

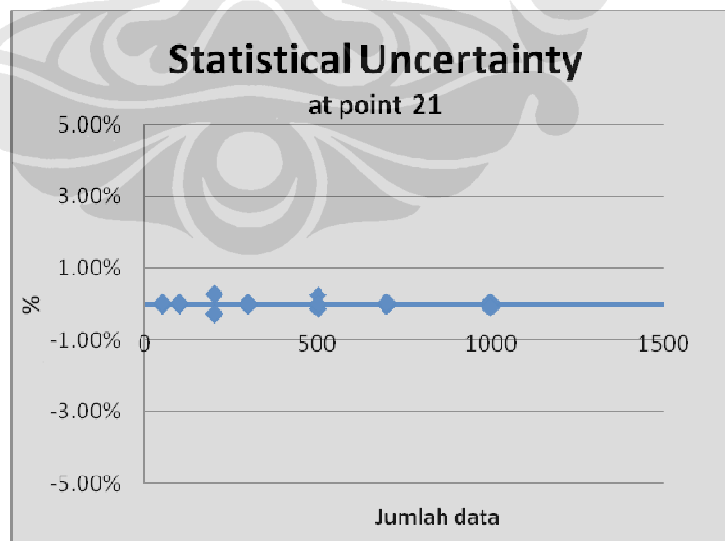
BAB IV

PENGOLAHAN DATA

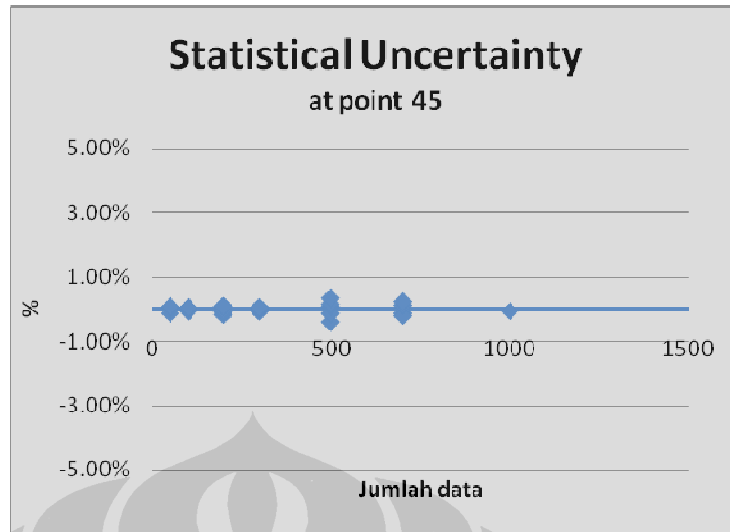
4.1 Penentuan *Data Uncertainty*

Dalam setiap penelitian, pengambilan data merupakan hal yang penting. Namun yang namanya kesalahan pengambilan data selalu ada. Kesalahan tersebut dapat diminimalisasi dengan mengambil data sebanyak mungkin. Namun, seberapa banyak data yang harus diambil agar data tersebut dapat dianggap cukup mewakili? Karena itu digunakan *data uncertainty* atau ketidakpastian data untuk menggambarkan nilai kesalahan data (dalam %) berdasarkan jumlah data yang diambil. Dengan ini akan dicari nilai kesalahan data yang sekecil mungkin, dimana hal ini akan tercapai pada jumlah data yang cukup banyak.

Untuk penentuan *data uncertainty* ini, diambil dua titik sebagai sampel yaitu pada titik 21 dan titik 45 dimana tiap titik mewakili area awal (sesaat setelah step), dan area akhir (di ujung katoda). Pada tiap titik data yang diambil sebanyak 50, 100, 200, 300, 500, 700 dan 1000 data sampai empat hingga lima kali pengambilan data. Berikut adalah hasil yang diperoleh dalam bentuk grafik.



Gambar 4.1 Grafik *data uncertainty* di titik 21



Gambar 4.2 Grafik *data uncertainty* pada titik 45

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 $\pm 1\%$. Data yang diambil pada penelitian ini adalah sebanyak 300 data dan nilai kesalahan pada jumlah data tersebut cukup kecil, bahkan mendekati 0% sehingga data yang diperoleh 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 (2.10). Untuk menentukan nilai d yang merupakan nilai diameter jet pipa, karena pipa pada kanal bukan berbentuk silinder maka harus menggunakan persamaan diameter hidrolis (2.11). Sedangkan untuk mengetahui nilai u yang merupakan kecepatan aliran CuSO_4 menggunakan persamaan (2.12). Hasil dari perhitungan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.1.

Nilai Re pada penelitian ini 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 debit aliran sebesar 0,8 ltr/min, 1 ltr/min, 2 ltr/min dan 3 ltr/min.

Debit (liter/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, terlihat bahwa nilai Re pada penelitian ini berkisar antara 400 – 2900 sehingga aliran larutan $CuSO_4$ dalam penelitian ini 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 elektroplating dengan 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 30 titik yang terdapat pada katoda. Hanya saja data pada mikroelektrode yang dapat terbaca oleh digital multimeter hanya berjumlah 22 titik dengan perbandingan 10 titik genap dan 12 titik ganjil. Dan kemudian yang diambil hanya satu bagian saja yaitu barisan pada titik ganjil 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 mikroelektrode 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.

