



UNIVERSITAS INDONESIA

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN MASSA KONVEKTIF DI
MEDAN ALIRAN RESIRKULASI DI BAWAH PENGARUH
KONTROL TURBULENSI DENGAN VARIASI INTENSITAS
EKSITASI AKUSTIK

SKRIPSI

DEDI SETIONO
0405020227

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN MASSA KONVEKTIF DI
MEDAN ALIRAN RESIRKULASI DI BAWAH PENGARUH
KONTROL TURBULENSI DENGAN VARIASI INTENSITAS
EKSITASI AKUSTIK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

DEDI SETIONO
0405020227

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Dedi Setiono

NPM : 0405020227

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dedi Setiono
NPM : 0405020227
Program Studi : Teknik Mesin
: Karakteristik Perpindahan Massa

Judul Skripsi : Bawah Pengaruh Kontrol Turbulensi
dengan Variasi Intensitas Eksitasi Akustik

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng ()

Penguji : Dr. Ir. Warjito, M.Eng ()

Penguji : Dr. Ir. Engkos Achmad Kosasih,
M.T ()

Ditetapkan di :
Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan kesempatan, waktu, tenaga, pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini
2. Ibu, Bapak dan saudara-saudara saya yang telah memberikan bantuan materil dan moral.
3. Dito, Hendri dan teman-teman lain yang telah bersama-sama mengerjakan tugas besar di lab lantai 3.
4. Mas Udiyono yang banyak membantu di lab lantai 3

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, 25 Juni 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dedi Setiono
NPM : 0405020227
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Karakteristik Perpindahan Massa Konvektif di Medan Aliran Resirkulasi di Bawah Pengaruh Kontrol Turbulensi dengan Variasi Intensitas Eksitasi Akustik

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama :Dedi Setiono

Program Studi :Teknik Mesin

Judul : Karakteristik Perpindahan Massa Konvektif di Medan Aliran Resirkulasi di Bawah Pengaruh Kontrol Turbulensi dengan Variasi Intensitas Eksitasi Akustik

Penelitian ini ialah penerapan ilmu mekanika fluida yang mengkaji pemanfaatan turbulensi yang ditimbulkan oleh aliran separasi bertaut kembali akibat dari adanya *sudden expansion* berupa step, diberikan juga eksitasi akustik sebagai kontrol aktif untuk meningkatkan laju perpindahan massa konvektif pada sel elektrokimia dalam kanal aliran fluida. Eksitasi akustik yang diberikan berupa getaran suara yang ditimbulkan oleh mini speaker dengan berbagai frekuensi dan intensitas yang berbeda. Aliran fluida juga disetting pada beberapa bilangan Reynolds. Hasil penelitian menunjukkan pada intensitas akustik yang lebih tinggi didapat nilai koefisien perpindahan massa (K_m) yang lebih besar.

Kata Kunci :

Perpindahan massa, *backward facing step*, eksitasi akustik, intensitas akustik

ABSTRACT

Name : Dedi Setiono

Study Program: Mechanical Engineering

Title : Characteristic of Convective Mass Transfer in a Recirculation Flow Field under a Turbulent Control by a Variation of Acoustic Intensity

This experiment was the application of fluid mechanics science that investigate the use of turbulence by separating reattached flow that generate by sudden expansion flow, on this experiment also gift active control by acoustic excitation to increase the convective mass transfer between two flat plate electrochemical cell in an electrolyte flow channel. Acoustic excitation here is sound wave that generate by mini speaker with variation in frequency and intensity. Electrolyte flow also set on some variation of Reynolds number. The result show, on higher acoustic intensity there is the higher mass transfer coefficient (Km).

Key words :

Mass transfer, *backward facing step*, acoustic excitation, acoustic intensity

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB 1	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2	
DASAR TEORI	5
2.1 Elektrolisis	5
2.1.1 Konsep Elektrolisis	5
2.1.2 Tembaga.....	8
2.1.3 Larutan CuSO ₄	9
2.2 Perpindahan Massa Konveksi	9
2.3 Aliran Fluida Pada Back Step.....	10
2.4 Eksitasi Akustik	12
BAB 3	
METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Aktivitas Penelitian.....	14
3.2 Deskripsi Alat dan Bahan.....	15
3.3 Prosedur Pengambilan Data	25
BAB 4	
PENGOLAHAN DATA	28
4.1 Perhitungan Bilangan Reynolds.....	28
4.2 Perhitungan Bilangan Strouhal	29
4.3 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa.....	29
BAB 5	
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	32
5.1 Koefisien Perpindahan Massa.....	32
5.2 Hubungan Letak Nilai Km Max dengan Reattachment Point.....	37
5.3 Korelasi Bilangan Reynolds dan Sherwood.....	38
BAB 6	
KESIMPULAN	41
DAFTAR REFERENSI	42
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Sel Elektrolisis dengan Elektroda tembaga.....	6
Gambar 2-2 Karakteristik aliran melewati backward facing step.....	11
Gambar 2-3 Pembentukan vortex.....	12
Gambar 2-4 Penyatuan vortex (pairing).....	12
Gambar 2-5 Pembentukan vortex baru akibat pairing	12
Gambar 3-1 Skema Alat penelitian	16
Gambar 3-2 Alat penelitian.....	17
Gambar 3-3 Sel Elektrokimia	17
Gambar 3-4 Letak titik-titik mini katoda	18
Gambar 3-5 Peletakan sensor pada katoda.....	18
Gambar 3-6 Hubungan kabel sensor ke terminal.....	18
Gambar 3-7 Letak step pada kanal aliran.....	19
Gambar 3-9 Frame	20
Gambar 3-10 Pompa	20
Gambar 3-11 Power Supply DC	21
Gambar 3-12 Reservoir	22
Gambar 3-13 Flowmeter	22
Gambar 3-14 Voltage Regulator	23
Gambar 3-15 Digital Multimeter	24
Gambar 3-16 Tampilan Digital multimeter pada layar PC	24
Gambar 3-17 Mini speaker	24
Gambar 3-18 Peletakan mini speaker di bawah step	25
Gambar 3-19 Pengambilan data	26
Gambar 5-1 Grafik K_m max vs Frekuensi.....	32
Gambar 5-2 Grafik Presentase kenaikan K_m akibat kenaikan intensitas vs frekuensi pada $Re=552$	33
Gambar 5-3 Grafik Presentase kenaikan K_m akibat kenaikan intensitas vs frekuensi pada $Re=1513$	34
Gambar 5-4 Grafik Presentase kenaikan K_m akibat kenaikan intensitas vs frekuensi pada $Re=2142$	34
Gambar 5-5 Grafik K_m max vs Re pada intensitas 95 dB.....	35
Gambar 5-6 Grafik K_m max vs Re pada intensitas 47,5 dB.....	36
Gambar 5-7 Pengaruh bilangan Strouhal terhadap koefisien perpindahan massa maksimum pada beberapa intensitas akustik	37
Gambar 5-8 Letak reattachment point pada masing masing bilangan Reynold dan frekuensi pada intensitas 47,5 dB	37
Gambar 5-9 Korelasi bilangan Sherwood pada frekuensi 500 Hz.....	39
Gambar 5-10 Korelasi bilangan Sherwood pada frekuensi 1000 Hz.....	39
Gambar 5-11 Korelasi bilangan Sherwood pada frekuensi 2000 Hz.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Properties dari tembaga	8
Tabel 2-2 Properties dari CuSO ₄	9
Tabel 3-1 Properties dari tembaga dan CuSO ₄	25
Tabel 4-1 Nilai Re aliran.....	29
Tabel 4-2 Bilangan Strouhal pada berbagai debit aliran dan frekuensi	29
Tabel 4-4 Nilai Km untuk tiap titik, frekuensi, dan debit aliran pada intensitas 47,5 dB	31
Tabel 5-1 Parameter bilangan Sherwood	38



DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
I	arus listrik DC	A
t	waktu	s
M_r	berat molekul relatif	gr/mol
F	bilangan Faraday	C/mol
z	jumlah elektron valensi	
m	massa zat	gr
N	bilangan Avogadro	
e	muatan listrik per elektron	<i>Coulumb / electron .</i>
D	Koefisien Difusi	m^2/s
μ	viskositas dinamik	kg/ms
Sh	bilangan sherwood	
K_m	Koefisien massa	m/s
d	diameter pipa	m
Re	bilangan Reynolds	
Sc	bilangan Schmidt	
u	kecepatan fluida	m/s
v	viskositas kinematik fluida	m^2/s
ρ	kerapatan fluida	kg/m^3 .
d_h	diameter hidrolis	m
A	luas permukaan pipa	m^2
P	perimeter atau keliling pipa	m
Q	debit aliran	m^3/s
S_t	Bilangan Strouhal	
f	frekuensi eksitasi	Hz
h	tinggi step	m
V_o	Kecepatan aliran utama	m/s

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan teknologi sangat dibutuhkan disegala bidang dimana penerapannya dapat menghasilkan metode baru yang dapat mencapai mutu dan efisiensi yang lebih baik dari metode yang sudah ada sebelumnya. Hal ini juga terjadi pada bidang manufaktur dimana persaingan yang ada antar industri memaksa para pelakunya untuk dapat menghasilkan barang dengan harga yang kompetitif namun dengan mutu yang tetap terjamin. Hal itu bisa terjadi bila proses produksi yang ada didalamnya ditingkatkan dengan improvisasi dari metode yang sudah ada ataupun dengan menggunakan metode yang baru yang lebih efisien. Salah satu proses yang ada pada bidang manufaktur ialah electroplating yang banyak diterapkan pada industri logam.

Banyak penelitian yang telah dilakukan pada bidang ini, salah satunya ialah yang dilakukan oleh Oduoza, et.al [1997] dimana ia mengkaji perpindahan massa yang terjadi pada proses electroplating dengan kontrol turbulensi berupa *wall obstruction* dengan konfigurasi tinggi *fence* dan *step* dan di dapat bahwa distribusi dan besarnya nilai perpindahan massa ditentukan oleh turbulensi dari aliran elektrolit. Lalu penelitian lainnya di luar kajian perpindahan massa yang juga menunjang karakteristik dari aliran turbulen melewati *step* ialah yang dilakukan oleh S. Bhattacharjee, et.al [1986] dan Wardana [1998] dimana ia mengkaji efek dari eksitasi akustik pada berbagai frekuensi terhadap karakteristik aliran turbulen yang terbentuk pada daerah *downstream* dari *step* dan di dapatkan hasil bahwa frekuensi eksitasi akustik dapat mempengaruhi karakteristik aliran melewati *step*.

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan belum ada yang membahas tentang pengaruh dari intensitas suara dari eksitasi akustik yang diberikan terhadap aliran melewati *step*. Melalui penelitian ini penulis akan mengkaji efek kenaikan intensitas terhadap karakteristik perpindahan massa yang terjadi pada aliran melewati *back step* pada berbagai bilangan Reynolds dan frekuensi yang berbeda.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk memperoleh karakteristik laju perpindahan massa pada sel elektrokimia plat sejajar akibat dari perubahan intensitas eksitasi akustik dengan berbagai variasi bilangan Reynold dan frekuensi eksitasi. Penelitian ini juga dapat menjadi dasar dalam pengembangan model kontrol turbulensi aktif dengan umpan balik.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini pembatasan masalah meliputi :

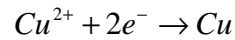
1. Proses elektrokimia yang terjadi melibatkan Tembaga sebagai elektroda dan larutan CuSO_4 0,5 M sebagai elektrolit.
2. Voltase yang diberikan sebesar 0,6 V.
3. Menggunakan pencetus turbulensi berupa kontur tangga (step).
4. Menggunakan kontrol aktif berupa getaran akustik dari mini speaker.

1.4 Metodologi Penelitian

Penelitian kontrol aktif turbulensi dengan eksitasi akustik untuk meningkatkan laju perpindahan massa ditujukan untuk menentukan koefisien laju perpindahan massa pada berbagai jarak dari step dan mendapatkan distribusi perpindahan massa sepanjang pelat sejajar pada proses elektrokimia. Berikut merupakan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Formulasi masalah
 - Dinamika perpindahan massa konvektif dalam aliran cairan elektrolit dengan kontrol aktif turbulensi aliran.
2. Model dan Variabel Penelitian
 - Model Penelitian
 - Sel elektrokimia pelat sejajar dalam kanal aliran elektrolit (CuSO_4)
 - Variabel Penelitian
 - Kecepatan aliran utama elektrolit
 - Frekuensi akustik (500-2000 Hz) pada beberapa intensitas (95 dan 47.5 dB).
3. Teknik Pengumpulan Data

- Pengukuran laju perpindahan massa dengan teknik limiting diffusion current berdasarkan arus listrik dari reaksi reduksi katoda:



4. Teknik Pengolahan Data

- Data diakuisisi dengan sistem terkomputerisasi dan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak.

