

27389/14106



TUGAS AKHIR
LL. 1327

**PENGARUH GELOMBANG REGULER PADA
INITIAL DILUTION OCEAN OUTFALL JENIS
BUOYANT JET**



Rsk
620.39
Irw
P-1
2006

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2-8-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	225651

OLEH :

MUNIF YUGA IRWANTO
4301.100.016

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2006**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH GELOMBANG REGULER PADA
INITIAL DILUTION OCEAN OUTFALL JENIS
BUOYANT JET**



MUNIF YUGA IRWANTO
4301.100.016

Surabaya, Juli, 2006

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Dr. Ir. Mukhtasor, M.Eng
NIP. 132 105 583

Pembimbing II

Sujantoko, ST. MT
NIP. 132 215 077

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, M.Sc
NIP. 131 417 209

ABSTRAK

Munif Yuga Irwanto¹
Mukhtasor²
Sujantoko³

Teknologi *marine treatment* atau sering disebut *Ocean outfall* merupakan rekayasa perpipaan bawah laut yang digunakan untuk membuang limbah cair dari daratan kelaut lepas sehingga memungkinkan terjadinya proses bio-fisik-kimia secara natural di laut. *Initial dilution* (dilusi) merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam suatu pendesainan *outfall*, yang mana merupakan ukuran perbandingan konsentrasi suatu polutan limbah cair pada saat di buang dengan konsentrasinya saat berada pada level kesetimbangan atau ketinggian tertentu. Penelitian ini terfokus pada bagaimana pengaruh faktor gelombang terhadap peningkatan nilai dilusi. Metode percobaan yang dilakukan di Laboratorium adalah dengan memberikan panas pada *effluent* yang kemudian dialirkan ke *Ambient* yang sudah di pengaruhi oleh gelombang regular. Dibandingkan dengan *initial dilution* (dilusi) pada air tenang, tingkat prosentase kenaikan nilai dilusi pada $z/L_M = 7.5$ adalah berkisar antara 42% sampai dengan 76%, sedangkan untuk $z/L_M = 5.7$ prosentase peningkatannya berkisar antara 57 % sampai dengan 81 %. Karena peningkatan nilai dilusi pada kasus ini lebih dari 50 % maka pengaruh gelombang harus tetap diperhatikan dalam proses penyebaran limbah.

Kata kunci : *Ocean Outfall, initial dilution, effluent*

ABSTRACT

Munif Yuga Irwanto¹
Mukhtasor²
Sujantoko³

Marine treatment technology usually called ocean outfall is underwater piping adjust that used to the sewage wastes from the shore to the sea in order to be possible consist of naturally bio-physic-chemical process at the sea. Initial dilution is one of the most important aspect at outfall design which is concentration compare of liquid sewage's pollutant on waste at concentration in balancing level or certain height. Recently, this research is focuss the influence of wave factor increasing dillution. The research method using diverse temperature of effluent that is conducted to ambient water which is affected by regular wave. Compared to initial dilution of stagnant water, increasing the dilution procentation at $z/L_M = 7.5$ is 42% to 57%. For the $z/L_M = 5.7$ increasing the dilution procentation is 57% to 81 % . Due to up to 50 % in procentation improvement, wave influence should be accounted in sewage wastes.

Key words : *Ocean Outfall, initial dilution, effluent*

¹⁾ Mahasiswa Teknik Kelautan

²⁾ Dosen Pembimbing

³⁾ Dosen Pembimbing



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Warahmatullahi Wabaraktuh,

Dengan menyebut nama Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan perlindungan kepada umat manusia, atas ssidlo-Nya kami diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai bagian dari amanah kami dalam rangka memberikan kontribusi ilmiah di lingkungan akademis. Salam dan sholawat tak lupa kami peruntukkan untuk junjungan dan suri tauladan kami Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah diperoleh selama menempuh kuliah di Fakultas Teknologi Kelautan Jurusan Teknik Kelautan ITS. Topik yang diambil dalam tugas akhir ini berkaitan erat dengan sistem pembuangan limbah yang disebut *ocean outfall*.

Saya percaya bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kelemahan baik dalam penulisan maupun substansinya, oleh karena itu saran dan kritik senantiasa saya harapkan dan saya terima untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Saya ucapkan terima kasih atas sarandan kritiknya, semoga Allah SWT menjadikan amaliah dan mendapatkan balasan. Amin

Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabaraktuh,



UCAPAN TERIMA KASIH

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pembuatan laporan tugas akhir ini penulis mendapatkan bimbingan yang begitu berarti dari beberapa pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis terutama kepada :

1. Kedua orang tua penulis serta keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan dan bantuannya baik secara moril maupun materiil.
2. Dr. Ir. Mukhtasor, M,Eng selaku dosen pembimbing I .
3. Sujantoko, ST. MT selaku dosen pembimbing II.
4. Ir. Arief Suroso, M.Sc selaku Kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut.
5. Bapak Aris dan Bapak Arif selaku Teknisi Laboratorium yang selalu membantu dalam semua percobaan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut.
6. Albatroz 2001 yang selalu memberikan saran dan kritikan serta pemikiran sehingga tugas akhir ini jauh lebih sempurna.
7. Serta rekan-rekan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR ISTILAH	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Pengertian <i>Sea Outfall</i>	6
2.3 <i>Turbulent Buoyant Jet</i>	7
2.4 Pengaruh Gelombang Pada <i>Initial Dilution</i>	10
2.5 Permodelan Fisik <i>Initial Dilution</i>	16
2.6 Analisa Dimensi	17
2.7 Analisa Regresi Linear	18

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Prosedur Umum	23
3.2	Tempat dan Waktu Percobaan	27
3.3	<i>Flume Tank</i> dan Pembuat Gelombang	27
3.4	Desain Eksperimen dan Instrumentasi	30
3.4.1	Alat-alat dan Bahan	30
3.4.2	Prosedur Percobaan <i>Initial Dilution</i>	32
3.5	Kalibrasi Termokopel	32
3.6	Metode Desain & Analisa Data Percobaan	34
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1	Karakteristik Parameter Percobaan	36
4.2	Batasan Pemakaian Teori Gelombang	38
4.3	Hasil Percobaan <i>Initial Dilution</i> di Laboratorium	39
4.4	Pengaruh Perubahan <i>Wave Periode (T)</i> dan <i>Wave Amplitude (a)</i> Terhadap <i>Initial Dillution</i>	44
4.5	Studi Kasus di Pantai Spaniard	47
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Parameter-parameter Percobaan	36
Tabel 4.2 Karakteristik <i>Discharge</i> di Daerah Tertentu	37
Tabel 4.3 Data fungsi H/d dan d/L untuk penerapan teori gelombang	39
Tabel 4.4 Data hasil percobaan di laboratorium	40
Tabel 4.5 Prosentase Peningkatan Nilai dilusi	41
Tabel 4.6 Karakteristik <i>Ocean Outfall</i> Pantai Spaniard, Pantai Timur Newfoundland, Canada	48
Tabel 4.7 Asumsi parameter gelombang	48
Tabel 4.8 Skala panjang	49
Tabel 4.9 Nilai <i>initial dilution</i>	49





DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Turbulent Buoyant Jet Discharging Homogeneous</i>	8
Gambar 2.2 Parameter Gelombang	11
Gambar 2.3 Gerak Orbit Partikel Air Laut	12
Gambar 2.4 <i>Region of Validity</i>	14
Gambar 3.1 Skema kerja percobaan <i>outfall dilution</i> .	26
Gambar 3.2 Komputer Kontrol laboratorium <i>flume tank</i>	29
Gambar 3.3 Wave Maker Control Program	29
Gambar 3.4 Pembangkit Gelombang	30
Gambar 3.5 <i>Wave Tank</i> di Jurusan Teknik Kelautan	31
Gambar 3.6 <i>Termocouple</i>	31
Gambar 3.7 <i>Heater</i> yang dipakai untuk memanaskan <i>effluent</i>	32
Gambar 3.8 Kurva Kalibrasi Sensor 1	33
Gambar 3.9 Kurva Kalibrasi Sensor 2	34
Gambar 4.1 Hasil Percobaan Dilusi (S/So) Untuk $z/L_M = 7.5$	42
Gambar 4.2 Hasil Percobaan Dilusi (S) Untuk $z/L_M = 7.5$	42
Gambar 4.3 Hasil Percobaan Dilusi (S/So) Untuk $z/L_M = 5.7$	43
Gambar 4.4 Hasil Percobaan Dilusi (S) Untuk $z/L_M = 5.7$	43
Gambar 4.5 Kurva Perbandingan (S/So) dengan <i>Wave Periode</i> (T) Pada $z/L_M = 7.5$	45
Gambar 4.6 Kurva Perbandingan (S/So) dengan <i>Wave Periode</i> (T) Pada $z/L_M = 5.7$	45
Gambar 4.7 Kurva Perbandingan (S/So) dengan <i>Wave Amplitude</i> (a) pada $z/L_M = 7.5$	46
Gambar 4.8 Kurva Perbandingan (S/So) dengan <i>Wave Amplitude</i> (a) pada $z/L_M = 5.7$	46
Gambar 4.9 General layout <i>Outfall</i> pantai Spaniard	47



DAFTAR ISTILAH

DAFTAR ISTILAH

<i>Effluent</i>	: Limbah cair yang dibuang ke <i>ambient</i>
<i>Ambient</i>	: Lingkungan
WWT	: <i>Waste water treatment</i>
<i>Non Conservatif</i>	: zat yang mudah berubah dalam kurun waktu yang cukup lama
<i>Port</i>	: saluran perpipaan yang dapat mengalirkan <i>effluent</i>
BDNF	: <i>Buoyancy-dominated jet near field</i>
BDFE	: <i>Buoyancy-dominated jet far field</i>
Arus <i>co-flow</i>	: arus yang searah dengan keluarnya limbah dari <i>port</i>
<i>Plume</i>	: gumpalan-gumpalan seperti smoke yang keluar dari <i>port</i> di mana <i>buoyancy</i> lebih dominan daripada momentum
<i>Buoyant Jet</i>	: gumpalan-gumpalan seperti smoke yang keluar dari <i>port</i> di mana besarnya <i>buoyancy</i> sama dengan momentum
<i>Single-port discharge</i>	: sistem pembuangan limbah dengan <i>port</i> tunggal
<i>Multi-port discharge</i>	: sistem pembuangan limbah dengan <i>port</i> banyak



DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

Y	=	Jarak vertikal dari <i>port</i> ke permukaan bebas
D	=	Diameter <i>port</i>
V	=	Kecepatan aliran jet
ρ	=	Massa jenis larutan <i>effluent</i>
ρ_0	=	Massa jenis air penerima
g	=	Percepatan gravitasi
S	=	<i>Initial dilution</i>
C_d	=	Konsentrasi <i>effluent</i>
C_a	=	Konsentrasi <i>ambient</i>
C	=	Konsentrasi pada kesetimbangan
T_d	=	Temperatur <i>effluent</i>
T_a	=	Temperatur <i>ambient</i>
T	=	Temperatur pada level kesetimbangan
L	=	Panjang gelombang
a	=	Amplitude gelombang
T	=	Periode gelombang
h, d	=	Kedalaman air
u, w	=	Komponen percepatan horizontal dan vertikal (cm/s)
σ	=	Frekuensi gelombang
k	=	Wave number
M	=	Momentum
B	=	Buoyancy
Q	=	Volume flux
θ_1, θ_2	=	Sudut anatar ujung pipa dengan arah horizontal gelombang
L_M	=	Skala panjang di luar aliran <i>plume</i> yang di dominasi oleh <i>buoyancy</i>
L_Q	=	Skala panjang yang merupakan akar dari luasan mulut pipa
A	=	Luasan mulut pipa
U_{max}	=	Kecepatan maksimal partikel gelombang horizontal

- H = Tinggi gelombang
 S_0 = *Initial dillution* kondisi air tenang
 \hat{y} = Prediksi (taksiran) dari y



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Limbah merupakan permasalahan pokok dalam kehidupan manusia, mulai dari limbah dari industri-industri sampai limbah rumah tangga. Agenda 21-Indonesia menggambarkan persoalan limbah cair yang dibedakan dari jenis limbah bahan beracun dan berbahaya. Limbah cair rumah tangga juga mengandung bakteri *faecal coliform* dalam konsentrasi tinggi yang dihasilkan dari buangan manusia atau tinja (Mukhtasor,1997). Yang menjadi pokok permasalahan adalah bagaimana limbah-limbah tersebut dibuang ke lingkungan, yang dimaksud disini adalah lingkungan laut, dengan menggunakan fasilitas pembuangan limbah dari badan pantai ke laut yang tidak mencemari dan merusak lingkungan. Fasilitas pembuangan harus didesain sedemikian rupa sehingga *effluent* tercampur efektif dengan perairan lingkungan melalui suatu proses pencampuran atau dilusi/pelarutan. Dilusi terjadi karena adanya perbedaan pH, temperatur dan densitas antara *effluent* dengan ambient serta diekspresikan dalam kondisi *centerline dilution*.

Teknologi *marine treatment* atau yang sering disebut dengan istilah *ocean outfalls* merujuk pada rekayasa perpipaan bawah laut yang digunakan untuk membuang limbah cair dari daratan kelaut lepas sehingga memungkinkan terjadinya proses biokimia secara natural di laut. Selanjutnya, bahan-bahan organik, nutrien dan bakteri yang terkandung di dalam limbah dapat terdegradasi oleh proses kimia. Sebelum dibuang kelaut, limbah diolah dengan derajat pengolahan yang lebih rendah daripada persyaratan yang ditetapkan oleh WWT, akibatnya biaya pengolahan menjado murah. Oleh karena itu teknologi *marine treatment* memanfaatkan faktor alami di laut untuk menurunkan konsentrasi limbah di samping dengan pengolahan di daratan (Mukhtasor,2001).

Dalam perkembangannya, pembuangan limbah ke laut telah menggunakan berbagai macam cara untuk menghasilkan limbah yang ramah lingkungan dimana effluen dapat tercampur secara efektif dengan air laut dan mereduksi konsentrasinya. Untuk membuang limbah yang merupakan fluida yang terkontaminasi ini dari darat ke perairan pantai, dibutuhkan suatu fasilitas yang berupa perpipaan atau *tunnel* di dasar laut yang sering disebut sebagai *ocean outfall*. *Ocean outfall* umumnya digunakan untuk membuang limbah *non konservatif*. *Ocean outfall* ini diharapkan memberikan dilusi yang efektif sehingga dapat mengurangi dampak pencemaran.

Untuk perancangan *ocean outfall* diperlukan berbagai klasifikasi yang meliputi konstruksi, jumlah *port*, orientasi *discharge*, stratifikasi density di air laut, arus air laut dan gelombang. Diantara klasifikasi tersebut, gelombang dan arus air laut merupakan faktor yang cukup signifikan yang dapat mempengaruhi konstruksi, jumlah *port*, dan orientasi *discharge* dari *ocean outfall*.

Suatu penyelidikan secara eksperimental perlu dilakukan untuk mengetahui secara detail perilaku dari *buoyant jet* dan *initial dillution* (dilusi awal) pada kasus pembuangan limbah melalui suatu *outfall* dalam fluida yang bergerak dengan perbedaan densitas yang sangat kecil. Penelitian yang lain seperti yang dilakukan Mukhtasor, dkk (2002) menghasilkan pendekatan baru mengenai pemodelan *initial dillution* pada daerah *buoyancy-dominated jet*, baik pada BDNF maupun BDFE, yang lebih sistematis dari model asimtotik (Lee and Cheung, 1991). Pribadi (2005) dalam tugas akhirnya menganalisa bagaimana cara ataupun metode yang paling baik yang digunakan pada fasilitas pembuangan agar *effluent* dapat diarahkan pada proses alami dalam laut sehingga limbah stabil dan tidak merusak lingkungan dengan melakukan variasi sudut *port* pada arus *co-flow*.