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

Titik	Jarak (mm)	Koefisien Massa (m/s)
19	108	0.000305361
21	119	0.000325298
23	130	0.000258349
25	141	0.000241395
27	152	0.000314909
29	163	0.000329972
31	174	0.000302977
33	191	0.000303624
35	208	0.000298008
39	242	0.000259326
45	301	0.000250051
47	322	0.000214086

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

Titik	Jarak (mm)	Koefisien Massa (m/s)
19	108	0.000333233
21	119	0.000258457
23	130	0.0002205
25	141	0.000206
27	152	0.000280088
29	163	0.000312663
31	174	0.000252527
33	191	0.000242825
35	208	0.000247329
39	242	0.00021489
45	301	0.000201742
47	322	0.000197186

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

Titik	Jarak (mm)	Koefisien Massa (m/s)
19	108	0.000344984
21	119	0.000329803
23	130	0.000248261
25	141	0.000231225
27	152	0.000305451
29	163	0.000321221
31	174	0.000237964
33	191	0.000244485
35	208	0.000255051
39	242	0.00022075
45	301	0.00021755
47	322	0.000204086

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

Titik	Jarak (mm)	Koefisien Massa (m/s)
19	108	0.000389109
21	119	0.000381507
23	130	0.000314783
25	141	0.000269659
27	152	0.000312146
29	163	0.000318023
31	174	0.000253581
33	191	0.000255706
35	208	0.000264614
39	242	0.000228816
45	301	0.000202894
47	322	0.000198086

4.4 Perhitungan Diffusive Flux

Perhitungan diffusive flux ini dilakukan agar dapat membandingkan data hasil pengujian eksperimen dengan pengujian menggunakan sistem komputasi dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) yang dilakukan oleh tim yang lain.

Nilai diffusive flux ini didapatkan dari nilai K_m (koefisien massa) dikalikan dengan konsentrasi (C) dari $CuSO_4$.

$$diffusive\ flux = K_m \times C_{CuSO_4}$$

Tabel 4.6 memperlihatkan nilai *diffusive flux* di setiap kondisi laju aliran

Tabel 4.6 Nilai *diffusive flux* di setiap kondisi

Titik	0.8 L/min	1 L/min	2 L/min	3 L/min
19	0.15268	0.16662	0.17249	0.19455
21	0.16265	0.1545	0.1649	0.19075
23	0.12917	0.11025	0.12413	0.15739
25	0.1207	0.103	0.11561	0.13483
27	0.15745	0.14004	0.15273	0.15607
29	0.16499	0.15633	0.16061	0.15901
31	0.15149	0.12626	0.11898	0.12679
33	0.15181	0.12141	0.12224	0.12785
35	0.149	0.12366	0.12753	0.13231
39	0.12966	0.10744	0.11037	0.11441
45	0.12503	0.10087	0.10877	0.10145
47	0.09704	0.09859	0.10204	0.09904

4.5 Perhitungan Bilangan Sherwood

Bilangan Sherwood merupakan bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengetahui perpindahan massa. Jika untuk perpindahan kalor digunakan bilangan Nusselt, maka untuk perpindahan massa digunakan bilangan Sherwood dengan membedakan bilangan Prandtl pada bilangan Nusselt dengan bilangan Schmidt. Maka persamaan (2.9) 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 (2.10). Hasil dari perhitungan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data-data untuk memenuhi bilangan Sherwood

Re_{jet}	Peak K_m	d_{jet}	D	Schmidt
404.81	0.000329972	0.0089	4.43E-10	2418
551.4096186	0.000333233	0.0089	4.43E-10	2418
1513.266998	0.000344984	0.0089	4.43E-10	2418
2856.55058	0.000389109	0.0089	4.43E-10	2418

Tabel 4.8 Nilai bilangan Sherwood di setiap kondisi

Re_{jet}	Sh
404.81	6620.961876
551.40962	6686.39077
1513.267	6922.167043
2856.5506	7807.54452

Tabel 4.8 di atas menunjukkan nilai bilangan Sherwood di setiap kondisi bilangan Reynolds.