5. Analisis Hasil dan Interpretasi Data

- Karakteristik dan distribusi laju perpindahan massa pada berbagai inputan kontrol.

6. Generalisasi dan Rekomendasi

- Kondisi optimum kontrol aktif untuk meningkatkan kinerja proses elektrokimia.
- Model praktis berorientasi aplikasi proses elektrokimia di industri.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dalam urutan sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2. DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan konsep dasar peristiwa elektrokimia (elektroplating), perpindahan massa, karakteristik aliran pada *back step* dan getaran akustik pada aliran.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini memaparkan instalasi alat uji, persiapan pengujian, tahap pengujian dan prosedur pengambilan data.

BAB 4. PENGOLAHAN DATA

Bab ini memaparkan data hasil percobaan, perhitungan dan pengolahannya. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk table.

BAB 5. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisa dan pembahasan dari hasil penelitian.

BAB 6. KESIMPULAN

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran agar penelitian selanjutnya dapat berjalan dengan lebih baik tanpa terhalang oleh kendala yang sama.



BAB 2 DASAR TEORI

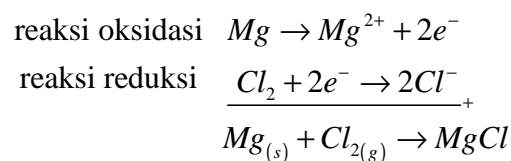
2.1 Elektrolisis

Barang-barang logam yang dibuat, dibentuk, dicetak hingga menjadi wujud yang dikehendaki membutuhkan tahap penyelesaian atau finishing. Pada tahap ini terdapat bermacam-macam jenis, dari sekedar dipoles agar halus dan mengkilap, melapisi dengan logam lain agar sifatnya berubah, atau hanya sekedar dicat atau dipernis. Elektroplating merupakan salah satu metode yang digunakan dalam finishing yang diperlukan bagi logam. Tujuan elektroplating tersebut adalah untuk mencegah korosi pada logam yang mudah mengalami korosi dan juga berfungsi dekoratif agar logam tetap mengkilat cemerlang sehingga indah dilihat. Terkadang elektroplating juga digunakan agar sifat termal, magnetik dan konduktor dapat digunakan pada suatu logam. Alasan ekonomis, kekuatan dan keawetan juga kerap dikemukakan.

2.1.1 Konsep Elektrolisis

Elektrokimia ialah proses terjadinya aliran elektron yang ditimbulkan oleh perubahan energi kimia menjadi energi listrik atau sebaliknya. Hal ini dimungkinkan oleh karena adanya reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) yang terjadi pada elektrode-elektrode pada suatu sel elektrokimia. Reaksi reduksi merupakan suatu reaksi pengikatan elektron atau penurunan bilangan oksidasi dari reaktan. Lalu reaksi oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron atau peningkatan bilangan oksidasi dari reaktan. Dalam reaksi redoks pada sel elektrokimia terjadi transfer elektron.

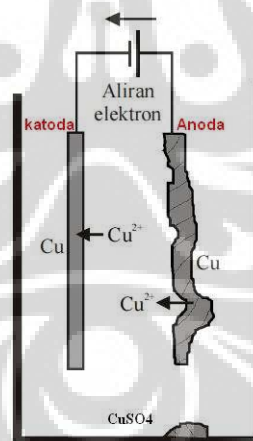
Contoh reaksi redoks :



Berdasarkan proses perubahan energi yang terjadi sel elektrokimia dibagi menjadi dua yaitu; Sel Volta (sel galvanik) dan Sel Elektrolisis. Sel Volta merupakan sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Hal ini terjadi karena di dalam Sel Volta terjadi reaksi redoks spontan. Reaksi redoks spontan ialah reaksi redoks yang memiliki harga potensial sel yang positif. Potensial sel merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan suatu sel elektrokimia untuk mendorong elektron mengalir melalui suatu rangkaian luar. Nilai potensial sel bergantung pada jenis elektrode, konsentrasi ion-ion dalam sel dan suhu. Potensial sel merupakan selisih potensial elektrode standar unsur yang tereduksi dengan potensial elektrode standar unsur yang teroksidasi.

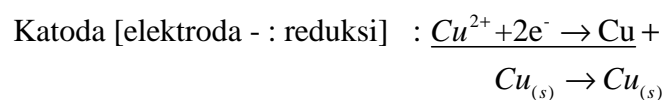
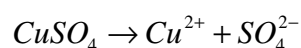
$$E^{\circ}_{sel} = (E^{\circ}_{\text{unsur yang tereduksi}}) - (E^{\circ}_{\text{unsur yang teroksidasi}}) \quad (2.1)$$

Sel elektrolisis merupakan sel elektrokimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Sel ini merupakan sel elektrokimia yang digunakan dalam penelitian ini. Sel elektrolisis memiliki nilai potensial sel negatif. Berikut merupakan skema dari sel elektrolisis dengan katoda dan anoda tembaga dan elektrolit CuSO_4 :



Gambar 2-1 Sel Elektrolisis dengan Elektroda tembaga

Berikut merupakan reaksi yang terjadi pada proses elektrolisis di atas :



Berdasarkan reaksi yang terjadi di atas dapat dikatakan bahwa laju pengendapan ion Cu^{2+} pada katoda sama dengan laju pelepasan ion Cu^{2+} pada anoda.

Untuk mengetahui jumlah massa yang mengendap pada katoda dan massa yang terlepas pada anoda digunakanlah hukum 1 Faraday yang berbunyi :

“Jumlah massa dari zat kimia yang diproduksi pada elektroda selama elektrolisis ialah sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.”

Kemudian dari hukum 1 Faraday di atas diperoleh rumus:

$$m = \frac{I.t.M_r}{F.z} \quad (2.2)$$

Hukum 2 Faraday :

“Massa dari macam-macam zat yang diendapkan pada masing-masing elektroda (terbentuk pada masing-masing elektroda) oleh sejumlah arus listrik yang sama banyaknya akan sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut.”

$$m_1 : m_2 = Mr_1/z_1 : Mr_2/z_2 \quad (2.3)$$

Dalam elektrolisis ini terdapat konstanta Faraday, yaitu jumlah muatan listrik dalam satu mol elektron.

$$F = N.e \quad (2.4)$$

N menjelaskan bilangan Avogadro sebesar 6.02×10^{23} /mol, e adalah jumlah muatan listrik untuk satu electron sebesar 1.602×10^{-19} Coulomb/elektron. Maka nilai F ialah sebesar :

$$F = (6.02 \times 10^{23}) \times (1.602 \times 10^{-19})$$

$$F = 96485 \text{ C/mol}$$

Untuk memperoleh nilai koefisien perpindahan massa (m/s), maka persamaan 2.2 dapat diubah dengan mensubstitusikan nilai-nilai dari parameter *density* dan luas bidang sebagai berikut :

$$K_m = \frac{m}{\rho A t} = \frac{I.t.M_r}{F.z} \times \frac{1}{\rho A t} \quad (2.5)$$

Hubungan antara density, berat molekul dan konsentrasi larutan adalah :

$$\rho = C \cdot M_r \quad (2.6)$$

Sehingga dari persamaan 2.6 dapat disubstitusi ke persamaan 2.5 dan diperoleh persamaan

$$K_m = \frac{I}{zFAC} \quad (2.7)$$

2. 1.2 Tembaga

Tembaga memiliki sifat liat, lunak dan ulet namun jika teroksidasi oleh udara akan membentuk patina (hijau) terdiri atas hidroksokarbonat dan hidroksosulfat. Reaksinya dengan sulfide akan membentuk tarnish(bercak) yang menyulitkan untuk disolder sehingga tembaga masih sering diplat timah. Logam tembaga sering digunakan untuk elektroplating karena mudah didapat dan harganya relatif murah. Tembaga sering dijadikan lapisan dasar dalam pelapisan sebelum dilapisi oleh logam lain. Karena memiliki daya hantar listrik yang cukup baik maka tembaga sering digunakan untuk pelapisan yang menginginkan sifat konduktor pada logam. Tembaga memiliki dua senyawa : kupro atau tembaga (I) dan kupri atau tembaga (II).

Tabel 2-1 Properties dari tembaga


Simbol	Cu
Nomor atom	29
Berat atom	63,546 g/mol
Densitas	8960 kg/m ³
Tampilan	Logam merah kecoklatan 

2. 1.3 Larutan CuSO₄

Larutan elektrolit adalah larutan yang memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik. Daya hantar listrik pada larutan elektrolit ini bergantung pada jenis dan konsentrasinya. Larutan yang memiliki daya hantar listrik yang baik walaupun konsentrasinya kecil disebut dengan elektrolit kuat.

Svante August Arrhenius (1859-1927) menjelaskan bahwa larutan elektrolit mengandung ion yang bergerak bebas. Ion inilah yang menghantar arus listrik melalui larutan. Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah CuSO₄ atau dikenal juga dengan nama *blue vitriol* atau *bluestone*. CuSO₄ atau Copper (II) sulfate memiliki dua jenis campuran yaitu CuSO₄·5H₂O (pentahydrate) dan CuSO₄ (anhydrous). Perbedaan yang terdapat pada dua campuran ini adalah pada jenis pentahydrate masih terdapat molekul air, sedangkan pada jenis anhydrous merupakan copper (II) sulfate murni yang tidak mengandung molekul air.

Tabel 2-2 Properties dari CuSO₄

Tampilan	Kristal biru 
	Nama IUPAC Copper (II) sulfate pentahydrate
Berat molekul	249,7 g/mol

2. 2 Perpindahan Massa Konveksi

Perpindahan massa merupakan fenomena perpindahan molekular zat oleh karena adanya perbedaan konsentrasi zat. Perpindahan massa terjadi dalam dua modus yaitu difusi dan konveksi. Perpindahan massa dapat dianalogikan seperti perpindahan kalor. Perpindahan massa secara konveksi ialah perpindahan massa antara suatu permukaan dan fluida yang bergerak melewatinya. Pergerakan fluida dapat meningkatkan perpindahan massa.

$$\dot{M} = K_m A(\Delta C) \quad (2.8)$$

Dalam perpindahan massa secara konveksi terdapat bilangan schmidt yang menggambarkan rasio dari momentum dan *mass diffusivities*. Bilangan Schmidt dapat dianalogikan seperti bilangan prandtl pada perpindahan kalor.

$$Sc = \frac{v}{D} = \frac{\mu}{\rho D} \quad (2.9)$$

Pada $Sc \approx 1$ menggambarkan bahwa efek dari momentum dan transfer massa secara difusi mendekati lalu lapisan batas konsentrasi dan kecepatan juga hampir berimpit.

Pada perpindahan massa juga terdapat bilangan tak berdimensi Sherwood yang menggambarkan rasio dominasi dari perpindahan kalor secara konveksi dan difusi.

$$Sh = \frac{k_m h}{D} = f(Re, Sc) \quad (2.10)$$

2.3 Aliran Fluida Pada Back Step

Aliran fluida dalam sebuah pipa bisa berbentuk aliran laminar atau aliran turbulen. Osborne Reynolds (1842-1912) yang pertama kali membedakan aliran ini menggunakan peralatan sederhana berupa aliran air yang melalui sebuah pipa yang diamati dengan menginjeksikan zat pewarna yang mengambang.