Pribadi (2005) dalam tugas akhirnya menganalisa bagaimana cara ataupun metode yang paling baik yang digunakan pada fasilitas pembuangan agar *effluent* dapat

diarahkan pada proses alami dalam laut sehingga limbah stabil dan tidak merusak lingkungan dengan melakukan variasi sudut *port*.

Penelitian ini hanya untuk kasus *effluent* yang dipengaruhi oleh gelombang reguler untuk mendapatkan nilai *initial dilution ocean outfall* jenis *buoyant jet*, karena pada kenyataannya gelombang juga sangat berpengaruh pada pendesainan *ocean outfalls*.

Pada *outfalls* tipe tertentu seperti kedalaman air 7.7 m, periode gelombang 5 detik dan amplitude sebesar 30 cm akan menaikkan dilusi sebesar 2 kali. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengaruh gelombang seharusnya dihitung dalam pendesainan (Chin, 1987). Pada percobaan Chin (1987), kedalaman *discharge* (H) sama dengan dengan jarak *plume* dari ujung *port* ke ujung sensor (z). Dalam penelitian kali ini, kita meneruskan percobaan yang dilakukan oleh Chin (1987) namun harga kedalaman pelepasan *discharge* tidak sama dengan harga kedalaman pelepasan *discharge* untuk mendapatkan *initial dilution*nya akibat dipengaruhi oleh gelombang reguler.

Karena pengaruh gelombang sangat signifikan pada proses pendesainan *ocean outfalls* dan masih belum adanya model-model penelitian yang dilakukan, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *initial dilution* pada *ocean outfalls*.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah bagaimana pengaruh gelombang reguler pada *initial dilution ocean outfalls* jenis *buoyant jet* ?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil suatu tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu mengetahui pengaruh gelombang reguler pada *initial dilution ocean outfalls* jenis *buoyant jet*

1.4. Manfaat

Beranjak dari tujuan yang ingin dicapai, maka tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan karakterisasi *initial dilution* akibat pengaruh gelombang reguler pada suatu *outfalls*, sehingga dalam perancangan *ocean outfall* dapat di lakukan dengan baik.

1.5. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang akan dipecahkan tidak terlalu meluas maka perlu adanya batasan masalah, sebagai berikut:

1. Pemodelan dilusi hanya dipengaruhi oleh gelombang reguler
2. Fluida buangan atau *effluent* bersifat *incompressible* dan *inviscid*.
3. Struktur *outfall* menggunakan satu saluran pembuangan.
4. pengaruh zat pewarna terhadap perubahan massa jenis *effluent* diabaikan.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Teknologi *ocean outfall* merupakan rekayasa perpipaan bawah laut yang digunakan untuk mengalirkan limbah cair ke laut lepas sehingga terjadi penguraian limbah secara alami, faktor alam yang dimanfaatkan untuk memproses kandungan limbah tersebut adalah konsentrasi oksigen terlarut untuk menurunkan konsentrasi limbah tersebut.

Banyak penelitian mengenai *ocean outfall* yang pernah dilakukan, seperti yang telah dilakukan oleh Gawad (1996), yang melakukan percobaan tentang kestabilan profil dari sirkulasi *nonbuoyant submerged* dan *surface jets discharge* dalam aliran ambient *cross-flow* pada daerah *near-field*. Sedangkan Kim (2001), melakukan pemodelan tentang proses pencampuran air panas discharge pada sebuah *submerged multiport diffuser*. Penelitian yang lain seperti yang dilakukan Mukhtasor, dkk (2002) menghasilkan pendekatan baru mengenai pemodelan *initial dilution* pada daerah *buoyancy-dominated jet*, baik pada BDNF maupun BDFD, yang lebih sistematis dari model asimtotik (Lee and Cheung, 1991). Untuk kasus studi yang lain, Pribadi (2005) dalam tugas akhirnya menganalisa bagaimana cara ataupun metode yang paling baik yang digunakan pada fasilitas pembuangan agar effluen dapat diarahkan pada proses alami dalam laut sehingga limbah stabil dan tidak merusak lingkungan dengan melakukan variasi sudut port pada arus *co-flow*. Namun demikian perlu diketahui bahwa kondisi dilapangan sering mengalami perubahan sesuai dengan perubahan alam dan penelitian yang ada perlu dikembangkan untuk menghasilkan metode yang paling baik untuk digunakan pada fasilitas pembuangan agar limbah stabil dan tidak merusak lingkungan.

Initial dilution merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam suatu pendesainan *Outfall*, yang mana merupakan ukuran perbandingan konsentrasi dari suatu polutan limbah cair pada saat dibuang dengan konsentrasinya saat berada pada level kesetimbangan, baik pada permukaan atau di dasar laut (Mukhtasor, dkk. 2002). Sedangkan gerakan ini timbul karena adanya perbedaan densitas dan temperatur dari air limbah dengan air laut. Besarnya nilai dilusi dapat digambarkan sebagai lintasan seperti *smoke*, warna, dan panas

Penyebaran limbah cair dari suatu keluaran *Ocean Outfall* ke badan air laut diduga analog dengan keluarnya asap dari suatu cerobong pabrik. Dalam analog ini sebaran limbah cair yang keluar dari suatu *port* naik dan menyebar sebagai akibat adanya gaya *buoyancy* (Wright, 1977). Faktor yang berpengaruh terhadap perilaku penyebaran limbah cair ini adalah sifat fisik dan sifat kimia *effluent*, keadaan lingkungan air laut (suhu, densitas, salinitas) dan kecepatan alir *effluent* itu sendiri.

2.2 Pengertian *Sea Outfall*

Outfall merupakan salah satu struktur hidraulika yang menghubungkan antara *dry land headwork* dengan lokasi terminal pembuangan pada suatu sistem pembuangan limbah (Jirka, 2002). *Outfall* tersusun oleh tiga komponen penyusun, yaitu :

1. *Onshore headwork* (gravity atau pumping basin)
2. *Feeder pipe line*, yang menghubungkan limbah cair atau *effluent* ke suatu area lingkungan dimana limbah itu dibuang.
3. *Diffuser*, yang merupakan bagian ujung pembuangan dimana *effluent* dibuang ke perairan laut melalui *port* atau *risers dispersing*, sehingga meminimumkan kerugian terhadap kualitas air laut.

Dari segi perancangan, struktur *Outfall* dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Berdasarkan konstruksi : perpipaan
2. Berdasarkan jumlah *port* : *single port discharge* dan *multi port discharge*.

Dalam penggunaannya, *Outfall* digunakan untuk pembuangan limbah-limbah yang bersifat non konservatif, seperti limbah bakteri, bahan-bahan organik dan limbah cairan panas.

Keluaran *ocean outfall* yang berupa penyebaran limbah cair ke badan air laut diduga analog dengan keluarnya asap dari suatu cerobong pabrik (Wright, 1977). Dalam analog ini sebaran limbah cair yang keluar dari suatu *port* akan naik dan menyebar sebagai akibat adanya gaya *buoyancy*.

Effluent yang dibuang kedalam aliran pada umumnya memerlukan dilusi yang signifikan kedalam daerah yang luasannya terbatas. Salah satu jalan efektif pada dilusi ini adalah membuang *effluent* dengan perputaran *turbulent jet* atau tipe-tipe jet serta tegak lurus dengan aliran.

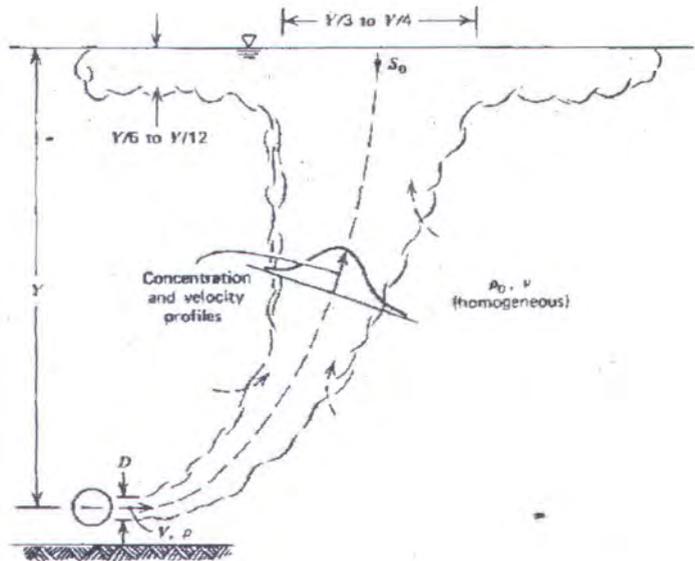
2.3 *Turbulent Buoyant Jet*

Pada Gambar 2.1 di bawah merupakan sebuah *Effluent* yang menyebar secara horizontal menuju air yang homogen dan naik ke permukaan. Y merupakan jarak vertikal dari *port* ke permukaan bebas, D adalah diameter *port*, V dan ρ adalah kecepatan jet dan masa jenis, ρ_0 adalah masa jenis air penerima, dan S_0 adalah garis tengah permukaan dilusi. *Effluent* dan air penerima diasumsikan memiliki kecepatan viskositas yang sama v . Percepatan gravitasi, yang sama dengan gaya *buoyancy* per unit masa dari *effluent* diberikan sebagai berikut pada Persamaan 2.1,

$$g' = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} g \quad (2.1)$$

Dimensi ketebalan relatif *plume* yang diinginkan adalah untuk mencapai dilusi yang banyak sebelum *effluent* ke permukaan. Geometri dari *plume* dan resultan dari *effluent dilution* bergantung pada rasio dari kedalaman air terhadap diameter

port, momentum dari jet, dan gaya buoyancy akibat perbedaan masa jenis *effluent* dan air penerima. Ketika *effluent* naik, konsentrasi dan masa jenis *effluent* dan gaya buoyancy menurun, dan *plume* menyebar ke samping. Konsentrasi *effluent* dan kecepatan jet bernilai maksimum sepanjang garis tengah *plume* dan semakin berkurang jika berada diluar garis tengah *plume*.



Gambar 2.1 Turbulent buoyant jet discharging homogeneous receiving water (Robert M.Sorensen,1998)

Pada arah horizontal, momentum fluks maksimum pada saat pelepasan. Setelah itu, momentum secara kontinyu berkurang hingga mendekati nol ketika berlawanan dengan komponen horizontal gaya shear turbulent. Komponen horizontal dari kecepatan jet berkurang dari maksimum pada saat pelepasan menjadi nol ketika mencapai permukaan

Pada arah vertikal, pada awalnya hanya gaya *buoyancy* yang berpengaruh dan mengakibatkan jet mendapat momentum fluks vertikal, sehingga meningkatkan komponen percepatan. Sepanjang jet aksis, penurunan gaya *buoyancy* dan peningkatan komponen shear vertikal, berhubungan dengan perubahan arah jet

dan meningkatkan kecepatan jet, menyebabkan percepatan vertikal berkurang secara kontinyu. Jika *plume* cukup panjang, kemungkinan gaya *buoyancy* akhirnya menjadi lebih kecil dari gaya turbulen shear dan mengakibatkan jet menjadi berkurang kecepatannya dan mungkin saja berhenti pada suatu titik dibawah permukaan air. Gaya *buoyant* bahkan bisa menjadi negatif jika *effluent* bercampur dengan padatan dasar laut sehingga masa jenisnya menjadi lebih besar dari *effluent* tanpa padatan dasar laut. *Plume* tersebut tampak seperti terperangkap dibawah permukaan jika ada *thermocline* yang berperan sebagai penutup.

Salah satu aspek yang paling penting dalam suatu pendesainan *outfall* adalah *initial dilution* yang terjadi dikarenakan adanya *entrainment* disekitar fluida selama *effluent* bergaerak *rising* atau *sinking* dari *port*. *Initial dilution* merupakan ukuran perbandingan konsentrasi dari suatu polutan limbah cair pada saat dibuang dengan konsentrasinya saat berada pada level kesetimbangan, baik pada permukaan atau di dasar laut (Mukhtasor dkk, 2002).

Initial dilution adalah salah satu aspek terpenting dalam melakukan desain *outfall*, yaitu merupakan perbandingan dari konsentrasi polutan atau limbah yang dibuang dengan konsentrasi setelah mencapai level kesetimbangan (Mukhtasor dkk, 2002), dan dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{(C_d - C_a)}{(C - C_a)} \quad (2.2)$$

dimana :

- S = *initial dilution*
- C_d = konsentrasi *effluent*
- C_a = konsentrasi *ambient*
- C = konsentrasi pada kesetimbangan

Untuk suhu *effluent* yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan suhu *ambient*, maka dapat dirumuskan :

$$S = \frac{(T_d - T_a)}{(T - T_a)} \quad (2.3)$$

dengan :

T_d = temperatur *effluent* ($^{\circ}\text{C}$)

T_a = temperatur *ambient* ($^{\circ}\text{C}$)

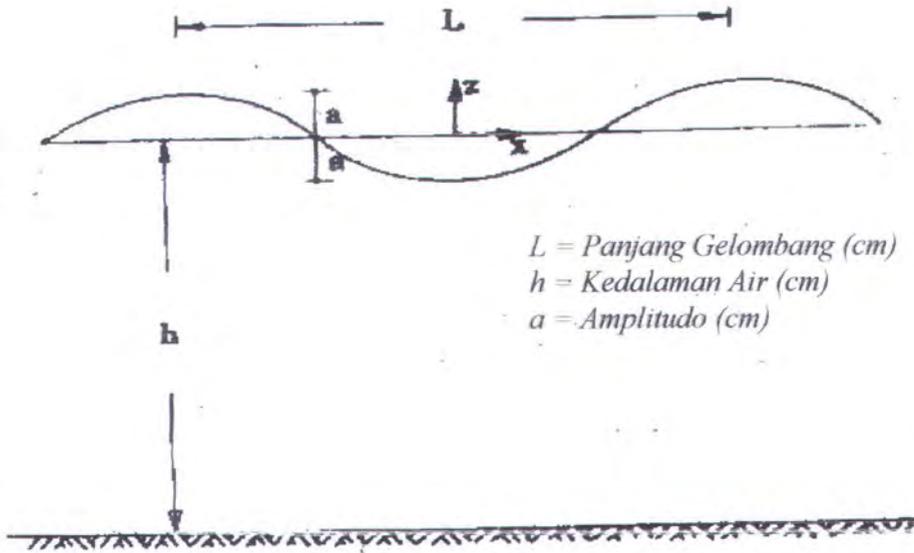
T = temperatur pada level kesetimbangan ($^{\circ}\text{C}$)

2.4 Pengaruh Gelombang Pada *Initial Dillution*

Gelombang dilaut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung gaya pembangkitnya, ada gelombang oleh tiupan angin, pasang surut, tsunami, dan lain sebagainya. Gelombang dapat menimbulkan energi serta menimbulkan arus sehingga sehingga dapat menjadi faktor utama dalam perencanaan suatu bangunan pantai. Adapun parameter-parameter gelombang yang merupakan karakteristik suatu gelombang seperti panjang gelombang, amplitudo gelombang dan periode gelombang. Panjang gelombang (L) merupakan jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan, amplitudo gelombang (a) merupakan jarak vertikal antara puncak gelombang atau lembah dengan muka air tenang, sedangkan periode gelombang (T) adalah waktu yang dibutuhkan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya (Bambang Triatmodjo,1999).

Ocean outfalls pada dasarnya dibuang ke laut lepas, regulasi pembuangannya menentukan desain *outfalls* dari pembuangan limbah ke daerah pencampurannya sesuai dengan kriteria kualitas air. Pengaruh permukaan gelombang pada dilusi pembuangan *buoyancy* yang diteliti. Karena efek dari permukaan gelombang pada umumnya meningkatkan dilusi, oleh sebab itu desain *outfalls* akan menjadi konservatif. Bagaimanapun sejak permukaan gelombang pada kondisi yang lazim,

khususnya pada *outfalls* yang dangkal dapat menjadikan nilai desain *outfalls* lebih ekonomis. Dibawah ini ada Gambar 2.2 tentang parameter gelombang.