BAB V

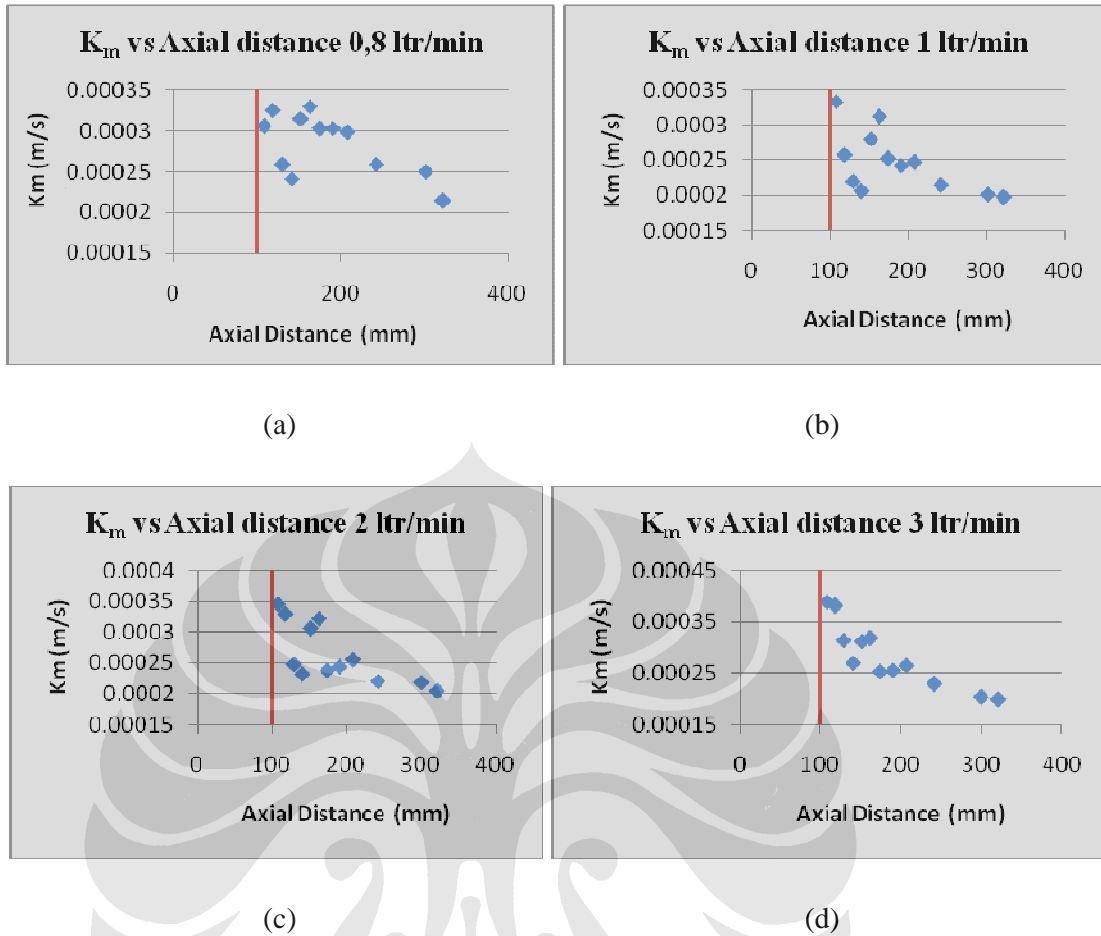
ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Koefisien Perpindahan Massa

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, didapatkan nilai koefisien perpindahan massa di setiap kondisi bilangan Reynolds yang berbeda, sehingga dapat dibuat grafiknya serta dapat dilihat tren alirannya, seperti yang ditunjukkan pada table 5.1 dan gambar 5.1.

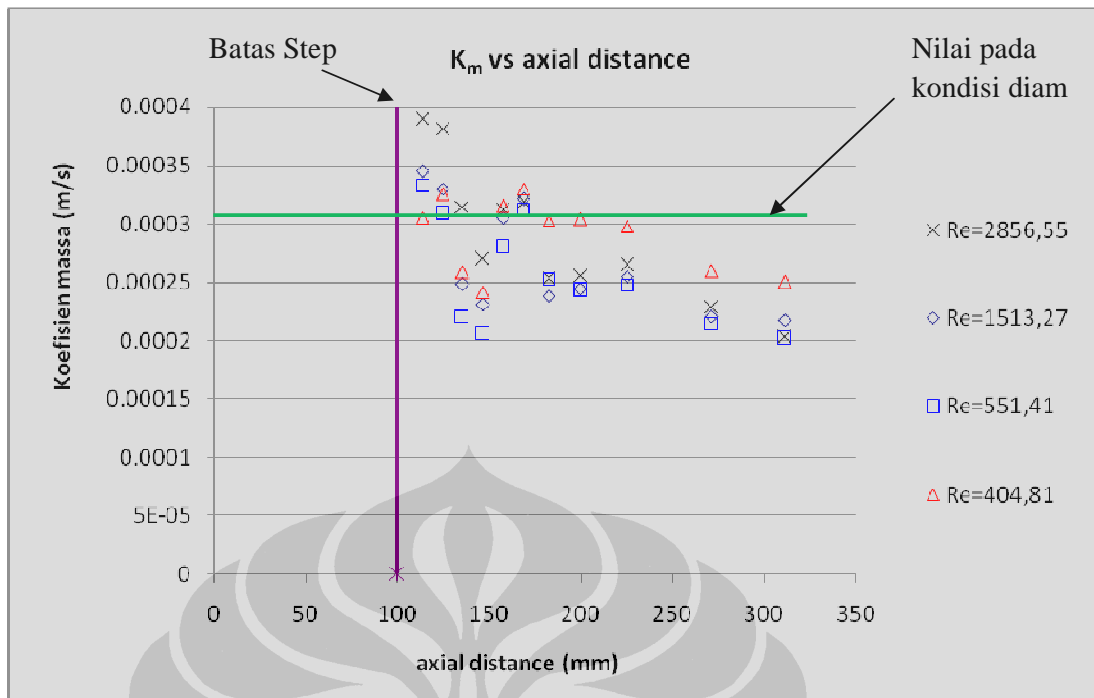
Tabel 5.1 Nilai koefisien perpindahan massa di setiap titik

Titik	Jarak (mm)	K_m (m/s)			
		0,8 ltr/min	1 ltr/min	2 ltr/min	3 ltr/min
19	108	0.000305361	0.000333233	0.000344984	0.000389109
21	119	0.000325298	0.000258457	0.000329803	0.000381507
23	130	0.000258349	0.0002205	0.000248261	0.000314783
25	141	0.000241395	0.000206	0.000231225	0.000269659
27	152	0.000314909	0.000280088	0.000305451	0.000312146
29	163	0.000329972	0.000312663	0.000321221	0.000318023
31	174	0.000302977	0.000252527	0.000237964	0.000253581
33	191	0.000303624	0.000242825	0.000244485	0.000255706
35	208	0.000298008	0.000247329	0.000255051	0.000264614
39	242	0.000259326	0.00021489	0.00022075	0.000228816
45	301	0.000250051	0.000201742	0.00021755	0.000202894
47	322	0.000214086	0.000197186	0.000204086	0.000198086