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynold merupakan perbandingan dari gaya inersia ($u\rho$) dengan gaya viskos (μ/d) dan oleh karena itu hal ini mengukur pentingnya kedua gaya tersebut pada kondisi aliran yang diberikan. Maka bilangan Reynold digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran, seperti aliran laminar atau aliran turbulen. Bilangan Reynold dinyatakan dengan:

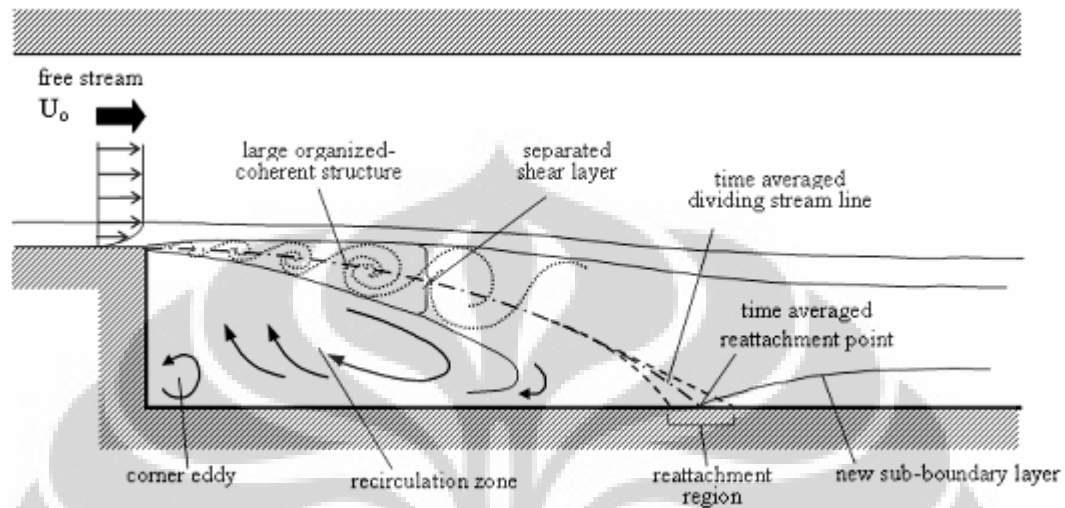
$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{u d}{\nu} \quad (2.11)$$

Ada kalanya, saluran yang dibuat untuk memindahkan fluida berpenampang tidak bundar. Maka diperlukan suatu panjang karakteristik yang mendefinisikan ukuran sebuah penampang dari bentuk yang ditentukan. Untuk menentukan diameter tersebut maka digunakan diameter hidrolis yang didefinisikan sebagai :

$$d_h = \frac{4A}{P} \quad (2.12)$$

Dalam aliran pipa debit aliran atau *flowrate* menyatakan banyaknya volum cairan yang dipindahkan per satuan waktu. Berikut adalah persamaan yang digunakan

$$Q = u \cdot A \quad (2.13)$$



Gambar 2-2 Karakteristik aliran melewati backward facing step

Aliran fluida pada *backward facing step* merupakan internal flow melewati sudden expansion ataupun pembesaran mendadak. Aliran fluida melewati penampang fisik seperti ini akan sedikit berbeda dengan aliran fluida melewati permukaan dari pipa ataupun ducting yang rata. Pada aliran melewati back step ini akan ditemukan fenomena-fenomena mekanika fluida yang tidak terdapat pada aliran melewati pipa ataupun ducting yang biasa.

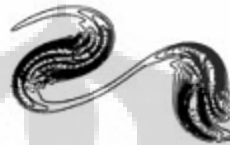
Pada aliran melewati *backward facing step* akan terbentuk separasi yang merupakan fenomena terlepasnya fluida dari lapisan dinding penampang yang dilewati, hal ini bisa terjadi pada aliran fluida melewati benda non-streamline ataupun aliran fluida dengan bilangan reynold yang cukup tinggi.

Pada daerah separasi ini yang terjadi ialah :

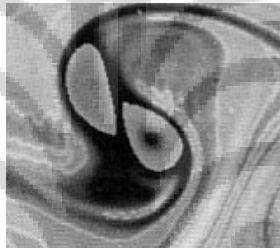
- Terlepasnya vortex dari step
- Penyatuan vortex
- Pembentukan vortex yang lebih besar
- Penumbukan vortex pada dinding kanal aliran
- Vortex terpecah menuju ke *downstream* atau terperangkap dalam daerah resirkulasi



Gambar 2-3 Pembentukan vortex



Gambar 2-4 Penyatuan vortex (pairing)



Gambar 2-5 Pembentukan vortex baru akibat pairing

Daerah resirkulasi adalah daerah terjadinya aliran yang berputar, hal ini terjadi akibat adanya separasi. Lalu yang terakhir akan terbentuk *reattachment point* yang merupakan titik yang memisahkan antara daerah akibat adanya step atau sudden expansion dengan daerah yang terjadi pada aliran melewati pipa atau ducting biasa. Atau bisa juga disebut daerah dimana efek sudden expansion sudah tidak berpengaruh dan karakteristik aliran mulai mengikuti karakteristik dari penampang pipa atau ducting. Reattachment point juga sering didefinisikan sebagai titik dimana probabilitas dari kecepatannya sama antara yang positif dengan yang negatif.

2.4 Eksitasi Akustik

Eksitasi akustik merupakan pemberian tekanan tambahan terhadap aliran fluida melalui getaran suara. Menurut S. Bhattacharjee, et.al [1986] pemberian

eksitasi akustik dapat meningkatkan *turbulent energy* maksimum sampai dengan 50% selain itu pemberian eksitasi akustik juga dapat mempengaruhi pertumbuhan struktur vorteks pada *separated shear layer*. Pemberian frekuensi mempengaruhi besar vortex yang terlepas pada step, lalu pemberian intensitas mempengaruhi pada proses pairing atau penyatuan vortex.

Eksitasi akustik dipengaruhi oleh tiga hal utama yaitu intensitas, frekuensi dan jenis gelombang yang diberikan. Frekuensi merupakan jumlah dari banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu detik. Jenis gelombang bisa berupa gelombang sinus, square, triangle, sawtooth dll. Dalam eksitasi akustik terdapat satu bilangan yang dapat menggambarkan besarnya eksitasi yang diberikan, yaitu bilangan Strouhal

$$St = \frac{f \cdot h}{V_o} \quad (2.14)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Aktivitas Penelitian

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

- Kajian Pendahuluan
Merupakan kegiatan studi literatur yang terkait dengan subjek penelitian dan perencanaan serta perancangan eksperimental apparatus.
- Kegiatan Eksperimental
 1. Pembuatan atau modifikasi 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. Pemberian eksitasi akustik dengan menggunakan mini speaker yang dipasang pada dinding bawah step dengan intensitas (47.5-95 dB) dan frekuensi (500-2000 Hz) yang diatur oleh software function generator yang built-in dengan PC.
 4. Pengukuran laju perpindahan massa dilakukan dengan teknik pengukuran *limiting diffusion current* (Ranchall, 1971) berdasarkan arus listrik dari reaksi reduksi katoda berupa (ada suatu reaksi $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$) Pengukuran dilakukan dengan menggunakan suatu sistem akuisisi data yang terkomputerisasi, tersusun atas subsistem *micro controller* dan PC.
 5. Pengukuran dilakukan dalam berbagai variasi kecepatan hulu aliran cairan elektrolit (bilangan Reynolds, $\text{Re} = 0 - 2100$)

- Pengolahan dan Analisis data

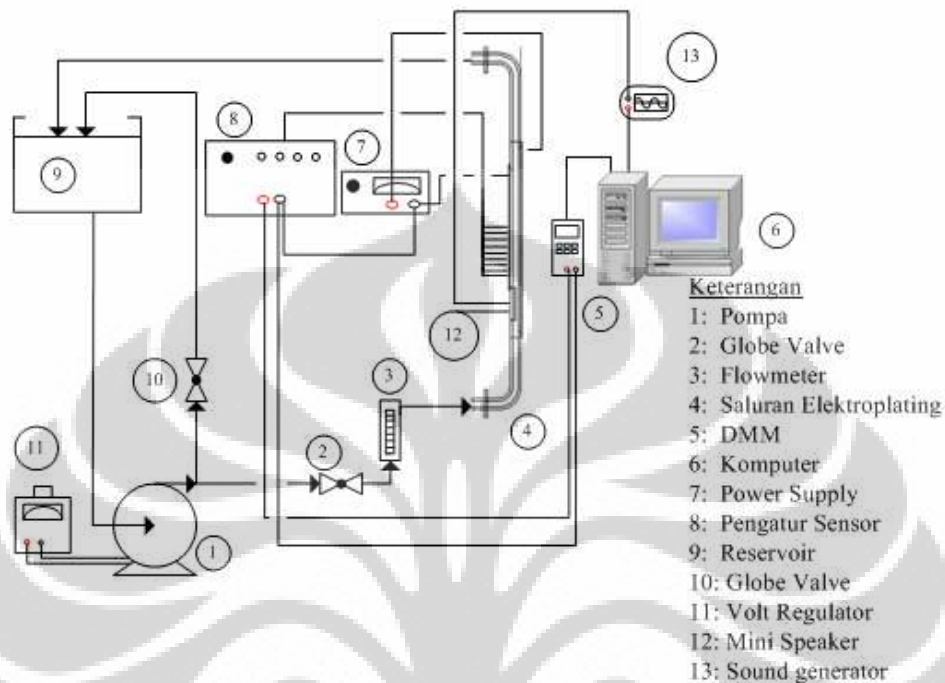
Data yang diperoleh diproses dan diplot dalam berbagai grafik yang dapat memberikan informasi - informasi mengenai antara lain :

- Besar maksimum koefisien perpindahan massa dan lokasi pada berbagai bilangan Reynolds, frekuensi dan intensitas akustik.
- Besar rata-rata koefisien perpindahan massa pada daerah *reattachment length* pada berbagai bilangan Reynolds, frekuensi dan intensitas akustik.
- Menentukan korelasi empiris antar parameter yang dinyatakan dalam bilangan Sherwood (Sh) sebagai fungsi bilangan Peclet (produk bilangan Reynolds dengan bilangan Schmidt $Pe = Re \times Sc$)
- 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

Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat baru yang harus dibuat terlebih dahulu. Dimana alat ini memiliki fungsi agar aliran elektrolit mampu melewati antara 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 larutan 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 38 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 / tangga* yang membuat aliran menjadi turbulen. Alat ini menggunakan sistem tertutup dimana aliran elektrolit yang keluar kemudian dialirkan kembali ke sel elektrokimia. Alat ini juga menggunakan mini speaker yang dipasang dibawah dinding *step* untuk

memberikan eksitasi akustik yang terhubung dengan komputer yang berisi software *function generator*



Gambar 3-1 Skema 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 mikroelektrode pada setiap titik menggunakan digital multimeter.

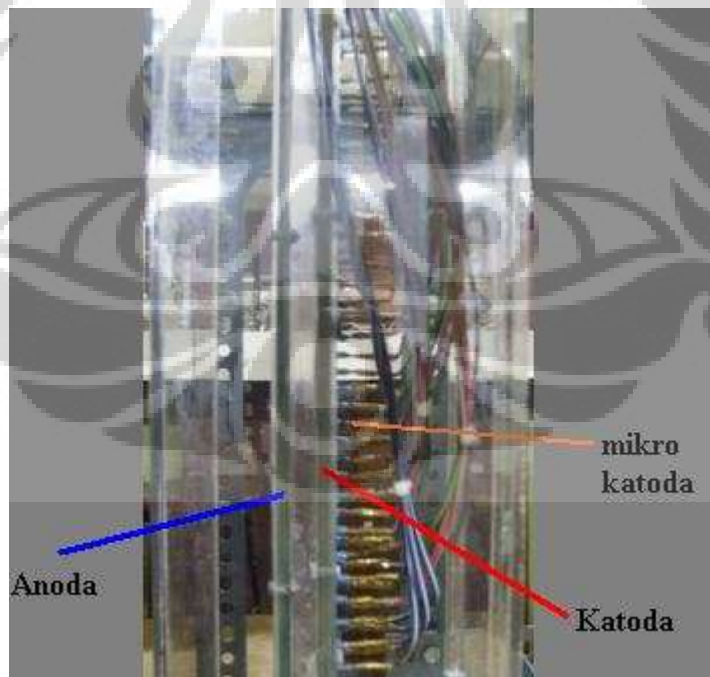


Gambar 3-2 Alat penelitian

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

1. Sel Elektrokimia

Merupakan komponen inti yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya elektrolit diantara elektroda tembaga yang dipasang sejajar.