Gambar 2.2 Parameter gelombang (Triatmodjo, B,1999)

Gerakan-gerakan yang dipengaruhi oleh gelombang mungkin dirata-rata dari Teori Amplitudo Gelombang Kecil (Teori gelombang *Airy*). Kecepatan horizontal dan vertikal dipengaruhi oleh gelombang *two-dimensional planar*.

$$u = \frac{agk \cosh k(d+y)}{\sigma \cosh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (2.4)$$

$$w = \frac{agk \sinh k(d+z)y}{\sigma \cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (2.5)$$

dimana :

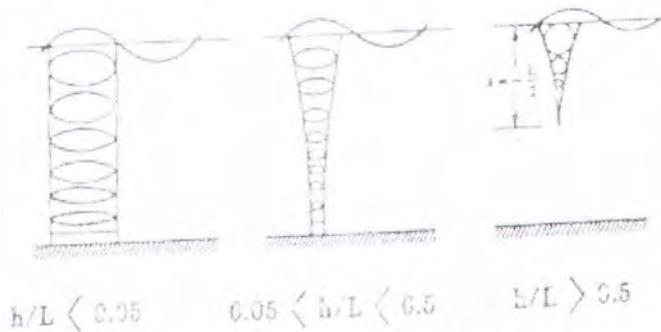
- u dan w = komponen percepatan horizontal dan vertikal (cm/s)
- h = kedalaman air (cm)
- a = amplitudo gelombang (cm)
- σ = frekuensi gelombang ($\sigma = \frac{2\pi}{T}$)(Hz)
- k = wave number ($k = \frac{2\pi}{L}$)
- L = panjang gelombang (cm)

Nilai dilusi dari *effluent* pada gerak gelombang merupakan fungsi dari parameter kontrol pada *buoyant jet* dan gelombang permukaan, termasuk faktor dari pengaruh kinematik dan dinamik dari *buoyant jet* seperti :

- momentum, M
- buoyancy, B
- kedalaman discharge, z .

Parameter yang menjelaskan gerakan dari gelombang permukaan adalah kedalaman air, h ; amplitudo gelombang, a ; periode gelombang, T ; dan gravitasi g .

Adapun pengaruh rasio h/l seperti pada gambar 2.5, $h/l < 0.05$ perairan dangkal, $0.05 < h/l < 0.5$ perairan sedang, sedangkan $h/l > 0.5$ adalah laut dalam.



Gambar 2.3 Gerak orbit partikel air laut

Ada dua variabel lagi yang dapat menjelaskan hubungan antara buoyant jet dan gelombang permukaan adalah sudut antara pelepasan dengan arah horizontal, θ_1 ; dan sudut antara pelepasan dengan arah perambatan gelombang, θ_2 . Dari beberapa parameter seperti diatas, karakteristik dari nilai dilusi dirumuskan sebagai berikut,

$$S = f(M, B, Q, z, T, a, g, \theta_1, \theta_2) \quad (2.6)$$

Dimana:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 v_o \quad (\text{cm}^3/\text{s}) \quad (2.7)$$

$$M = Q v_o \quad (\text{cm}^4/\text{s}^2) \quad (2.8)$$

$$B = Q g_o \quad (\text{cm}^4/\text{s}^3) \quad (2.9)$$

v_o = Kecepatan *effluent*

a = Amplitudo gelombang (cm)

T = Periode gelombang (det)

Dengan menondimensionalkan persamaan-persamaan diatas, maka kita dapatkan nilai dilution awal (*initial dilution*) dari *buoyant jet* seperti pada Persamaan 2.10 dibawah.

$$S = f\left(\frac{z}{L_M}, \frac{L_M}{L_Q}, \frac{Z_M}{L_Q}, \frac{h}{L}, \theta_1, \theta_2\right) \quad (2.10)$$

dimana skala panjang :

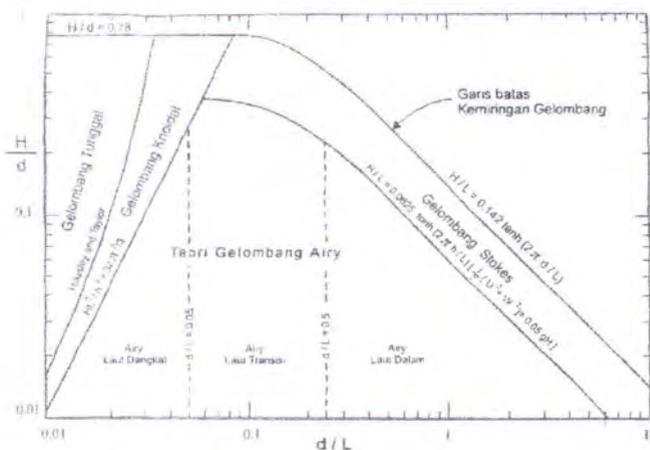
$$L_Q = \frac{Q}{M^{1/2}} = (A)^{1/2} \quad (\text{cm}) \quad (2.11)$$

$$L_M = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} \quad (\text{cm}) \quad (2.12)$$

$$Z_m = \frac{M^{1/2}}{U_{\max}} \quad (\text{cm}) \quad (2.13)$$

Dimana L_M adalah skala panjang diluar aliran plume yang didominasi oleh *buoyancy*; L_Q adalah skala panjang yang merupakan akar dari luasan area mulut pipa; A merupakan area dari mulut pipa; dan U_{\max} adalah kecepatan maksimal partikel gelombang horizontal.

Untuk menentukan persamaan kecepatan partikel gelombang dapat ditentukan dengan memplotkan perbandingan kedalaman dan panjang gelombang (d/L) serta perbandingan tinggi gelombang dan kedalaman (H/d). Dari hasil memplot parameter-parameter gelombang tersebut, kita dapat mengetahui jenis teori gelombang apakah Teori Gelombang Airy, Stokes, Knoidal atau tunggal yang dapat digunakan dalam menentukan kecepatan maksimum partikel suatu gelombang (U_{\max}). Beberapa parameter tersebut dapat diplot pada grafik *Region of Validity* seperti pada Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Region of validity (Triatmodjo. B,1999)

Dari Teori gelombang yang didapatkan, maka Persamaan kecepatan partikel suatu gelombang juga bisa diketahui. Pada penelitian Chin (1987), teori gelombang yang digunakan adalah Teori Gelombang *Airy* di mana nilai Y (kedalaman pelepasan *effluent*) sama dengan kedalaman air (d) pada saat percobaan. Oleh karena itu kecepatan maksimum partikel gelombang dari kecepatan partikel gelombang pada Persamaan 2.4 menjadi,

$$u_{\max} = \frac{agk \cosh k(d + y)}{\sigma \cosh kd} \quad (2.14)$$

karena nilai kedalaman air (d) dan kedalaman pelepasan *effluent* (y) pada penelitian Chin (1987) sama, maka nilai u_{\max} sebagai berikut :

$$u_{\max} = \frac{agk}{\sigma \cosh kd} \quad (2.15)$$

Pada Persamaan 2.10 yang merupakan hasil menondimensionalkan Persamaan 2.6, nilai *initial dilution* (dilusi) dari *buoyant jet* yang dibandingkan dengan dilusi pada air tenang dapat diperoleh sebagai berikut ;

$$\frac{S}{S_0} = f\left(\frac{z}{L_m}, \frac{L_m}{L_q}, \frac{Z_m}{L_q}, \frac{h}{L}, \theta_1, \theta_2\right) \quad (2.16)$$

dengan dilusi air tenang (S_0)

$$S_0 = 0.126 \left(\frac{z}{L_M}\right)^{5/3} \left(\frac{L_M}{L_Q}\right) \quad (2.17)$$

Dari persamaan diatas berisi kelompok variabel non-dimensional yang menandai kenaikan dari *effluent* akibat gerakan gelombang. Perbandingan kedalaman dengan skala panjang diluar aliran plume yang didominasi oleh *buoyancy* dan perbandingan skala panjang diluar aliran plume yang didominasi oleh *buoyancy* dengan skala panjang dimana karakteristik aliran dipengaruhi oleh geometri jet, merupakan parameter non-dimensional yang sangat mempengaruhi S_o , tetapi, bagaimanapun juga mereka menjadi kecil pengaruhnya dalam meningkatkan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang pada *buoyant jet* ketika $H \gg L_m \gg L_q$. Pada penelitian selanjutnya diperoleh $\theta_1 = 0$ dan Persamaan (2.16) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{S}{S_o} = f\left(\frac{Z_M}{L_Q}, \frac{h}{L}, \theta_1\right) \quad (2.18)$$

2.5 Pemodelan Fisik *Initial Dilution*

Pemodelan fisik dibuat agar dapat memprediksi perilaku suatu model yang akan dibangun dengan prinsip *similiaritas* yang memadai di laboratorium (Hughes, 1993).

Dalrymple (1985) menunjukkan dua keuntungan menggunakan pemodelan fisik untuk proses-proses pantai, yaitu :

1. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan fisik tanpa penyederhanaan asumsi sebagaimana yang digunakan untuk model matematis atau model analitis.
2. Dengan model dalam skala kecil akan mengurangi biaya jika dibandingkan dengan pengumpulan data lapangan yang sulit dicapai secara simultan.

Akan tetapi Hughes (1993) menyatakan bahwa pemodelan fisik juga terdapat beberapa kesalahan yang mungkin terjadi, diantaranya :

1. Efek skala

Terjadi karena model lebih kecil dari prototip yang sebenarnya, sehingga tidak mungkin mensimulasikan semua *variabel* yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain.

2. Efek laboratorium

Dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan, karena tidak mampu untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis serta pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.

3. Kadangkala fungsi gaya dan kondisi batas yang terjadi di alam tidak dimasukkan dalam pemodelan fisik.

4. Pemodelan fisik sangat mahal untuk dioperasikan dibandingkan dengan pemodelan matematis.

Model pembuangan limbah panas pada sistem *outfall* melibatkan beberapa proses fisika yang bervariasi dan kompleks, diantaranya adalah proses injeksi, dispersi dan pendinginan limbah panas saat terjadi pelarutan dengan air laut, sehingga dibutuhkan prinsip kesebangunan dalam pemodelan fisik.

2.6 Analisa Dimensi

Analisa dimensi merupakan prosedur rasional untuk mengkombinasi variabel fisik kedalam hasil atau bilangan tak berdimensi, dengan mengurangi jumlah variabel yang masih dipertimbangkan (Hughes, 1993).

Salah satu cara yang digunakan dalam menentukan bilangan tak berdimensi adalah teori *Buckingham* yang merupakan prosedur sistimatis dalam menentukan nilai atau produk tak berdimensi yang komplit, yang berasal dari beberapa variabel proses, dan didahului oleh petunjuk berapa banyak bilangan tak berdimensi yang

dibentuk. Teori *Buckingham* akan dipakai dalam penelitian ini untuk menentukan bilangan tak berdimensi.

Dalam teori *Buckingham* (dalil Π) membuktikan bahwa dalam suatu soal fisik yang menyangkut “n” besaran di mana terdapat “m” dimensi, besaran-besaran tersebut dapat diatur dalam “n-m” parameter tanpa-dimensi bebas. Dengan $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ dimaksudkan besaran-besaran seperti tekanan, viskositas, kecepatan, dan sebagainya. Kita ketahui bahwa semua besaran tersebut mutlak dan harus mempunyai hubungan fungsional untuk penyelesaiannya.

$$F(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = 0 \quad (2.19)$$

Jika Π_1, Π_2, \dots , menunjukkan kelompok-kelompok tanpa dimensi dari besaran-besaran A_1, A_2, A_3, \dots , maka dengan tersangkutnya “m” dimensi, terdapat persamaan yang berbentuk

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{n-m}) = 0 \quad (2.20)$$

2.7 Analisa Regresi Linear

Dalam mengolah data penelitian, hubungan antara dua atau lebih peubah selalu penting untuk ditentukan. Hubungan tersebut mungkin renggang, seperti dalam *assosiasi*, atau mungkin pula erat. Pada satu pihak, dua peubah mungkin bebas satu sama lain. Dalam keadaan seperti itu, korelasinya nol. Pada pihak yang lain, kedua peubah bergantung sepenuhnya pada yang lain. Bila hubungan kedua peubah tersebut linear (keduanya disebut kolinear) maka harga mutlak korelasinya satu.

Model-model yang digunakan akan selalu berbentuk fungsi dan regresi yang merupakan alat yang ampuh dalam pembentukkannya. Data-data yang dipakai

mungkin berasal dari percobaan dalam laboratorium (ada control) ataupun dari lapangan (sigi). Kedua jenis data berbeda dalam hal; yang pertama tidak lagi menggambarkan keadaan yang ilmiah, tapi telah dimanipulasi sesuai dengan tujuan si pencoba. Data sigi menggambarkan keadaan yang alamiah, mengandung pengaruh banyak peubah yang bekerja sama secara amat rumit. Kesimpulan yang dapat diperoleh daripadanya sering bersifat sementara, sampai ada petunjuk lain yang lebih meyakinkan.

Model regresi linear yang paling sederhana adalah model garis lurus. Dalam hal ini terdapat satu apa yang sering disebut *peubah bebas*, namakan x , dan satu *peubah tak bebas* yang bergantung pada x , namakan y . pemberian nama peubah bebas dan tidak bebas, kendati telah amat populer dalam regresi, akan terlihat kelak merupakan salah kaprah. Kendati demikian. Kedua istilah tersebut akan tetap kita pakai, y akan sering pula dinamakan *respons*.

Oleh karena itu model regresi linear sederhana yang digunakan adalah :

$$\hat{y} = a + bx \quad (2.21)$$

a dan b disebut koefisien regresi yang nilainya ditentukan dari data, sedangkan \hat{y} menyatakan prediksi (taksiran) dari y . Model seperti diatas merupakan bentuk deterministik.

Adapun model regresi yang berbentuk stokhastik karena mengandung factor acak e_i , seperti persamaan di bawah ini;

$$\hat{y} = a + bx + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.22)$$

Dalam e_i terkandung galat yang sifatnya acak dan juga penyimpangan model dari keadaan sesungguhnya. Untuk seterusnya kita akan selalu menganggap e_i

berbentuk acak dengan nilai harapannya nol. Menganggap e_i acak berarti bahwa terok diambil secara acak.

Pada saat akan menarik garis lurus pada sebuah grafik yang memiliki data-data yang acak, maka akan kesulitan untuk menarik garis lurus oleh karena itu garis yang dibuat hendaknya mewakili beberapa data terok (seterusnya disebut garis regresi) dan setidaknya mendekati beberapa data tersebut.

Namun banyak sekali terlihat kelemahan-kelemahan yang terjadi, oleh karena itu untuk meminimalisasi kelemahan tersebut, kita akan menggunakan *metode kuadrat terkecil* dan yang akan dipakai untuk seterusnya dalam menentukan koefisien regresi. Misalkan (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, data terok yang akan menentukan koefisien regresi a dan b atau yang kemudian menjadi suatu system persamaan linear, diebut peramaan normal.

$$\sum_{i=1}^n a + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (2.23)$$

Bila kita nyatakan $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$ dan $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$

maka, persamaan yang pertama dari (2.23) memberikan

$$\begin{aligned} a &= \sum_{i=1}^n y_i / n - b \sum_{i=1}^n x_i / n \\ &= \bar{y} - b\bar{x} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Dengan demikian bagian kedua (2.23) menjadi

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i - a \sum_{i=1}^n x_i - b \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (2.25)$$

atau,

$$\sum y_i x_i - (\sum y_i / n - b \sum x_i / n) - b \sum x_i^2 = 0 \quad (2.26)$$

atau,

$$\sum y_i x_i - \sum y_i (\sum x_i) / n - b \left\{ \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n \right\} = 0 \quad (2.27)$$

Jadi,

$$b = \frac{\sum y_i x_i - (\sum y_i)(\sum x_i) / n}{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n} \quad (2.28)$$

Rumus ini dengan mudah dapat disederhanakan menjadi

$$\begin{aligned} b &= \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2} = \frac{\sum x_i y_i - \bar{x} \sum y_i - \bar{y} \sum x_i + n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - 2 \bar{x} \sum x_i + n \bar{x}^2} \\ &= \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Rumus terakhir (Persamaan 2.29) pada persamaan diatas sangat mudah diingat, akan tetapi untuk tujuan perhitungan lebih baik menggunakan Rumus (2.28) karena lebih sedikit menggunakan pembulatan sehingga hasilnya lebih teliti.