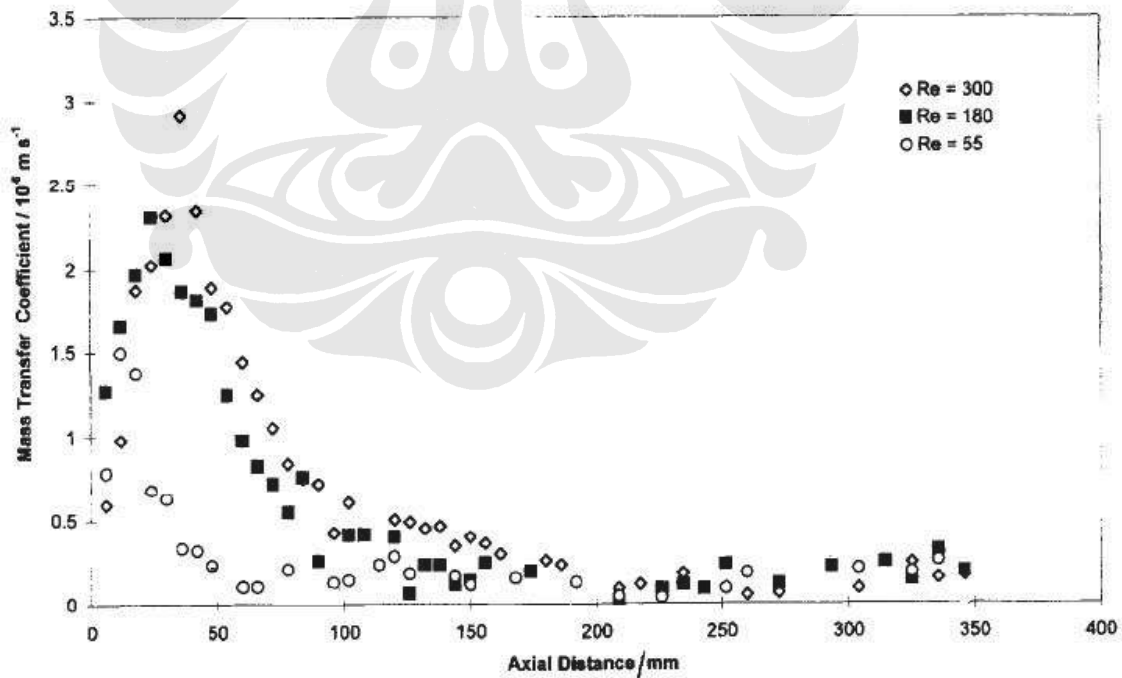


Gambar 5.1 Grafik koefisien perpindahan massa vs jarak disetiap kondisi bilangan Reynold yang berbeda. (a) 0,8 ltr/min (b) 1 ltr/min (c) 2 ltr/min (d) 3 ltr/min

Berdasarkan grafik pada gambar 5.1 di atas, dapat dilihat nilai K_m yang paling tinggi berada tidak jauh dari posisi *step*. Kemudian nilai K_m tersebut cenderung turun seiring semakin jauh jaraknya dengan posisi *step*.



Gambar 5.2 Grafik koefisien perpindahan massa pada eksperimen di setiap titik dengan berbagai bilangan Reynolds

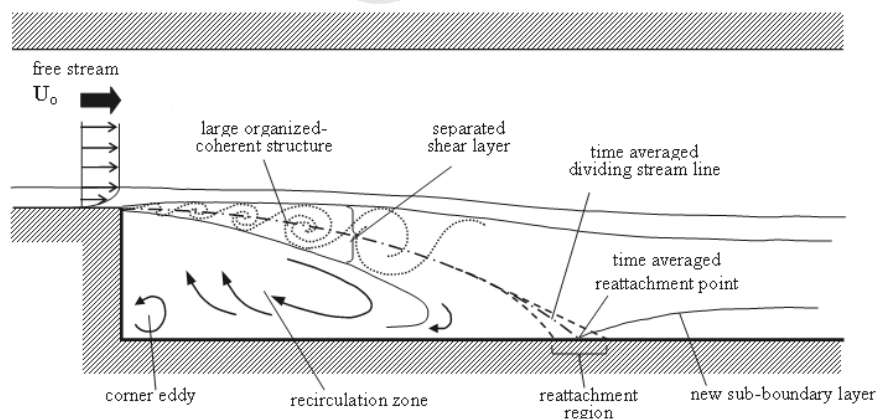


Gambar 5.3 Grafik koefisien perpindahan massa vs jarak [Oduoza, 1997]

Pada gambar 5.2, grafik K_m vs *axial distance* yang didapatkan dari penelitian, dapat dilihat bahwa nilai K_m mengalami lonjakan yang cukup tinggi sesaat setelah melewati *step* (mencapai nilai *peak* koefisien perpindahan massa). Setelah itu, nilai K_m berangsur-angsur turun, seiring makin menjauh jaraknya dari *step*. Kecenderungan yang sama juga dapat dilihat dari hasil yang diperoleh Oduoza [1997], walaupun kisaran bilangan Reynolds yang diperoleh dari penelitian tersebut sangat berbeda dengan penelitian ini, seperti ditunjukkan pada gambar 5.3.