Gambar 3-3 Sel Elektrokimia

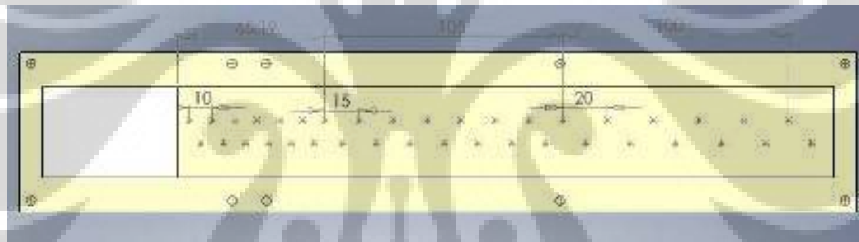
Pada sel elektrokimia ini terdapat beberapa bagian penting yaitu :

a. Katoda dan Anoda (makroelektrode)

Katoda dan Anoda ini berfungsi sebagai makroelektrode 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. Makroelektrode ini terbuat dari tembaga. Kedua bagian ini dipasang disisi sel elektrokimia yang kemudian dibaut dan ditempel dengan silicon untuk menghindari kebocoran.

b. Mikroelektrode

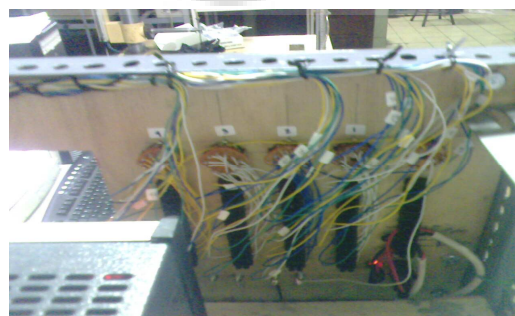
Pada katoda terdapat 38 titik mikroelektrode yang terbuat kabel tembaga berdiameter 1.5 mm^2 yang dilapisi isolator agar tidak terhubung dengan makroelektrode. Mikroelektrode ini nantinya akan terhubung dengan terminal-terminal yang terdapat pada bagian kontrol untuk kemudian disambungkan ke digital multimeter.



Gambar 3-4 Letak titik-titik mini katoda



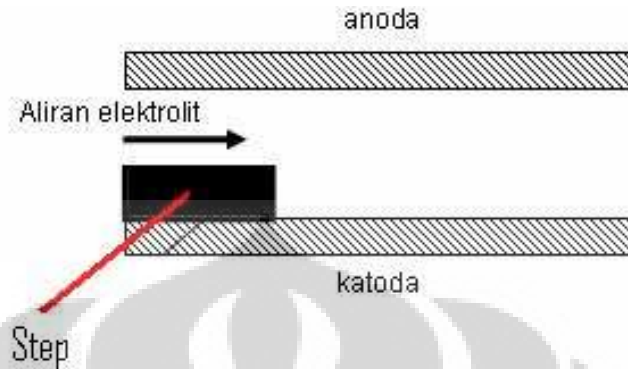
Gambar 3-5 Peletakan sensor pada katoda



Gambar 3-6 Hubungan kabel sensor ke terminal

c. *Step* atau pencetus turbulensi

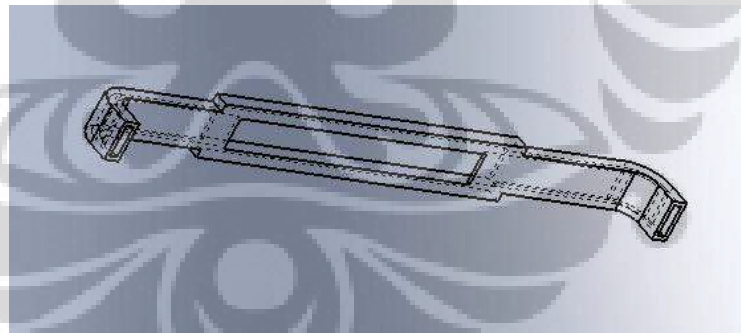
Digunakan untuk menciptakan aliran turbulen pada sistem aliran elektrolit. Tinggi ukuran *step* ini adalah 5 mm dan terbuat dari *acrylic*.



Gambar 3-7 Letak step pada kanal aliran

d. Kanal aliran plat sejajar

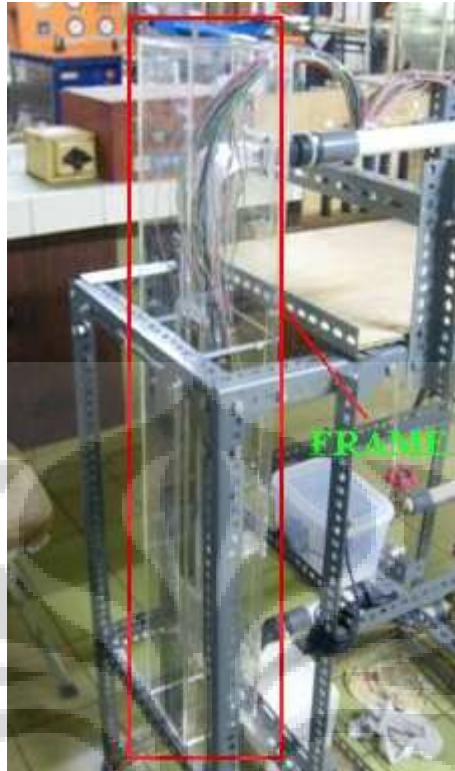
Saluran yang terbuat dari *acrylic* ini berfungsi untuk mengalirkan elektrolit agar mampu lewat diantara plat anoda dan plat katoda. Pada saluran ini terdapat dua lubang di setiap sisi untuk menempatkan katoda dan anoda. Saluran ini dilapisi dengan silicon untuk mencegah agar larutan elektrolit tidak 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.



Gambar 3-8 Kanal aliran

e. Frame

Frame berfungsi untuk menahan dan menampung bocoran dari saluran elektrolit dan juga berfungsi sebagai pondasi dari saluran plat sejajar. Frame ini terbuat dari bahan *acrylic* agar visualisasi dari aliran dapat terlihat jelas. Sel ini berdiri secara vertikal agar mampu menopang saluran plat sejajar.



Gambar 3-9 Frame

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

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

Digunakan 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.



Gambar 3-11 Power Supply DC

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 3-12 Reservoir

5. Flowmeter

Flowmeter 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 *Specify Gravity* 1 atau biasa digunakan untuk mengalirkan air. Sehingga agar debit aliran pada larutan elektrolit dapat diketahui maka flowmeter perlu dikalibrasi terlebih dahulu. Dalam penelitian ini Flowmeter, jenis fluida dan komposisi fluida yang digunakan sama seperti yang digunakan oleh Akrom [2008] sehingga dalam penelitian ini data kalibrasi flowmeter dari Akrom [2008] dapat digunakan. 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 Flowmeter

6. Pemipaan

Sistem pemipaan 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 yang mudah untuk dibongkar pasang.

7. Voltage 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.



Gambar 3-14 Voltage Regulator

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 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 3-15 Digital Multimeter



Gambar 3-16 Tampilan Digital multimeter pada layar PC

9. Mini Speaker

Alat ini berfungsi sebagai sumber eksitasi akustik yang dapat diatur intensitas dan frekuensinya melalui software *function generator* yang terinstall pada komputer. Untuk meyakinkan keluaran suara dari mini speaker ini dilakukan pengukuran intensitasnya dengan menggunakan sound level meter.



Gambar 3-17 Mini speaker



Gambar 3-18 Peletakan mini speaker di bawah step

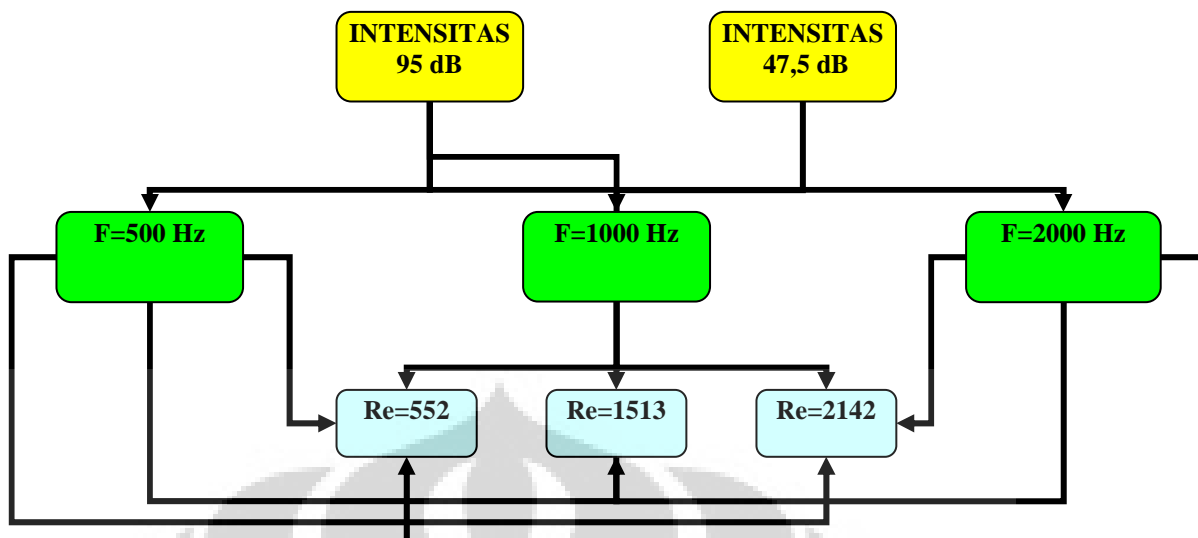
Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah menggunakan plat tembaga sebagai katoda dan anoda dan menggunakan larutan CuSO_4 sebagai elektrolit untuk menghantarkan elektron-elektron pada tembaga. Berikut adalah nilai-nilai *properties* yang penting untuk penelitian pada kedua bahan tersebut.

Tabel 3-1 Properties dari tembaga dan CuSO_4

<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)	-	$1,072 \times 10^{-6}$
Mr berat molekul (kg/mol)	64	250
C konsentrasi (mol/m^3)	-	500
D diffusivitas ion (m^2/s)	-	$4,43 \times 10^{-10}$
Schmidt	-	2418

3.3 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 18 kondisi yang berbeda, seperti yang digambarkan oleh flow chart di bawah ini :



Gambar 3-19 Pengambilan data

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. Pastikan tidak ada cairan elektrolit yang mengalir dalam sistem.
2. Siapkan elektrolit yang dibutuhkan dalam reservoir.
3. Siapkan dan hidupkan peralatan elektronik yang akan digunakan (*power supply*, pompa, *voltage regulator*, *Digital Multimeter* dan Komputer).
4. Atur *flow* yang diperlukan untuk pengambilan data dengan bantuan *valve* dan *voltage regulator*.
5. Atur frekuensi dan intensitas bunyi dari mini speaker melalui software function generator pada komputer
6. Atur voltage diposisi 600 mV (0.6 V) pada *Power Supply*
7. Tentukan satu titik *mikroelectrode* (1-38 titik) yang akan diambil datanya dengan *selector* pada panel kontrol.
8. Atur *digital multimeter* untuk membaca arus / current dan periksa apakah data sudah bisa *diinput* ke komputer.
9. Ambil data sebanyak 400 data pada setiap *minielectrode*.
10. Lakukan langkah nomor 6 – 8 pada titik elektrode yang berbeda.
11. Simpan data yang telah diambil.
12. Jika pengambilan data sudah selesai, matikan semua peralatan elektronik

13. Bersihkan alat dengan membuang/menguras semua cairan elektrolit.
14. Alirkan air bersih pada sistem 3 – 4 kali agar elektrolit dapat terkuras semua.
15. Buang air yang telah digunakan dan bersihkan Rotameter.
16. Bersihkan dan rapikan alat sebelum ditinggalkan.



BAB 4 PENGOLAHAN DATA

Penelitian mengenai aliran turbulen merupakan penelitian yang melibatkan data dengan tingkat keacakan cukup tinggi. Oleh karena itu dibutuhkan pengambilan data yang cukup banyak untuk menghindari error yang cukup besar yang dapat menyebabkan hasil yang di dapat kurang akurat. Semakin banyak pengambilan data maka akan semakin memperkecil nilai eror yang didapat, namun pengambilan data yang banyak juga membutuhkan waktu yang banyak dan penggunaan energi yang lebih banyak pula. Oleh karena alasan itu maka dibutuhkan pengambilan data yang cukup optimum terhadap tingkat akurasi dan juga penggunaan waktu. Hal itu bisa dilakukan dengan menentukan data uncertainty yang dapat memberikan masukan berapa banyak jumlah data yang harus diambil dengan tingkat error yang diinginkan. Penelitian ini memiliki kesamaan karakteristik aliran dengan yang dilakukan oleh Akrom [2008]. Sehingga penentuan data uncertainty menggunakan referensi dari milik Akrom [2008]. Dengan pengambilan data sebanyak 400 data dengan error $\pm 1\%$.

4.1 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). Karena kanal aliran berbentuk tidak bulat seperti pipa maka pada perhitungan diameter pipa diganti dengan diameter hidrolis yang didapat dari persamaan (2.11). Sedangkan untuk mengetahui nilai u yang merupakan kecepatan aliran CuSO_4 menggunakan persamaan (2.12).