Dalam perhitungannya, kita hitung terlebih dahulu nilai b baru kemudian nilai tersebut dimasukkan pada Persamaan (2.24) untuk mendapatkan nilai a . Taksiran persamaan regresi dapat ditulis sebagai berikut di bawah ini,

$$\begin{aligned}\hat{y} &= a + bx \\ &= \bar{y} - b\bar{x} + bxi \\ &= \bar{y} + b(xi - \bar{x})\end{aligned}\tag{2.30}$$

Lambang $\hat{}$ (baca topi) di atas suatu huruf menunjukkan bahwa huruf tersebut suatu taksiran, dalam hal ini taksiran dari y . Dari Persamaan (2.30) terlihat bahwa garis regresi selalu melalui pusat data (\bar{x}, \bar{y})



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

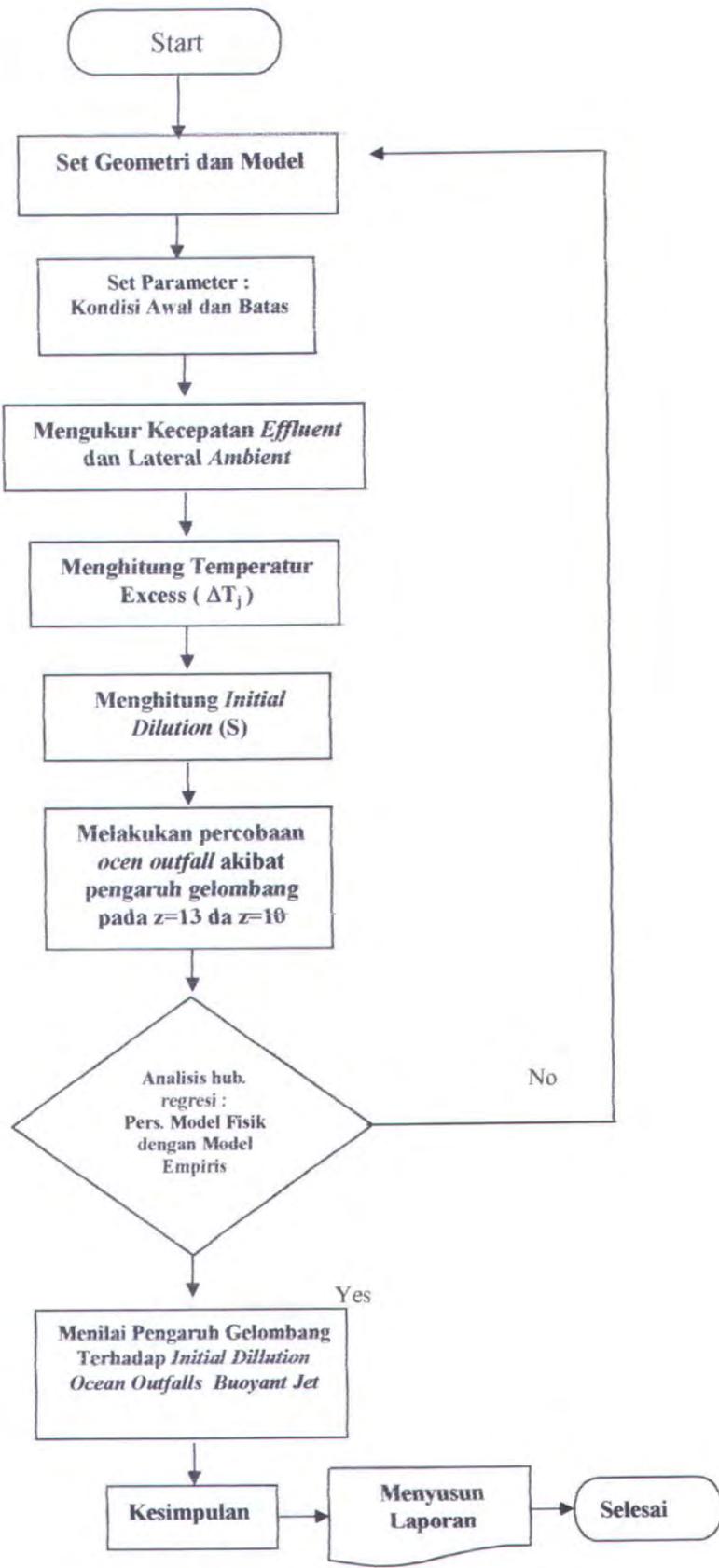
3.1 Prosedur Umum

Percobaan yang akan dilakukan ini bertujuan membuat suatu pemodelan polutan limbah panas secara fisik di laboratorium, menggunakan metode distribusi temperatur. Polutan limbah panas dibuang melalui struktur hidraulika yang disebut dengan *ocean outfall*, yang dapat mendilusikan atau mengencerkan sehingga konsentrasi atau temperatur limbah menjadi berkurang.

Polutan limbah panas (*thermal discharge*) diinjeksikan pada aliran arus *ambient* yang lemah menggunakan jenis *ocean outfall* yaitu *single port*. Polutan dimodelkan dari *fresh water* dengan range temperatur $70\text{ }^{\circ}\text{C} - 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang dikeluarkan melalui pipa serta melewati *nozzle* dengan diameter (D) = 2.6 mm untuk percobaan penelitian. Percobaan untuk memodelkan secara fisik polutan limbah panas ini dilakukan di *flume tank* yang berukuran 20,3 m x 2,5 m x 2,3 m yang telah dilengkapi dengan *wave generator* untuk menggerakkan gelombang.

Pemodelan polutan ini dilakukan menggunakan transducer temperatur yaitu termokopel yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi panas fluida dengan tingkat akurasi pembacaan $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga besarnya *initial dilution* pada daerah *centerline discharge* dapat dihitung. Menggunakan prinsip-prinsip analisa dimensi, akan diperoleh suatu persamaan empiris yang dapat diaplikasikan dalam penghitungan *initial dilution*.

Flowchart daripada prosedur penelitian secara umum digambarkan sebagai berikut:



Dari *flowchart* diatas dapat dijelaskan tahap-tahap prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Set geometri dan model fisik profil

Pada percobaan ini menggunakan jenis *outfall submerged single port discharge* pada kondisi air yang *uniform* dengan aliran arus lemah, dimana datanya adalah:

- a. Data percobaan penelitian *Outfall* :
 - Diameter *port/nozzle* : 0.26 cm
 - Kedalaman *port* (Y) : 34 cm
 - Kecepatan alir *effluent* (v) : 15 cm/s
 - Debit aliran air (Q) : 0.796 cm³/s
 - Luas permukaan *port* (A) : 0.05 cm²
 - Temperatur *effluent* : 70 - 75 °C
- b. Data lingkungan (*Plume tank*) :
 - Kedalaman air : 90 cm
 - Kecepatan arus : 0 cm/s
 - Kecepatan angin : 0 cm/s

2. Set parameter kondisi awal dan batas

Parameter-parameter yang digunakan dalam percobaan di sesuaikan dengan percobaan sebelumnya (Chin, 1987) dan juga sesuai dengan kondisi lingkungan yang sebenarnya

$$H \gg L_M \gg L_Q \quad (2.31)$$

3. Mengukur kecepatan *effluent*

Sebelum *running* percobaan setelah parameter diperoleh kecepatan *effluentnya* kita atur terlebih dahulu.

4. Menghitung temperatur excess (ΔT)

Setelah kecepatan *effluent* diatur sesuai dengan data input maka temperatur excess yang terjadi dapat dihitung.

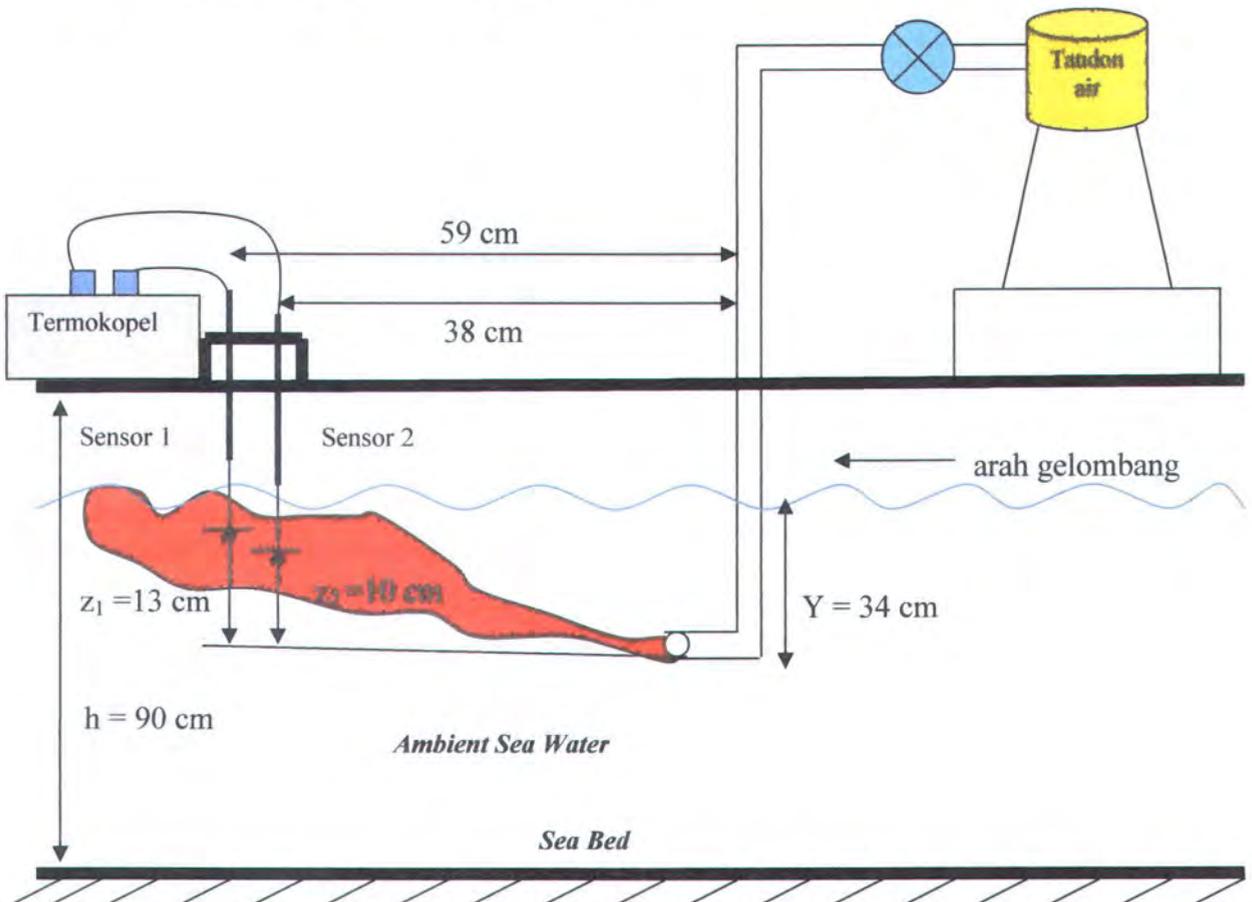
5. Menghitung *initial dilution* (S)

Setelah data-data awal diketahui dan parameter-parameter pendukung penelitian ini sudah dipenuhi, maka data-data tersebut dianalisa untuk mendapatkan harga *initial dilution* sesuai dengan parameter percobaan yang akan dilaksanakan.

6.. Melakukan percobaan tentang pengaruh gelombang pada *initial dilution* pada $z = 13\text{cm}$ dan $z = 10\text{cm}$

Dari hasil analisa data yang diperoleh pada percobaan yang telah dilakukan, maka peneliti mengetahui bagaimana pengaruh nilai *initial dilution* pada saat nilai $z=13\text{cm}$ dan $z=10\text{ cm}$. Sehingga dapat diketahui suatu kesimpulan tentang pengaruh gelombang terhadap permodelan numerik *Ocean Outfall* terhadap perilaku dari *buoyant plume* yang mengalami kenaikan sampai elevasi tertentu serta mendapatkan konstanta *initial dilution*.

Skema percobaan digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1. Skema kerja percobaan *outfall dilution*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan-ITS, pada bulan Maret sampai April 2006.

3.3 Flume Tank dan Pembuat Gelombang

Alat utama yang digunakan dalam percobaan ini adalah tangki saluran gelombang (*wave flume*) yang dilengkapi dengan generator penggerak air yang mampu membangkitkan gelombang dengan periode dan tinggi gelombang tertentu.

A. Flume tank

Spesifikasi untuk *flume tank* adalah sebagai berikut :

1. Material

- Dinding samping : *Toughened glass* dan *Mild steel* (SS400)
- Lantai dan dinding akhir : *Mild steel* (SS400)

2. Dimensi

- Badan utuh :
 - Panjang : 20,300 m
 - Lebar : 2,300 m
 - Tinggi : 2,500 m
- Bagian untuk pengukuran :
 - Panjang : 10,000 m
 - Lebar : 2,000 m
 - Tinggi : 1,500 m
 - Kedalaman air : 0,400 m

3. Jendela observasi

- Panjang : 1,700 m
- Tinggi : 1,344 m
- Jumlah : 7 buah
- Material : *Toughned glass*

B. Akuisisi data

Spesifikasi *hardware* dan *software* yang digunakan untuk pengolahan data hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

1. *Hardware*

- *Type* : *Desktop*
- *CPU* : *Pentium 266 MHz*
- *RAM* : *64 MB*
- *Hard Disk* : *3 GB*
- *CRT* : *14 inch*
- *Expanded slot* : *dua*
- *CD-ROM Drive* : *satu*
- *Floppy disk drive* : *3,5 inch, 1,4 MB*
- *Data Acquisition interface* : *A/D board, 16 channel, 12 bit, 16 kHz, plus counter*

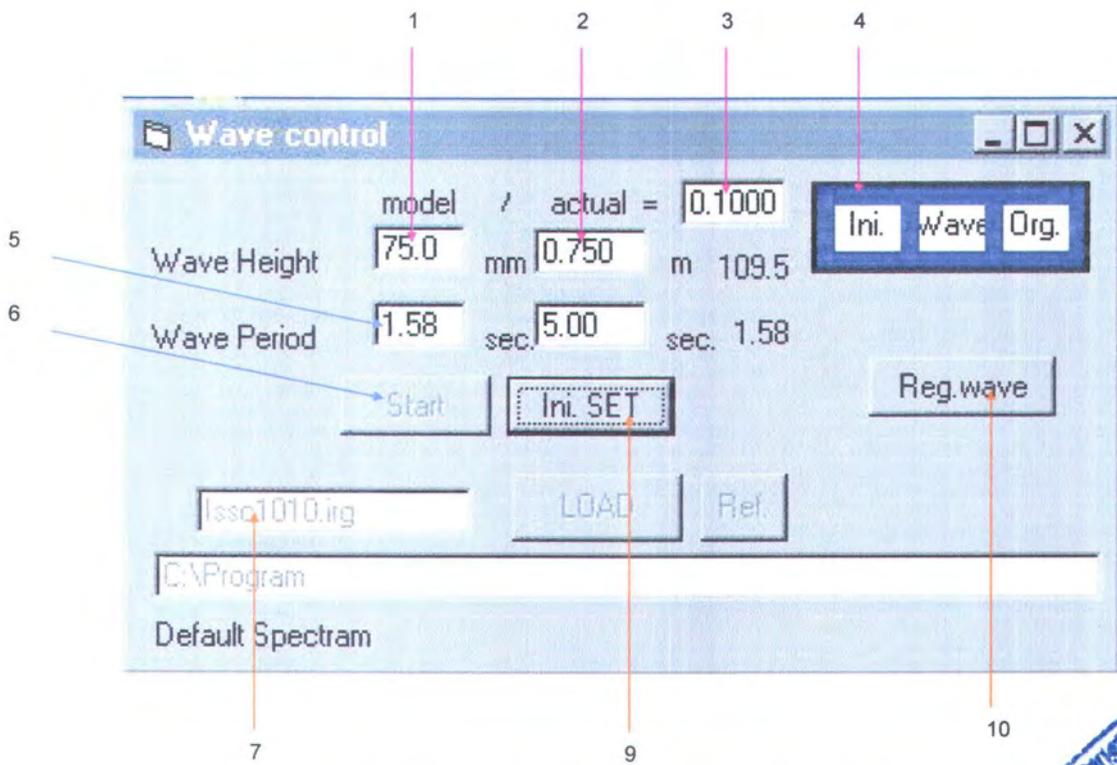
2. *Software*

- *Sistem software* yang digunakan adalah *MS-DOS Ver. 6.2* dan *WINDOWS 95*

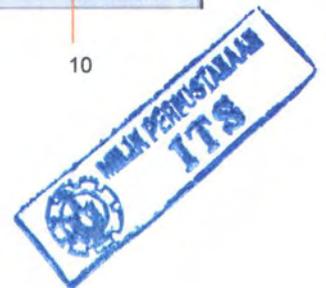
Untuk membangkitkan gelombang, *wave generator* dihubungkan dengan *control panel* Gambar 3.2 dan diolah melalui komputer yang telah terintegrasi secara *interface*.



