukkan penurunan. Pada gambar 5.5 ditunjukkan distribusi turbulen kinetik energi pada CFD. Gambar tersebut menunjukkan daerah yang memiliki turbulensi yang paling tinggi. Pada gambar 5.5 posisi turbulensi berada di dua daerah yaitu di daerah setelah *fence* dan di atas *fence*. Dimana turbulensi tertinggi berada di atas *fence*. Pada gambar 5.6 hingga gambar 5.8 menunjukkan grafik turbulen kinetik energi. Dari grafik di gambar 5.7 ditunjukkan nilai turbulen meningkat dengan tajam tepat sebelum *fence*. Sementara pada grafik di gambar 5.8 menunjukkan nilai turbulence yang menurun setelah melewati *fence*.

5.2 HUBUNGAN RE DAN KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA

Nilai koefisien perpindahan massa yang diperoleh dari penelitian ini kemudian dilihat hubungannya dengan bilangan Reynolds. Gambar 5.9 menunjukkan grafik K_m dan Re yang diperoleh dari eksperimen dan gambar 5.10 merupakan grafik dari referensi.



Gambar 5.9 Grafik koefisien perpindahan massa dengan bilangan Re

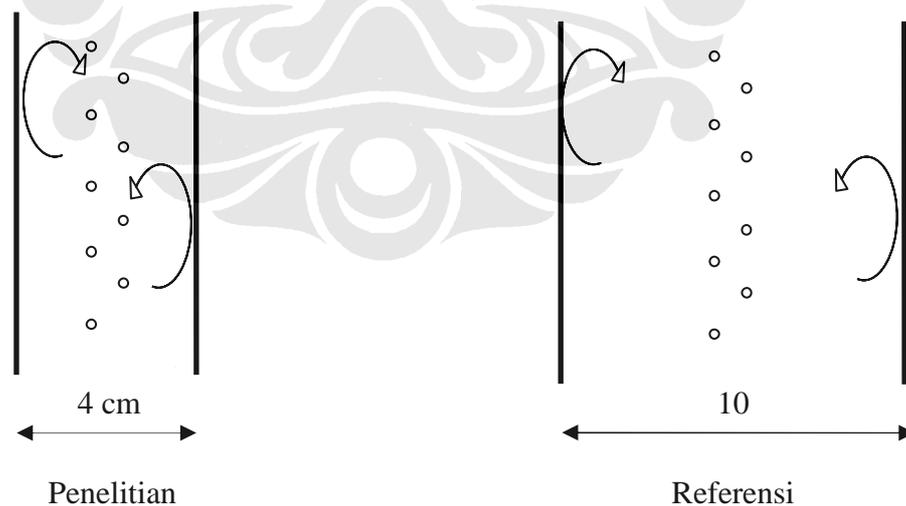


Gambar 5.10 Grafik koefisien perpindahan massa dengan bilangan Re pada referensi

Dari gambar 5.9, terlihat bahwa pada nilai bilangan Reynolds yang kecil nilai koefisien perpindahan massa ternyata cukup tinggi. Lalu kemudian menurun lagi pada bilangan Reynolds 1000 dan kemudian mulai naik kembali. Dari hasil yang diperoleh ini, ternyata perpindahan massa yang terjadi tidak serta merta mengalami kenaikan jika nilai bilangan Reynolds ditambah. Kenaikan bilangan Reynolds maka berarti kecepatan aliran akan semakin tinggi sehingga pergerakan partikel akan semakin kencang. Jika hal seperti itu yang terjadi, maka akan terdapat kemungkinan ada suatu titik yang tidak dapat menangkap elektron karena elektron tersebut terbawa oleh aliran yang mengalir begitu cepat. Selain itu, posisi

titik-titik mikroelektroda juga berada di bagian tengah anoda. Posisi tersebut memiliki nilai distribusi kecepatan yang tinggi sehingga partikel yang seharusnya berpindah ke katoda cenderung terbawa oleh aliran. Pada gambar 5.10 grafik yang diperoleh menunjukkan bahwa bertambahnya nilai bilangan Reynolds mengakibatkan naiknya nilai koefisien perpindahan massa. Hanya saja grafik yang ditunjukkan di referensi masih diragukan, karena data yang dijadikan patokan terlalu sedikit dan ada data kosong yang cukup renggang di nilai $500 < Re < 1000$ dan $1000 < Re < 2500$.