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 aliran

Debit (liter/min)	Re _{jet}	Re _{duct}
1	551,41	496,27
2	1513,27	1361,94
2.5	2142.32	1928.09

Dari data yang diperoleh maka terlihat bahwa nilai Re pada penelitian ini berkisar antara 300 – 2200 sehingga aliran larutan CuSO₄ dalam penelitian ini memiliki jenis aliran laminar dan transisi.

4.2 Perhitungan Bilangan Strouhal

Bilangan Strouhal merupakan bilangan tak berdimensi yang menggambarkan frekuensi eksitasi yang diberikan kepada aliran. Berdasarkan persamaan (2.13) didapat sembilan bilangan Strouhal yang berbeda sesuai dengan kecepatan aliran utama dan frekuensi eksitasi akustik.

Tabel 4-2 Bilangan Strouhal pada berbagai debit aliran dan frekuensi

DEBIT ALIRAN	FREKUENSI	STROUHAL
1 LPM	500 Hz	37,6
	1000 Hz	75,2
	2000 Hz	150,4
2 LPM	500 Hz	13,7
	1000 Hz	27,4
	2000 Hz	54,8
2.5 LPM	500 Hz	9,7
	1000 Hz	19,4
	2000 Hz	38,8

4.3 Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa

Perhitungan koefisien transfer massa dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien untuk perpindahan massa yang terjadi dalam proses elektroplating yang menggunakan plat tembaga dan larutan elektrolit CuSO₄. 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 38 titik yang terdapat dalam katoda. Namun tidak semua titik memiliki data yang valid, jadi yang ditampilkan hanya titik-titik yang memiliki data yang valid saja. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.7). 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. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan nilai Km untuk tiap titik, tiap frekuensi, tiap intensitas dan tiap debit aliran.

Tabel 4-3 Nilai Km untuk tiap titik, frekuensi, dan debit aliran pada intensitas 95 dB

Jarak (mm)	1 LPM			2 LPM			2.5 LPM		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
5	2.9E-06	2.81E-06	2.5E-06	2.52E-06	2.19E-06	1.75E-06	1.9E-06	2.1E-06	2.09E-06
10	1.7E-06	2.21E-06	1.5E-06	1.32E-06	1.09E-06	1.5E-06	1.86E-06		
15	2.5E-06	2.41E-06	2.6E-06	2.04E-06	1.87E-06	1.39E-06	1.53E-06	1.62E-06	1.64E-06
20	1.8E-06	1.8E-06	2.3E-06	2.02E-06	1.94E-06	1.44E-06	1.88E-06	1.6E-06	1.67E-06
25	1.6E-06	2.45E-06							
30	1.7E-06	1.92E-06	1.4E-06	1.45E-06					
35	2.4E-06	2.68E-06	2.5E-06	2.67E-06	2.31E-06	1.43E-06	1.66E-06		
40	2.4E-06	2.57E-06	2.3E-06	2.58E-06	2.42E-06	1.35E-06	1.38E-06		
45	2.1E-06	2.48E-06	2.6E-06	2.74E-06	2.59E-06	1.51E-06	1.82E-06		
50	2E-06	2.33E-06	2.6E-06	2.57E-06	2.42E-06	1.49E-06	1.86E-06	1.87E-06	1.92E-06
55	2.4E-06	2.69E-06	2.2E-06	2.65E-06	2.75E-06	1.4E-06	1.46E-06	1.89E-06	1.83E-06
60	1E-06	1.73E-06	1.6E-06	1.89E-06	2.01E-06	1.51E-06	1.71E-06	1.49E-06	1.55E-06
65	2E-06	2.23E-06	1.7E-06	2.19E-06	2.17E-06	1.79E-06	2.07E-06	1.66E-06	1.86E-06
72.5	2.4E-06	2.63E-06	2.1E-06	2.51E-06	3.36E-06	1.46E-06	1.52E-06	1.74E-06	1.91E-06
80	1.6E-06	2.21E-06	8.4E-07	1.05E-06	8.86E-07	7.89E-07	1.11E-06	1.43E-06	1.3E-06
87.5	2.2E-06	2.4E-06	2.2E-06	2.04E-06				2.28E-06	1.54E-06
95	1.9E-06	2.37E-06	2.2E-06	2.43E-06	1.95E-06	1.85E-06	2.25E-06	1.79E-06	1.61E-06
102.5	2.3E-06	2.38E-06	2.1E-06	2.13E-06	2.05E-06	8.46E-07	2.53E-06	1.74E-06	1.69E-06
110	2.3E-06	2.34E-06	2.2E-06	2.15E-06	2.14E-06	1.06E-06	1.29E-06	1.5E-06	1.37E-06
117.5	2.1E-06	2.21E-06	1.9E-06	2.05E-06	1.88E-06				
125	1.1E-06	1.43E-06	1.2E-06	1.56E-06	1.54E-06				
132.5	1.5E-06	2.31E-06	2E-06						
140	1.6E-06	2.47E-06	2.4E-06	2.28E-06	2.19E-06				
147.5	1.5E-06	2.57E-06							
155	1.6E-06	2.62E-06	1.9E-06	2.08E-06					
162.5	1.7E-06	2.77E-06	2.2E-06	2.04E-06					
170	2E-06	3.11E-06	2.3E-06	2.3E-06					
180	2E-06	3.08E-06	1.3E-06	2.45E-06		9.55E-07			
190	1.9E-06	3.46E-06	2.3E-06	2.15E-06	2.02E-06	1.38E-06	1.29E-06		
200	1.7E-06	1.83E-06	2.1E-06						
210	1.8E-06	1.61E-06	2.2E-06	1.89E-06	2.14E-06				
220	1.9E-06	1.58E-06	1.8E-06						
230	1.7E-06	1.34E-06	1.9E-06	1.69E-06	1.78E-06	1.58E-06	1.33E-06	5.99E-06	
240	2.1E-06	1.68E-06							
250	1.5E-06	1.59E-06	1.8E-06						
260	1.8E-06	1.46E-06							
270	1.6E-06	1.28E-06	1.5E-06						
280	1.6E-06	1.18E-06							

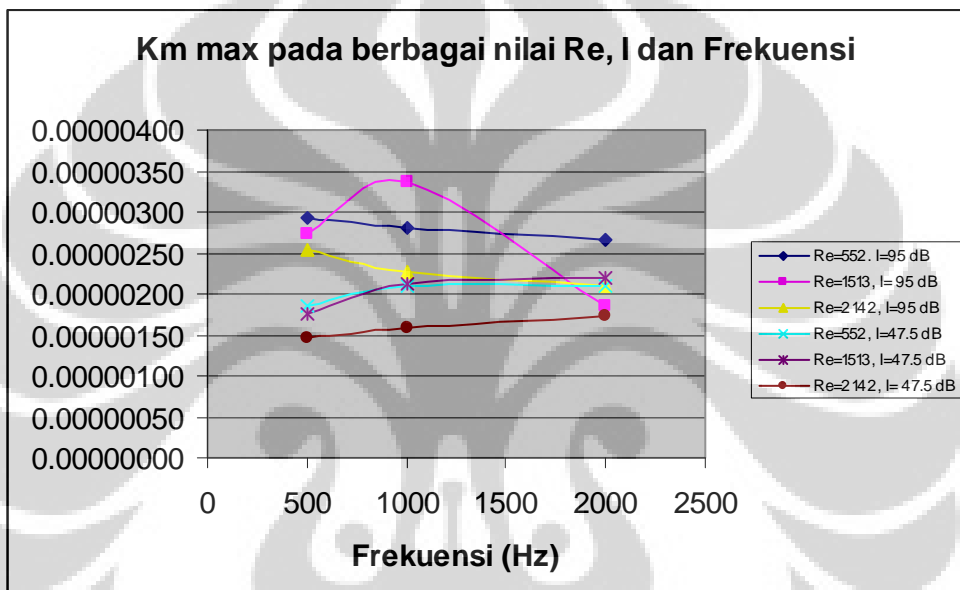
Tabel 4-4 Nilai Km untuk tiap titik, frekuensi, dan debit aliran pada intensitas 47,5 dB

Jarak (mm)	1 LPM			2 LPM			2.5 LPM		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
5	7.29E-07	4.54E-07	4.92E-07	7.53E-07	5.8E-07	7.43E-07	8.08E-07	4.35E-07	7.61E-07
10	1.2E-06	1.42E-06	1.38E-06	1.47E-06	1.05E-06	1.98E-06	1.05E-06	1.01E-06	1.48E-06
15	1E-06	9.65E-07	1.15E-06	1.29E-06	1.2E-06	1.46E-06	1.01E-06	9.89E-07	1.4E-06
20	1.3E-06	9.87E-07	1.29E-06	1.6E-06	1.06E-06	1.91E-06	1.19E-06	1.09E-06	1.62E-06
25	1.5E-06	9.43E-07	1.44E-06	1.76E-06	1.66E-06	1.99E-06	1.33E-06	1.14E-06	1.51E-06
30	1.4E-06	1.12E-06	1.4E-06	1.58E-06	1.46E-06	1.74E-06	1.23E-06	1.1E-06	1.48E-06
35	1.6E-06	1.76E-06	1.84E-06	1.76E-06	1.13E-06	1.51E-06	1.46E-06	1.27E-06	1.51E-06
40		2.11E-06	2.1E-06		2.13E-06	2.19E-06		1.58E-06	1.73E-06
45	1.2E-06	7.63E-07	1.04E-06	1.35E-06	1.22E-06	1.39E-06	1.06E-06	9.86E-07	1.28E-06
50	1.3E-06	1.16E-06	1.59E-06	1.43E-06	1.57E-06	1.39E-06	1.21E-06	1.27E-06	1.42E-06
55	1.5E-06	9.36E-07	1.17E-06	1.55E-06	1.2E-06	1.29E-06	1.33E-06	1.24E-06	1.48E-06
60		1.22E-06	1.05E-06		9.51E-07				
65		9.49E-07	9.79E-07		1.6E-06	1.6E-06		1.08E-06	1.36E-06
72.5		8.68E-07	6.56E-07		1.28E-06	1.24E-06			
80	1.6E-06	1.45E-06	1.36E-06	1.71E-06	1.62E-06	1.59E-06	1.41E-06	1.46E-06	1.64E-06
87.5	1.9E-06	4.35E-07	2.82E-07	1.16E-06	5.36E-07	6.72E-07	9.69E-07	8.61E-07	1.01E-06
95	1.2E-06	1.27E-06	1.26E-06	1.5E-06	1.41E-06	1.36E-06	1.24E-06	1.28E-06	1.43E-06
102.5	8.3E-07	6.53E-07	4.92E-07	1.34E-06	8.28E-07	9.23E-07	1.12E-06	1.02E-06	1.2E-06
110		8.11E-07	9.7E-07		1.21E-06	1.24E-06		1.06E-06	1.23E-06
117.5	7.9E-07	9.15E-07	9.99E-07	1.19E-06	1.14E-06	1.28E-06	1.06E-06	1.16E-06	1.25E-06
125	8.5E-07	1.04E-06	9.46E-07	1.17E-06	1E-06	9.42E-07	1.03E-06	1.1E-06	1.12E-06
132.5	7.1E-07	7.78E-07	5.91E-07	1.13E-06	7.98E-07	8.24E-07	1.08E-06	8.63E-07	1.08E-06
140		1.21E-06	1.19E-06		1.29E-06	1.37E-06	1.13E-06	1.27E-06	1.45E-06
147.5	8.3E-07	5.75E-07	6.24E-07	1.14E-06	8.72E-07	8.96E-07	9.8E-07	9.24E-07	1.03E-06
155	8.5E-07	5.75E-07	1.15E-06	1.11E-06	1.23E-06	1.22E-06	1.14E-06	1.2E-06	1.1E-06
162.5	8.8E-07	9.28E-07	8.01E-07	1.28E-06	1.1E-06	1.05E-06	1.09E-06	1.02E-06	1.16E-06
170						1.47E-06			
180	1E-06	1.2E-06	1.05E-06	1.35E-06	1.27E-06	1.04E-06	1.32E-06	1.29E-06	1.3E-06
190		1.16E-06	9.78E-07		1.18E-06	1E-06		1.27E-06	1.25E-06
200	1.1E-06	1.42E-06	1.39E-06	1.53E-06	1.44E-06	1.42E-06	1.4E-06	1.52E-06	1.56E-06
210	1E-06	1.17E-06	1.11E-06	1.47E-06	1.08E-06	1.29E-06	1.39E-06	1.44E-06	1.38E-06
220									
230									
240	9.4E-07	1.39E-06	1.34E-06	1.36E-06	1.19E-06	1.34E-06	1.17E-06	1.32E-06	1.36E-06
250									
260		9.02E-07	8.25E-07		8.36E-07	1.48E-06			
270	1.1E-06	9.5E-07	1.04E-06	1.62E-06	1.25E-06	1.88E-06	1.62E-06	1.65E-06	1.62E-06
280	6.4E-07	8.95E-07	5.35E-07	9.66E-07	2.85E-07	1.32E-06	1.12E-06	1.6E-06	1.37E-06

BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Koefisien Perpindahan Massa

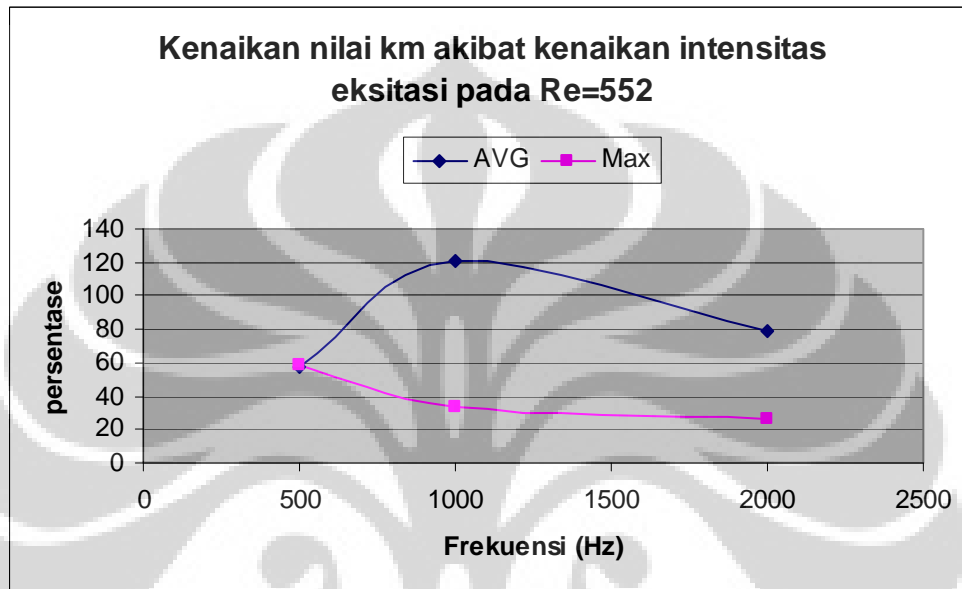
Setelah data didapat dan diolah dari bab sebelumnya maka pada bab ini akan dianalisa dan dibahas dalam bentuk grafik yang dapat menggambarkan trend dari koefisien perpindahan massa yang terjadi akibat dari perbedaan intensitas eksitasi akustik.



Gambar 5-1 Grafik Km max vs Frekuensi

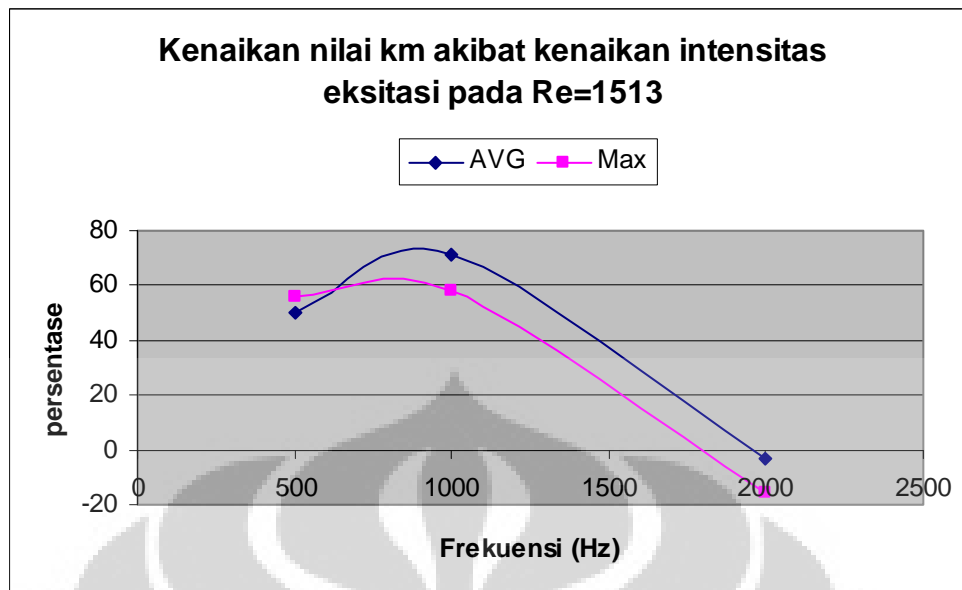
Dari gambar 5-1 diketahui bahwa kenaikan intensitas meningkatkan nilai Km max pada seluruh konfigurasi bilangan Reynold dan frekuensi eksitasi yang diberikan. Menurut Bhattacharjee [1986] Pemberian eksitasi akustik pada frekuensi tertentu akan menyebabkan peningkatan pertumbuhan vortex pada *separated shear layer* yang disebabkan oleh proses penyatuan vortex. Peningkatan pertumbuhan vortex ini akan meningkatkan nilai Km pada titik-titik tertentu pada daerah sekitar resirkulasi dan *reattachment*. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa pada intensitas 95 dB kenaikan frekuensi menurunkan harga Km dan pada intensitas 47,5 dB justru kenaikan dari frekuensi meningkatkan harga Km. Menurut Wardana [1998] eksitasi akustik berfrekuensi tinggi memperkuat vortex-vortex berdiameter kecil dan untuk frekuensi rendah berlaku yang sebaliknya

yaitu memperkuat vortex-vortex berdiameter besar. Berdasarkan statement tersebut berarti dapat dikatakan bahwa jenis vortex yang dibentuk oleh intensitas 95 dB ialah vortex berdiameter besar dan untuk intensitas 47,5 dB ialah vortex berdiameter kecil. Hal ini juga dapat menjelaskan mengapa nilai K_m dari intensitas 95 dB lebih besar dari intensitas 47,5 dB, hal ini terjadi karena diameter vortex pada intensitas 95 dB lebih besar dari intensitas 47,5 dB.



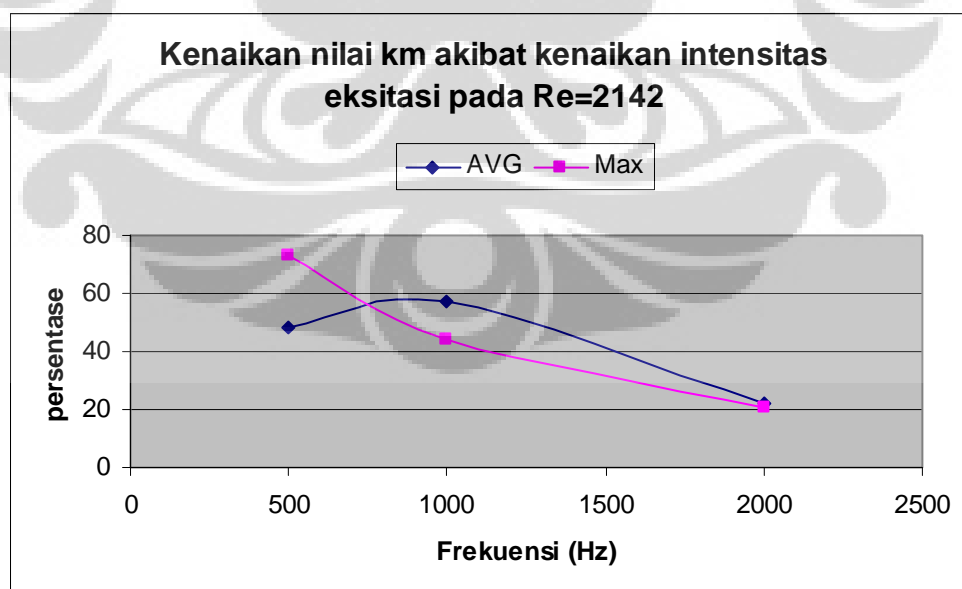
Gambar 5-2 Grafik Presentase kenaikan K_m akibat kenaikan intensitas vs frekuensi pada $Re=552$

Gambar 5-2 ialah grafik persentase kenaikan nilai K_m pada seluruh titik di dekat daerah resirkulasi yang dinotasikan dengan AVG dan juga titik K_m maksimum yang dinotasikan dengan Max akibat dari kenaikan Intensitas eksitasi akustik dari 47.5 dB ke 95 dB. Pada frekuensi 1000 dan 2000 Hz dapat dilihat bahwa kenaikan nilai K_m pada seluruh titik didekat daerah resirkulasi lebih dominan daripada kenaikan nilai K_m pada titik maksimum, hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan intensitas eksitasi akustik meningkatkan nilai K_m tidak hanya pada titik tertentu saja tetapi pada seluruh titik di dekat daerah resirkulasi dan daerah *reattachment*.



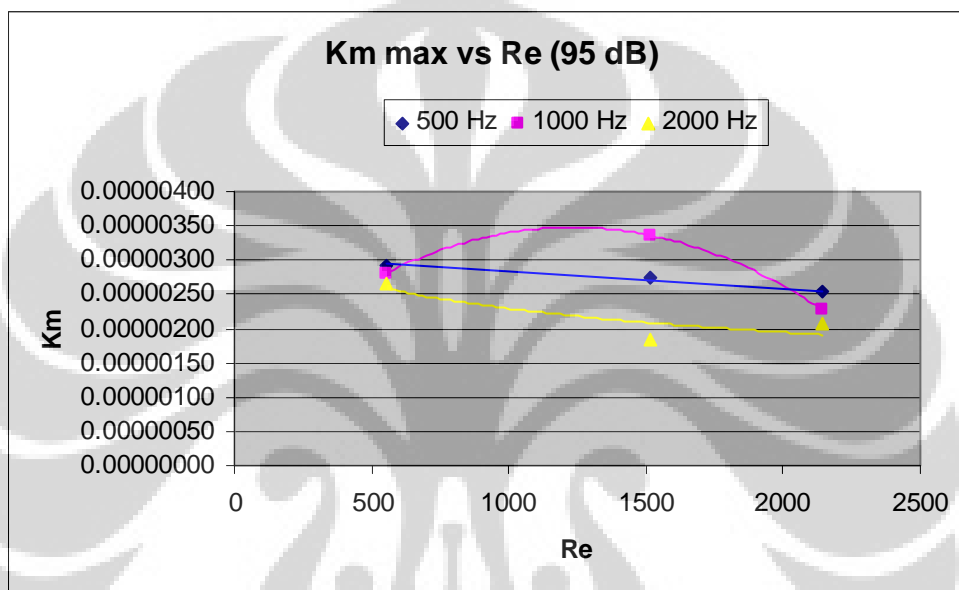
Gambar 5-3 Grafik Presentase kenaikan Km akibat kenaikan intensitas vs frekuensi pada $Re=1513$

Gambar 5-3 sama dengan grafik sebelumnya hanya saja grafik ini mewakili aliran pada $Re=1513$. pada frekuensi 500 Hz dapat dilihat bahwa kenaikan nilai Km pada titik maksimum lebih dominan daripada kenaikan rata-rata pada seluruh titik didekat daerah resirkulasi, hal ini mengindikasikan bahwa pada kenaikan intensitas eksitasi akustik hanya meningkatkan nilai km pada titik maksimum saja.