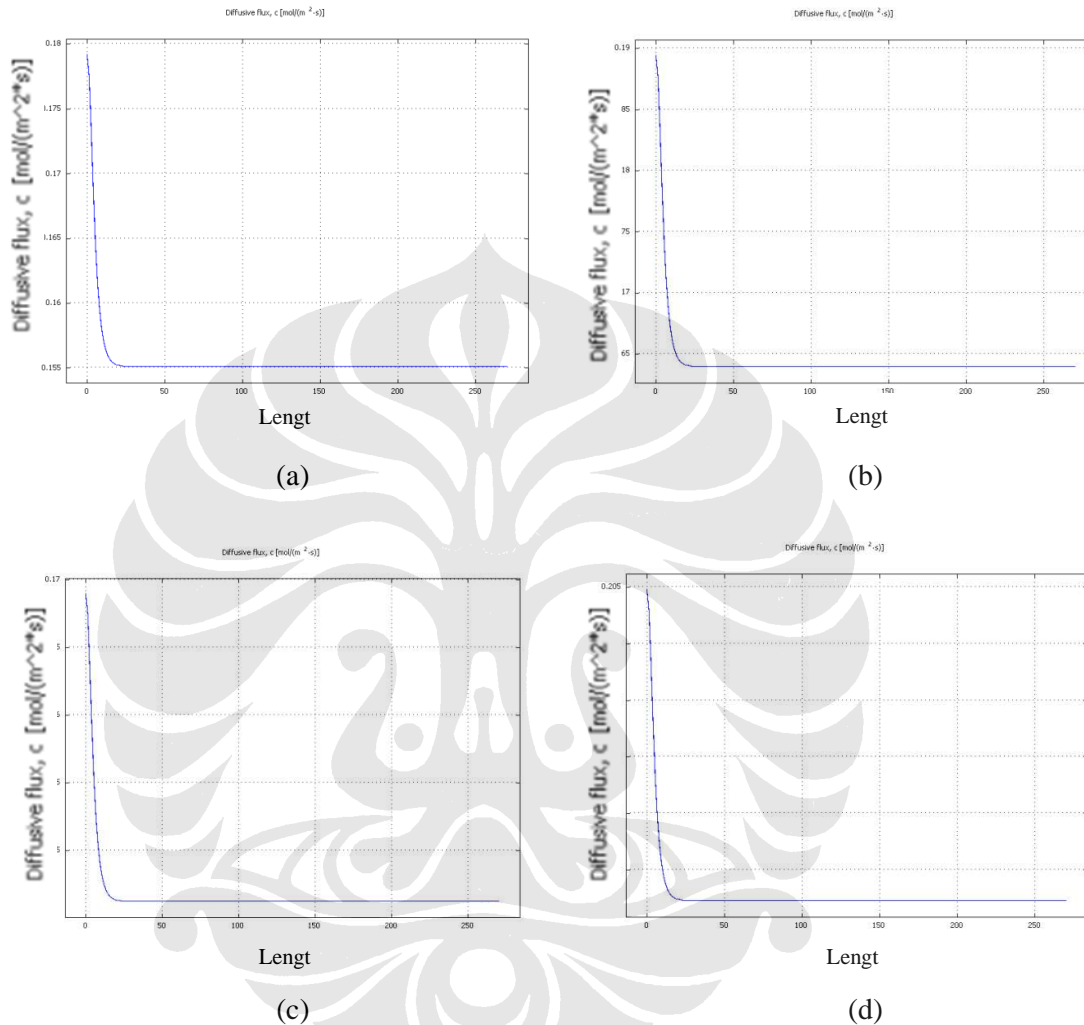
Karakteristik perpindahan massa yang diuraikan sebelumnya disebabkan pada daerah sesaat setelah melewati *step*, terjadi pola aliran separasi dan bertaut kembali akibat kontur tangga (*step*) pada kanal aliran, yang menyebabkan terjadinya pembesaran mendadak (*sudden expansion*) dalam aliran pipa. Pola aliran tersebut membentuk suatu pola aliran turbulensi yang sangat kompleks, yang terdiri dari region aliran resirkulasi (*recirculation flow*), lapisan geser (*shear layer*), dan lapisan batas yang berkembang kembali (*redeveloping boundary layer*). Karakteristik dari pola aliran turbulensi ini sangat ditentukan oleh konfigurasi geometris pengganggu aliran yang juga berfungsi sebagai pencetus turbulensi (dalam penelitian ini berbentuk *step*), serta parameter dinamika fluida aliran terutama kecepatan aliran utama di bagian hulu. Dapat dilihat juga dari kedua gambar di atas bahwa nilai *peak* dari K_m dicapai oleh bilangan Reynolds yang paling tinggi. Kenaikan perpindahan massa yang terjadi akibat adanya kontrol turbulensi tersebut adalah sebesar 25,52 %.

Kemudian, semakin jauh jaraknya dari *step*, nilai K_m menjadi cenderung stabil (nilai K_m untuk bilangan Reynolds yang besar tidak jauh berbeda dengan nilai K_m untuk bilangan Reynolds yang lebih kecil). Hal ini dikarenakan aliran berangsur-angsur mulai stabil dan menjadi laminar, seperti yang terlihat pada gambar 5.4.