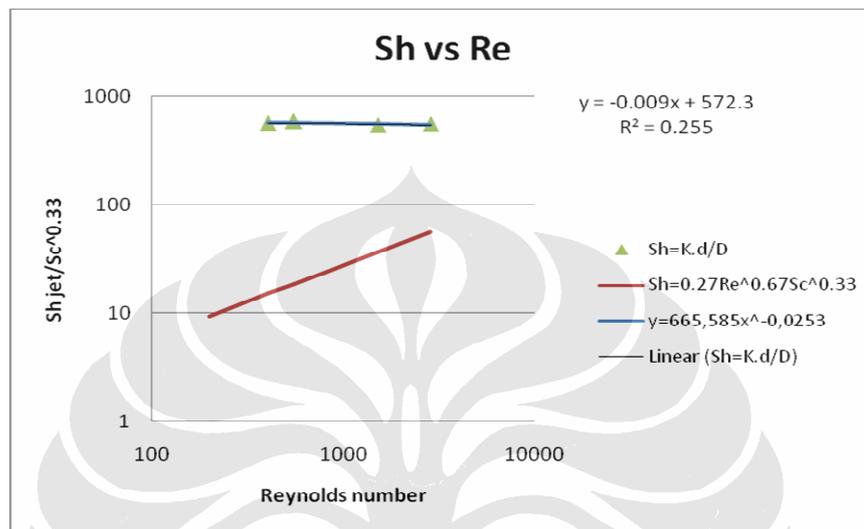
Pada penelitian ini rasio antara tinggi dan lebar kanal adalah 1 : 4 sedangkan pada referensi digunakan rasio 1 : 10. Dengan menggunakan rasio yang lebih kecil maka posisi titik-titik pada mikroelektroda menjadi sangat dekat dengan dinding kanal. Akibat dari itu, maka ada kemungkinan aliran yang melalui mikroelektroda mengalami pengaruh dari adanya lapisan yang ditimbulkan dari aliran yang menabrak dinding kanal. Karena jika menggunakan rasio 1:10 maka lapisan dari dinding kanal ini tidak mempengaruhi aliran yang melalui mikroelektroda karena jarak dari dinding ke mikroelektroda cukup jauh. Perbedaan rasio ini ditunjukkan pada gambar 5.11.



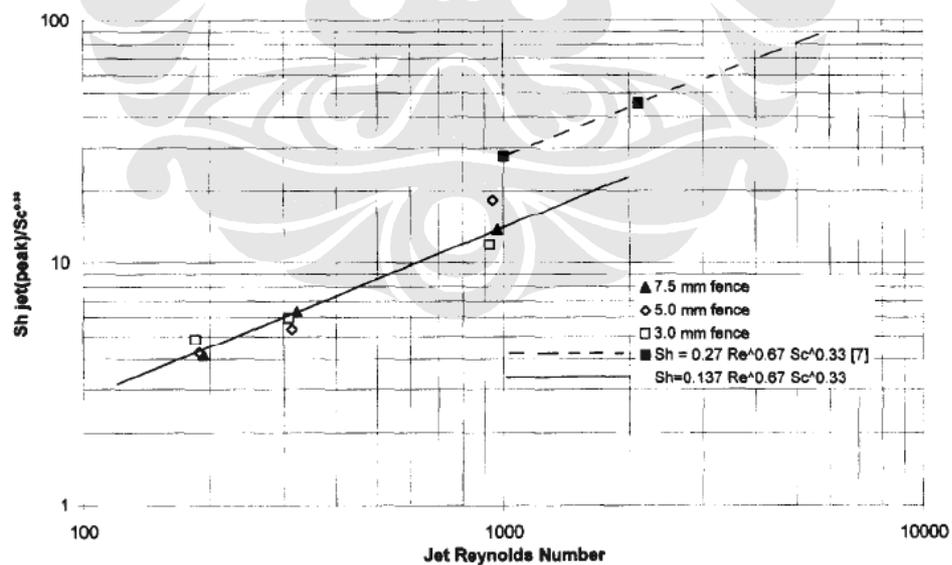
Gambar 5.11 Perbedaan lebar kanal pada penelitian dan referensi

5.3 KORELASI REYNOLDS DAN SHERWOOD

Dengan mengetahui koefisien difusi dari larutan CuSO_4 maka nilai bilangan Sherwood dapat diperoleh. Seperti ditunjukkan pada gambar 5.12.



Gambar 5.12 Grafik perbandingan Sherwood dengan Reynolds



Gambar 5.13 Grafik perbandingan Sherwood dengan Reynolds pada referensi

Relasi antara Re dan Sh yang diperoleh dipresentasikan dalam grafik 5.12. Dari eksperimen diperoleh relasi dengan persamaan $Sh=665.585Re^{-0.0253}Sc^{0.33}$ Pada grafik juga ditunjukkan relasi empiris yang didapatkan oleh Oduoza. Terjadi perbedaan yang signifikan antara kedua relasi tersebut. Relasi yang diperoleh Odouza menunjukkan nilai yang cenderung naik sedangkan pada hasil eksperimen selain nilai yang lebih besar, tren yang ada juga menunjukkan grafik yang cenderung menurun. Sehingga nilai pangkat pada bilangan Re bernilai minus. Hanya saja, data yang diperoleh oleh Odouza memiliki kelemahan dari jumlah data yang diambil dimana hanya digunakan 2 data poin yang terlalu sedikit untuk membentuk regresi yang valid.