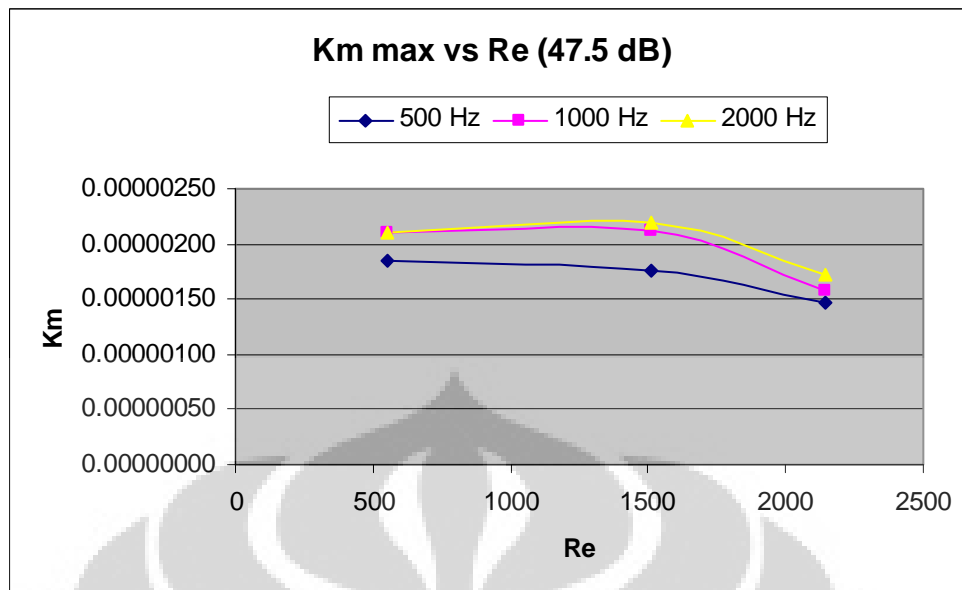
Gambar 5-4 Grafik Presentase kenaikan Km akibat kenaikan intensitas vs frekuensi pada $Re=2142$

Dari ketiga grafik di atas dapat dilihat bahwa kenaikan bilangan Reynolds meningkatkan dominasi kenaikan nilai K_m pada titik maksimum dibanding dengan kenaikannya pada seluruh titik di dekat daerah resirkulasi, berarti semakin besar bilangan Reynolds dari aliran akan semakin menurunkan kenaikan dari nilai K_m pada seluruh titik pada daerah resirkulasi atau dapat dikatakan pada bilangan Reynolds yang besar kenaikan intensitas eksitasi hanya mampu menaikkan nilai K_m pada titik maksimum saja, tidak seluruh titik di daerah resirkulasi.



Gambar 5-5 Grafik K_m max vs Re pada intensitas 95 dB

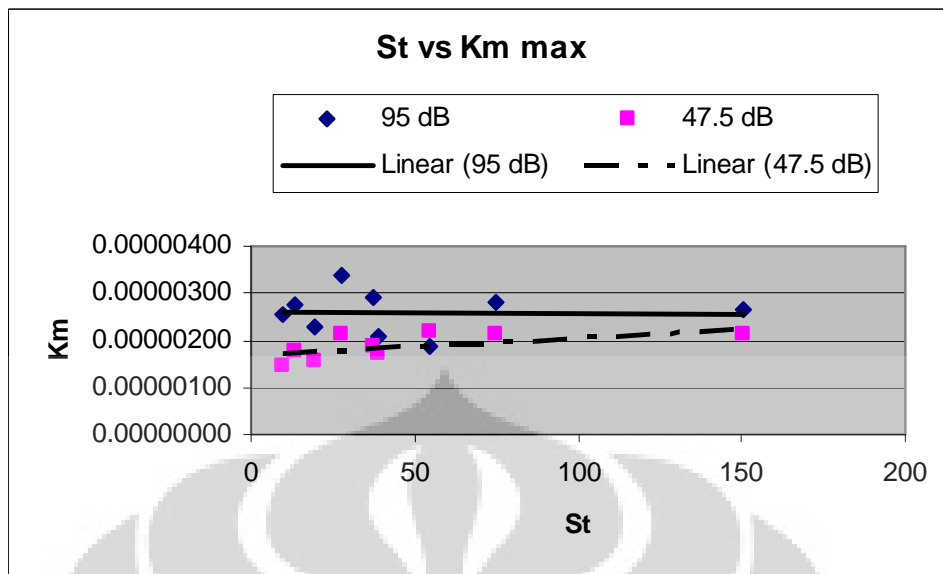
Grafik pada gambar 5-5 di atas menggambarkan pengaruh kenaikan bilangan Reynolds terhadap perpindahan massa pada intensitas 95 dB dan beberapa frekuensi. Secara keseluruhan kenaikan bilangan Reynolds menurunkan nilai K_m max pada semua frekuensi namun bila dilihat pada bilangan Reynolds 1513 dan frekuensi 1000 Hz nilai K_m max-nya meningkat jauh dari trend yang terbentuk, hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut terjadi resonansi antara frekuensi sumber eksitasi dan frekuensi *vortex shedding* yang dapat menyebabkan peningkatan pertumbuhan vortex pada *separated shear layer* yang pada akhirnya dapat meningkatkan nilai K_m .



Gambar 5-6 Grafik Km max vs Re pada intensitas 47,5 dB

Grafik di atas sama seperti grafik sebelumnya namun pada grafik ini intensitas dari eksitasi sumber sebesar 47,5 dB. Pada intensitas ini nilai Km pada frekuensi 1000 dan 2000 Hz hampir berimpit, hasil ini menggambarkan bahwa pada intensitas ini nilai Km independent terhadap frekuensi sumber eksitasi. Namun pada frekuensi 500 Hz nilai Km tidak independen terhadap frekuensi eksitasi sumber.

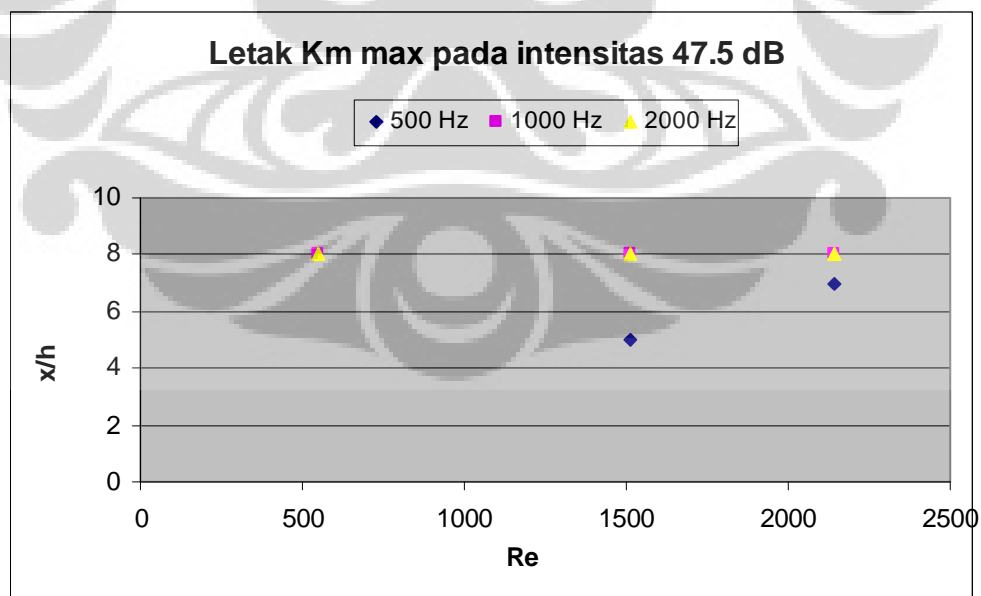
Jika frekuensi eksitasi dan kecepatan aliran dinyatakan dalam bilangan Strouhal maka hubungan antara koefisien perpindahan massa dengan bilangan Strouhal pada beberapa intensitas ditunjukkan oleh gambar 5-7. Dari gambar dapat dilihat jelas bahwa intensitas yang lebih tinggi memberikan harga koefisien perpindahan massa yang lebih besar. Namun dari grafik juga dapat dilihat terdapat bilangan Strouhal tertentu pada setiap intensitas yang memberikan nilai koefisien perpindahan massa maksimum.



Gambar 5-7 Pengaruh bilangan Strouhal terhadap koefisien perpindahan massa maksimum pada beberapa intensitas akustik

5.2 Hubungan Letak Nilai Km Max dengan Reattachment Point

Dari gambar 5-8 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 1000 dan 2000 Hz nilai Km max terletak pada jarak 40 mm dari step atau sepanjang 8 kali dari tinggi step, sesuai dengan hasil review dari Eaton dan Johnston [1981] bahwa Reattachment point berkisar dari 4,9 sampai 8,2 kali dari tinggi step.



Gambar 5-8 Letak reattachment point pada masing masing bilangan Reynold dan frekuensi pada intensitas 47,5 dB

Berarti titik nilai K_m max berimpit dengan reattachment point hal ini mengindikasikan bahwa mass transfer maksimum terjadi pada reattachment point. Lalu pada frekuensi tersebut letak K_m max juga berimpit pada ketiga bilangan Reynolds nya, hal ini mengindikasikan bahwa pada frekuensi 1000-2000 Hz dan intensitas 47.5 dB letak reattachment point independent terhadap bilangan Reynolds. Lalu pada frekuensi 500 Hz kenaikan bilangan Reynolds mempengaruhi letak dari reattachment point.

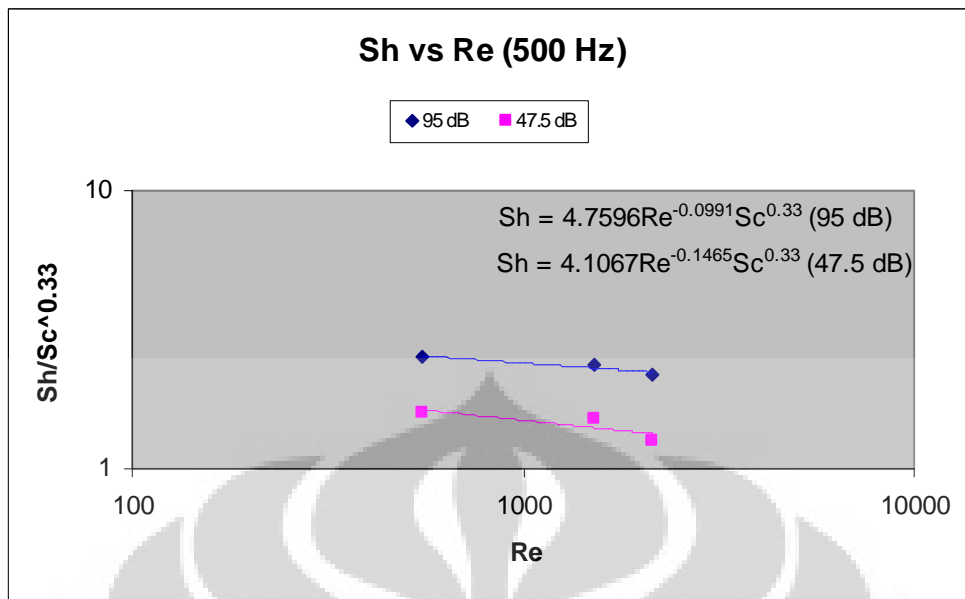
5.3 Korelasi Bilangan Reynolds dan Sherwood

Relasi tak berdimensi perpindahan massa konvektif biasanya dinyatakan dalam hubungan antara bilangan Sherwood (Sh), bilangan Schmidt (Sc) dan bilangan Reynolds (Re). Untuk bilangan Sherwood nilainya didapat dengan dua cara yaitu dari persamaan (2.10) dan juga dari korelasi terhadap bilangan Schmidt dan juga Reynolds. Dibawah ini akan disajikan tabel parameter-parameter yang digunakan untuk menghasilkan bilangan Sherwood.