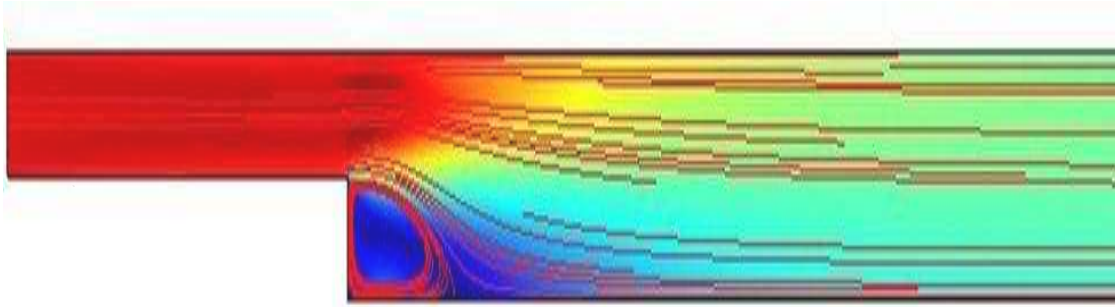
Gambar 5.4 Pola aliran separasi dan bertaut kembali akibat kontur tangga pada kanal aliran

Sebagai perbandingan, terdapat juga grafik yang dibuat dengan metode komputasi menggunakan CFD.



Gambar 5.5 Grafik *diffusive flux* vs jarak menggunakan CFD. (a) 0,8 ltr/min ; (b) 1 ltr/min ; (c) 2 ltr/min ; (d) 3 ltr/min

Grafik pada gambar 5.5 didapat dengan menggunakan software COMSOL yang dikerjakan oleh tim yang lain. Pada grafik ini memperlihatkan nilai *diffusive flux* vs jarak. Nilai *diffusive flux* bisa didapatkan dari nilai K_m dan konsentrasi CuSO_4 seperti yang sudah dibahas pada bab IV. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai *diffusive flux* cukup tinggi sesaat setelah melewati *step*, dan kemudian menurun sampai akhirnya stabil, sehingga memiliki karakteristik yang hampir sama dengan grafik pada gambar 5.2 dan gambar 5.3.



Gambar 5.6 Profil kecepatan dan *streamline* aliran yang terjadi karena kontur tangga pada kanal aliran

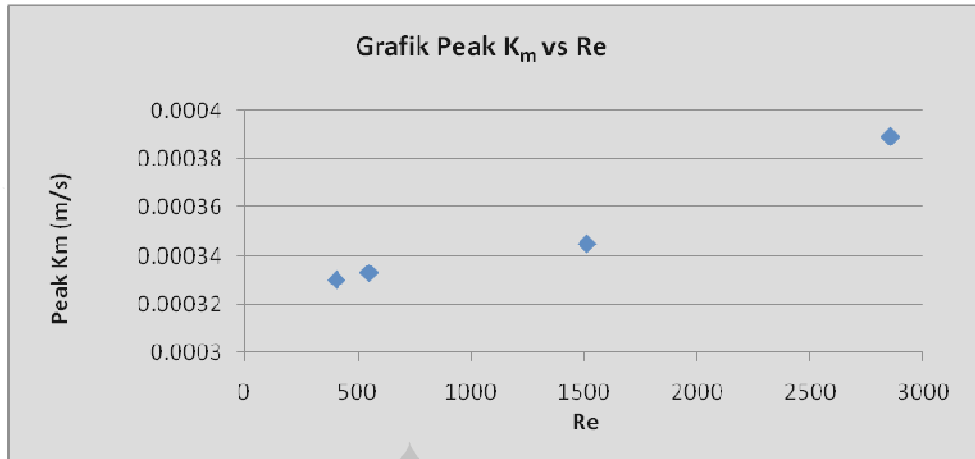
Pada gambar 5.6, terlihat bahwa terjadi fenomena turbulensi aliran sesaat setelah melewati *step*, yang kemudian meningkatkan terjadinya laju perpindahan massa. Hal ini dikarenakan pembesaran mendadak yang terjadi dalam aliran pipa tersebut disebabkan adanya kontur tangga.