Gambar 3.2 Komputer control laboratorium *flume tank*

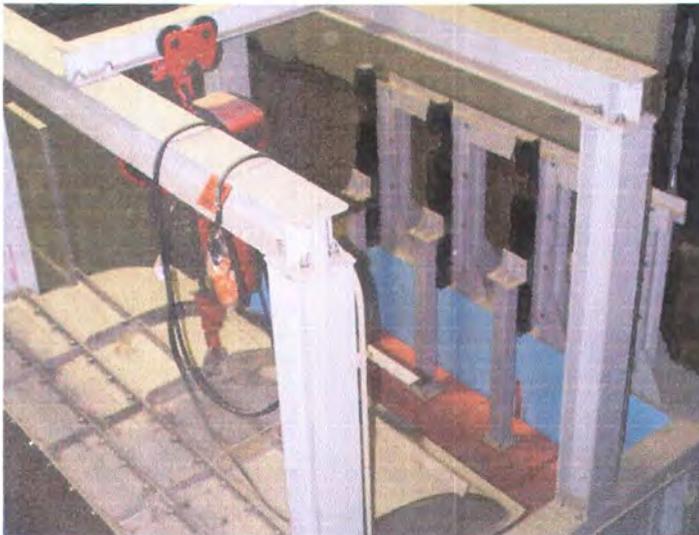


Gambar 3.3. Wave maker control program



keterangan

1. Setting wave height input column
2. Actual wave height input column
3. Model/actual scale input
4. Wave condition display column
5. Setting wave priod input column
6. Wave drive start/stop command button
7. Irregular wave data file name input column
8. Actual wave period input column
9. Initial setting move start command button
10. Wave mode regular/irregular command button



Gambar 3.4 Pembangkit gelombang

3.4 Desain Eksperimen dan Instrumentasi

3.4.1 Alat-alat dan bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut:

1. *Flume tank* dengan ukuran 20.3 m x 2.5 m x 2.3 m di laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, FTK-ITS.



Gambar 3.5 *Wave tank* di jurusan teknik kelautan

2. Reservoir berukuran
3. Pipa PVC dengan ukuran diameter 1 dim, dan panjang \pm 20 m.
4. *Nozzle* dengan diameter luar 2.6 mm yang diletakkan di tengah *flume tank*.
5. Sensor panas, seperti *termalvision*, *termocouple* dengan ketelitian mencapai 0.1°C dengan pembacaan sistem digital.



Gambar 3.6 *Termocouple*

6. *Heater*
7. Larutan *fluorescein* yaitu *naftol* sebagai *effluent*.



Gambar 3.7 Heater yang dipakai untuk memanaskan *effluent*

3.4.2 Prosedur Percobaan *Initial Dilution*

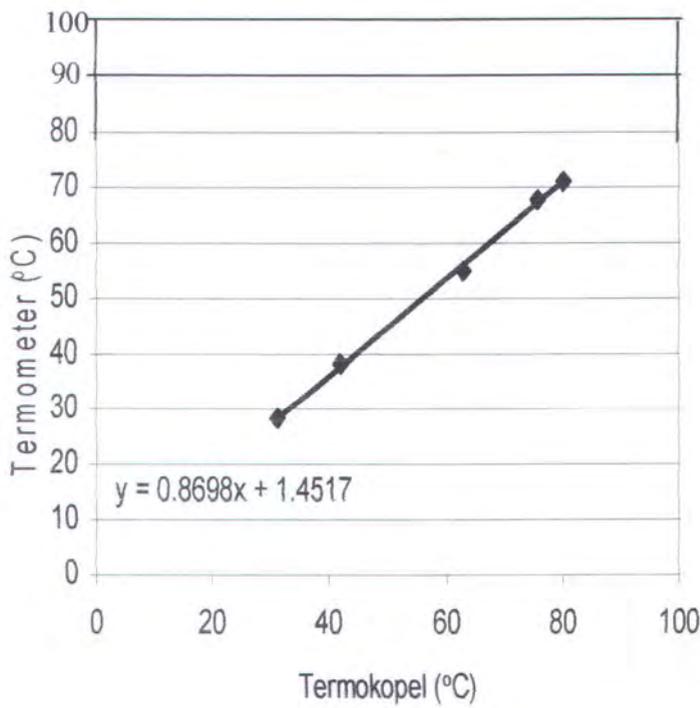
Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Tandon/tank diisi dengan air tawar dengan kedalaman 90 cm.
2. Memasang *nozzle* dengan diameter 2.6 mm secara vertikal ditengah-tengah dari *flume tank* dengan kedalaman 34 cm dari permukaan air.
3. Effluen dialirkan dari reservoir yang telah dilengkapi dengan heater/pemanas melalui pipa melewati sehingga air keluar melalui *nozzle* mempunyai suhu awal (T_0) 70-75°C diatas suhu *ambient*.
4. Mencatat temperatur effluen sepanjang *centerline jet* dan *plume* dengan menggunakan alat sensor panas *termocouple* saat terjadi dilusi.
5. Memvisualisasikan aliran dari proses pencampuran *effluent* dengan *ambient* (*mixing process*) dan dilusi menggunakan kamera digital sehingga perubahan warna effluen yang terjadi juga dapat teramati.

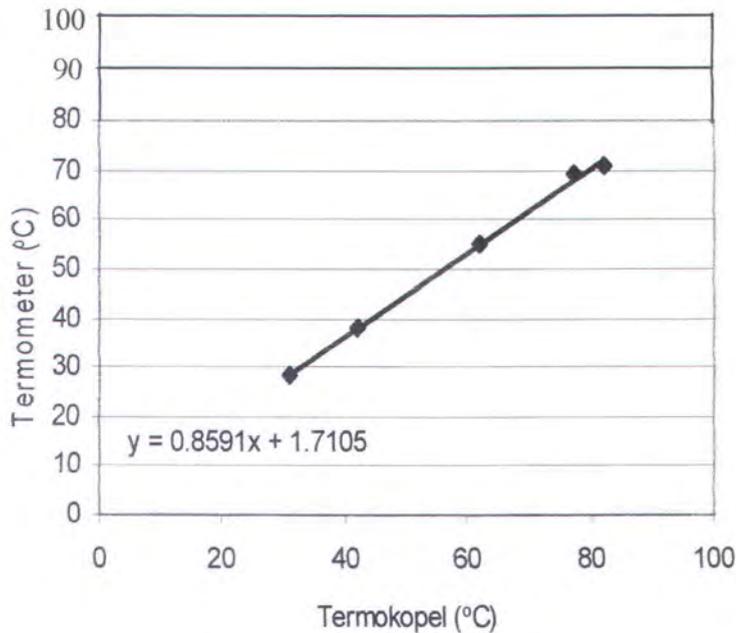
3.5 Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi merupakan suatu pengontrolan dan pencocokan skala bacaan suatu alat ukur yang digunakan untuk pengukuran dengan suatu alat standar kalibrasi. Untuk mendapatkan keakuratan yang tinggi pada proses pengamatan dan pengambilan data percobaan, maka perlu adanya suatu kalibrasi terhadap instrumen yang digunakan, yaitu penggunaan termokopel.

Kalibrasi *transducer temperatur* (termokopel) dilakukan dengan menggunakan termometer raksa, untuk mengetahui apakah temperatur yang terdeteksi oleh sensor panas sama dengan temperatur yang terdeteksi oleh air raksa. Termokopel yang digunakan memiliki 2 sensor yang masing-masing sensor terhubung dengan skala pembacaan (*display*) tersendiri, sensor 1 ($z=13$) dan sensor 2 ($z=10$). Sehingga perlu dilakukan pengkalibrasian tiap-tiap sensor. Untuk setiap pengkalibrasian dengan rentang suhu 10°C diperoleh kurva baku kalibrasi seperti Gambar 3.8 dan 3.9.



Gambar 3.8 Kurva kalibrasi sensor 1



Gambar 3.9 Kurva kalibrasi sensor 2

Kalibrasi termokopel dilakukan dengan membandingkan besarnya suhu yang ditampilkan termometer dengan termokopel. Proses pengkalibrasiannya dilakukan dengan menggunakan media air yang sama kemudian di panaskan dengan *heater*, setelah itu sensor termokopel beserta termometer di masukkan secara bersamaan ke dalam air tersebut untuk mendapatkan besarnya suhu yang di tampilkan oleh termometer dan termokopel. Termokopel yang digunakan memiliki 2 sensor, dan pengkalibrasian dilakukan untuk masing-masing sensor.

3.6 Metode Desain & Analisa Data Percobaan

Metode yang digunakan untuk memodelkan *initial dilution* pada percobaan adalah dengan metode π -*Buckingham*, dimana langkah-langkah penyelesaiannya adalah sebagai berikut :

1. Merepresentasikan jumlah total variabel (n) yang mengkarakteristikan model *initial dilution*.

$$S = f(M, B, H, Q, ag, \theta_1, \theta_2, T')$$

2. List dimensi primer tiap variabel (L, T)

- Variabel ini memiliki unit :

S = tidak berdimensi, π

$$Q = L^3 T^{-1} \quad ag = L^2 T^{-2}$$

$$M = L^4 T^{-2} \quad H = L$$

$$B = L^4 T^{-3} \quad T = T$$

3. Menghitung jumlah dimensi primernya, $j = 3$

4. Menghitung bilangan non dimensi yang bisa dibentuk, dimana :

$$K = n - j$$

5. Memilih sejumlah j variabel sebagai repeating variabel, dengan syarat :

- Variabel yang terpilih mewakili seluruh dimensi sistem yang ditinjau
- Variabel yang terpilih tidak boleh membentuk non-dimensi dengan sendirinya

Misal : $\pi_1 = f(M, B, Q)$

$$\pi_2 = f(M, B, ag)$$

$$\pi_3 = f(M, B, H)$$

$$\pi_4 = f(M, B, T)$$

6. Membentuk perkalian berpangkat antara sejumlah j variabel tersebut diatas dengan masing-masing sisa dari K variabel dan kemudian menetapkan pangkat = 0.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Parameter Percobaan

Pada pembuatan model pengukuran *initial dilution outfall* akibat pengaruh gelombang, dilakukan suatu tahap penyesuaian parameter-parameter dalam model dengan kondisi nyata di lapangan. Percobaan yang dilakukan adalah berdasarkan data-data parameter dengan range skala panjang L_Q/z_M dari data kondisi lingkungan nyata pada Laut Jawa (*Java Sea*). Pada penelitian kali ini, kedalaman *flume tank* (h) = 90 cm dan jarak *plume* dari ujung *port* ke ujung sensor (z) ada 2 asumsi, yaitu $z = 13$ cm dan $z = 10$ cm. Harga *initial dilution* ditentukan dari temperatur excess ($T-T_a$) sepanjang arah longitudinal lintasan *plume* dengan dipengaruhi oleh gelombang, kecepatan *discharge*, serta kedalaman air (d).

Tabel 4.1 Parameter-parameter Percobaan

Kecepatan aliran (V_0)	15	cm/s
Discharge rate (Q)	0.796	m^3/s
Kedalaman air (d)	90	cm
luas permukaan port (A)	0.05	cm^2
depth of discharge (H)	34	cm
(z) Sensor 1	13	cm
Sensor 2	10	cm
Momentum Flux (M)	11.94	cm^4/s^2
Buoyancy Flux (B)	13.75	cm^4/s^3
Skala Panjang		
L_Q	0.23	cm
L_M	1.7	cm
L_M/L_Q	7.52	
z/L_M Sensor 1	7.5	cm
Sensor 2	5.77	cm

Sebelum melakukan *running* percobaan untuk mendapatkan nilai-nilai dilusi, parameter-parameter yang dibutuhkan dalam percobaan tersebut kita ukur dan kita tentukan terlebih dahulu seperti: *port discharge*, massa jenis dari *effluent*, massa jenis *ambient*, periode gelombang, dan amplitude gelombang. Diameter *port* dan kedalaman air harus dijaga kekonstanannya di semua *running* percobaan. Parameter-parameter pada penelitian ini sesuai dengan karakteristik di lapangan hasil percobaan yang dilakukan sebelumnya seperti pada Table 4.2 (referensi Mukhtasor, 2001) dibawah ini.

Tabel 4.2 Karakteristik *Discharge* di Daerah Tertentu (Mukhtasor, 2001)

Parameters	Region					
	Bass Strait	Gulf of Mexico	North Sea	Terra Nova	Java Sea	
Discharge Rate (m ³ /day)	14000	3978	10000	18300	26,235	123,225
Q(m ³ /s)	0,16	0,05	0,12	0,21	0,0003	0,001
Vo(m/s)	5,095541401	1,592356688	0,264657621	2,875742258	0,057692308	0,192307692
Effluent Temperature (oC)	90	29	30	96	62	90
Effluent Density (kg/m ²)	988	1088	1014	988		
Ambient Density (kg/m ³)	1025	1017	1027	1025		
Density Gradient (kg/m ⁴)	0	0,15	0			
Port Diameter (m)	0,2	0,2	0,76	0,305	2" x 4"	
Area (m ²)					0,0052	
Depth of Discharge (m)	12	0,3	5	10	3	15
Sea Water Depth (m)	72	27	150	80	21,3	30,5
Sea Water Speed (m/s)	0,3	0,03 to 0,25	0,3	0,14	3,1675E-10	0,234678869
M (m ³ /s ²)	0,815286624	0,079617834	0,031758915	0,603905874	1,73077E-05	0,000192308
ua/uj	3,7	1,3	0,4	0,6		
im (m)	3,6	0,7	0,6	2,5		
lb (m)	2,2	2 to 1168	0,5	27,3		
lm (m)	3,05	1 to 8,7	0,57	5,6		
lQ (m)	0,177	0,177	0,673	0,27	0,072111026	
z (m)	12	27	5	10		
ZM	3,009774123	2,175455814 6,28	0,594034366	5,550812931	13134193,07	0,059091408
im/lb	1,653	0,001 to 0,37 0,0002 to	1,117	0,093		
lQ/lb	0,081	0,088	1,265	0,01		
im/lb	1,398	0,007 to 0,5	1,076	0,205		
z/lb	5,503	0,23 to 13,4	9,393	0,366		
LQ/ZM	0,0588084	0,081362259 0,028184713	1,132931086	0,048641524	5,49033E-09	1,220330121

Ada sebanyak 20 kali percobaan yang telah dilakukan untuk mendapatkan data temperatur excess (ΔT_j) hasil proses pelarutan dan pencampuran *discharge* sepanjang lintasan *plume* di laboratorium dengan parameter awal pendesainan yang sesuai untuk tiap-tiap periode gelombang (T), amplitude gelombang (a) dari percobaan Chin (1987) .

4.2 Batasan Pemakaian Teori Gelombang

Ada beberapa teori gelombang yang dapat menggambarkan gelombang di alam diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal dan tunggal. Teori-teori gelombang ini dapat menentukan persamaan-persamaan karakteristik gelombang seperti kecepatan partikel zat cair dan panjang gelombang. Dari parameter-parameter data gelombang untuk percobaan seperti tinggi gelombang (H), kedalaman air (d), serta panjang gelombang (L) dapat ditentukan bahwa percobaan yang dilakukan menggunakan teori gelombang amplitude kecil (Airy) table 4.3. Ini dapat diketahui karena perbandingan tinggi gelombang dengan kedalaman air (H/d) serta perbandingan kedalaman dengan panjang gelombang (d/L) pada percobaan yang dilakukan masuk dalam teori gelombang Airy laut transisi ($H/d < 0.13$ dan $0.05 < d/L < 0.5$) pada grafik daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L seperti pada gambar 2.4 pada sebelumnya.

Dari hasil-hasil perbandingan tinggi gelombang (H) dengan kedalaman gelombang (d) serta perbandingan kedalaman gelombang (d) dengan panjang gelombang (L) dari parameter-parameter percobaan yang digunakan seperti pada Tabel 4.3 di bawah, maka teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Airy laut transisi ($H/d < 0.13$ dan $0.05 < d/L < 0.5$). Maka U_{max} (kecepatan maksimum partikel) dengan nilai $Y = -34$ adalah;

$$U_{max} = \frac{agk}{\sigma \cosh kd} \cosh k(d + y) \quad (3.1)$$

Tabel 4.3 Data fungsi H/d dan d/L untuk penerapan teori gelombang

Exp No.	T (s)	H (cm)	L (cm)	d (cm)	Teori Gelombang Airy	
					H/d	d/L
1	1.5	8.8	329.5	90	0.10	0.3
2	1.3	8.2	257.5	90	0.09	0.3
3	1.2	3.0	222.2	90	0.03	0.4
4	1.4	9.8	293.4	90	0.11	0.3
5	1.6	8.8	365.3	90	0.10	0.2
6	1.5	10.4	329.5	90	0.12	0.3
7	1.5	11.4	329.5	90	0.13	0.3
8	1.6	11.2	365.3	90	0.12	0.2
9	1.7	11.6	400.7	90	0.13	0.2
10	1.7	13.4	400.7	90	0.15	0.2
11	2	14.4	504.6	90	0.16	0.2
12	1.5	13.0	329.5	90	0.14	0.3
13	1.9	11.4	470.4	90	0.13	0.2
14	2	13.4	504.6	90	0.15	0.2
15	1.9	13.0	470.4	90	0.14	0.2
16	1.2	3.0	222.2	90	0.03	0.4
17	1.3	9.2	257.5	90	0.10	0.3
18	1.8	3.8	435.8	90	0.04	0.2
19	1.6	3.6	365.3	90	0.04	0.2
20	1.2	3.0	222.2	90	0.03	0.4

4.3 Hasil Percobaan *Initial Dilution* di Laboratorium

Pengukuran *initial dilution* menggunakan metode distribusi temperatur, dilakukan dengan pengukuran temperatur *excess* (T) pada titik-titik *centerline* dari lintasan polutan sepanjang arah longitudinal sumbu x dan pada jarak vertikal z terhadap permukaan air. Pengukuran dilakukan dengan termokopel yang dipasang pada jarak 13 cm dan 10 cm dari ujung *port*. Hasil *initial dilution* dapat kita bandingkan dengan perumusam empiric *initial dilution* pada saat kondisi air tenang (S/S_0). Dan didapatkan hasil *initial dilution* dari percobaan masing-masing nilai $z/L_M = 7.5$ dan $z/L_M = 5.7$ seperti pada Table 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Data Hasil Percobaan Di Laboratorium

exp	t ₀ (°C)	t (eff) (°C)	t (°C)		S	
			z/L _M = 7,5	z/L _M = 5,7	z/L _M = 7,5	z/L _M = 5,7
1	33.6	71.0	34.5	34.8	43.2	30.8
2	33.7	72.0	34.7	35.0	40.3	29.7
3	33.2	72.0	34.2	34.6	38.9	28.1
4	33.5	73.0	34.5	34.8	40.3	29.5
5	33.3	74.0	34.3	34.6	42.0	30.9
6	33.2	74.0	34.2	34.5	42.7	31.2
7	33.3	75.0	34.3	34.6	42.7	31.4
8	33.3	74.0	34.3	34.6	42.2	31.6
9	33.4	73.0	34.3	34.6	44.7	32.0
10	33.5	73.0	34.4	34.8	43.6	31.2
11	33.3	72.0	34.1	34.5	48.1	32.0
12	33.4	72.0	34.3	34.7	42.9	30.5
13	33.0	72.0	33.9	34.3	41.3	30.1
14	33.2	71.0	34.0	34.4	45.3	30.7
15	33.1	71.0	34.0	34.3	44.3	30.6
16	32.8	71.0	33.8	34.2	37.9	27.7
17	33.0	71.0	34.0	34.3	40.0	29.8
18	33.2	71.0	34.1	34.5	40.5	30.0
19	33.3	70.0	34.2	34.5	39.7	29.6
20	33.0	70.0	33.9	34.3	39.3	28.9

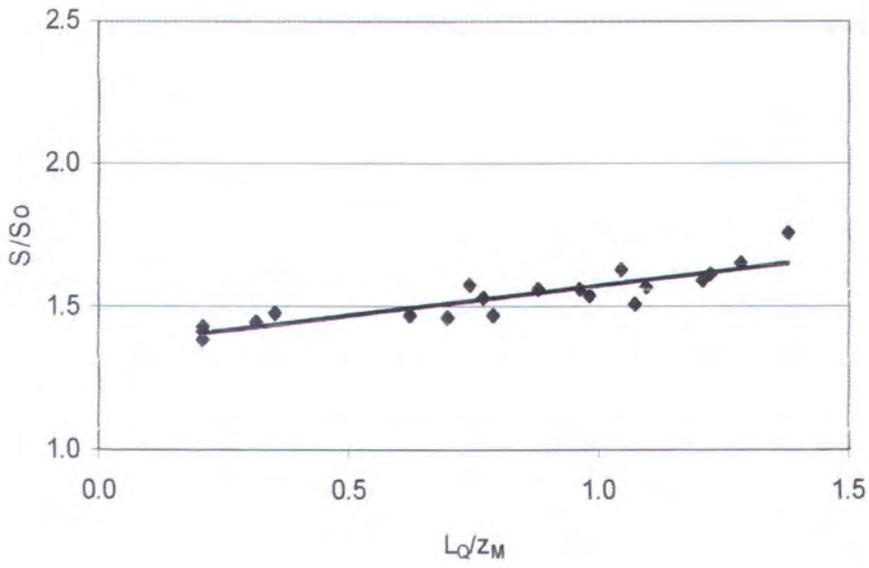
Table diatas merupakan parameter-parameter percobaan yang dimensional dimana hasil percobaan diatas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang, besarnya peningkatan yang terjadi ditunjukkan dalam grafik perbandingan antara S/S_0 terhadap periode gelombang, amplitudo gelombang dan z_M/L_Q . Prosentase peningkatan dilusi akibat pengaruh gelombang yang dibandingkan dengan dilusi air tenang dimana terdapat dua kondisi air tenang pada $z/L_M = 7.5$ dan $z/L_M = 5.7$ dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Prosentase Peningkatan Nilai dilusi

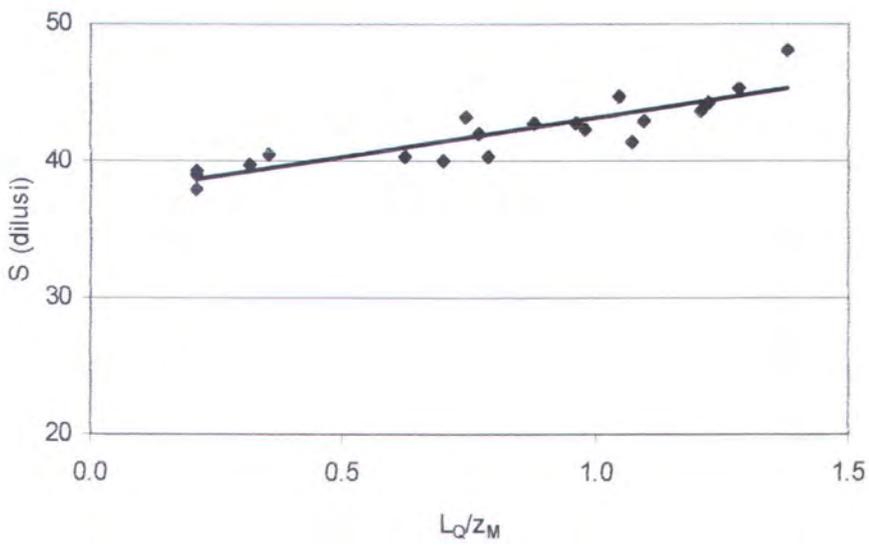
exp	L_0/z_M	S/S ₀		Prosentase Peningkatan	
		$z/L_M = 7,5$	$z/L_M = 5,7$	$z/L_M = 7,5$	$z/L_M = 5,7$
1	0.742	1,577	1,738	58%	74%
2	0.622	1,471	1,678	47%	68%
3	0.21	1,420	1,588	42%	59%
4	0.789	1,471	1,664	47%	66%
5	0.77	1,533	1,745	53%	74%
6	0.877	1,558	1,718	56%	72%
7	0.962	1,558	1,706	56%	71%
8	0.98	1,540	1,784	54%	78%
9	1.046	1,630	1,751	63%	75%
10	1.208	1,591	1,765	59%	76%
11	1.379	1,755	1,807	76%	81%
12	1.097	1,565	1,720	56%	72%
13	1.074	1,509	1,701	51%	70%
14	1.283	1,653	1,732	65%	73%
15	1.224	1,616	1,730	62%	73%
16	0.21	1,385	1,566	39%	57%
17	0.697	1,460	1,684	46%	68%
18	0.351	1,478	1,696	48%	70%
19	0.315	1,449	1,672	45%	67%
20	0.21	1,434	1,633	43%	63%

Dari hasil perhitungan didapat bahwa untuk $z/L_M = 7.5$ prosentase minimumnya sebesar 42 % dan prosentase maksimum adalah sebesar 76 %, sedangkan untuk $z/L_M = 5.7$ prosentase minimum yang didapat sebesar 57 % dan untuk peningkatan maksimumnya sebesar 81 %.

Adapun hasil dari peningkatan *initial dilution* untuk $z/L_M = 7.5$ yang dibandingkan dengan perumusan dilusi air tenang seperti pada Gambar 4.1 peningkatannya hingga mencapai 76 % serta nilai dilusi yang tidak dibandingkan dengan nilai dilusi pada saat air tenang seperti pada Gambar 4.2 di bawah ini:

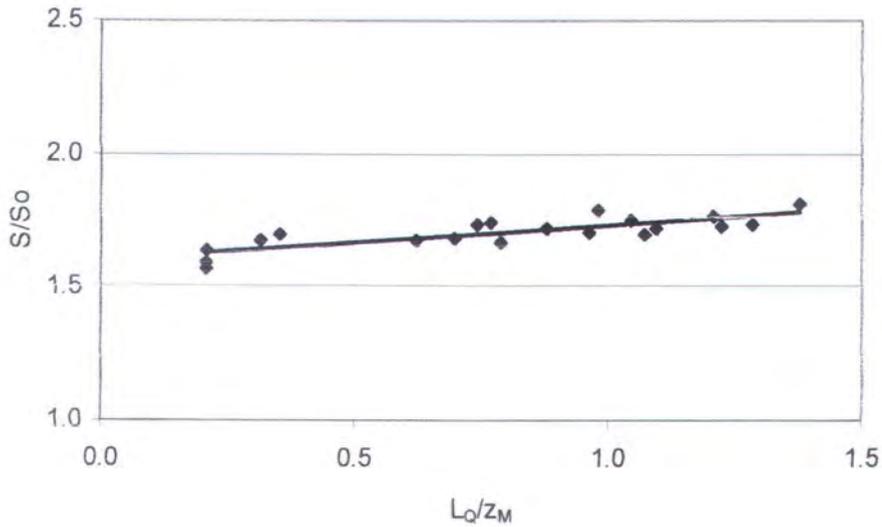


Gambar 4.1 Hasil percobaan dilusi (S/S_0) Untuk $z/L_M = 7.5$

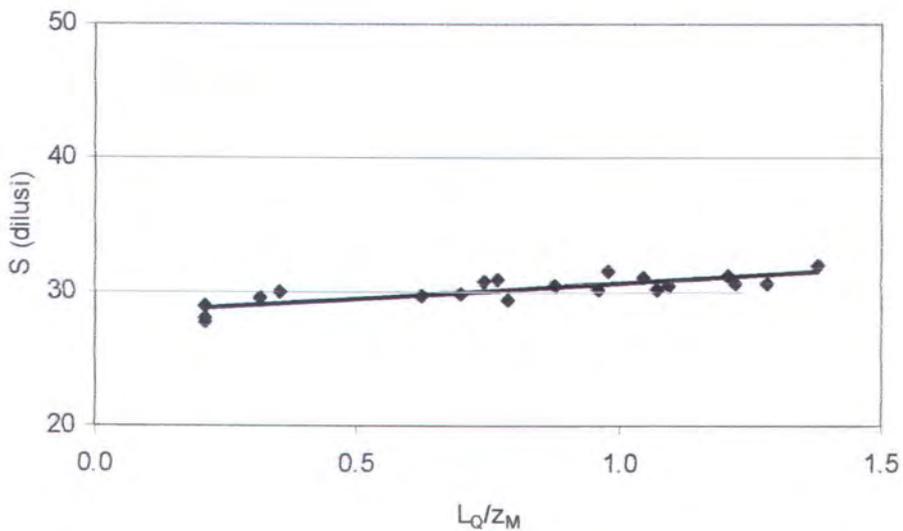


Gambar 4.2 Hasil percobaan dilusi (S) Untuk $z/L_M = 7.5$

Selain itu pada $z/L_M = 5.7$, hasil peningkatan *initial dilution* mencapai sampai 81 % yang dibandingkan dengan perumusan empiric *initial dilution* pada saat air tenang (S/S_0) dapat dilihat pada Gambar 4.3 serta *initial dilution* pada saat tidak dibandingkan dengan air tenang dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.3 Hasil percobaan dilusi (S/S_0) Untuk $z/L_M = 5.7$



Gambar 4.4 Hasil percobaan dilusi (S) Untuk $z/L_M = 5.7$

Dari hasil *initial dilution* pada eksperimen di laboratorium diatas terdapat beberapa peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang, yaitu prosentase maksimum peningkatan nilai dilusi untuk $z/L_M = 7,5$ sebesar 76% sedangkan untuk $z/L_M = 5,7$ peningkatan nilai dilusi maksimumnya sebesar 81%. *Effluent* yang di alirkan pada percobaan kali ini searah penjalaran gelombang, jadi pada waktu *effluent* keluar dari port plume yang keluar akan menjalar terlebih dahulu kemudian akan naik kepermukaan yang disebabkan adanya perbedaan massa jenis air (*density*). Pada hasil percobaan *initial dilution*, harga dari parameter perbandingan antara kedalaman dan panjang gelombang (h/L) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *initial dilution*. Adapun hubungan fungsional *initial dilution* pada masing-masing nilai z/L_M sebagai berikut :

Untuk $z/L_M = 7.5$:

$$\frac{S}{S_0} = 1.36 + 0.21 \left(\frac{L_Q}{Z_M} \right) \quad (3.2)$$

$$R^2 = 0.7744 \quad (3.3)$$

Untuk $z/L_M = 5.7$:

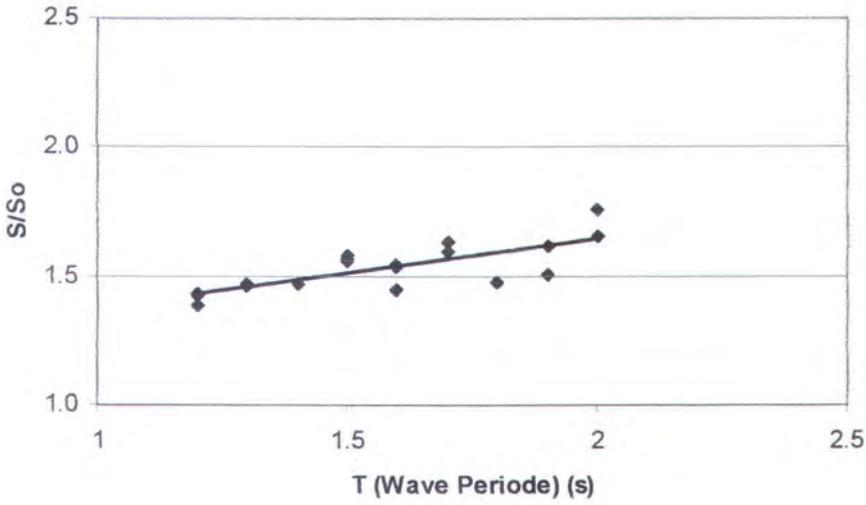
$$\frac{S}{S_0} = 1.6 + 0.13 \left(\frac{L_Q}{Z_M} \right) \quad (3.4)$$

$$R^2 = 0.6691 \quad (3.5)$$

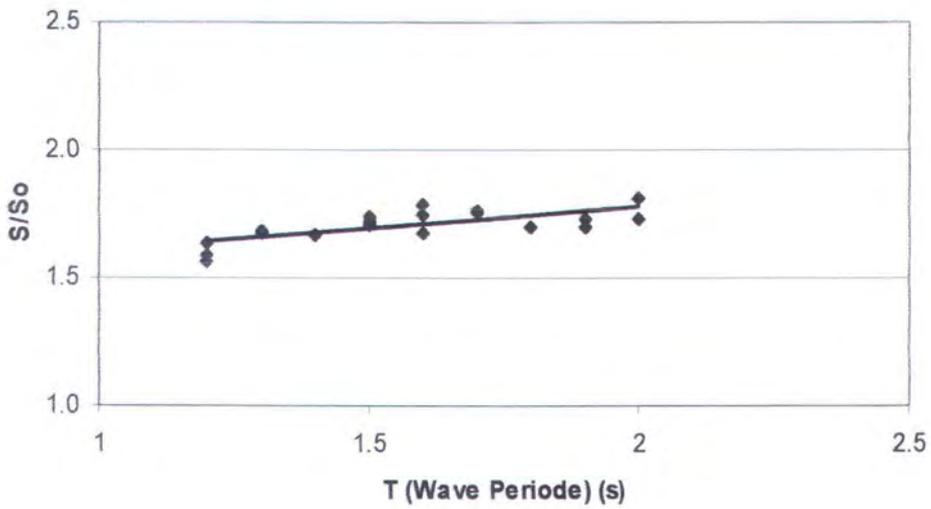
4.4 Pengaruh Perubahan *Wave Periode* (T) dan *Wave Amplitude* (a) Terhadap *Initial Dillution*

Dalam menentukan persamaan karakteristik gelombang seperti kecepatan dan panjang gelombang, periode dan amplitude gelombang sangat mempengaruhinya. Oleh karena itu, pada percobaan kali ini, terdapat beberapa perubahan / variasi nilai periode dan amplitude gelombang untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya pada hasil nilai *initial dilution*nya. Hasil dari kurva perbandingan

nilai dilusi dengan periode gelombang (T) pada masing-masing nilai z/L_M dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6 di bawah ini ;

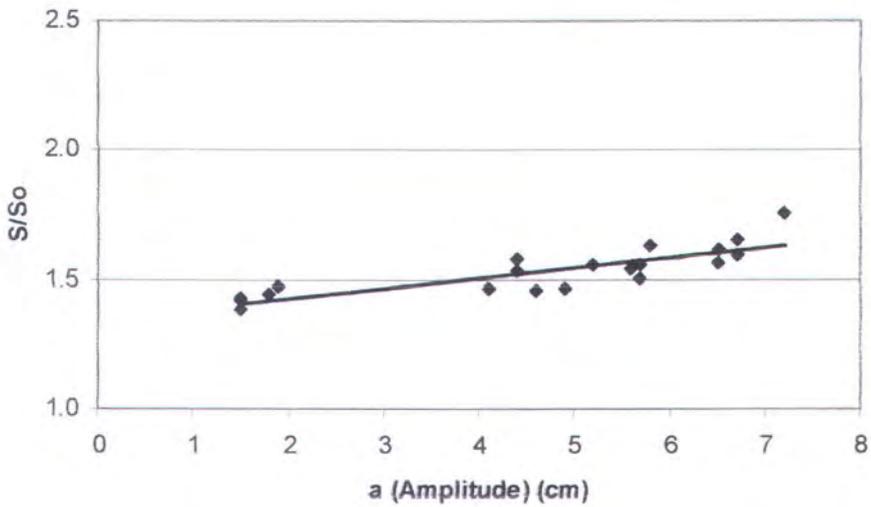


Gambar 4.5 Kurva perbandingan (S/S_o) dengan *wave periode* (T) pada $z/L_M = 7.5$

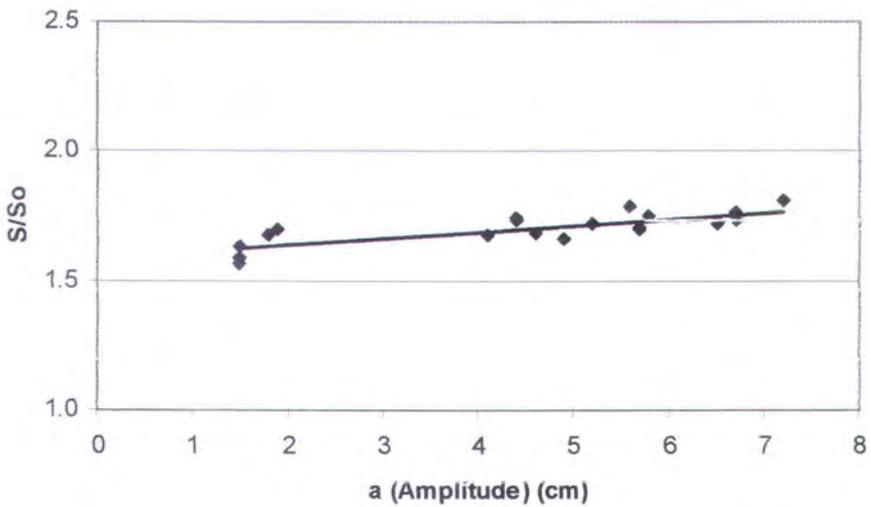


Gambar 4.6 Kurva perbandingan (S/S_o) dengan *wave periode* (T) pada $z/L_M = 5.7$

Adapun demikian dapat dilihat kurva perbandingan nilai dilusi terhadap amplitude suatu gelombang di masing-masing nilai z/L_M yang ada pada Gambar 4.7 dan 4.8 di bawah ini :



Gambar 4.7 Kurva perbandingan (S/S_o) dengan *wave amplitude* (a) pada $z/L_M = 7.5$

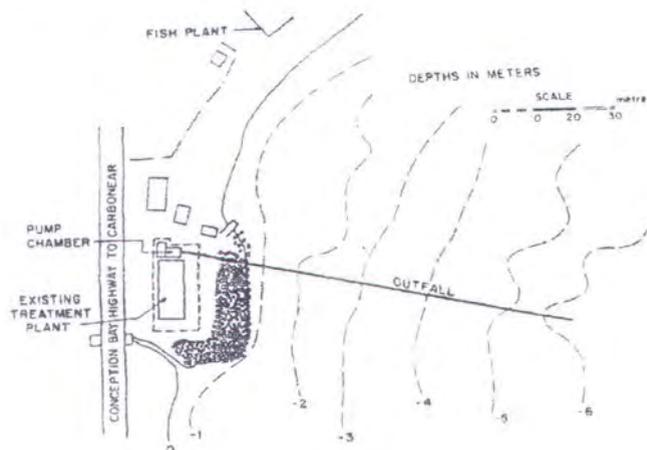


Gambar 4.8 Kurva perbandingan (S/S_o) dengan *wave amplitude* (a) pada $z/L_M = 5.7$

Dari grafik-grafik diatas tentang hubungan periode dan amplitude gelombang dengan nilai dilusi, dapat dilihat bahwa parameter-parameter gelombang tersebut dapat memberikan peningkatan nilai dilusi. Dalam percobaan terjadi perubahan perbedaan masa jenis untuk masing-masing percobaan sehingga L_M tidak konstan walaupun selisihnya kecil.

4.5 Studi Kasus di Pantai Spaniard

Contoh aplikasi yang ditunjuk adalah studi kasus di pantai Spaniard yang berlokasi di pantai timur Newfoundland, Canada dan melayani sebuah kota yang sebagian besar didominasi oleh nonindustri yang berpenduduk sekitar 1100 jiwa (Sharp,1991). *Outfall* didesain untuk membuang limbah dari kota Tilton dan beberapa limbah dari daerah-daerah atau kota-kota di pantai Spaniard. Desain aliran maksimal pada *outfall* sebesar 3347 sampai 4426 m³/day (Sharp, 1989-c). *Pipe discharging* sebesar 200 mm terhadap aliran limbah secara horizontal dengan diameter pipa *nozzle* 100 mm. Untuk tujuan analisis dan desain *outfall*, ratio perbedaan densitas konstan $(\rho_a - \rho_e) / \rho_e = 0.027$ (Sharp, 1994). General layout suatu *outfall* dapat dilihat pada Gambar 4.9. Secara lengkap karakteristik *ocean outfall* pantai Spaniard diatas dapat dilihat pada Tabel 4.6.



Gambar 4.9 General layout *Outfall* pantai Spaniard (Sharp, 1994. saduran dari Mukhtasor, 1998)

Tabel 4.6 Karakteristik *ocean outfall* pantai spaniard, pantai timur Newfoundland, Canada

	min	max	Satuan
Discharge rate (Q)	3347	4426	m ³ /day
	0,039	0,051	m ³ /s
diameter nozzles (D)	0,2		m
Diameter of area (A)	0,031		m
kedalaman air (d)	100		m
kecepatan aliran (v ₀)	1,23	1,63	m/s
$(\rho_a - \rho_c)/\rho_c$	0,027		
g'	0,26487		m/s ²
M	0,05	0,08	m ⁴ /s ²
B	0,010	0,014	m ⁴ /s ³

Dari data diatas dapat menghitung besarnya nilai skala panjang yang akan digunakan untuk menghitung besarnya nilai dilusi dengan menggunakan persamaan-persamaan yang diperoleh dari hasil analisa percobaan yang telah dilakukan. Namun selain data-data di atas untuk menghitung nilai skala panjang, kita dapat mengasumsikan besarnya parameter-parameter gelombang yang dapat dilihat dari Tabel 4.7 dibawah ini. Besarnya nilai skala panjang yang telah dihitung dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Asumsi Parameter Gelombang

	Min	Max	satuan
tinggi gelombang (H)	3	14,4	m
periode gelombang (T)	1,2	2	s
panjang gelombang (L)	222,18	504,62	m
Kecepatan gelombang (u)	1,24	16,50	m/s

Tabel 4.8 Skala Panjang

Skala panjang	Q (m ³ /s)	
	0,039	0,051
z/L_M	7,5	5,7
L_M (m)	1,01	1,33
z (m)	7,57	7,61
L_0 (m)	0,2	
Z_M (m)	0,1762	0,0175
L_M/L_0	5,69	7,53
Z_M/L_0	0,99	0,10
L_0/Z_M	1,01	10,11

Kemudian, dengan menggunakan persamaan-persamaan dari hasil percobaan yang dilakukan, besarnya nilai *initial dilution* dapat diperoleh seperti pada Tabel 4.8 di bawah ini :

Tabel 4.8 Nilai *Initial Dilution*

Nilai Dilusi	$z/L_M = 7,5$	$z/L_M = 5,7$
	S_0 (dilusi air tenang)	20.758
	$L_0/Z_M = 0,25$	$L_0/Z_M = 2,53$
S (Dilusi gelombang)	56.34	63.23

Dari nilai *initial dilution* di atas dapat disimpulkan bahwa faktor gelombang terhadap peningkatan nilai *initial dilution* sangat berpengaruh dengan prosentase peningkatannya sebesar 171 % pada saat kondisi dimana volume aliran fluks minimum sebesar $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ atau pada $z/L_M = 7.5$ dan pada saat kondisi volume fluks maksimum atau pada $z/L_M = 5.7$ prosentase peningkatannya menjadi lebih besar yaitu sebesar 264 % bila di bandingkan dengan dilusi pada saat kondisi air tenang.



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan dan percobaan yang telah dilakukan dalam melakukan pemodelan *initial dilution* limbah panas secara fisik di laboratorium, maka dapat disimpulkan bahwa faktor gelombang mempengaruhi nilai dilusi karena bila dibandingkan dengan *initial dilution* (dilusi) pada air tenang, tingkat prosentase kenaikan nilai dilusi pada $z/L_M = 7.5$ adalah berkisar antara 42% sampai dengan 76%, sedangkan untuk $z/L_M=5.7$ prosentase peningkatannya berkisar antara 57 % sampai dengan 81 %. Karena peningkatan nilai dilusi pada kasus ini lebih dari 50 % maka pengaruh gelombang harus tetap diperhatikan dalam proses penyebaran limbah.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini :

Mengingat pengaruh gelombang sangat signifikan terhadap peningkatan *initial dilution* maka hendaknya pada penelitian selanjutnya di harapkan menambah dengan adanya bentuk variasi sudut port terhadap arah gelombang secara vertikal, baik itu berlawanan arah penjalaran gelombang maupun sejajar dengan arah penjalaran gelombang.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Triadmodjo. B.1999. **Teknik Pantai**, edisi kedua. Beta Offset. Yogyakarta
- Chin, D.A. 1987, Influence of surface waves on outfall dilution, **Journal Of Hydraulic Eng. Volume 113. No. 8. pp. 1006-1017.**
- Chu, V.H. 1996. Jets and plume, dalam **Environmental Hydraulics**, diedit oleh V. P. Singh and W. H. Hager. Kluwer Academic Publisers. Printed in Netherlands.
- Dalrymple, R. A. 1985. Water wave mechanics for engineers and scientists, dalam **Physical Models and Laboratory Techniques In Coastal Engineering**, oleh S. A. Hughes. Advanced Series On Ocean Engineering-Volume 7. World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd, Singapore.
- Doneker, R. L. 1996. **User's Manual For CORMIX : A Hydrodynamic Mixing Zone Model And Decision Support System For Pollutant Discharge Into Surface Waters.** Office Of Science And Technology U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460.
- Gawad, J.A. McCorquodale, dan H. Gerges. 1996. Near-field mixing at an outfall. **Journal Civil Engineering., vol.23. 1996.**
- Hughes, S. A. 1993. **Physical Models and Laboratory Techniques In Coastal Engineering.** Advanced Series On Ocean Engineering-Volume 7. World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd, Singapore.
- Jirka. 1986. Waste disposal in the ocean, dalam **Water Quality and Its Control**, diedit oleh M. Hino. Departement of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology, O-Okayama, Meguroku, Tokyo-Japan.
- Jirka. 2002. Waste disposal in the ocean, dalam **Water Quality and Its Control**, diedit oleh M. Hino. Departement of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology, O-Okayama, Meguroku, Tokyo-Japan.
- Kim, D.G., Seo, I.W. 2001. Modelling the mixing of heated water discharged from a submerged multiport diffuser. **Journal of Hidraulic Research, vol.38. 2000, no. 4.**

- Lee, J.H.W dan V. Cheung,. 1991. Mixing of buoyancy-dominated jets in a weak current. **Proc. Institute Civil Engineerings, part 2, 1991, march., 113-129.**
- Mukhtasor, dkk. 2002. A new approach to modelling initial dilution of buoyancy-dominated jet in moving water. **Journal Environmental Engineering, Sci., vol.1. 2002.**
- Mukhtasor, 1998. Probabilistic Ocean Outfall Design. **M.Sc. Thesis.** Memorial University of Newfoundland. St. John's NL. Canada
- Mukhtasor, 1997. Republika
- Mukhtasor, 2001 Hydrodynamic Modeling Ecological Risk-based Design of Produced Water Discharge from an Offshore Platform. **Ph.D. Thesis.** Memorial University of Newfoundland. St. John's NL. Canada
- Pribadi. 2005. "Pemodelan Dilusi *Outfall* Pada Aliran Arus Lemah Menggunakan Transducer Temperatur ". **Tugas Akhir S1.** Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.
- Robert M. Sorensen. 1998. **Basic Coastal Engineering** . A Memorial University of Newfoundland. Chapter 8. P. 210
- Roberts, P. J. W. 1996. Sea outfall, dalam **Environmental Hydraulics**, diedit oleh V. P. Singh and W. H. Hager. Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands.
- Sharp, J.J., 1994. Field Test On Small Marine Outfall. **Journal of Enviromental Engineering, ASCE, vol. 120. No. 2. March/April. 471-477.**
- Sharp, J. J., 1991. Marine Outfalls for Small Coartal Communities in Atlantic Canada. **Can. J. Civ. Eng. 18. 388-396.**
- Sharp, J. J. 1989, Hydraulic Design of Marine Outfalls, Inmarine Outfall Design and Sitting. **Seminar/Workshop. Nopember 20-21.** Continuing Education Division, Technical University of Nova Scotia.
- Wright, S.J. 1977. Effect of ambient crossflows and density stratification on the characteristic behavior of round turbulent buoyant jets. **Report no. KH-R-36**





LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Dimensi Untuk Model *Initial Dilution* Pada Percobaan

Untuk percobaan dilusi *outfall* kali ini, model fisik dari aliran fluida dapat diuraikan menjadi periode gelombang (T), panjang gelombang (L), buoyansi (B), momentum (M), debit (Q), amplitudo gelombang (a), kedalaman *discharge* (z) dan percepatan gravitasi (g)

Dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$S = f(B, M, Q, z, T, a, g, \theta_1, \theta_2)$$

Dimensi dari tiap-tiap variabel diatas adalah sebagai berikut :

S = Tidak berdimensi, π

$$[M] = L^4 T^{-2}$$

$$[B] = L^4 T^{-3}$$

$$[Q] = L^3 T^{-1}$$

$$[ag] = L^2 T^{-2}$$

$$[z] = L$$

$$[T] = T$$

Jumlah variabel, $n = 6$

- Jumlah dimensi primer, $j = 2$
- Jumlah persamaan yang dapat dibuat, $K = n - j = 6 - 2 = 4$
- Dengan repeating variabel :

$$\pi_1 = f(M, B, Q)$$

$$\pi_2 = f(M, B, ag)$$

$$\pi_3 = f(M, B, z)$$

$$\pi_4 = f(M, B, T)$$

Penyelesaiannya adalah sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(M, B, Q) = \left(\frac{L^4}{T^2}\right)^{X1} \left(\frac{L^4}{T^3}\right)^{Y1} \left(\frac{L^3}{T^1}\right)$$

$$\pi_2 = f(M, B, ag) = \left(\frac{L^4}{T^2}\right)^{X2} \left(\frac{L^4}{T^3}\right)^{Y2} \left(\frac{L^2}{T^2}\right)$$

$$\pi_3 = f(M, B, z) = \left(\frac{L^4}{T^2}\right)^{X3} \left(\frac{L^4}{T^3}\right)^{Y3} L$$

$$\pi_4 = f(M, B, T) = \left(\frac{L^4}{T^2}\right)^{X4} \left(\frac{L^4}{T^3}\right)^{Y4} T$$

Kemudian akan dicari analisa dimensinya agar mendapatkan persamaan seperti di bawah ini

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{z}{L_M}, \frac{L_M}{L_Q}, \frac{z_M}{L_Q}, \frac{h}{L}, \theta_1, \theta_2 \right)$$

Dengan persamaan skala panjang sebagai berikut :

$$L_M = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} = \frac{(L^4 T^{-2})^{3/4}}{(L^4 T^{-3})^{1/2}}$$

$$L_Q = \frac{Q}{M^{1/2}} = \frac{(L^3 T^{-1})}{(L^4 T^{-2})^{1/2}}$$

$$z_M = \frac{M^{1/2}}{u_{\max}} = \frac{(L^4 T^{-2})^{1/2}}{(L T^{-1})}$$

➤ Persamaan π_1 :

$$L : 4x_1 + 4y_1 = -3 \dots\dots\dots(a)$$

$$T : -2x_1 - 3y_1 = 1 \dots\dots\dots(b)$$

Eliminasi persamaan (a) & (b)

$$\begin{array}{r} 4x_1 + 4y_1 = -3 \quad \times (1) \quad 4x_1 + 4y_1 = -3 \\ -2x_1 - 3y_1 = 1 \quad \times (2) \quad -4x_1 - 6y_1 = 2 \quad + \\ \hline -2y_1 = -1 \\ y_1 = \frac{1}{2} \dots\dots\dots(c) \end{array}$$

Substitusi persamaan (c) ke (b)

$$\begin{array}{l} -2x_1 - 3\left(\frac{1}{2}\right) = 1 \\ -2x_1 = \frac{5}{2} \\ x_1 = -\frac{5}{4} \end{array}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \pi_1 &= M^{x_1} B^{y_1} Q = (L^4 T^{-2})^{x_1} (L^4 T^{-3})^{y_1} L^3 T^{-1} \\ &= (L^4 T^{-2})^{-5/4} (L^4 T^{-3})^{1/2} L^3 T^{-1} \\ &= \frac{(L^4 T^{-2})^{5/4}}{(L^4 T^{-3})^{1/2} L^3 T^{-1}} = \frac{L_M}{L_Q} \end{aligned}$$

➤ Persamaan π_2 :

$$L : 4x_2 + 4y_2 = -2 \dots\dots\dots(a)$$

$$T : -2x_2 - 3y_2 = 2 \dots\dots\dots(b)$$

Eliminasi persamaan (a) & (b)

$$\begin{array}{r} 4x_2 + 4y_2 = -2 \quad \times (1) \quad 4x_2 + 4y_2 = -2 \\ -2x_2 - 3y_2 = 2 \quad \times (2) \quad -4x_2 - 6y_2 = 4 \quad + \\ \hline -2y_2 = 2 \\ y_2 = -1 \dots\dots\dots(c) \end{array}$$

Substitusi persamaan (c) ke (a)

$$\begin{aligned} 4x_2 + 4(-1) &= -2 \\ 4x_2 &= 2 \\ x_2 &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \pi_2 &= M^{x_2} B^{y_2} \text{ ag} = (L^4 T^{-2})^{x_2} (L^4 T^{-3})^{y_2} L^2 T^{-2} \\ &= (L^4 T^{-2})^{1/2} (L^4 T^{-3})^{-1} L^2 T^{-2} \\ &= \frac{L}{L} = \frac{h}{L} \end{aligned}$$

➤ Persamaan π_3 :

$$L: 4x_3 + 4y_3 = -1 \dots\dots\dots(a)$$

$$T: -2x_3 - 3y_3 = 0 \dots\dots\dots(b)$$

Eliminasi persamaan (a) & (b)

$$\begin{array}{r} 4x_3 + 4y_3 = -1 \quad \times (1) \quad 4x_3 + 4y_3 = -1 \\ -2x_3 - 3y_3 = 0 \quad \times (2) \quad -4x_3 - 6y_3 = 0 \quad + \\ \hline -2y_3 = -1 \\ y_3 = \frac{1}{2} \dots\dots\dots(c) \end{array}$$

Substitusi persamaan (c) ke (a)

$$4x_3 + 4\left(\frac{1}{2}\right) = -1$$

$$4x_3 = -3$$

$$x_3 = -\frac{3}{4}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \pi_3 &= M^{x_3} B^{y_3} Z = (L^4 T^{-2})^{x_3} (L^4 T^{-3})^{y_3} L \\ &= (L^4 T^{-2})^{-3/4} (L^4 T^{-3})^{1/2} L \\ &= \frac{(L^4 T^{-3})^{1/2} L}{(L^4 T^{-2})^{3/4}} = \frac{z}{L_M} \end{aligned}$$

➤ Persamaan π_4 :

$$L : 4x_4 + 4y_4 = 0 \dots\dots\dots(a)$$

$$T : -2x_4 - 3y_4 = -1 \dots\dots\dots(b)$$

Eliminasi persamaan (a) & (b)

$$\begin{array}{rcl}
 4x_4 + 4y_4 = 0 & \times (1) & 4x_4 + 4y_4 = 0 \\
 -2x_4 - 3y_4 = -1 & \times (2) & -4x_4 - 6y_4 = -2 \\
 \hline
 & & -2y_4 = -2 \\
 & & y_4 = 1 \dots\dots\dots(c)
 \end{array}$$

Substitusi persamaan (c) ke (a)

$$\begin{aligned}
 4x_4 + 4(1) &= 0 \\
 4x_4 &= -4 \\
 x_4 &= -1
 \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned}
 \pi_4 &= M^{x_4} B^{y_4} T = (L^4 T^{-2})^{x_4} (L^4 T^{-3})^{y_4} T \\
 &= (L^4 T^{-2})^{-2} (L^4 T^{-3})^1 T \\
 &= \frac{(L^4 T^{-2})}{(L^4 T^{-2})} = \frac{z_M}{I_Q}
 \end{aligned}$$

Maka, dari perhitungan diatas didapat persamaan *initial dilution* seperti dibawah ini :

$$\checkmark \pi_1 = \frac{(L^4 T^{-2})^{5/4}}{(L^4 T^{-3})^{1/2} L^3 T^{-1}}$$

$$S = f\left(\frac{L_M}{L_Q}\right)$$

$$\checkmark \pi_2 = \frac{L}{L}$$

$$S = f\left(\frac{h}{L}\right)$$

$$\checkmark \pi_3 = \frac{(L^4 T^{-3})^{1/2} L}{(L^4 T^{-2})^{3/4}}$$

$$S = f\left(\frac{z}{L_M}\right)$$

$$\checkmark \pi_4 = \frac{(L^4 T^{-2})}{(L^4 T^{-2})}$$

$$S = f\left(\frac{z_M}{L_Q}\right)$$

Jadi perumusan perhitungan *initial dilution* pada percobaan kali ini adalah :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{z}{L_M}, \frac{L_M}{L_Q}, \frac{z_M}{L_Q}, \frac{h}{L}, \theta_1, \theta_2 \right)$$

Lampiran 2. Data Parameter-parameter Percobaan

Exp No.	D (cm)	A (cm ²)	Vo (cm/s)	Q (cm ³ /s)	T (s)	a (cm)	H (cm)	σ (Hz)	L (cm)	k	umax (cm/s)
1	0,26	0,05	15	0,796	1,5	4,4	8,8	4,19	329,45	0,02	11,13
2	0,26	0,05	15	0,796	1,3	4,1	8,2	4,83	257,52	0,02	9,32
3	0,26	0,05	15	0,796	1,2	1,5	3,0	5,23	222,18	0,03	3,15
4	0,26	0,05	15	0,796	1,4	4,9	9,8	4,49	293,44	0,02	11,83
5	0,26	0,05	15	0,796	1,6	4,4	8,8	3,93	365,25	0,02	11,55
6	0,26	0,05	15	0,796	1,5	5,2	10,4	4,19	329,45	0,02	13,16
7	0,26	0,05	15	0,796	1,5	5,7	11,4	4,19	329,45	0,02	14,42
8	0,26	0,05	15	0,796	1,6	5,6	11,2	3,93	365,25	0,02	14,70
9	0,26	0,05	15	0,796	1,7	5,8	11,6	3,69	400,71	0,02	15,68
10	0,26	0,05	15	0,796	1,7	6,7	13,4	3,69	400,71	0,02	18,12
11	0,26	0,05	15	0,796	2	7,2	14,4	3,14	504,62	0,01	20,68
12	0,26	0,05	15	0,796	1,5	6,5	13,0	4,19	329,45	0,02	16,45
13	0,26	0,05	15	0,796	1,9	5,7	11,4	3,31	470,38	0,01	16,10
14	0,26	0,05	15	0,796	2	6,7	13,4	3,14	504,62	0,01	19,25
15	0,26	0,05	15	0,796	1,9	6,5	13,0	3,31	470,38	0,01	18,37
16	0,26	0,05	15	0,796	1,2	1,5	3,0	5,23	222,18	0,03	3,15
17	0,26	0,05	15	0,796	1,3	4,6	9,2	4,83	257,52	0,02	10,46
18	0,26	0,05	15	0,796	1,8	1,9	3,8	3,49	435,75	0,01	5,26
19	0,26	0,05	15	0,796	1,6	1,8	3,6	3,93	365,25	0,02	4,73
20	0,26	0,05	15	0,796	1,2	1,5	3,0	5,23	222,18	0,03	3,15

Lampiran 3. Skala Panjang Percobaan

B (cm ⁴ /s ³)	M (cm ⁴ /s ²)	L _Q (cm)	L _M (cm)	Z _M (cm)		Z _M /L _Q		L _Q /Z _M		L _M /L _Q	z/L _M	
				z = 13	z = 10	z = 13	z = 10	z = 13	z = 10		z = 13	z = 10
				13,75	11,94	0,23	1,7	0,3	0,3		1,3	1,3
13,75	11,94	0,23	1,7	0,4	0,4	1,6	1,6	0,622	0,622	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,1	0,1	4,8	4,8	0,21	0,21	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,3	0,3	1,3	1,3	0,789	0,789	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,3	0,3	1,3	1,3	0,77	0,77	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,3	0,3	1,1	1,1	0,877	0,877	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	1,0	1,0	0,962	0,962	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	1,0	1,0	0,98	0,98	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	1,0	1,0	1,046	1,046	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	0,8	0,8	1,208	1,208	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	0,7	0,7	1,379	1,379	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	0,9	0,9	1,097	1,097	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	0,9	0,9	1,074	1,074	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	0,8	0,8	1,283	1,283	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,2	0,2	0,8	0,8	1,224	1,224	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,1	0,1	4,8	4,8	0,21	0,21	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,3	0,3	1,4	1,4	0,697	0,697	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,7	0,7	2,9	2,9	0,351	0,351	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	0,7	0,7	3,2	3,2	0,315	0,315	7,52	7,50	5,77
13,75	11,94	0,23	1,7	1,1	1,1	4,8	4,8	0,21	0,21	7,52	7,50	5,77

Lampiran 4. Gambar-gambar Visual Percobaan Di Laboratorium