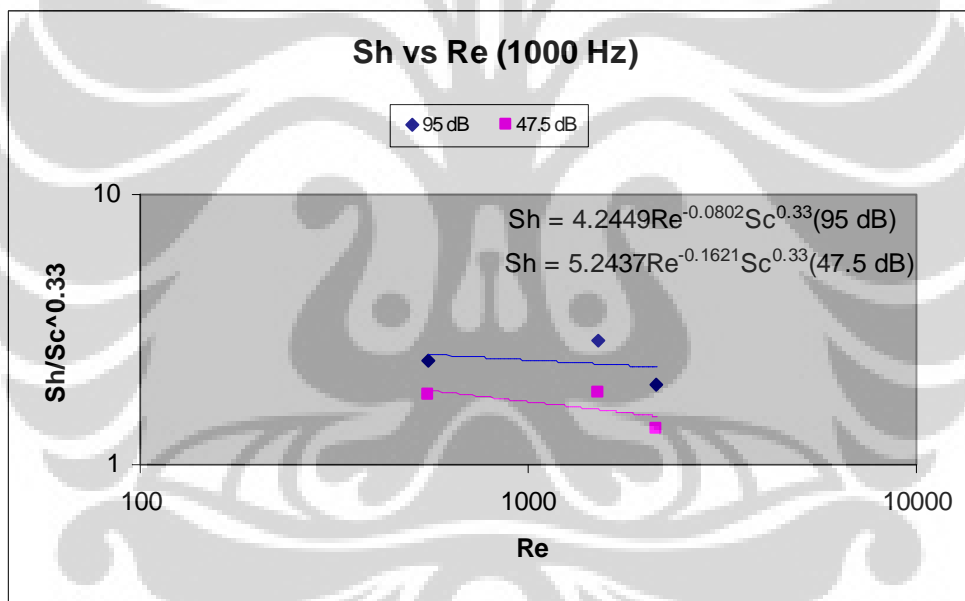
Tabel 5-1 Parameter bilangan Sherwood

Frekuensi	Intensitas	Reynolds	K_m max	d_{jet}	D	Schmidt	Sherwood	Sherwood/ $Sc^{0.33}$
500 Hz	95 dB	552	0.00000293	0.0089	4.43E-10	2418	33.0651043	2.528304163
		1513	0.00000274	0.0089	4.43E-10	2418	30.9413201	2.36591022
		2143	0.00000253	0.0089	4.43E-10	2418	28.5324218	2.181715204
	47.5 dB	552	0.00000185	0.0089	4.43E-10	2418	20.8888184	1.597251467
		1513	0.00000176	0.0089	4.43E-10	2418	19.8137633	1.515048
		2143	0.00000146	0.0089	4.43E-10	2418	16.5063091	1.26214542
1000 Hz	95 dB	552	0.00000281	0.0089	4.43E-10	2418	31.7322546	2.426388575
		1513	0.00000336	0.0089	4.43E-10	2418	37.9731372	2.90359407
		2143	0.00000228	0.0089	4.43E-10	2418	25.7322784	1.967603849
	47.5 dB	552	0.00000211	0.0089	4.43E-10	2418	23.7871456	1.818870393
		1513	0.00000213	0.0089	4.43E-10	2418	23.9873215	1.834176722
		2143	0.00000158	0.0089	4.43E-10	2418	17.8613454	1.365757491
2000 Hz	95 dB	552	0.00000265	0.0089	4.43E-10	2418	29.8800074	2.28475756
		1513	0.00000185	0.0089	4.43E-10	2418	20.8899774	1.59734009
		2143	0.00000209	0.0089	4.43E-10	2418	23.5389541	1.799892571
	47.5 dB	552	0.00000210	0.0089	4.43E-10	2418	23.7553559	1.816439611
		1513	0.00000219	0.0089	4.43E-10	2418	24.6701379	1.886387887
		2143	0.00000173	0.0089	4.43E-10	2418	19.4884155	1.490170469

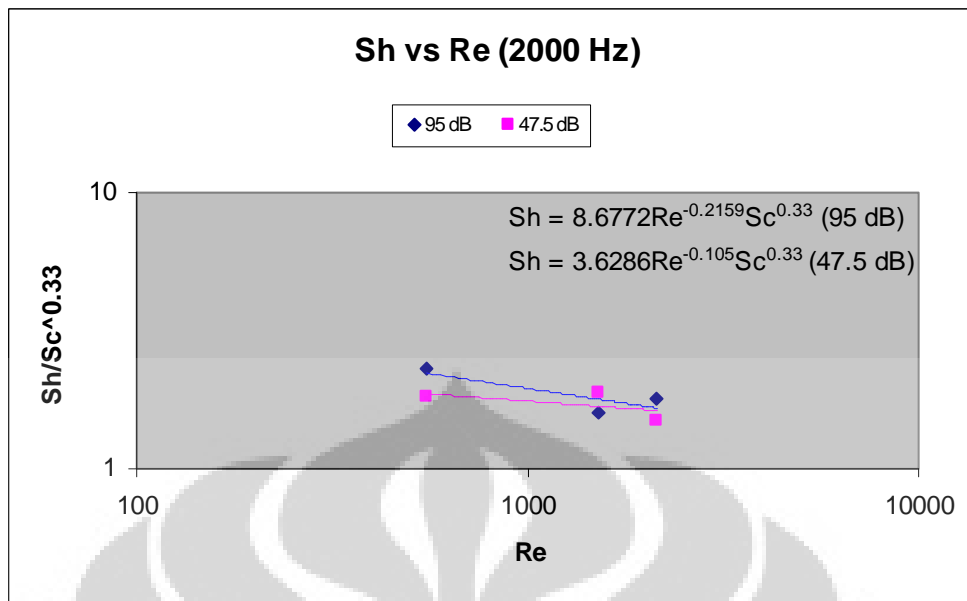
Berdasarkan parameter pada table 5-1 di atas maka dapat dibentuk korelasi dari bilangan Sherwood terhadap bilangan Reynolds dan bilangan Schmidt.



Gambar 5-9 Korelasi bilangan Sherwood pada frekuensi 500 Hz



Gambar 5-10 Korelasi bilangan Sherwood pada frekuensi 1000 Hz



Gambar 5-11 Korelasi bilangan Sherwood pada frekuensi 2000 Hz

Gambar 5-9 sampai 5-11 ialah grafik yang menggambarkan korelasi bilangan Sherwood terhadap bilangan Reynolds dan bilangan Schmid. Grafik tersebut dipisahkan berdasarkan frekuensi dan intensitas eksitasi akustiknya. Hal ini dilakukan karena intensitas dan frekuensi eksitasi akustik juga memberikan pengaruh terhadap perpindahan massa secara konveksi hal ini terbukti karena korelasi untuk tiap frekuensi dan intensitas berbeda satu dengan lainnya. Namun karena korelasinya tidak ada untuk bilangan sherwood maka harus dipisah untuk tiap frekuensi dan intensitas.

BAB 6 KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan terhadap proses *electroplating* pada sel elektrokimia yang dilewati aliran elektrolit melalui backstep pada bilangan $Re=552-2143$ dengan eksitasi akustik pada Intensitas 47.5-95 dB dan frekuensi 500-2000 Hz, dapat disimpulkan hal-hal berikut ini:

1. Perpindahan massa berbanding lurus dengan kenaikan intensitas eksitasi akustik.
2. Kenaikan intensitas eksitasi akustik dapat meningkatkan perpindahan massa pada seluruh daerah di sekitar *reattachment region*.
3. Kenaikan bilangan Reynolds menyebabkan persentase peningkatan perpindahan massa akibat kenaikan intensitas menjadi lebih kecil dan menyebabkan peningkatan perpindahan massa pada satu titik lebih dominan.
4. Pada intensitas rendah (47.5 dB) peningkatan perpindahan massa berbanding lurus dengan peningkatan frekuensi eksitasi akustik pada bilangan Reynolds yang sama, pada intensitas yang lebih tinggi (95 dB) berlaku sebaliknya.
5. Letak titik yang memiliki nilai koefisien perpindahan massa maksimum berimpit dengan *reattachment point*, pada frekuensi dan intensitas rendah kenaikan bilangan Reynolds menyebabkan letak *reattachment point* menjauhi step, pada intensitas rendah dengan frekuensi yang lebih tinggi letak *reattachment point* independen terhadap bilangan Reynolds.

DAFTAR REFERENSI

- Akrom, Hanifah. "Perpindahan Massa Konvektif dengan Kontrol Turbulensi Menggunakan Metode Wall Recess Pada Sel Elektrokimia Plat Sejajar." Skripsi (2008).
- Bhattacharjee, S., Scheelke, B., and Troutt, T.R. "Modification of Vortex Interaction in a Reattaching Separated Flow." *AIAA Journal* Vol. 24 no. 4 (1986).
- Cengel, Yunus A. (2003). *Heat Transfer A Practical Approach*. New York: Mc Graw Hill.
- Eaton, J.K., and Johnston, J.P. "A Review of Research on Subsonic Turbulent Flow Reattachment." *AIAA Journal* Vol. 19 No. 9 (1981).
- Harinaldi. (2003). *Proceeding of The 8th Indonesia Toray Science Foundation Semnar on Science and Technology*.
- Harinaldi. (2007). *Laporan Penelitian Hibah PHK A3-DTM FTUI*.
- Lesieur, M. (2008). *Turbulence in Fluids*. Dordrecht: Springer.
- Lida, Akiyoshi., et.al. "Active Control of Aerodynamic Feedback Noise From a Small Step on a Backward Facing Step." *Australasian Fluid Mechanics Conference* (2007).
- Munson, Bruce H., Young, Donald F., & Okiishi, Theodore H. (2002). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Oduoza, C.F., Wrag, A.A., and Patrick, M.A. "The effect of a varieaty of wall obstruction on local mass transfer in a parallel plate electrochemical flow cell." *Chemical Engineering Journal* 68 (1997) 145-155
- Vukasinovic, Bojan., & Glezer, Ari. "Transitory Fluidic Control of Turbulent Shear Flows." *AIAA* (2006).
- Wardana, I.N.G. "Pengaruh Frekuensi Kebisingan Pada Intensitas Rendah Terhadap Struktur Turbulensi Dalam Aliran Lapisan Batas." *Jurnal Teknik* Vol. V No. 2 (1998).

www.wikipedia.org

LAMPIRAN

Data Penelitian Untuk 1 LPM

Titik	Rata - rata Arus (mA) untuk Frekuensi Eksitasi Akustik		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
1	0.4993	0.4791	0.4271
2	0.2887	0.3772	0.2641
3	0.4298	0.4115	0.4463
4	0.3128	0.3070	0.3889
5	0.2653	0.4179	
6	0.2945	0.3271	0.2421
7	0.4058	0.4573	0.4180
8	0.4073	0.4374	0.3892
9	0.3591	0.4223	0.4512
10	0.3470	0.3979	0.4403
11	0.4124	0.4592	0.3673
12	0.1786	0.2946	0.2720
13	0.3328	0.3807	0.2877
14	0.4120	0.4484	0.3494
15	0.2745	0.3773	0.1440
16	0.3822	0.4090	0.3786
17	0.3244	0.4031	0.3779
18	0.3901	0.4051	0.3534
19	0.3902	0.3995	0.3667
20	0.3498	0.3764	0.3308
21	0.1921	0.2438	0.2058
22	0.2551	0.3942	0.3421
23	0.2642	0.4206	0.4031
24	0.2638	0.4385	
25	0.2784	0.4467	0.3219
26	0.2921	0.4715	0.3719
27	0.3355	0.5308	0.3914
28	0.3349	0.5257	0.2199
29	0.3225	0.5893	0.3851
30	0.2853	0.3125	0.3572
31	0.3152	0.2740	0.3784
32	0.3301	0.2700	0.3081
33	0.2817	0.2292	0.3232
34	0.3524	0.2863	

35	0.2498	0.2703	0.3013
36	0.3094	0.2491	
37	0.2694	0.2186	0.2520
38	0.2790	0.2008	

Data Penelitian Untuk 2 LPM

Titik	Rata - rata Arus (mA) untuk Frekuensi Eksitasi Akustik		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
1	0.4294	0.3736	0.2981
2	0.2258	0.1859	0.2548
3	0.3479	0.3189	0.2364
4	0.3449	0.3299	0.2462
6	0.2471		
7	0.4550	0.3945	0.2431
8	0.4396	0.4131	0.2297
9	0.4672	0.4420	0.2575
10	0.4381	0.4120	0.2545
11	0.4512	0.4684	0.2387
12	0.3221	0.3424	0.2579
13	0.3734	0.3698	0.3044
14	0.4282	0.5734	0.2480
15	0.1789	0.1511	0.1344
16	0.3479		
17	0.4136	0.3331	0.3154
18	0.3637	0.3497	0.1443
19	0.3658	0.3642	0.1804
20	0.3491	0.3203	
21	0.2660	0.2622	
23	0.3884	0.3735	
25	0.3542		
26	0.3470		
27	0.3923		
28	0.4181		0.1627
29	0.3668	0.3437	0.2356
31	0.3225	0.3652	
33	0.2875	0.3042	0.2689
34			
35			

36			
37			
38			

Data Penelitian Untuk 2,5 LPM

Titik	Rata - rata Arus (mA) untuk Frekuensi Eksitasi Akustik		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
1	0.3236	0.3580	0.3554
2	0.3165		
3	0.2614	0.2764	0.2803
4	0.3197	0.2730	0.2842
7	0.2825		
8	0.2350		
9	0.3105		
10	0.3161	0.3188	0.3264
11	0.2494	0.3226	0.3116
12	0.2916	0.2534	0.2638
13	0.3525	0.2836	0.3165
14	0.2587	0.2964	0.3256
15	0.1891	0.2431	0.2217
16		0.3885	0.2626
17	0.3834	0.3058	0.2736
18	0.4308	0.2965	0.2878
19	0.2194	0.2555	0.2329
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29	0.2200		
30			
31			
32			
33	0.2272	0.2774	

34			
35			
36			
37			
38			