5.2 Analisa Bilangan Reynolds dengan Nilai Maksimum Koefisien Perpindahan Massa

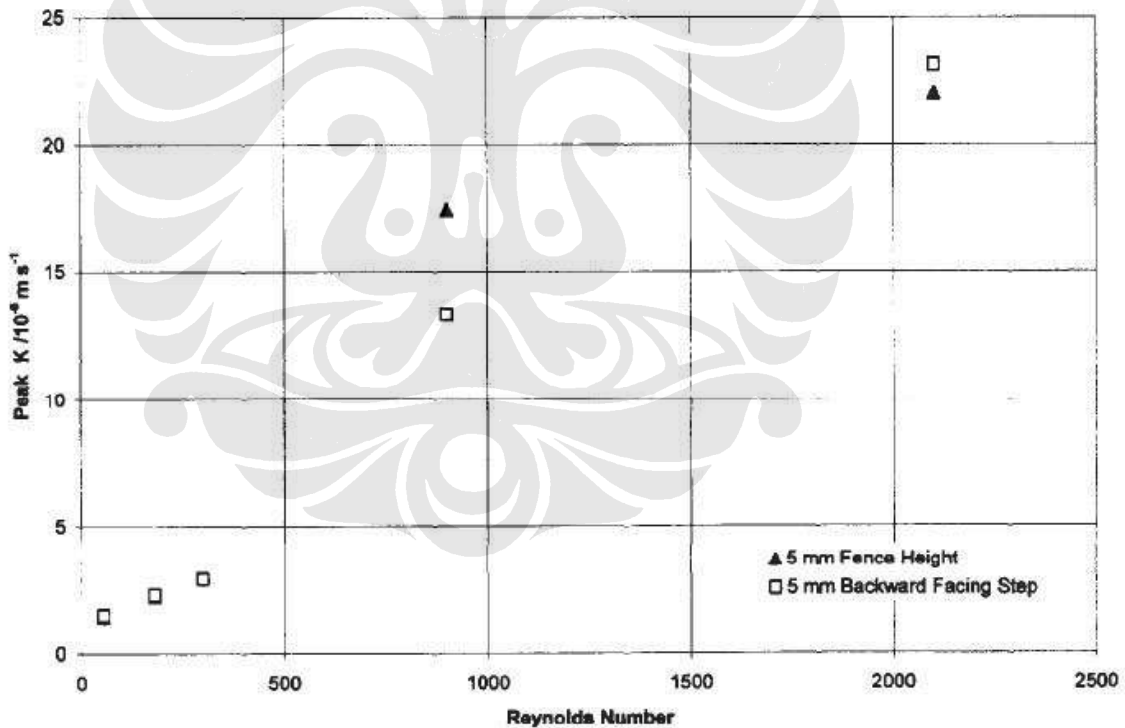
Nilai koefisien perpindahan massa yang diperoleh dari penelitian ini kemudian dilihat hubungannya dengan bilangan Reynolds. Untuk itu, ditentukan nilai K_m maksimum di setiap kondisi aliran. Dari perbandingan ini bisa didapatkan suatu karakteristik dari perpindahan massa yang disebabkan oleh perubahan jenis aliran akibat dari berubahnya nilai bilangan Reynolds. Berikut adalah hasil data yang diperoleh.

Tabel 5.2 Bilangan Reynolds dengan nilai *peak* koefisien perpindahan massa..

Re	Peak K_m (m/s)
404.81	0.000329972
551.4096186	0.000333233
1513.266998	0.000344984
2856.55058	0.000389109



Gambar 5.7 Grafik nilai maksimum koefisien perpindahan massa vs bilangan Reynolds dengan menggunakan pencetus turbulensi berupa kontur tangga (*step*)

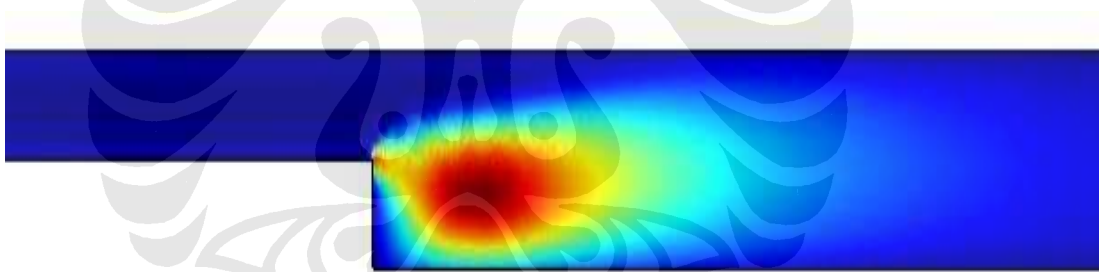


Gambar 5.8 Grafik nilai peak K_m vs bilangan Reynolds [Oduoza, 1997]

Pada gambar 5.7, dimana digunakan *step* sebagai pencetus turbulensi, terlihat bahwa nilai *peak* koefisien perpindahan massa meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan

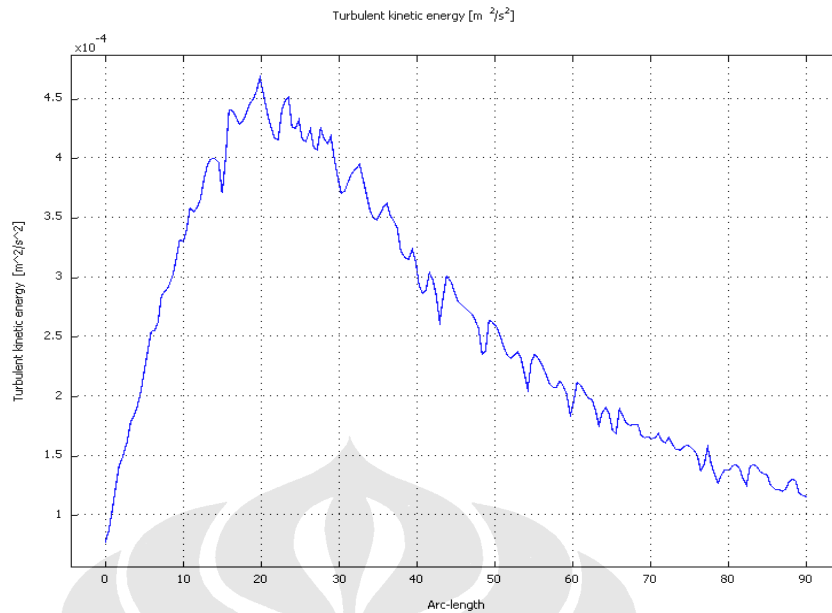
Reynolds. Karakteristik ini serupa dengan hasil yang ditunjukkan pada gambar 5.8. Pada grafik tersebut juga diperlihatkan semakin besar bilangan Reynolds maka semakin besar pula nilai *peak* koefisien perpindahan massanya. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya bilangan Reynolds akan meningkatkan terjadinya turbulensi dan akan terjadi peningkatan laju koefisien perpindahan massa, seperti dalam penelitian Tagg [1979], dimana didapati peningkatan laju perpindahan massa pada aliran turbulen di bagian hilir sebuah *nozzle* yang membesar secara mendadak.

Sebagai tambahan, pada penelitian ini rasio antara tinggi dan lebar kanal adalah 1 : 4 sedangkan pada referensi, mereka menggunakan rasio 1 : 10. Dengan menggunakan rasio yang lebih kecil maka posisi titik-titik pada mikroelektrode menjadi sangat dekat dengan dinding kanal. Akibat dari itu, maka ada kemungkinan aliran yang melalui minielektrode 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 mikroelektrode karena jarak dari dinding ke mikroelektrode cukup jauh.



Gambar 5.9 *Turbulence kinetics energy* yang terjadi pada aliran

Gambar 5.10 menunjukkan pola turbulensi yang terjadi pada aliran yang mengalami *sudden expansion* (pembesaran mendadak) pada kanal aliran yang disebabkan oleh adanya suatu kontur tangga pada kanal. Seperti terlihat, daerah yang berwarna merah merupakan daerah dimana terjadi turbulensi yang paling tinggi. Sedangkan pada daerah berwarna biru, aliran sudah menjadi laminar kembali. Grafik untuk pola turbulensi yang terjadi sesaat setelah melewati step tersebut dapat dilihat pada gambar 5.11 di bawah ini.



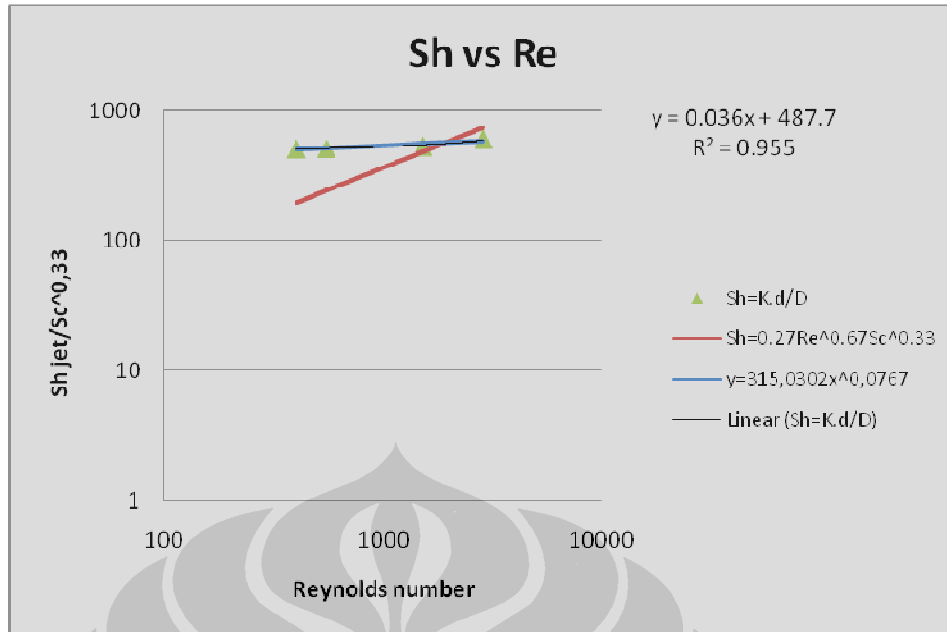
Gambar 5.10 Grafik *Turbulence kinetics energy* yang terjadi pada aliran

5.3 Analisa Bilangan Sherwood dengan Bilangan Reynolds

Dengan mengetahui koefisien difusi (D) dari larutan CuSO₄ maka nilai bilangan Sherwood dapat diperoleh.

Tabel 5.3 Nilai parameter pada bilangan Sherwood

Re _{jet}	Peak K _m	d _{jet}	D	Schmidt	Sherwood	Sherwood/Sc ^{0,33}
404.81	0.000329972	0.0089	4.43E-10	2418	6620.961876	5.06E+02
551.4096186	0.000333233	0.0089	4.43E-10	2418	6686.39077	5.11E+02
1513.266998	0.000344984	0.0089	4.43E-10	2418	6922.167043	5.29E+02
2856.55058	0.000389109	0.0089	4.43E-10	2418	7807.54452	5.97E+02



Gambar 5.11 Grafik perbandingan Sherwood dengan Reynolds

Bilangan Sherwood yang diperoleh pada tabel kemudian ditransformasikan dalam bentuk grafik diatas. Grafik berwarna merah menunjukkan grafik teoritis memiliki persamaan $Sh=0.27Re^{0.67}Sc^{0.33}$, sedangkan grafik berwarna biru menunjukkan hasil grafik eksperimen yang memiliki persamaan $Sh=315,0302Re^{0.0767}Sc^{0.33}$. Perbedaan yang muncul cukup besar, grafik teoritis memiliki nilai bilangan Sherwood yang meningkat dengan tajam seiring meningkatnya bilangan Reynolds, sedangkan nilai bilangan Sherwood pada grafik eksperimen hanya mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds.