



TUGAS AKHIR (KL. 1702)

Pengembangan Perangkat Lunak untuk Analisa Bouyant Jet Tunggal dengan Metode Probabilistik

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
menyelesaikan program pendidikan sarjana
Oleh :

Dadang Kurniawan
NRP : 4398100047

Dosen Pembimbing :

1. Dr. Ir. Mukhtasor MEng.
2. Ir. Hasan Ikhwani MSc.

RSKe
005.1
Kur
P-1
2002



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	10-4-2003
Terima Dari	H1
No. Agenda Prp.	217222

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2002

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK ANALISA
BOUYANT JET TUNGGAL DENGAN METODE
PROBABILISTIK

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi salah satu
Syarat menyelesaikan program pendidikan Sarjana
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

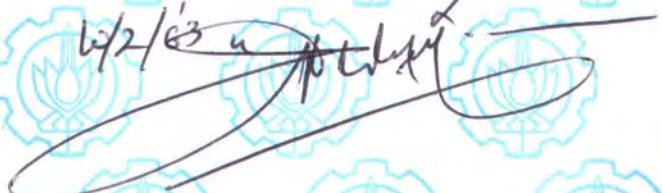
Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Mukhtasor, MEng.
NIP. 132 105 583



Dosen Pembimbing II



Ir. Hasan Ikhwani, MSc.
NIP. 132 048 145

ABSTRAK

Peraturan lingkungan laut yang berkembang sekarang ini, telah mengakomodasi aspek probabilitas di dalam mendefinisikan kualitas air laut. Konsep *mixing zone* berguna di dalam perencanaan *ocean outfall* untuk mengevaluasi apakah beban pencemaran masih berada dibawah standar daya dukung lingkungan laut atau tidak. Akan tetapi pada umumnya analisa *mixing zone* dilakukan dengan metode deterministik sehingga menyebabkan tidak diketahuinya derajat ketidakpastian hasil analisis dan berpotensi mengasilkan kesimpulan tidak tepat. Sayangnya software yang berkembang di masyarakat untuk permodelan *ocean outfall* pada saat ini tidak mengakomodir permodelan probabilitas. Oleh karena itu dalam tugas akhir “**Pengembangan Perangkat Lunak untuk Analisa Bouyant Jet Tunggal dengan Metode Probabilitas**” ini akan menghasilkan sebuah program *Visual Basic for Application* (VBA) yang akan memudahkan pengguna di dalam memodelkan *ocean outfall* jenis *bouyant jet* tunggal. Pada software ini akan dimodelkan tiga daerah penyebaran, yaitu *near field*, *intermediate region* dan *far field*. Kelebihan dari software ini adalah telah mengikutsertakan faktor ketidakpastian input model, koefisien model dan *error term*. Selain itu keunggulan lainnya adalah di dalam permodelan hidrodinamika ini telah memasukkan dua fenomena penyebaran pada daerah *far field* yaitu *bouyant spreading* dan *turbulent diffusion*. Prosedur simulasi di dalam analisa *mixing zone* menggunakan Simulasi Monte Carlo dan prosedur sampling memakai metode *Latin Hypercube Sampling* untuk memperpendek waktu simulasi dan mempertahankan akurasi output. Adapun output dari perangkat lunak ini adalah daerah penyebaran zona konsentrasi *produced water* hasil simulasi yang ditampilkan pada *chart surface*. Dari data *case study* North Sea dan Bass Strait, telah dilakukan analisa *mixing zone* dan mengevaluasi konsentrasi polutan *produced water* yang dihasilkan dengan membandingkannya dengan badan standar lingkungan yang ada. Untuk mengetahui akurasi dari simulasi *mixing zone* maka dibandingkan hasil output dari software yang penulis kembangkan dengan hasil output pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Evaluasi perbandingan menunjukkan hasil konsentrasi *produced water* yang relatif sama. Sehingga dari hasil perhitungan tugas akhir ini cukup layak untuk dipergunakan dalam analisa dan pengambilan kesimpulan yang sesuai dengan batasan-batasan yang diberikan di dalam tugas akhir ini.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdullilaahirabbil' aalamiin, Segala puji dan syukur saya persembahkan hanya bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam. Dia yang telah menciptakan manusia dari segumpal darah, dan menjadikan kegelapan dan cahaya. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan orang-orang yang mengikutinya hingga akhir jaman.

Berkat rahmat-Nya pula akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "**Analisa Bouyant Jet Tunggal dengan Menggunakan Metode Probabilistik**". Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program sarjana (Strata-1) pada Jurusan Teknik Kelautan - Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini berkaitan erat dengan permodelan hidrodinamika *mixing zone* atau penyebaran polutan dari ocean outfall untuk tipe *single buoyant jet* dengan menggunakan metode probabilistik yang dipalikasikan dalam bentuk software. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan mengenai *ocean outfall* di masa mendatang.

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir serta dalam menyelesaikan studi selama kuliah di

Jurusan Teknik kelautan. Untuk itu saya ucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak di bawah ini :

1. Bapak dan Ibu, yang selalu merawat, mendidik dan mendo'akan sejak sebelum lahir hingga selama menjalani hari-hari di dunia yang sebentar ini. (*Ya Allah...ampunilah mereka, kasih sayangilah mereka, sebagaimana mereka mengasihi aku waktu kecil*).
2. Bapak Dr. Ir. Paulus Indiyono MSc. selaku kepala Jurusan Teknik Kelautan.
3. Bapak Dr. Ir. Mukhtasor MEng. selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas segala bantuan yang selama ini telah diberikan (mulai dari awal hingga akhir), yang senantiasa rajin untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Hasan Ikhwani MSc. selaku dosen wali dan juga dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan bimbingan berarti dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak-bapak dosen yang ada di Jurusan Teknik Kelautan dan seluruh karyawan di jurusan Teknik Kelautan ITS. Terima kasih atas semua bantuannya
6. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir ini yaitu Satriyanto, Dyah dan mas Fajar (Timbul). Thank's untuk masukan, saran dan *attention-* nya.
7. Temen-temen kost-ku di Keputih Utara 69 antara lain Udin (Math'97), Iwan (Inf'98) dan Faridz (TekFis'98), terima kasih banyak karena telah

memberi ilmu Delphi dan VB nya. Untuk Shindu (Tekim '97), Dodo (Mesin '98) dan Khodir (Kapal '97) thank's minjemi printer dan catridge-nya, juga untuk sahabatku sejak kecilko (alm) Wawan makasih banyak semoga amalan ibadahmu diterima disisi-Nya.

8. Temen-temen angkatan 98, Mamat, Teguh, Indah, Yenung, Tia thank's untuk dukunganya menjelang P-3. Sahabatku seperjuangan Suyuthi, Teddy, Imawan, Yossy, Willy, Budi, Lucky dan Agus semoga tetap istiqomah dan mujahadah. Dan semua temen-temenku di Angkatan 98 (semoga cepat lulus semua dan berguna bagi agama dan bangsa kita).
9. Saudara-saudaraku warga Majelis Tafsir Alquran cabang sukolilo yang memberikan bantuan baik moral dan spiritual.
10. Berbagai pihak yang telah berjasa pada penulis dalam menyelesaikan TA ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini jauh dari kesempurnaan dan banyak kekurangannya, sehingga saya berharap masukan-masukan, kritik serta saran yang bersifat membangun yang nantinya akan bermanfaat bagi kesempurnaan dan pengembangan lebih lanjut. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, bangsa dan negara khususnya dibidang teknologi kelautan. Amin.

Wassalamualaikum wr. wb.

Surabaya, Februari 2003

Dadang Kurniawan

DAFTAS ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

i

DAFTAR ISI

iii

DAFTAR GAMBAR

v

DAFTAR TABEL

viii

DAFTAR NOTASI

ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1-1
1.2. Perumusan Masalah	1-2
1.3. Tujuan	1-3
1.4. Manfaat	1-3
1.5. Batasan Masalah	1-4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA : PERMODELAN MIXING ZONE

2.1. Ocean Outfall	2-1
2.2. Permodelan Hidrodinamis	2-3
2.3. Permodelan Hidrodinamika pada Near Field	2-4
2.4. Permodelan Hidrodinamika pada Intermediate	2-12

iii

2.4.1. Bulk Dilution	2-14
2.4.2. Lebar Plume dan Panjang Intrusi Upstream	2-15
2.4.3. Jarak Ujung Downstream dan Ketebalan plume	2-16
2.4.4. Intermediate Region	2-17
2.5. Permodelan Hidrodinamika pada Far Field	2-17
2.6. Model Mixing Zone	2-24
2.7. Prosedur Simulasi Monte Carlo	2-27

BAB III METODOLOGI

BAB IV ANALISA MIXING ZONE

4.1. Studi Kasus Perencanaan <i>Ocean Outfall</i>	4-1
4.2. Ukuran Ketidakpastian	4-3
4.3. Deskripsi Perangkat Lunak	4-6
4.3.1. Perumusan Numerik pada Permodelan <i>Ocean Outfall</i>	4-7
4.3.2. Tampilan Software	4-10
4.4. Skenario dan Hasil Simulasi Mixing Zone	4-14
4.5. Perbandingan Software Mixing Zone	4-23

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	5-1
5.2. Saran	5-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Gambar skema <i>bouyant jet</i> dan plume pada sebuah <i>produced water</i> dari <i>offshore structure</i>	2-2
Gambar 2.2.	<i>Submerged Bouyant Jet</i> pada kondisi aliran pembuangan yang berubah-ubah	2-6
Gambar 2.3.	Stabilitas <i>near filed</i> dan kondisi ketidakstabilan pada pembuangan <i>bouyant jet</i>	2-7
Gambar 2.4.	<i>Intermediate Region Discharge</i>	2-13
Gambar 2.5.	Definisi proses <i>density current buoyant surface spreading</i>	2-18
Gambar 2.6.	Koordinat pergerakan Plume	2-26
Gambar 2.7.	Titik-titik tipikal yang menunjukkan node untuk simulasi	2-27
Gambar 2.8	Metode Simulasi Monte Carlo dengan menggunakan <i>Latin Hypercube Sampling</i>	2-30
Gambar 3.1.	Flowchart Metodologi Tugas Akhir	3-4
Gambar 3.2.	General Flowchart Perhitungan Software	3-7
Gambar 3.3.	Sub flowchart perhitungan software dengan metode probabilistik	3-10
Gambar 4.1.	Input Data	4-11
Gambar 4.2.	Metode Pilihan	4-12
Gambar 4.3.	Input Probabilistik	4-12
Gambar 4.4.	Input Deterministik	4-13

Gambar 4.5. Masukan Data Numerik	4-13
Gambar 4.6. Contoh Hasil Simulasi <i>Mixing Zone</i>	4-14
Gambar 4.7. Konsentrasi (%) 95-percentile <i>produced water</i> (Studi Kasus Bass Straits)	4-15
Gambar 4.8. Konsentrasi (%) maksimum <i>produced water</i> (Studi Kasus Bass Straits)	4-16
Gambar 4.9. Konsentrasi (%) rata-rata <i>produced water</i> (Studi Kasus Bass Straits)	4-16
Gambar 4.10. Konsentrasi (%) 95-percentile <i>produced water</i> (Studi Kasus North Sea)	4-17
Gambar 4.11. Konsentrasi (%) maksimum <i>produced water</i> (Studi Kasus North Sea)	4-17
Gambar 4.12. Konsentrasi (%) rata-rata <i>produced water</i> (Studi Kasus North Sea)	4-18
Gambar 4.13. Konsentrasi (%) rata-rata <i>produced water</i> (Software yang penulis kembangkan)	4-24
Gambar 4.14. Konsentrasi (%) rata-rata <i>produced water</i> (Mukhtasor 2002)	4-24

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Tipe pembuangan <i>produced water</i>	4-1
Tabel 4.2.	Nilai dan hubungan pengukuran ketidakpastian input model & koefisien	4-5
Tabel 4.3.	Konsentrasi polutan pada produced water dari daerah yang berbeda	4-20
Tabel 4.4.	Standard kualitas air laut ($\mu\text{g/l}$) dari beberapa negara	4-21
Tabel 4.5.	Standar kualitas air laut (%) yang disesuaikan untuk kasus tipikal	4-22

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Di dalam aktifitas produksi pada setiap industri baik disekitar pantai atau daerah lepas pantai khususnya *produce water* pada *offshore structure* tidak akan terlepas dari masalah limbah atau polutan. Dari keseluruhan limbah industri tersebut pada akhirnya harus dibuang ke laut. Padahal dari setiap limbah tersebut masih mengandung bahan-bahan beracun atau toksin yang akan membawa dampak negatif kepada lingkungan laut sekitarnya. Salah satu konsep yang dapat dipergunakan untuk mengevaluasi beban pencemaran adalah konsep *mixing zone*. Konsep *mixing zone* berguna di dalam perencanaan *ocean outfall* untuk mengevaluasi apakah beban pencemaran masih berada dibawah standar daya lingkungan.

Mixing zone merupakan zona impak teralokasi dimana nilai numerik dari standar kualitas lingkungan bisa dilampaui selama kondisi akut dan kronis dapat dicegah. Namun, pada umumnya analisa *mixing zone* masih dilakukan dengan menggunakan metode deterministik yaitu dengan memanfaatkan data lapangan dalam bentuk *time series* tanpa mengikutsertakan ketidakpastian didalam penentuan nilai parameter permodelan, baik input model, koefisien model dan *error term* (Mukhtasor 2001). Tugas akhir ini dilakukan untuk mengembangkan suatu perangkat lunak *ocean outfall* jenis



bouyant jet tunggal berbasis probabilistik yang mengikutsertakan ketidakpastian di dalam input model, koefisien model dan *error term*. Tugas akhir ini penting dilakukan karena dilatar belakangi oleh, Pertama; Peraturan lingkungan yang ada sekarang lebih condong untuk menggunakan metode probabilistik, karena pada umumnya dalam analisa *mixing zone* masih dilakukan dengan menggunakan metode deterministik dengan simulasi domain waktu dengan memanfaatkan data lapangan dalam bentuk *time series* sehingga kurang mengakomodasi kondisi riil yang ada di lapangan. Kedua; masih belum adanya perangkat lunak berbasis probabilistik yang secara mudah dapat dioperasikan untuk membantu dalam permodelan *mixing zone*. Ketiga; di dalam pengoperasian perangkat lunak yang sudah ada untuk permodelan *mixing zone* masih belum mengakomodir atau memperhitungkan faktor ketidakpastian input model, koefisien model dan pengaruh *error term*.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah menghasilkan suatu perangkat lunak yang dapat dipergunakan untuk perencanaan *ocean outfall* berbasis probabilstik dengan mengikutsertakan faktor ketidakpastian input model, dan koefisien serta *error term* yang selama ini diabaikan di dalam perhitungan keandalan lingkungan. Disamping itu juga dipergunakan analisa probabilitas di dalam mengatasi



keidakpastian di dalam outfall, yang selama ini masih menggunakan metode deterministik dengan simulasi domain waktu dengan memanfaatkan data lapangan dalam bentuk *time series*. Sehingga hasil dari tugas akhir ini diharapkan mampu untuk menghasilkan sebuah perangkat untuk membantu di dalam perencanaan *ocean outfall* jenis *bouyant jet* tunggal berbasis probabilistik.

1.3. Tujuan

Penulisan ini bertujuan untuk:

1. Membuat suatu perangkat lunak berbasis probabilistik yang mudah dipergunakan dan dioperasikan untuk membantu dalam perencanaan *ocean outfall* jenis *bouyant jet* tunggal.
2. Membuat serangkaian *case study* pada perencanaan *ocean outfall* menggunakan data *produced water* pada anjungan lepas pantai dari penelitian yang sudah ada.

1.4. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Software ini diharapkan bisa mendukung pengembangan bidang ilmu dan teknologi, khususnya dalam kaitanya dengan persoalan perencanaan *ocean outfall* jenis *bouyant jet* tunggal.



2. Software ini diharapkan dapat dipakai dan dioperasikan dengan mudah di dalam perencanaan *ocean outfall* untuk jenis *bouyant jet* tunggal dengan metode probabilistik
3. Dari hasil *case study* diharapkan diperoleh kesimpulan apakah beban pencemaran pada pembuangan *produce water* pada offshore platform, masih memenuhi standar daya dukung lingkungan atau tidak.

I.5. Batasan Masalah

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah penyelesaian tugas akhir ini, maka akan dibatasi sebagai berikut :

1. Dalam pembuatan perangkat lunak ini dibatasi pada *Submerged Single Port Discharges*.
2. Tampilan yang dihasilkan dari permodelan berbentuk 2D (dimensi).
3. Dalam analisa *mixing zone* digunakan metode probabilitas.
4. Probabilitas menggunakan Simulasi Monte Carlo yang menyertakan metode sampling LHS (*Latin Hypercube Sampling*).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA :
PERMODELAN MIXING ZONE



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA :

PERMODELAN MIXING ZONE

2.1. Ocean Outfall

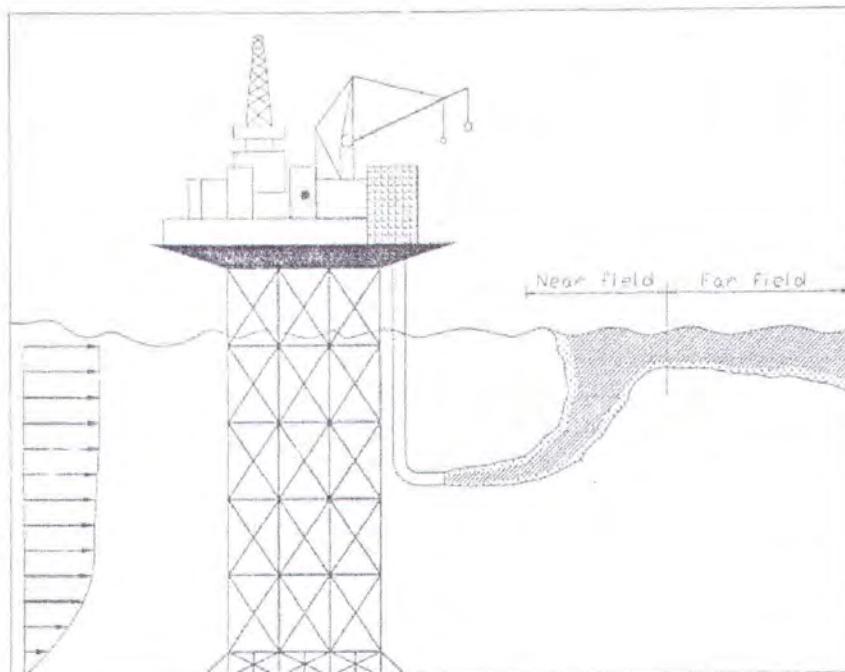
Ocean outfall banyak dipakai sebagai fasilitas pembuangan limbah ke pantai (misalnya limbah sewage, air pendingin PLTU, limbah industri daerah pantai dan sebagainya) atau ke laut bebas (misalnya limbah produksi minyak, *produced water* dan sebagainya). Ketika limbah keluar dari pipa outfall, daerah penyebaran limbah ke badan air laut dapat dikelompokkan menjadi tiga (Mukhtasor 2001). Pertama pada daerah *near field* dimana *initial dilution* dipakai sebagai ukuran tingkat pencampuran antara limbah dengan air laut. Kedua, daerah *far field* yang ditandai oleh proses *bouyant spreading* dan difusi turbulen. Ketiga, daerah transisi atau *intermediate region* yang menghubungkan *near field* dan *far field*.

Secara umum sistem mendasar dari *ocean outfall* cukup sederhana. Melalui beberapa pra-pengolahan, limbah dibuang di kedalaman laut keluar melalui pipa outfall. Parameter dari pra-pengolahan tergantung dari seberapa besar beban populasi dan ketetapan peraturan pemerintah. Sistem *ocean outfall* tidak sekedar membuang limbah, akan tetapi hal yang lebih penting yaitu mengijinkan proses secara alami untuk menstabilisasi limbah tanpa menyebabkan bahaya pada lingkungan laut. Perhitungan *initial dilution* dan



konsentrasi bakteri di dalam daerah sensitif merupakan faktor yang sangat penting untuk tujuan desain.

Beberapa parameter yang berpengaruh pada *ocean outfall* antara lain aliran limbah, kecepatan arus air laut, kedalaman di atas pembuangan, parameter kerusakan (*decay parameter*) dan konsentrasi bakteri yang dibuang.



Gambar 2.1. Gambar skema *bouyant jet* dan plume pada sebuah *produced water* dari *offshore structure* (Mukhtasor 2001)



2.2. Permodelan Hidrodinamis

Permodelan hidrodinamis merupakan alat penting yang digunakan untuk desain outfall. Permodelan hidrodinamis juga diperlukan untuk memperkirakan konsentrasi polutan pada *ambient water*. Untuk pembuangan *produced water* dapat dikategorikan sebagai *stable buoyant jet discharge*.

Di dalam mempelajari masalah pembuangan *effluent*, sangat penting sekali memperjelas antara aspek fisik proses pencampuran hidrodinamik yang ditentukan oleh banyaknya *effluent*, dan konsep administratif dari peraturan *mixing zone* yang dimaksudkan untuk mencegah bahaya pengaruh langsung dari pembuangan *effluent* pada lingkungan perairan. Karakteristik percampuran beberapa limbah buangan dipengaruhi oleh karakteristik pembuangan dan pengaruh kondisi *ambient* terhadap penerimaan badan air laut. Kondisi *ambient* di dalam penerimaan badan air digambarkan dengan karakteristik dinamis dan geometri badan air laut. Karakteristik dinamis diberikan oleh distribusi kecepatan serta massa jenis di dalam badan air laut. Parameter penting dari geometri mencakup perencanaan bentuk, vertikal *cross section* dan bathymetri. Kondisi *discharge* berhubungan dengan geometri dan karakteristik *flux* dari instalasi outfall jenis *submerge*. Karakteristik *flux* dipengaruhi oleh banyaknya aliran pembuangan *effluent*, yaitu momentum *flux* dan bouyansi *flux*. Bouyansi *flux* menjelaskan tentang pengaruh perbedaan massa jenis diantara pembuangan *effluent* dan kondisi *ambient*.



dengan percepatan gravitasi. Hal ini diukur dari kecenderungan aliran naik (bouyansi positif) atau turun (bouyansi negatif).

Daerah penyebaran limbah ke badan air dapat dikelompokkan menjadi tiga daerah (Mukhtasor 2001). Pertama daerah *near field* dimana *initial dilution* dipergunakan sebagai tingkat percampuran antara limbah dengan air laut. Di daerah *near field* karakteristik *initial jet* meliputi momentum flux, bouyansi flux dan geometri outfall berpengaruh pada pergerakan jet dan percampuran. Kedua, daerah *far field* yang ditandai oleh proses *bouyant spreading* dan difusi turbulen. Turbulen plume bergerak menjauhi pipa outfall, dimana karakteristik sumber pembuangan menjadi kurang dominan. Kondisi yang ada di sekitar penyebaran akan dikendalikan arah dan *dilution* dari turbulen *plume* oleh pergerakan *bouyant spreading* dan difusi turbulen. Ketiga, daerah transisi atau *intermediate region* yang menghubungkan antara *near field* dan *far field*.

2.3. Permodelan Hidrodinamika pada Near Field

Di dalam permodelan hidrodinamik, *initial dilution* telah secara luas dipergunakan untuk mengukur percampuran antara *effluent* dengan badan air laut di daerah *near field*. *Initial dilution* sendiri merupakan banyaknya perbandingan konsentrasi polutan yang dibuang dengan konsentrasi pada permukaan air laut. *Initial dilution* terjadi karena *entrainment* disekeliling limbah selama *effluent* naik atau tenggelam dari pipa outfall, naik dan



tenggelamnya limbah terjadi karena akibat perbedaan bouyansi diantara massa jenis limbah dan air laut.

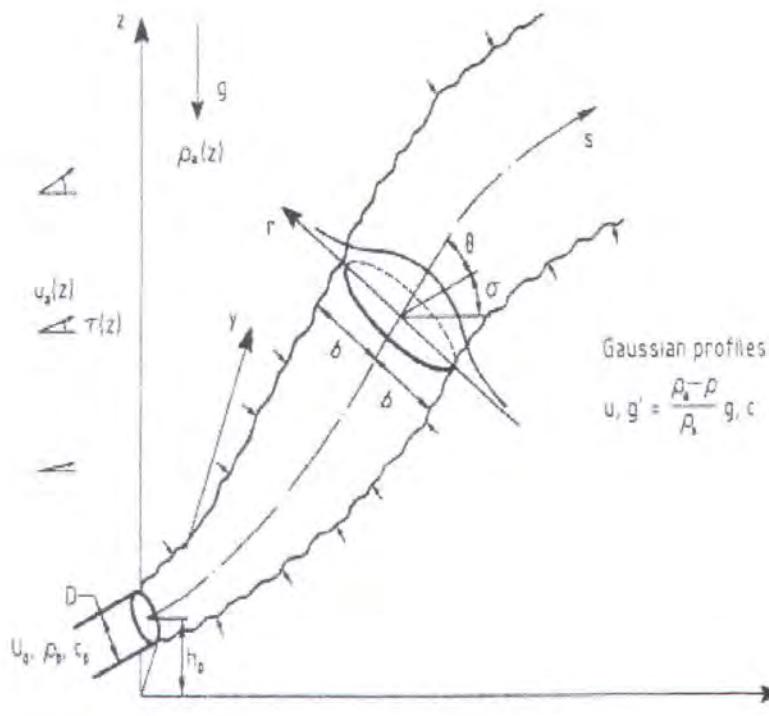
Tingkat percampuran limbah dengan air laut pada daerah *near field* atau *initial dilution*, dapat ditingkatkan dengan kondisi geometri outfall dan memperhatikan jet yang keluar dari pipa outfall, karakteristik limbah (*effluent*) dan kondisi lingkungan laut (Mukhtasor 2001).

Tiga tipe penting di dalam proses *near field*, yaitu percampuran *bouyant jet* di bawah permukaan air laut, *boundary interaction* dan percampuran *bouyant jet* di permukaan air laut.

Secara umum *bouyant jet* atau sering disebut *forced plume*, merupakan kombinasi antara *initial momentum flux* dengan *bouyansi flux* yang membentuk percampuran turbulen. Hal ini berbeda dengan *pure jet* yang sering disebut momentum jet atau *non-bouyant jet*, dimana momentum flux dalam bentuk *high velocity injection* menyebabkan percampuran turbulen.

Percampuran *bouyant jet* dipengaruhi oleh *ambient* arus air laut dan perbedaan berat jenis air laut. Pengaruh *ambient* arus air laut mengakibatkan pembelokan *bouyant jet*.

Tingkat pencampuran limbah dengan air laut pada daerah *near field*, atau *initial dilution*, dapat ditingkatkan dengan desain geometri outfall serta memperhatikan karakteristik jet yang keluar dari pipa outfall, karakteristik limbah atau *effluent* dan kondisi lingkungan laut.



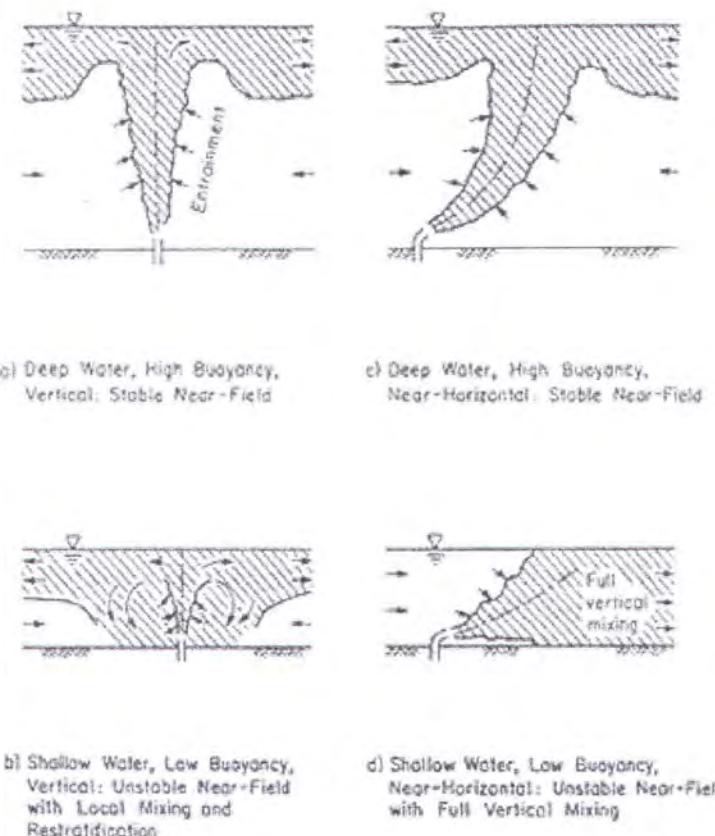
Gambar 2.2. Submerged Bouyant Jet pada kondisi aliran pembuangan yang berubah-ubah (U.S. EPA, 1999)

Salah satu masalah penting di dalam desain geometri adalah pemilihan bentuk, ukuran dan susunan pipa pengeluaran, yang mungkin terdiri atas pipa pengeluaran tunggal (*single port*) atau sebuah difuser yang terdiri dari beberapa pipa pengeluaran (*multiport difuser*). Aspek penting di dalam analisa *effluent* adalah memperkirakan apakah kondisinya stabil atau tidak stabil pada daerah *near field*. Perkiraan kondisi stabil diperlukan supaya proses pencampuran dapat berlangsung lebih efektif. Kondisi stabil disyaratkan dengan kondisi sebagai berikut (Hamdy 1981 dalam Mukhtasor 2001):



$$\frac{H}{d} > 0.22Fo \quad (1)$$

dimana H adalah kedalaman air laut, dan d adalah diameter pipa pembuangan (*port*).



Gambar 2.3. Stabilitas *near field* dan kondisi ketidakstabilan pada pembuangan *bouyant jet* (U.S. EPA, 1999)

Fo merupakan angka densimetrik froude, yang didefinisikan oleh (William 1985 dalam Mukhtasor 2001) :



$$Fo = \frac{V_j}{\sqrt{\left(gd \frac{(\rho_a - \rho_o)}{\rho_o} \right)}} \quad (2)$$

Pada persamaan (1) mempunyai sensitifitas yang kecil sudut pembuangan terhadap arah arus (Jirka dan Lee 1994 dalam Mukhtasor 2001). Ketika kriteria tersebut tidak dipenuhi, maka jet termasuk dalam kategori laut dangkal, dimana momentum pada karakteristik jet cukup dominan dan menyebabkan ketidakstabilan pergerakan *bouyant jet*, serta menimbulkan daerah sirkulasi lokal. Untuk menghasilkan percampuran yang maksimum, ketidakstabilan *bouyant jet* hendaknya dihindari agar tidak terjadi resirkulasi plume dan mengurangi *entrainment* (Hamdy 1981 dalam Mukhtasor 2001).

Pada permodelan *initial dilution* di daerah *near field* untuk *bouyant jet* stabil dipergunakan perumusan (Mukhtasor 2001):

$$\frac{SQ}{uz^2} = 0.13 \left(\frac{z}{l_b} \right)^{(-0.31)} + 0.46 \exp \left(\frac{-0.22}{z/l_b} \right) \quad (3)$$

$$\frac{SQ}{uz^2} = (0.13 \pm 0.02) \left(\frac{z}{l_b} \right)^{(-0.31 \pm 0.03)} + (0.46 \pm 0.02) \exp \left(\frac{(-0.22 \pm 0.04)}{z/l_b} \right) + N(0, 0.092) \quad (4)$$



Dimana S adalah *initial (centerline) dilution* (dimensi) pada kedalaman z diatas pembuangan, Q adalah kecepatan pembuangan *outfall*, u adalah kecepatan arus ambient (m/s), $N(0, 0.092)$ menunjukkan sisa dari model yaitu distribusi normal dengan rata-rata nol dan standar deviasi 0.092, dan l_b adalah skala panjang bouyansi yang didefinisikan sebagai (Mukhtasor 2001) :

$$l_b = \frac{Qg}{u^3} \left(\frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_o} \right) \quad (5)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi, ρ_a dan ρ_o masing-masing adalah densitas dari *ambient seawater* dan *effluent*.

Untuk tipe *discharge* horizontal, pergerakan hanya pada daerah ($x-y$) yang dipengaruhi oleh momentum jet, M , dan *ambient current*, u . Model untuk lokasi *boil* horizontal x_b pada permukaan air laut adalah (Lee dan Neville-Jones 1987a dalam Mukhtasor 2001) :

$$x_b = C_3 \frac{H^{4/3}}{l_b^{1/3}} \quad \text{untuk } H \ll l_b \quad (6)$$

$$x_b = C_4 \frac{H^{3/2}}{l_b^{1/2}} \quad \text{untuk } H \gg l_b \quad (7)$$



dimana H adalah kedalaman air diatas pembuangan, dan C_3 dan C_4 merupakan koefisien yang ditentukan berdasarkan data lapangan dan laboratorium. Wright (1977b) dalam Mukhtasor 2001 mencatat bahwa nilai dari C_3 (persamaan 6) dipengaruhi oleh metode untuk mendapatkan data, yaitu 0.6702 dari pengukuran fotografis dan 0.4571 dari pengukuran konsentrasi. Huang te al. (1996) menggunakan nilai 0.5824 untuk C_3 berdasarkan pada model CORMIX (Donaker dan Jirka 1990). Biasanya C_3 diperlakukan sebagai sebuah konstanta. Lee dan Neville-Jones (1987a) dalam Mukhtasor (2001) mengusulkan nilai 1.1 untuk C_4 pada model untuk perkiraan lokasi *boil* rata-rata x_b berdasarkan percobaan lapangan pada enam outfall, akan tetapi Wright (1977b) mencatat bahwa variasi C_4 tergantung pada perbandingan antara bouyansi dan panjang skala momentum (Mukhtasor 2001), yaitu :

$$C_4 = C_5 \left(\frac{l_b}{l_m} \right)^{1/4} \quad (8)$$

dimana l_m didefinisikan sebagai :

$$l_m = \frac{(u_j Q)^{1/2}}{u} \quad (9)$$



Nilai dari C_3 juga dipengaruhi oleh metode untuk mendapatkan data berdasarkan pada data fotografik dan pengukuran konsentrasi, yaitu masing-masing 0.6037 dan 1.2761.

Sebuah nilai C_4 yang konstan dapat diterima pada kasus tertentu dimana hanya terdapat variasi yang kecil pada rasio bouyansi dan panjang skala momentum (persamaan 8). Pada permodelan untuk produced water, Smith et al (1996) menggunakan model CORMIX dengan menganggap nilai C_4 sebagai konstan pada nilai 1.0 (Huang et al 1996 dalam Mukhtasor 2001).

Metode interpolasi dipakai untuk mengatasi kondisi nonlinear pada daerah transisi antara dua kasus persamaan diatas (persamaan 6 dan 7). Pada interpolasi ini, persamaan 6 menggunakan $H/l_b < 0.1$ dan persamaan 7 menggunakan $H/l_b > 10$. Diantara dua daerah tersebut, nilai dari sebuah variabel merupakan sebuah fungsi dari daerah yang lainnya (Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001), didefinisikan dengan :

$$I_{tr} = \alpha_1 I_{0.1} + \alpha_2 I_{10} \quad (10)$$

Dimana $I_{0.1}$, I_{10} dan I_{tr} adalah variabel masing-masing dari $H/l_b < 0.1$, $H/l_b > 10$ dan $0.1 \leq H/l_b \leq 10$. Huang et al (1996) dalam Mukhtasor (2001) memperkirakan koefisien α_1 dan α_2 sebagai berikut :



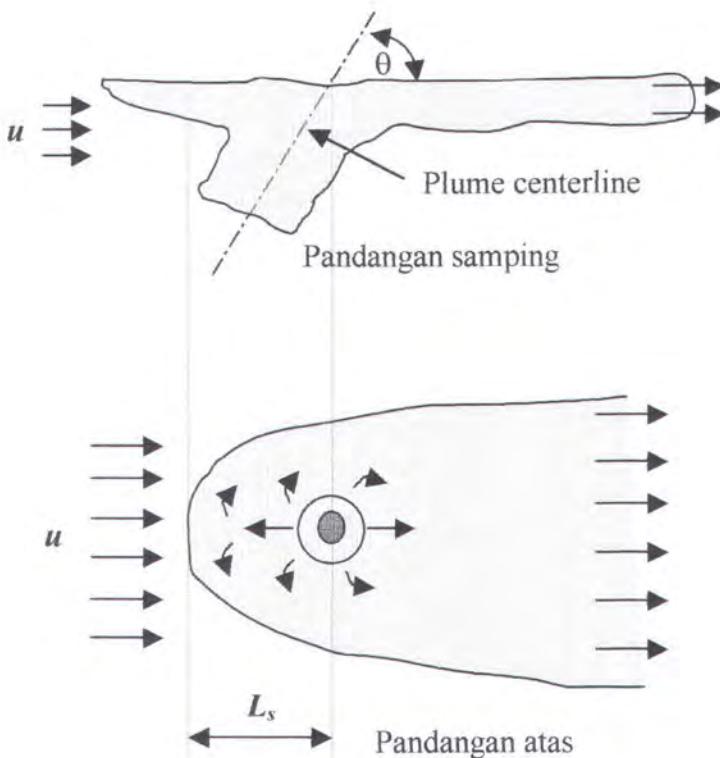
$$a_1 = 0.5 - 0.5 \log_{10} \left(\frac{H}{l_b} \right) \quad (11)$$

$$a_2 = 0.5 + 0.5 \log_{10} \left(\frac{H}{l_b} \right) \quad (12)$$

2.4. Permodelan Hidrodinamika pada Intermediate

Setelah naiknya *plume* dari daerah *near field* menuju permukaan air, *surface impingement* akan mengambil peran penting. Jet akan memantul dan mulai menyebar dan bergerak ke arah horisontal. Dalam proses ini akan menghasilkan fenomena *boil* dan loncatan hidrolis jika loncatan tersebut terjadi. Sebuah kontrol volume dimana daerah yang permukaannya berpindah, dapat didefinisikan sebagai daerah transisi (*intermediate region*), yang menghubungkan antara *near field* dan *far field*.

Untuk permodelan tipe *produced water*, daerah transisi sering diabaikan. Input untuk model intermediate biasanya diambil secara langsung dari output model *initial dilution*.



Gambar 2.4. Intermediate Region Discharge
(Modifikasi dari Mukhtasor 2001, Donaker dan Jirka 1990)

Perumusan untuk analisa pada *intermediate region* didasarkan pada sebuah pendekatan volume kontrol, dimana *inflow* adalah aliran *bouyant jet* yang naik di dekat permukaan air, dan *outflow* merupakan *plume* pada permukaan air laut yang bergerak horisontal dibawah pengaruh arus air laut. Karakteristik *outflow* yang diperlukan untuk menghubungkan *near field* dan *far field* meliputi *bulk dilution* S_a , lebar *plume* L_o , ketebalan dari *plume* h_o , dan jarak dari pusat *boil* sampai ke hulu (*upstream*) L_s , dan ujung hilir (*downstream*) dari volume kontrol (x_D) (Mukhtasor 2001).



2.4.1. Bulk Dilution

Bulk dilution pada ujung hilir (*downstream*) dari kontrol volume, S_a , dimodelkan dengan persamaan (Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001) :

$$S_a = C_{S1} S \quad \text{untuk } H/l_b < 0.1 \quad (13)$$

$$S_a = C_{S2} S \quad \text{untuk } H/l_b > 10 \quad (14)$$

Ketika $H/l_b < 0.1$, bouyant jet yang bergerak vertikal dengan terdefleksi lemah oleh aliran arus, sehingga *bouyant jet* mendekati permukaan air pada sudut yang hampir vertikal. Dalam kasus tersebut dimungkinkan terjadi *hydraulic jump internal*. Karena data percobaan yang relevan tidak tersedia, koefisien C_{S1} diperkirakan berdasarkan percobaan pada kondisi air tenang (Wright et al. 1991, Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001). Asumsi air tenang diterapkan untuk kasus yang sedang dikaji. Ketidakpastian yang berhubungan dengan nilai koefisien C_{S1} ditetapkan nilainya diantara 3 dan 5 berdasarkan percobaan dari Wright et al. (1991) dalam Mukhtasor (2001).

Ketika $H/l_b > 10$, *bouyant jet* yang naik ke permukaan terdefleksi dengan kuat oleh arus air laut sehingga pada waktu *plume* mendekati permukaan air laut, sudut yang dibentuk hampir horisontal. Pada kasus produced water,



nilai konstanta C_{S2} dilaporkan berkisar pada interval 1.5 sampai 2.0 (Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001).

2.4.2. Lebar Plume dan Panjang Intrusi Upstream

Lebar *plume* pada *downstream end* pada volume kontrol, L_o , diperkirakan (Huang 1996, Donaker dan Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001):

$$L_o = 5.2 L_s \text{ untuk } H/l_b < 0.1 \quad (15)$$

L_s adalah panjang intrusi *upstream*, yaitu jarak dari pusat *boil* menuju ke *upstream end* dari kontrol volume. Untuk kasus $H/l_b < 0.1$, parameter L_s didefinisikan (Doneker dan Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001):

$$L_s = 2.12 H^{3/2} (1 - \cos \theta)^{3/2} l_b^{-1/3} \text{ untuk } l_b/H > 6.11 (1 - \cos \theta) \quad (16)$$

$$L_s = 0.38 l_b \quad \text{untuk } l_b/H \leq 6.11 (1 - \cos \theta) \quad (17)$$

merupakan sudut antara axis kenaikan *bouyant jet* dengan permukaan air, diperkirakan $\theta = \tan^{-1}(H/l_b)$ (Huang 1996 dalam Mukhtasor 2001).

Ketika $H/l_b > 10$, lebar dari *plume* pada *downstream end* dari kontrol volume, L_o , dan jarak dari pusat *boil* ke *upstream end* dari kontrol volume,



L_s , diperkirakan (Doneker dan Jirka 1990, Huang 1996 dalam Mukhtasor 2001) :

$$L_o = 2\sqrt{\frac{S_a Q}{2u}} \quad \text{untuk } H/l_b > 10 \quad (18)$$

$$L_s = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\frac{S_a Q}{\pi u}} \quad \text{untuk } H/l_b > 10 \quad (19)$$

2.4.3. Jarak Ujung Downstream dan Ketebalan plume

Jarak dari *boil center* menuju ke *downstream end* dari kontrol volume, x_D , diperkirakan (Mukhtasor 2001) :

$$x_D = C_{D1} H \quad \text{untuk } H/l_b < 0.1 \quad (20)$$

$$x_D = C_{D2} H \quad \text{untuk } H/l_b > 10 \quad (21)$$

C_{D1} dan C_{D2} merupakan koefisien model. Nilai dari C_{D1} ditetapkan 3 (Huang 1996, Donaker dan Jirka 1990, Wright 1991, Mukhtasor 2001) dan C_{D2} ditetapkan 0.6 (Huang 1996, Donaker dan Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001). Di dalam beberapa kasus, ketebalan *plume* h_o dapat diperkirakan dari persamaan kontinyu sebagai (Mukhtasor 2001) :



$$h_o = \frac{S_a Q}{u L_o} \quad (22)$$

2.4.4. Intermediate Region

Karakteristik hidrodinamis pada *intermediate region* yang dijelaskan diatas berlaku untuk daerah $H/l_b < 0.1$ dan $H/l_b > 10$. Untuk memperoleh *intermediate region* yang bagus diantara dua daerah tersebut, maka dapat digunakan metode interpolasi yang sama dengan persamaan 11 dan 12 (Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001). Sehingga nilai karakteristik hidrodinamis *intermediate region* pada $0.1 \leq H/l_b \leq 10$ ditentukan berdasarkan kombinasi linear dua persamaan dari daerah lainnya.

2.5. Permodelan Hidrodinamika pada Far Field

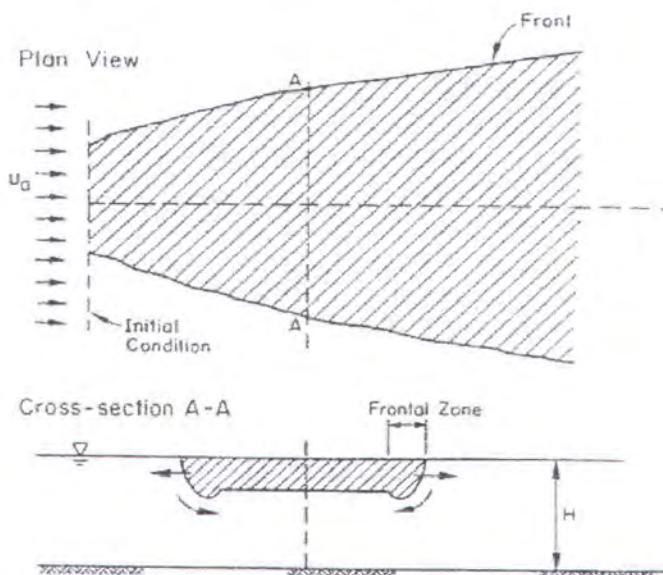
Karakteristik proses percampuran *far field* dipengaruhi oleh kecepatan arus. Mekanisme hidrodinamis yang terjadi pada *far field* yaitu *bouyant spreading* dan difusi turbulen.

Bouyant spreading merupakan proses *self driven* sisa-sia bouyansi yang terkandung di dalam *plume* sehingga menyebabkan dorongan keatas. Karena terdapat batas permukaan air, maka penyebaran *plume* menjadi transversal horisontal. Selain *self driven* dari sisa-sisa bouyansi, turbulensi air laut juga



mendorong penyebaran *plume* atau disebut sebagai proses difusi turbulen. *Bouyant spreading* atau difusi turbulen dapat terjadi pada proses dispersi pada proses penyebaran plume di air laut, proses tersebut akan dominan bergantung pada karakteristik pembuangan dan lingkungan laut (Huang dan Fergen 1997, Akar dan Jirka 1994a dalam Mukhtasor 2001)

Pengujian lapangan untuk *plume* outfall mengindikasikan *effluent* banyak didominasi oleh *bouyant spreading* sampai jarak beberapa ratus meter dari outfall (Hazen dan Sawyer 1994 dalam Mukhtasor 2001). Proses penyebaran tersebut disebabkan oleh gaya bouyansi akibat perbedaan massa jenis *plume* dengan air laut. Akan tetapi pendekatan analisa dispersi produced water telah mengabaikan *bouyant spreading* tanpa mengevaluasi apakah bouyansi telah berkurang signifikan. (Mukhtasor 2001).



Gambar 2.5. Definisi proses *density current buoyant surface spreading* (U.S. EPA, 1999).



Perumusan *bouyant spreading* telah diaplikasikan di dalam model CORMIX. Model CORMIX secara luas telah dipergunakan untuk analisa pembuangan limbah lepas pantai (U.S. EPA 1997). Model tersebut juga telah dikalibrasi dengan menggunakan data laboratorium dan lapangan (Huang et al. 1996, Donaker dan Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001). Model perumusan *bouyant spreading* yang dipergunakan yaitu :

$$h(x) = h_o \left(\frac{L(x)}{L_o} \right)^{\alpha-1} \quad (23)$$

$$L(x) = L_o \left(3\beta \left[\frac{l_b}{L_o} \right]^{1/2} \frac{x}{L_o} + 1 \right)^{2/3} \quad (24)$$

Dimana :

α = Koefisien yang mempunyai nilai antara 0.15 – 0.6, dengan nilai tipikal dari pengujian lapangan yaitu 0.59.

β = Konstanta model yang bernilai antara 0.707 – 1.414, dengan sebuah tipikal pengujian lapangan yaitu 1.33.

l_b = *Length of bouyancy* dengan menggunakan kecepatan arus pada kedalaman 5 m.

x = Jarak sepanjang pusat *plume*, $x = 0$ merupakan titik pada ujung hilir.

$L(x)$ = Lebar *plume* pada $x > 0$.



Dilution atau konsentrasi polutan, berhubungan dengan proses *bouyant spreading*, merupakan asumsi penyusutan pada permukaan *plume* yang memiliki fungsi distribusi *error* sepanjang lebar *plume* dan distribusi uniform sepanjang tebal dari *plume*. Berdasarkan asumsi dan keseimbangan massa, konsentrasi polutan pada titik (x, y) diperkirakan (Huang 1996 dalam Mukhtasor 2001) :

$$C(x, y) = 1.832 C_a \frac{h_o}{h(x)} \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{0.273L_o + y}{\sqrt{2}\sigma(x)}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{0.273L_o - y}{\sqrt{2}\sigma(x)}\right) \right] \text{ untuk } x \geq 0 \quad (25)$$

y adalah koordinat horisontal tegak lurus dengan korrdinat horisontal x (sepanjang *plume centerline*). C_a merupakan konsentrasi *bulk* polutan pada *downstream end* dari kontrol volume ($x = 0$). Untuk $\operatorname{erf}()$ merupakan *error function* yang didefinisikan :

$$\operatorname{erf}(w) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^w e^{-v^2} dv \quad (26)$$

Error function tersebut dapat diselesaikan dengan pendekatan simpson. $\sigma(x)$ adalah standar deviasi, yang diperoleh dari parameter $L(x)$ terhadap konsentrasi pada arah lebar *plume*, yaitu :



$$L(x) = 2(3)^{\frac{1}{2}} \sigma(x). \quad (27)$$

Fungsi *error function* dapat diselesaikan dengan menggunakan tabel statistik dari daerah dibawah kurva distribusi dengan mengubah variabel berikut ini :

$$\operatorname{erf}(w) = 2A(z)$$

Dimana :

$$Z = 1.414 w$$

$A(z)$ = Daerah dari standard normal distribusi dari 0 sampai ke z sepanjang Absis.

Berdasarkan penjelasan diatas, persamaan (25) hanya bekerja pada $x \geq 0$, sedangkan untuk daerah lainnya harus dimodifikasi. Daerah penyebaran *plume* harus memenuhi syarat $y > 0.5 L(x)$. Asumsi konsentrasi adalah nol ketika $x < (-x_D + L_s)$. Ketika $(-x_D + L_s) < x < 0$ konsentrasinya adalah $1.2 C_a$. Rata-rata konsentrasi *boil* pada $(-L_s - x_D) \leq x \leq (-x_D + L_s)$ adalah $(C_o/1.7 S)$, dimana C_o adalah konsentrasi limbah yang sebelum keluar dari pipa outfall dan S adalah *initial dilution* pada pusat *plume* (Hazen dan Sawyer 1994, William 1985 dalam Mukhtasor 2001).



Dimana :

C_0 = Konsentrasi awal atau sebelum keluar dari pipa *outfall*.

S = *Initial dilution* pada pusat *plume*.

Hubungan antara lebar dan jarak *plume* dengan $(-L_s - x_D) \leq x < 0$ adalah

(Akar dan Jirka 1995b dalam Mukhtasor 2001) :

$$L(x) = L_o \left(\frac{x + x_D + L_s}{x_D + L_s} \right)^{1/2} \quad \text{untuk } (-L_s - x_D) \leq x < 0 \quad (27)$$

Pada perumusan permodelan diatas menggunakan analisa *bouyant spreading*. Apabila dominasi difusi turbulen sudah dominan dibandingkan dengan *bouyang spreading* maka biasanya untuk daerah transisi tersebut ditentukan dengan menggunakan perumusan *Richardson Number Rf* (Akar dan Jirka 1994a, Donaker dan Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001) :

$$R_f = \kappa^2 \frac{g' h(x)}{u^{*2}} \quad (28)$$

Dimana :

K = Konstanta Karman, besarnya = 0.4

h = Kedalaman *plume*

u^* = Kecepatan geser

$$u^* = \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} u_a \quad (29)$$

u_a = Kecepatan arus

f = Darcy-Weisbach Friction Factor ($f = 0.02 - 0.03$ untuk *open water*)

g' = Percepatan gravitasi tereduksi yang didefinisikan :

$$g' = g \frac{(\rho_a - \rho_0)}{\rho_0} \quad (30)$$

R_f dapat dipergunakan untuk permodelan *far field*, pada fase *bouyant spreading* atau difusi turbulen. Ketika nilainya turun sampai dibawah nilai kritis R_{fc} yaitu diantara 0.1 dan 0.2 maka boyansi menjadi relatif berkurang sehingga difusi turbulen akan lebih dominan. Nilai R_f disajikan dari pengujian eksperimental, dan nilai rata-rata secara tipikal dipakai untuk permodelan, yaitu 0.15 (Akar dan Jirka 1994a dalam Mukhtasor 2001). Sehingga jika nilai $R_f > 0.15$, maka distribusi konsentrasi $C(x,y)$ pada difusi turbulen.

Perumusan konsentrasi untuk *difusi turbulen* menggunakan persamaan Satriyanto (2002) yaitu :

$$C(x,y) = \frac{C_0}{6} \sqrt{\frac{3b}{\beta x' \pi}} \left[\exp\left(-\frac{3(y^2 - 2y + 1)}{\beta x' b}\right) + 4 \exp\left(-\frac{3(y^2 - 2.2y + 1.21)}{\beta x' b}\right) + \exp\left(-\frac{3(y^2 - 2.4y + 1.44)}{\beta x' b}\right) \right] \quad (30)$$



Dimana :

$$x' = \frac{b}{2\beta} \left[\left((2-n)\beta \frac{x}{b} + 1 \right)^{\frac{2}{(2-n)}} - 1 \right] \quad (31)$$

Dimana :

C_0 = konsentrasi sebelum keluar dari pipa *outfall*

u = kecepatan arus

$$\varepsilon_0 = \alpha L(x)^{4/3} \quad (32)$$

$L(x)$ = lebar plume

α = 0.01 (Brooks)

b = lebar awal *plume* (m)

$$\beta = \frac{12\varepsilon_0}{ub} \quad (33)$$

n = 4/3, untuk kondisi yang sudah disesuaikan dengan pembuktian

dilapangan dan sering disebut “4/3 law”.

2.6. Model Mixing Zone

Permodelan mixing zone dilakukan dengan cara mengintegrasikan komponen model di daerah *near field*, *intermediate* dan *far field*. Komponen-komponen yang ada tersebut merupakan model *steady state* deterministik berdasarkan prinsip-prinsip fisika dan matematika.

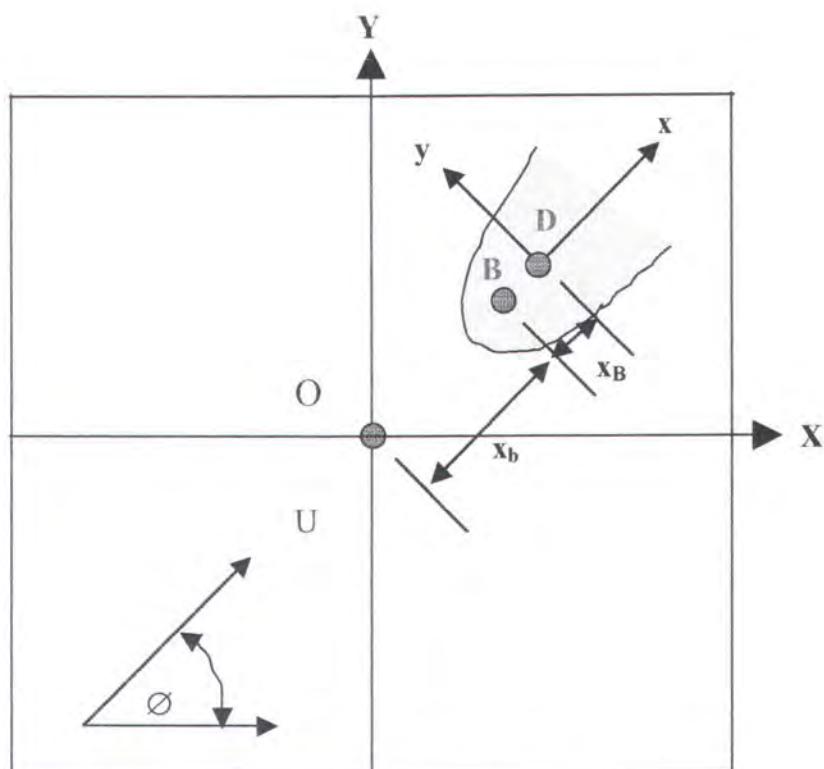


Konsentrasi lokal *produced water* di daerah sekitar *ocean outfall* akibat pembuangan limbah bervariasi di dalam ruang dan waktu secara kontinyu. Hal ini antara lain disebabkan oleh variabilitas dari arus air laut, baik besaran ataupun arahnya, yang mempengaruhi pergerakan *effluent plume*.

Untuk melakukan simulasi berbagai variasi tersebut, sistem koordinat dipergunakan untuk menentukan lokasi dan melakukan simulasi pergerakan plume di sekitar pembuangan limbah *produced water* (Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001).

Pada gambar, sistem koordinat global X , Y didefinisikan; X adalah sumbu arah horizontal, Y adalah sumbu pada arah vertikal, pusat koordinat ($X = 0$, $Y = 0$) merupakan pusat pembuangan outfall. Koordinat lokal penghubung (*tranlation coordinat*) x,y untuk plume di permukaan air laut dapat berubah-ubah terhadap koordinat global tergantung perubahan parameter model, misalnya arah dan arus air laut.

Perpindahan diantara sistem koordinat translasi dan sistem koordinat tetap dapat didefinisikan (Mukhtasor 2001) :



Gambar 2.5. Koordinat pergerakan Plume
(Mukhtasor 2001)

$$x = X \cos \phi + Y \sin \phi - x_b - x_D \quad (31)$$

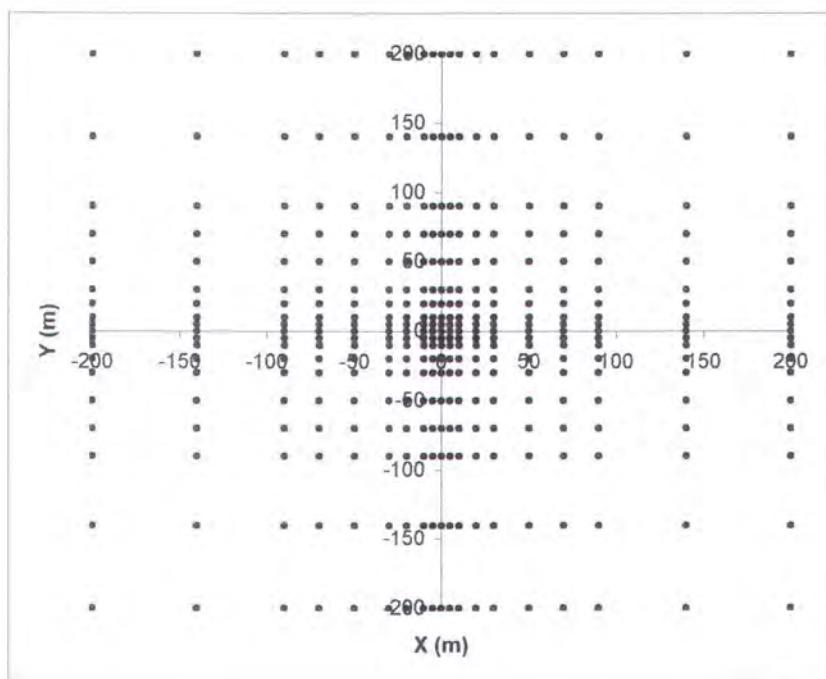
$$y = Y \sin \phi - X \cos \phi \quad (32)$$

dimana ϕ adalah arah arus (radian) yang memenuhi arah koordinat X .

Konsentrasi produced water dari hasil simulasi pada suatu titik dapat diasumsikan sebagai sampel konsentrasi yang representatif, maka suatu zona yang menggambarkan konsentrasi hasil simulasi pada suatu saat dapat dianggap sebagai sebuah *snapshot* dari *plume*. Zona konsentrasi dapat didefinisikan dengan cara membagi luasan di sekitar outfall menjadi



beberapa *grids* (Mukhtasor 2001). Pada tiap-tiap *grids* tersebut dihitung konsentrasi dengan menggabungkan model daerah *near field*, *intermediate* dan *far field*.



Gambar 2.6. Titik-titik tipikal yang menunjukkan node untuk simulasi

2.7. Prosedur Simulasi Monte Carlo

Metode simulasi Monte Carlo merupakan alternatif metode yang bermanfaat apabila $FK(X)$ sangat non-linear, dimana penyelesaian suatu sistem persamaan simultan diperlukan sebuah *random number generator*. Gagasan dasar metode simulasi Monte Carlo adalah sampling numerik dengan bantuan *random number generator* kemudian kita mengambil beberapa



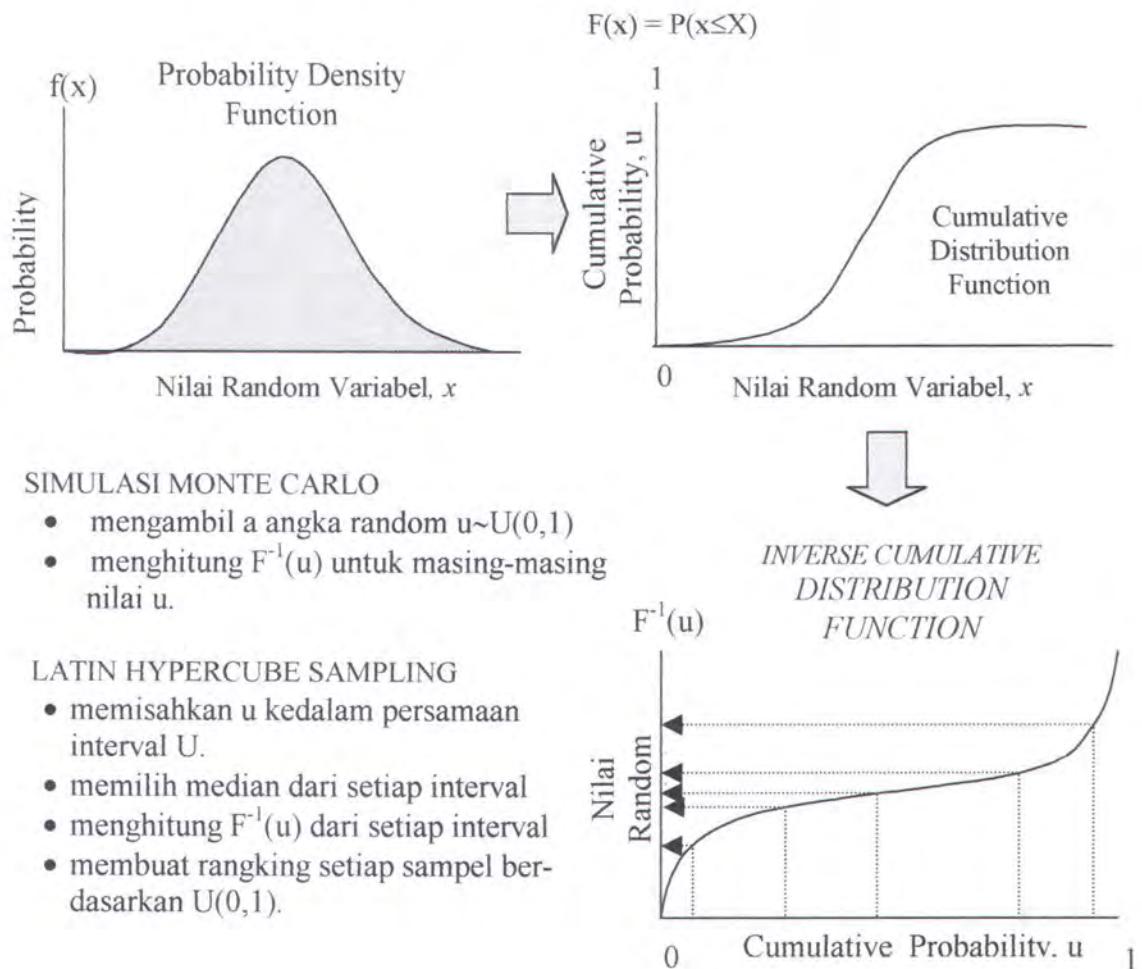
sample untuk setiap X_1 dari sebuah populasi x_1 , kemudian kita masukkan dalam persamaan fungsi kinerja $FK(X)$, dan harga $FK(X)$ kemudian kita hitung. Setiap kali $FK(X) < 0$, kita anggap sistem/komponen yang ditinjau gagal. Misalkan untuk sample sebesar N, kita catat kejadian $FK(X) < 0$ terjadi n kali, maka peluang kegagalan sistem/komponen yang kita tinjau $P_g = n/N$ (Rosyid D.M., 1996).

Di dalam simulasi Monte Carlo, setiap parameter yang mengandung ketidakpastian didefinisikan dengan menggunakan fungsi kerapatan peluang (*probability density function, pdf*). Pada setiap tahap simulasi, satu set nilai perubah acak yang dibuat berdasarkan pdf dipergunakan untuk menghitung konsentrasi pada satu titik (*node*) seperti yang pada gambar diatas. Proses simulasi dilakukan berulang-ulang. Simulasi dihentikan ketika nilai statistik konsentrasi sudah realtif konstan. Salah satu langkah yang paling penting di dalam simulasi Monte Carlo adalah proses sampling dimana nilai dari suatu parameter model disampling berdasarkan fungsi kerapatan peluangnya (Palisade 1997 dalam Mukhtasor 2001).

Sampling di dalam simulasi Monte Carlo berkaitan dengan dua teknik pengambilan nilai fungsi kerapatan peluang, yaitu nomor random dan pseudo random. Sampel yang berada pada daerah dengan peluang kejadian besar akan memiliki peluang lebih besar untuk disampling, sehingga apabila sistemnya komplek jumlah iterasi yang dibutuhkan di dalam simulasi Monte Carlo akan menjadi lebih besar.



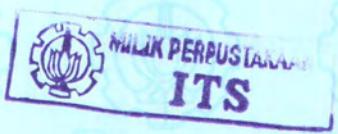
Untuk mengatasi besarnya iterasi yang banyak pada simulasi Monte Carlo, yang biasanya menggunakan random sampling, maka sampling dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Latin Hypercube Sampling* (LHS). Di dalam pendekatan LHS, fungsi kerapatan peluang distratifikasi dengan membagi kurva distribusi komulatif di dalam interval yang sama pada skala peluang komulatif 0 sampai 1. Sebuah sampel kemudian di sampling secara acak dari setiap interval, sehingga sampling dapat di buat sedemikian rupa sehingga mewakili nilai tiap-tiap interval. Jumlah stratifikasi dari distribusi komulatif adalah sama dengan jumlah iterasi di dalam simulasi. Jika seluruh interval telah disampling, maka fungsi kerapatan peluang yang disimulasikan telah mewakili dalam simulasi. Dengan pendekatan LHS memberikan keuntungan yaitu peningkatan efisiensi sampling, percepatan waktu simulasi akibat berkurangnya simulasi, dan keyakinan terhadap simulasi yang representatif sesuai dengan fungsi kerapan yang disimulasikan (Mukhtasor 2001)



Gambar 2.7. Metode Simulasi Monte Carlo dengan menggunakan Latin Hypercube Sampling (Christopher 1996).

BAB III

METODOLOGI





BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Di dalam setiap kegiatan penelitian, diperlukan beberapa langkah penggerjaan penyusunan yang jelas. Sehingga penyusunan yang jelas akan membawa dampak memudahkan penyelesaian dan pemahaman alur penggerjaan Tugas Akhir. Selain itu di dalam pembuatan Tugas Akhir keberadaan referensi dan data pendukung sangat diperlukan.

Metode yang dipakai dalam penelitian ini dijelaskan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Studi literatur mengenai permodelan mixing zone di daerah near field, far field dan intermediate region, yang diperoleh dari buku, jurnal maupun report penelitian terbaru. khususnya untuk pipa outfall jenis bouyant jet tunggal.
2. Melakukan identifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi permodelan mixing zone, yaitu ketidakpastian di dalam input model, koefisien model dan faktor error term.
3. Melakukan desain awal sebelum melakukan pembuatan ataupun pengembangan perangkat lunak. Dalam hal ini antara lain adalah desain input model, Simulasi Monte Carlo dengan menggunakan *Latin Hypercube Sampling*, *mapping* penyebaran konsentrasi *effluent* dan *report* hasil simulasi.

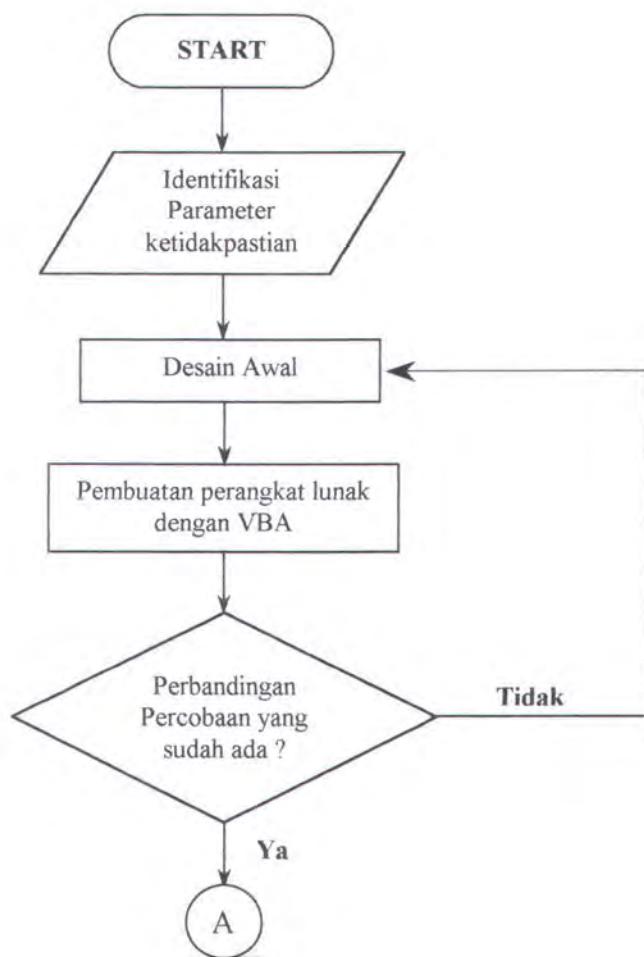


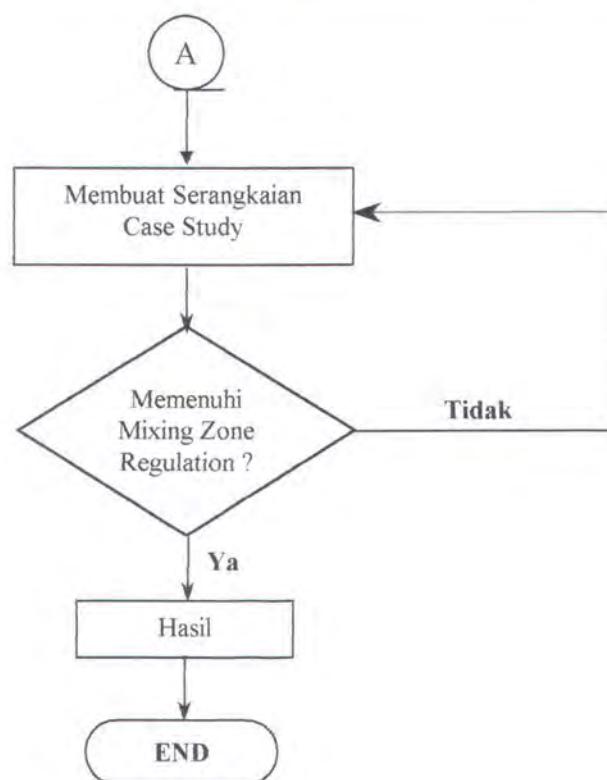
4. Menentukan parameter-parameter ukuran ketidakpastian input model, koefisien model dan error term yang mengacu kepada data-data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya untuk dipakai didalam analisa probabilistik dengan menggunakan simulasi Monte Carlo.
5. Membuat perangkat lunak untuk analisa bouyant jet tunggal menggunakan metode probabilistik dengan bantuan *Visual Basic For Application* yang akan mengikutsertakan parameter-parameter ketidakpastian didalam perumusan permodelan mixing zone.
6. Membandingkan serta mengkorelasikan hasil pembuatan perangkat lunak untuk analisa bouyant jet tunggal dengan metode probabilistik, dengan hasil dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Perbandingan numerik dilakukan dengan membandingkan antara hasil running perangkat lunak yang dibuat dengan penelitian yang sudah ada sebelumnya (Mukhtasor 2001).
7. Membuat serangkaian *case study* dari perangkat lunak yang telah selesai dikerjakan, dimana data-data yang diperlukan untuk masalah tersebut diperoleh dari data yang sudah ada untuk pembuangan *produce water* pada *offshore platform*.
8. Membandingkan hasil simulasi dengan peraturan atau threshold yang ditetapkan oleh beberapa badan standar lingkungan yang ada, misalnya dari *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* atau *ASEAN Marine Water Quality Guidelines*.



9. Dari penelitian yang dilakukan akan disimpulkan tentang hasil permodelan dan penelitian yang telah dilakukan.

Dibawah ini adalah flowchart dari Tugas Akhir yang dilakukan oleh penulis :





Gambar 3.1. Flowchart Metodologi Tugas Akhir

Di dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, penulis akan mengikuti beberapa langkah seperti yang tercantum flowchart diatas. Penjelasan langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur meliputi paper-paper terbaru, beberapa jurnal ilmiah serta buku-buku yang mempunyai korelasi dengan masalah mixing zone pada ocean outfall khususnya jenis bouyant jet.

2. Identifikasi parameter

Melakukan identifikasi beberapa parameter permodelan mixing zone yang mengandung ketidakpastian, meliputi ketidakpastian di dalam input model,



koefisien model dan error term. Ukuran ketidakpastian dari parameter-parameter diatas diidentifikasi dengan menggunakan data dari studi kasus yang sudah ada yang disajikan melalui pendekatan statistik.

3. Desain awal

Pada tahap desain awal membuat model mixing zone yang terdiri dari tiga daerah penyebaran yaitu : *near field, intermediate* dan *far field region*. Setelah itu membuat prosedur simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi sensitifitas mixing zone terhadap ketidakpastian input model, koefisien model dan error term. Prosedur sampling simulasi Monte Carlo dilakukan dengan menggunakan metode *Latin Hypercube Sampling* untuk memperpendek waktu simulasi.

4. Pengembangan perangkat lunak untuk permodelan Ocean Outfall dengan metode probabilistik

Di dalam penggerjaan Tugas Akhir ini dimulai dengan membuat model mixing zone dengan cara mengintegrasikan komponen-komponen model yang terdiri dari *near field, intermediate* dan *far field region*. Untuk daerah *near field* karakteristik percampuran hidrodinamik dimodelkan dengan dengan persamaan *initial dilution* yang dikembangkan oleh (Mukhtasor 2001b). Sedangkan untuk daerah *intermediate* dan *far filed* akan mempergunakan persamaan *bouyant spreading* dan turbulen difusi yang dikembangkan oleh (Donaker dan Jirka 1990, Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001b).

Dengan membuat koordinat global dan lokal yang dipergunakan untuk menentukan lokasi dan melakukan simulasi pergerakan plume di sekitar



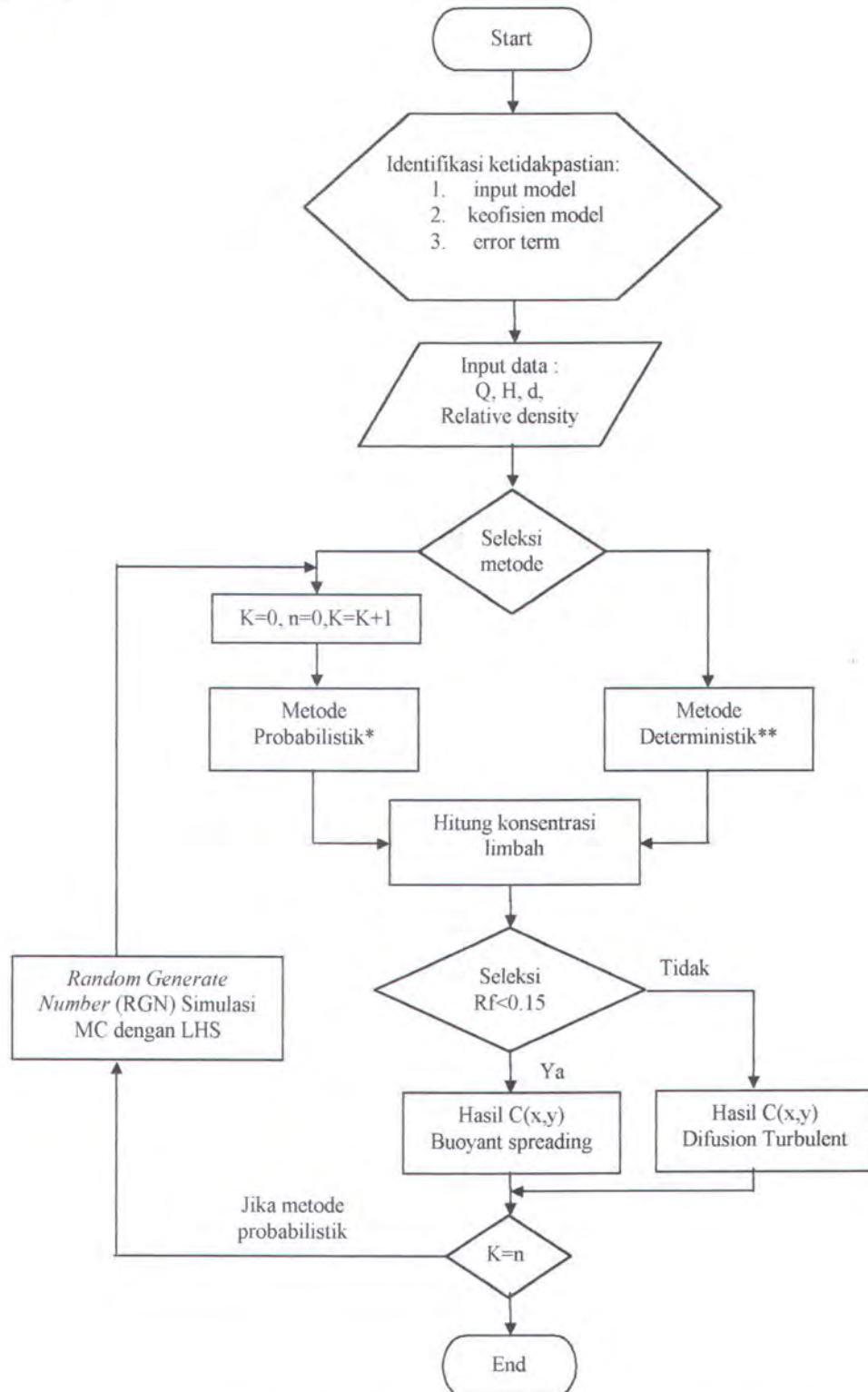
outfall dan mengintregasikan beberapa parameter permodelan diatas maka konsentrasi produced water hasil simulasi pada suatu titik yang diasumsikan sebagai sampel konsentrasi akan dapat menggambarkan konsentrasi hasil simulasi.

Untuk permodelan mixing zone dipergunakan simulasi Monte Carlo dengan mempergunakan *Latin Hypercube Sampling* untuk memperpendek waktu simulasi. Pada setiap tahap simulasi, satu set nilai acak yang dibuat berdasarkan pdf tiap-tiap parameter untuk menghitung konsentrasi pada setiap titik. Proses simulasi dilakukan berulang-ulang dan dihentikan jika nilai statistik konsentrasi relatif konstan.

Dibawah ini adalah flowchart pengembangan perangkat lunak untuk *ocean outfall* tipe *bouyant jet* tunggal dengan metode probabilistik :



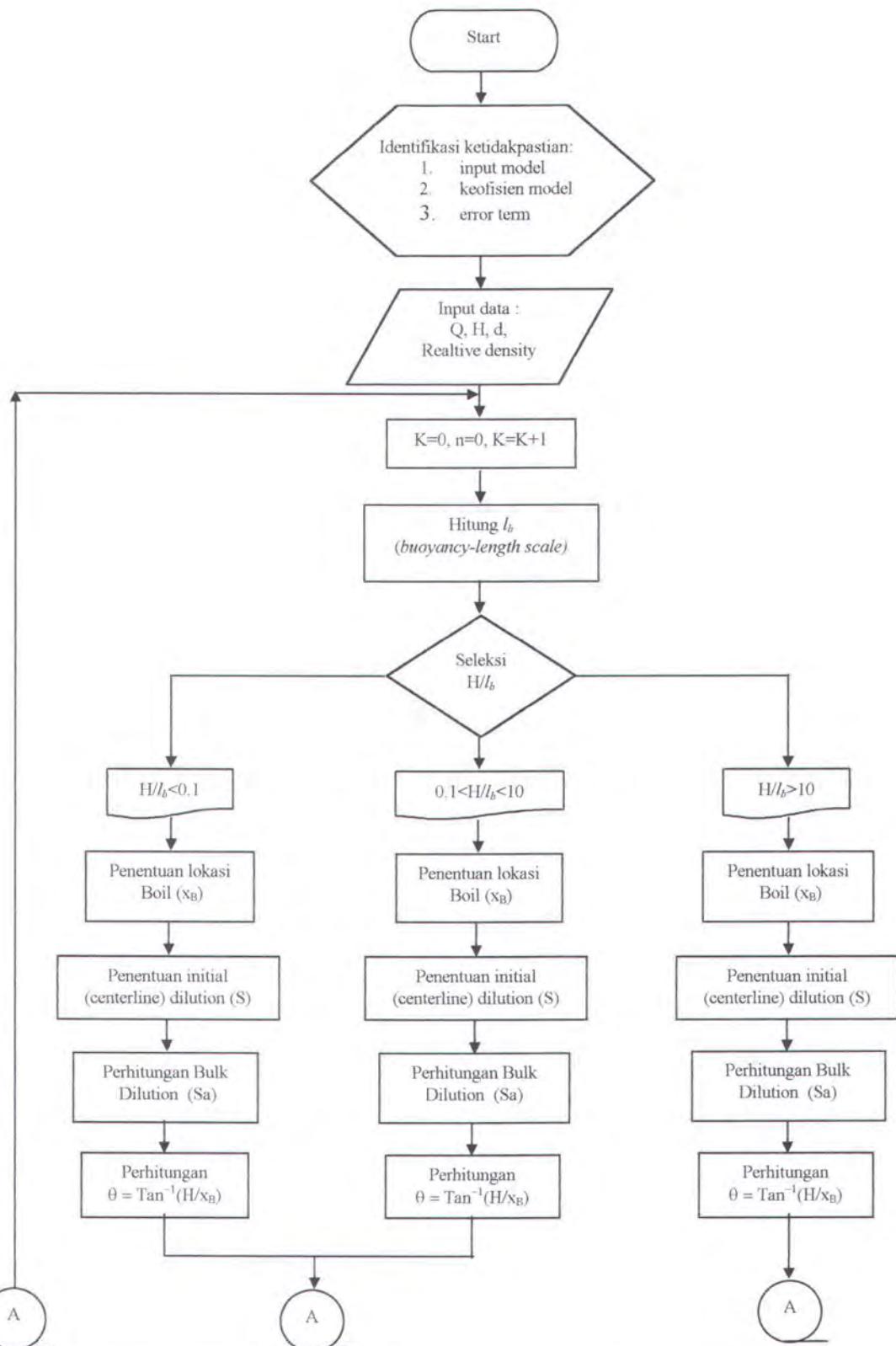
Diagram Pengembangan Software *Ocean Outfall* tipe *Bouyant Jet* Tunggal secara umum:



Gambar 3.2. General Flowchart Perhitungan Software

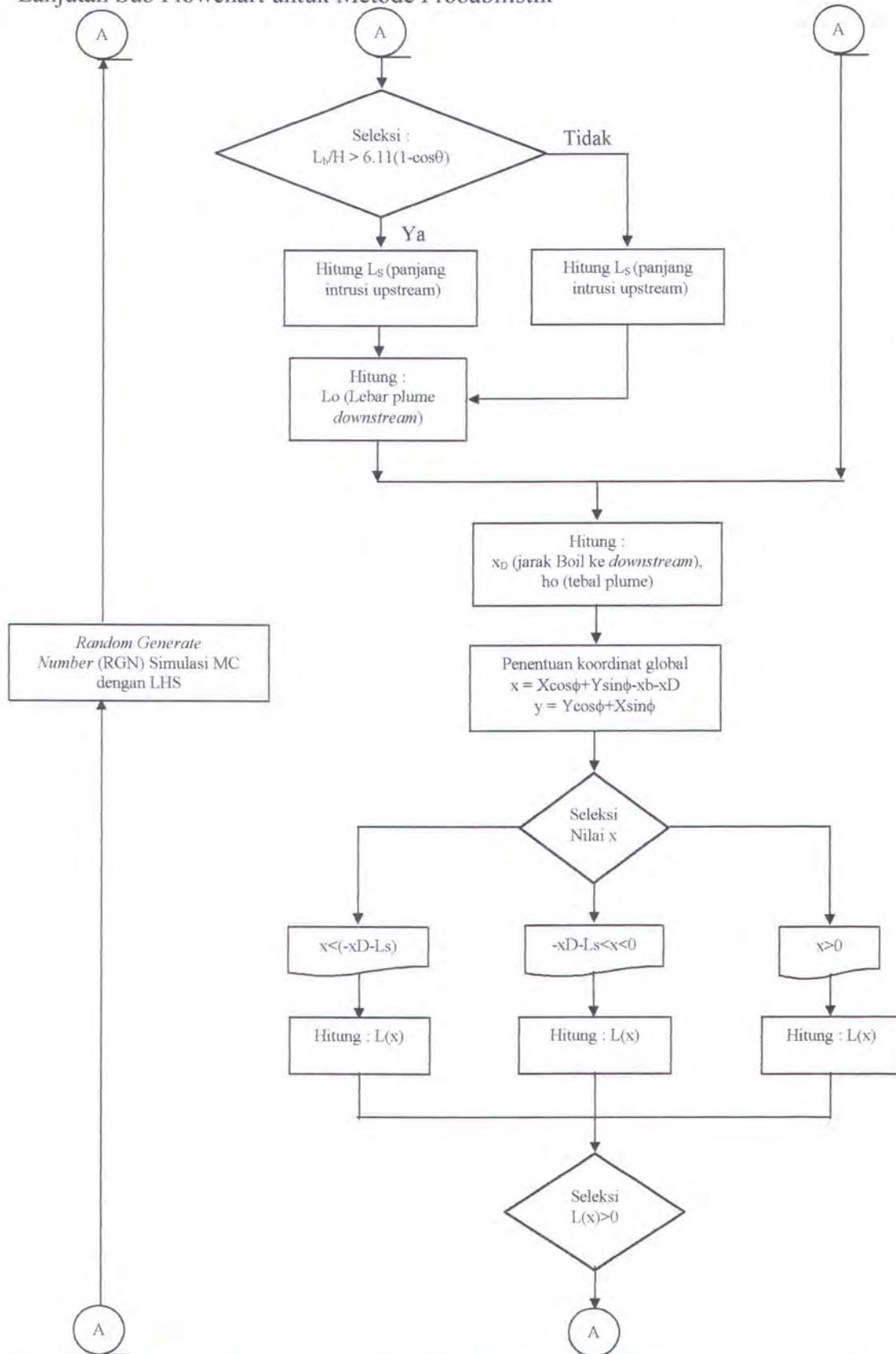


Sub Flowchart untuk Metode Probabilistik



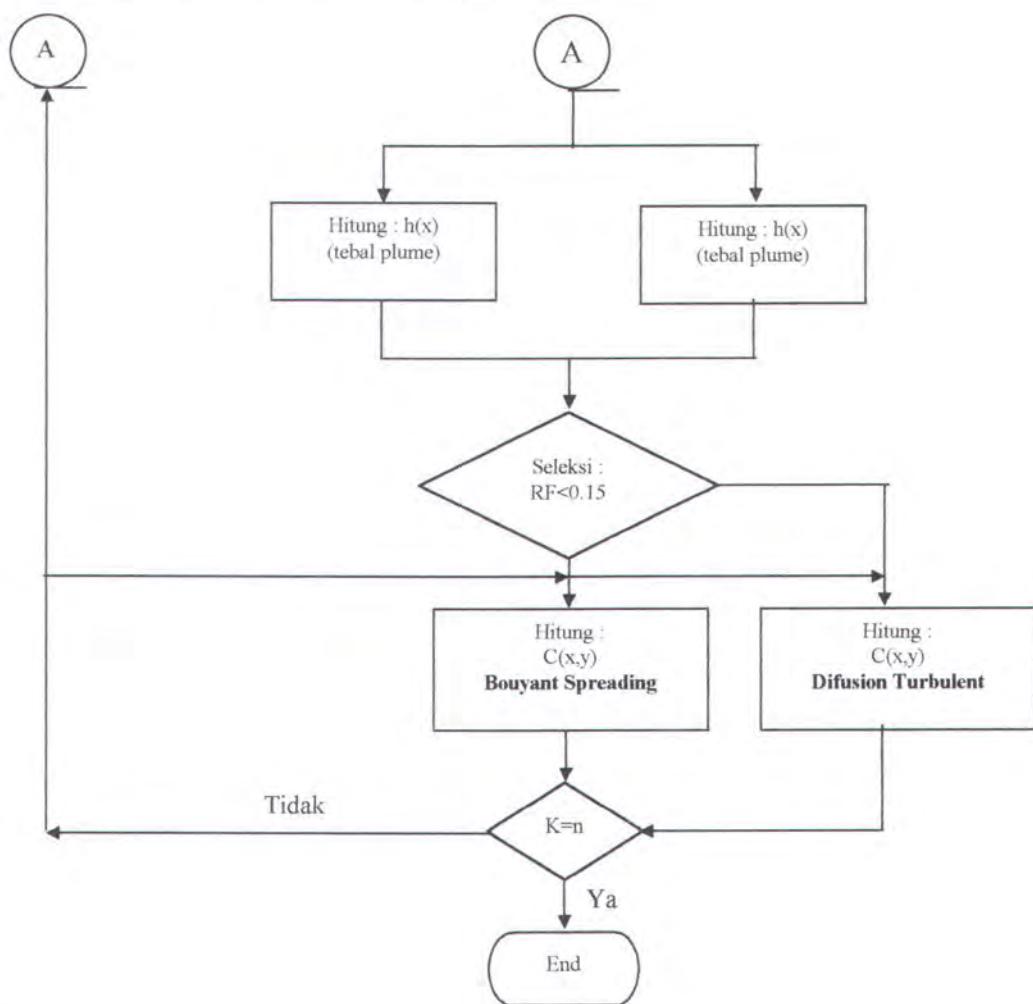


Lanjutan Sub Flowchart untuk Metode Probabilistik





Lanjutan Sub Flowchart untuk Metode Probabilistik



Catatan :

K = penghitung (counter) jumlah eksperimen atau sampling

n = jumlah eksperimen atau sampling maksimum

Gambar 3.3. Sub flowchart perhitungan software dengan metode probabilistik



Penjelasan Flowchart dan Sub Flowchart Perhitungan Software dengan Metode Probabilistik :

1. Start
2. Identifikasi parameter ketidakpastian

Yaitu melakukan identifikasi terhadap beberapa parameter ketidakpastian, baik input model, koefisien model dan error term yang terdapat pada daerah *near field*, *intermediate* dan *far field region*. Parameter ketidakpastian tersebut nantinya dipergunakan untuk simulasi Monte Carlo. Data ukuran ketidakpastian mempergunakan seperti yang tercantum pada Tabel 2.

3. Input data

Untuk menjalankan program, diperlukan masukan input data, meliputi flowrate limbah *produced water* (Q), kedalaman pembuangan (H), diameter *port* (d) dan perbedaan massa jenis limbah dengan air laut.

4. Hitung (lb) *length-bouyant scale*

Yaitu untuk menentukan panjang bouyansi *effluent* terhadap air laut. Perumusan *length bouyancy scale* dapat dilihat pada persamaan 2..

5. Seleksi harga H/l_b

Untuk memperkirakan trayektori dari outfall diperlukan seleksi tiga daerah H/l_b , masing-masing pada $H/l_b < 0.1$, $0.1 < H/l_b < 10$, $H/l_b > 10$.

6. Apabila harga $H/l_b < 0.1$, maka :

- Penentuan lokasi Boil (x_B)

Yaitu persamaan trayektori untuk menentukan lokasi boil dalam arah horizontal terhadap permukaan air laut. Penentuan lokasi boil berdasarkan pada harga H/l_b . Persamaan x_B dapat dilihat pada persamaan 6.



- Hitung initial (centerline) dilution (S) dan *bulk dilution* (S_a)

Perhitungan *initial dilution* memerlukan parameter ketidakpastian input model dalam hal ini kecepatan arus air laut, koefisien model dan *error term*. Persamaan yang dipergunakan untuk *initial dilution* dapat dilihat pada Persamaan 4. Untuk perhitungan *bulk dilution* pada ujung hilir dari kontrol volume L_o menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$S_a = C S_I \cdot S$$

- Seleksi $L_b/H > 6.11(1-\cos\theta)$

Jika memenuhi seleksi syarat diatas maka perhitungan panjang instrusi ke *upstream* (L_s) mempergunakan persamaan 16.

- Perhitungan lebar plume L_o

Lebar *plume* pada ujung hilir (*downstream*) dari kontrol volume, L_o untuk H/l_b menggunakan persamaan $L_o = 5.2 L_s$.

- Hitung jarak ujung downstream (x_D) dan h_o (tebal plume)

Perhitungan jarak dari pusat boil ke ujung *downstream* dari kontrol volume terhadap titik pipa pembuangan H menggunakan persamaan untuk $H/l_b > 0.1$:

$x_D = C_{D1} H$. Untuk perhitungan ketebalan *plume* menggunakan persamaan

$$h_o = (S_a Q / u L_o)$$

- Penentuan koordinat global x dan y

Menghitung suatu hubungan untuk menstransformasikan koordinat penghubung dengan sistem koordinat global dengan menggunakan persamaan 31 dan 32 masing-masing adalah :



$$x = X \cos \phi + Y \sin \phi - x_b - x_D \quad \text{dan} \quad y = Y \sin \phi - X \cos \phi$$

- Hitung lebar plume $L(x)$ dengan menggunakan persamaan 24 dan tebal plume dengan persamaan 23.
- Hitung besar konsentrasi limbah (Ca) menggunakan persamaan $Ca = Co/Sa$.
- Seleksi *Richardson Number* R_f . Untuk harga $R_f \leq 0.15$, maka konsentrasi menggunakan persamaan bouyant spreading pada persamaan 25. Untuk $R_f > 0.15$ maka termasuk dalam turbulent diffusion yang menggunakan persamaan 30.

7. Apabila harga $0.1 < H/l_b < 10$, maka :

- Penentuan lokasi Boil (x_B)

Yaitu persamaan trayektori untuk menentukan lokasi boil dalam arah horizontal terhadap permukaan air laut. Perumusan x_B dapat dituliskan sebagai berikut :

$$x_b = (a1.C3. \frac{H^{4/3}}{l_b^{1/3}}) + (a2.C4. \frac{H^{3/2}}{l_b^{1/2}}) \quad (33)$$

- Hitung initial (centerline) dilution (S) dan bulk dilution (Sa)

Perhitungan *initial dilution* memerlukan parameter ketidakpastian input model dalam hal ini kecepatan arus air laut, koefisien model dan *error term*. Persamaan yang dipergunakan untuk initial dilution dapat dilihat pada Persamaan 4. Untuk perhitungan *bulk dilution* pada ujung hilir dari kontrol volume Lo menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Sa = (a1.CS_1.S) + (a2.CS_2.S) \quad (34)$$



- Seleksi $L_b/H > 6.11(1-\cos\theta)$

Jika memenuhi seleksi syarat diatas maka perhitungan panjang instrusi ke *upstream* (L_s) mempergunakan persamaan :

$$L_s = (a_1 2.12 H^{3/2} (1 - \cos \theta)^{3/2} l_b^{-1/3}) + (a_2 \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{QSa}{3.14u}\right)}) \quad (35)$$

Jika tidak memenuhi seleksi diatas maka harga L_s maka :

$$L_s = (a_1 0.38 l_b) + (a_2 \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{QSa}{3.14u}\right)}) \quad (36)$$

- Perhitungan lebar plume L_o

Lebar *plume* pada ujung hilir (*downstream*) dari kontrol volume, L_o untuk H/l_b menggunakan persamaan :

$$L_o = (a_1 5.2 2.12 H^{3/2} (1 - \cos \theta)^{3/2} l_b^{-1/3}) + (a_2 2 \sqrt{\left(\frac{QSa}{2u}\right)}) \quad (37)$$

Jika tidak memenuhi seleksi diatas maka harga L_o maka :

$$L_o = (a_1 5.2 0.38 l_b) + (a_2 2 \sqrt{\left(\frac{QSa}{2u}\right)}) \quad (38)$$

- Hitung jarak ujung downstream (x_D) dan h_o (tebal plume)

Perhitungan jarak dari pusat boil ke ujung *downstream* dari kontrol volume terhadap titik pipa pembuangan H . menggunakan persamaan untuk $0.1 < H/l_b < 10$ adalah

$$x_D = (a_1 CD1.H) + (a_2 CD2.H). \quad (39)$$

Untuk perhitungan ketebalan *plume* menggunakan persamaan

$$h_o = (Sa.Q/u.L_o)$$



- Hitung lebar plume $L(x)$ dengan menggunakan persamaan 24 dan tebal plume dengan persamaan 23.
- Hitung besar konsentrasi limbah (Ca) menggunakan persamaan $Ca = Co/Sa$.
- Seleksi *Richardson Number* R_f . Untuk harga $R_f \leq 0.15$, maka konsentrasi menggunakan persamaan bouyant spreading pada persamaan 25. Untuk $R_f > 0.15$ maka termasuk dalam turbulent diffusion yang menggunakan persamaan 30.

8. Apabila harga $H/l_b > 10$, maka :

- Penentuan lokasi Boil (x_B)

Yaitu persamaan trayektori untuk menentukan lokasi boil dalam arah horisontal terhadap permukaan air laut. Penentuan lokasi boil berdasarkan pada harga H/l_b . Persamaan x_B dapat dilihat pada persamaan 7.

- Hitung initial (centerline) dilution (S) dan bulk dilution (Sa)

Perhitungan *initial dilution* memerlukan parameter ketidakpastian input model dalam hal ini kecepatan arus air laut, koefisien model dan *error term*. Persamaan yang dipergunakan untuk initial dilution dapat dilihat pada Persamaan 4. Untuk perhitungan *bulk dilution* pada ujung hilir dari kontrol volume Lo menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Sa = CS_2 \cdot S$$

- Perhitungan lebar plume L_o dan panjang instrusi ke *upstream* L_s



Lebar *plume* pada ujung hilir (*downstream*) dari kontrol volume, L_o untuk

$$H/l_b > 10 \text{ menggunakan persamaan } L_o = 2 \sqrt{\left(\frac{QSa}{2u}\right)}.$$

Untuk L_s menggunakan persamaan:

$$L_s = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{QSa}{3.14u}\right)}$$

- Hitung jarak ujung downstream (x_D) dan h_o (tebal plume)

Perhitungan jarak dari pusat boil ke ujung *downstream* dari kontrol volume terhadap titik pipa pembuangan H . persamaan yang dipergunakan untuk $H/l_b > 10$ adalah $x_D = C_{D2} H$. Untuk perhitungan ketebalan *plume* menggunakan persamaan

$$h_o = (Sa.Q/u.L_o)$$

- Penentuan koordinat global x dan y

Menghitung suatu hubungan untuk menstransformasikan koordinat penghubung dengan sistem koordinat global dengan menggunakan persamaan 31 dan 32 masing-masing adalah :

$$x = X \cos \phi + Y \sin \phi - x_b - x_D \quad \text{dan} \quad y = Y \sin \phi - X \cos \phi$$

- Hitung lebar plume $L(x)$ dengan menggunakan persamaan 24 dan tebal plume dengan persamaan 23.
- Hitung besar konsentrasi limbah (Ca) menggunakan persamaan $Ca = Co/Sa$.
- Seleksi *Richardson Number* R_f . Untuk harga $R_f \leq 0.15$, maka konsentrasi menggunakan persamaan bouyant spreading pada persamaan 25. Untuk R_f



> 0.15 maka termasuk dalam turbulent diffusion yang menggunakan persamaan 30.

10. Membandingkan percobaan yang sudah ada

Untuk akurasi dari perangkat lunak yang telah dibuat maka akan dilakukan validasi yaitu dengan membandingkan output konsentrasi limbah yang penulis kerjakan dengan output dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

11. Membuat serangkaian studi kasus

Membuat serangkaian studi kasus dengan menggunakan data produced water yang ada, yaitu pada tabel 4.1. Dari hasil running program akan diketahui nilai prosentase konsentrasi limbah.

12. Perbandingan hasil simulasi dengan *threshold* yang ada

membandingkan hasil simulasi dari beberapa *case study* untuk berbagai *threshold* yang ditetapkan berdasarkan beberapa standard lingkungan yang ada.

13. End.

BAB IV

ANALISA MIXING ZONE



BAB IV

ANALISA MIXING ZONE

4.1. Studi Kasus Perencanaan *Ocean Outfall*

Di dalam perencanaan permodelan *mixing zone* terbagi menjadi tiga bagian, yang pertama adalah parameter fisik yang menjadi model hidrodinamika, kedua adalah parameter model yang berupa koefisien dari permodelan hidrodinamik, dan ketiga adalah *error term*, yang merupakan besaran yang merepresentasikan keakuratan komponen model hidrodinamika (Mukhtasor, 2001). Parameter model dan *error term* untuk permodelan *mixing zone* ini didapatkan dari data literatur yang sudah ada yang terdapat pada tabel 4.2. Untuk parameter fisik didapatkan dari data studi kasus perencanaan pembuangan *produced water* pada FPSO (*floating production storage offloading*) yang terdapat pada tabel 4.1.

Untuk menguji permodelan *mixing zone* dengan menggunakan perangkat lunak yang penulis susun maka akan dilakukan studi kasus, dimana nantinya akan dilakukan penelitian terhadap beberapa daerah pembuangan *produced water* yang terdapat pada tabel 4.1 yaitu *offshore platform* yang terletak pada Bass Strait dan North Sea.

Spesifikasi data yang diperlukan untuk melakukan simulasi *mixing zone* meliputi data yang berkaitan dengan ukuran dari *ocean outfall* yaitu



diameter port, data *ambient* yaitu kedalaman pembuangan, kecepatan arus air laut dan perbedaan massa jenis relatif antara *density* pada *effluent* dan *ambient*, data untuk *effluent* dan data *discharge* limbah.

Tabel 4.1. Tipe pembuangan *produced water*
(Brandsma dan Smith 1996, Petro-Canada 1996,
Somerville et. Al. 1987 dalam Mukhtasor 2001)

Parameter	Region			
	Bass Strait	Gulf Mexico*	North Sea	Terra Nova**
Discharge Rate (m^3/day)	14000	3978	10000	18300
Effluent Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	90	29	30	96
Effluent Density (kg/m^3)	988	1088	1014	988
Ambient Density* (kg/m^3)	1026	1017	1027	1025
Density Gradient (kg/m^4)	0	0.15	0	-
Port Diameter (m)	0.2	0.2	0.76	0.305
Depth of Discharge (m)	12	0.3	5	10
Port Orientation	Downwards	Downwards	Horizontal	Horizontal
Sea Water Depth (m)	72	27	150	80
Sea Water Speed (m/s)	0.300	0.03 to 0.25	0.300	0.140
u_a/u_j	3.7	1.3	0.4	0.6
l_M (m)	3.6	0.7	0.6	2.5
l_b (m)	2.2	2 to 1168*	0.5	27.3
l_m (m)	3.05	1 to 8.7	0.57	5.6
l_Q (m)	0.177	0.177	0.673	0.270
z (m)	12	27	5	10
l_M/l_b	1.653	0.001 to 0.37*	1.117	0.093
l_Q/l_b	0.081	0.0002 to 0.088*	1.265	0.010
l_m/l_b	1.398	0.007 to 0.5*	1.076	0.205
Z/lb	5.503	0.023 to 13.4*	9.393	0.366

Catatan :

(*) *density produced water* dari Gulf Mexico lebih besar dibandingkan *ambient water*, sehingga menimbulkan bouyansi negatif dan *plume* akan tenggelam di laut.

(**) data pada kolom hanya perkiraan, pada waktu sekarang tidak ada *produced water* yang diperkirakan (Petro Canada 1996)

Data simulasi *mixing zone* untuk studi kasus pertama adalah perencanaan pembuangan *produced water* dari sebuah FPSO di Bass Strait yang mempunyai potensi laju alir *produced water* dari fasilitas produksi minyak yang diperkirakan $0.162 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan perbedaan massa jenis relatif antara



effluent dan *ambient*, $\frac{(\rho_a - \rho_0)}{\rho_0} = 0.037$, dimana ρ_a adalah massa jenis air

laut dan ρ_0 adalah massa jenis *effluent*. Desain dari pembuangan menggunakan *single port* di 12 meter dibawah permukaan air laut.

Untuk studi kasus kedua terletak di North Sea, dimana memiliki laju aliran *produced water* sebesar $0.116 \text{ m}^3/\text{s}$. dengan perbedaan massa jenis relatif

antara *effluent* dan *ambient*, $\frac{(\rho_a - \rho_0)}{\rho_0} = 0.012$, dimana ρ_a adalah massa

jenis air laut dan ρ_0 adalah massa jenis *effluent*. Desain dari pembuangan menggunakan *single port* terletak pada 5 meter dibawah permukaan air laut.

4.2. Ukuran Ketidakpastian

Untuk melakukan analisa probabilistik, pengukuran ketidakpastian sangat diperlukan sehingga dapat diambil kedalam banyaknya perhitungan. Pengukuran ketidakpastian yang dipakai biasanya parameter statistik termasuk di dalamnya *mean*, standart deviasi, minimum, maksimum dan pada beberapa kasus juga diperlukan *probability density function* (PDF) atau *cumulative distribution function* (CDF). Dari setiap perubah acak parameter yang mengandung ketidakpastian yang didefinisikan kedalam *pdf* dapat dipergunakan untuk simulasi Monte Carlo.



Untuk simulasi Monte Carlo nantinya disamping memperhitungkan ketidakpastian model, yang merefleksikan ketidakpastian nilai koefisien model, juga ketidakpastian di dalam input model. Input model yang ada yang pertama adalah parameter *ambient*, seperti arah dan kecepatan arus air laut, kedalaman air laut di atas pembuangan *produced water*, dan massa jenis *ambient* air laut; kedua adalah parameter pembuangan, seperti laju pembuangan *produced water* dan massa jenis *effluent*. Tabel 4.2. menyajikan ukuran ketidakpastian yang dipergunakan sebagai input ketidakpastian dalam hubungannya dengan analisa *ocean outfalls*.

**Tabel 4.2.** Nilai dan hubungan pengukuran ketidakpastian input model & koefisien (Mukhtasor 2001).

Parameter	Value	Uncertainty measure in typical MC simulation
Near Field :		
a. Intial Dilution, S		
Koefisien model	$F = -0.31 \pm 0.03$	Normal (-0.31, 0.03)
	$w = 0.46 \pm 0.02$	Normal (0.46, 0.02)
	$h = -0.22 \pm 0.04$	Normal (-0.22, 0.04)
Error term, err	$E = 0 \pm 0.092$	Normal (0, 0.092)
b. Boil location, xb		
Koefisien model	$C_3 = 0.5824^{(2)}$ $0.4571 - 0.6702^{(3)}$ $C_4 = \text{fungsi } lb/lm^{(3)}$ $C_5 = 0.6037 - 1.2761^{(3)}$	Triangle(0.46, 0.58, 0.67) Uniform (0.60, 1.28)
Diantara Near dan Far Fiedr :		
Bulk dilution, Sa		
Koe.fisien model	$C_{S1} = 3 - 5^{(4)}$ $C_{S2} = 1.5 - 2.0^{(2)}$	Uniform (3, 5)
Far Field :		
Pers. Bouyant Spreading		
Koefisien model	$\alpha = 0.15 - 0.6^{(2)}$ $\beta = 0.707 - 1.414^{(2)}$	Uniform (0.15, 0.6) Uniform (0.71, 1.41)
Variabilitas Input Model		
Ambient sea water ⁽⁵⁾	Daily mean current speeds (m/s) Direction of current (rad)	Lognormal (0.056, 0.052) Beta (1.63, 1.24)* 6.25+0.0346

Catatan :

1. Dari Mukhtasor (2001)
2. Dari Huang et al. (1996) dan Donaker dan Jirka (1990)
3. Dari Wright (1977b)
4. Dari Wright et al. (1991)
5. Berdasarkan analisa data lapangan, data diperoleh dari DFO (1999)



4.3. Diskripsi Perangkat Lunak

Software yang dikembangkan oleh penulis bertujuan untuk mengembangkan perangkat lunak untuk permodelan *ocean outfall* jenis *bouyant jet* tunggal dengan metode probabilistik. Adapun hasil dari simulasi *mixing zone* ini belum bisa merefleksikan kondisi riil di lapangan karena terdapat faktor-faktor ketidakpastian yang belum diakomodir di dalam perbuatan perangkat lunak ini, misalkan perbedaan temperatur pada air dan lain-lain. Ketidakpastian yang diakomodir di dalam pembuatan perangkat lunak ini yaitu ketidakpastian koefisien model, error term dan input model yang terdiri dari ketidakpastian kecepatan arus dan arah air laut.

Di dalam penggunaan perangkat lunak ini dirancang untuk memberikan kemudahan bagi penggunanya, dimana pengguna hanya diminta untuk memasukkan beberapa input data yang diperlukan, setelah itu software akan menampilkan output yang berupa *chart surface* konsentrasi *produced water* pada titik-titik (*node*) di dalam daerah seluas 400m x 400m di sekitar titik pembuangan (lokasi outfall). Hasil simulasi yang dihasilkan akan menunjukkan perbedaan dalam hal luasan *mixing zone* yang tergantung dari input yang dimasukkan.

Program perangkat lunak yang dipergunakan untuk membuat software *ocean outfall* ini menggunakan *Visual Basic for Application* (VBA) yang terdapat di dalam *Microsoft Office Excel*. VBA merupakan aplikasi



pendukung yang dapat dihubungkan dengan berbagai program aplikasi dari microsoft maupun beberapa program lainnya, misalkan Atocad dan lain-lain. Alasan yang mendasari penulis untuk menggunakan VBA, pertama yaitu pengguna atau *user* diharapkan sudah terbiasa dan familiar dengan aplikasi office, khususnya Excel. Kedua, penulis mengalami kesulitan di dalam membuat numerik PDF misalnya PDF untuk distribusi normal, lognormal dan beta, dimana numerik CDF untuk masing-masing distribusi tersebut diatas dan menghasilkan error yang cukup besar. Karena alasan itulah penulis menggunakan VBA dimana distribusi yang disebutkan diatas sudah disediakan oleh VBA.

Sarana yang tersedia pada VBA sama dengan program aplikatif seperti Visual Basic ataupun Borland Delphi yaitu adanya kotak dialog, tombol button, menu, kotak cek, panel dan lain sebagainya, yang merupakan ciri khas dari Windows. Dengan adanya berbagai fasilitas tersebut membawa dampak keuntungan yaitu pengembangan software, yang penulis kembangkan, lebih lanjut. Sehingga pada akhirnya nanti diperoleh suatu perangkat lunak *ocean outfall* yang mengakomodir semua ketidakpastian dan menghasilkan output yang relevan yang mendekati kondisi *riil* di lapangan.

4.3.1. Perumusan Numerik pada Permodelan Ocean Outfall

Di dalam pembuatan perangkat lunak ini penulis akan menyajikan beberapa hal yang menyangkut penentuan ketidakpastian input model,



koefisien model dan *error term* yang dihubungkan dengan perumusan matematis dan ketidakpastian yang dipergunakan pada daerah *near field*, *intermediate* dan *far field* yang telah dijelaskan pada bab 2.

1. Permodelan hidrodinamika pada *near field*

Perumusan matematis untuk permodelan hidrodinamika di daerah *near field* menggunakan perumusan *initial centerline dilution* yang dikembangkan oleh Mukhtasor 2001. Perumusan ini memperbaiki perumusan yang ada sebelumnya yang dikembangkan oleh Huang et al. Adapun kelebihannya, pertama yaitu pada perumusan *initial centerline dilution* sudah memasukan faktor pengaruh arus, sedangkan perumusan Huang et al. Tidak memperhitungkan mengenai faktor arus. Kedua yaitu perumusan *initial centerline dilution* telah dinyatakan di dalam perumusan deterministik dan probabilistik, sehingga akan memberi kemudahan untuk memodelkan dengan memasukkan aspek probabilistik.

Koefisien model untuk permodelan hidrodinamis pada daerah *near field* untuk penentuan lokasi *boil* yaitu C_3 dan C_4 . Menurut Mukhtasor 2001 dari Wright 1977b dan , harga C_3 diperoleh 0.4571 dari pengukuran konsentrasi dan 0.6702 dari pengukuran fotografis. Sedangkan menurut Mukhtasor 2001 dari Huang et al. 1996 dan Donaker and Jirka 1990, harga C_3 diperoleh 0.5824. Dari ketiga nilai koefisien model tersebut, maka tipikal ketidakpastian koefisien C_3



disajikan dalam bentuk distribusi Triangle. Sedangkan nilai C_4 dianggap konstan pada nilai 1.0. Untuk C_5 menurut Mukhtasor 2001 dari Wright 1977b, diperoleh harga 0.6037 dari data fotografik dan 1.2761 untuk data pengukuran konsentrasi dari kedua harga C_5 tersebut maka disajikan kedalam bentuk distribusi uniform.

2. Permodelan hidrodinamika pada *intermediate region*

Untuk *intermediate region* yang perlu dipertimbangkan adalah menentukan koefisien model Cs_1 dan Cs_2 untuk perhitungan *bulk dilution (Sa)*. Ketidakpastian yang berhubungan dengan nilai koefisien Cs_1 (Wright et al. 1991 dalam Mukhtasor 2001) berdasarkan pada percobaan ditetapkan nilainya antara 3 –5. Dari rentang nilai percobaan Cs_1 maka disajikan kedalam bentuk distribusi uniform. Untuk harga koefisien Cs_2 (Donaker and Jirka 1990, Huang et al. 1996 dalam Mukhtasor 2001) dilaporkan nilainya berkisar antara 1.5 sampai 2.0. Dari rentang nilai percobaan Cs_2 maka disajikan kedalam bentuk distribusi uniform.

3. Permodelan hidrodinamika pada *far field*

Koefisien model yang dipertimbangkan di dalam *far field* untuk tebal dan lebar *plume* adalah α dan β . Untuk perhitungan tebal plume atau $h(x)$ nilai α berkisar antara 0.15 sampai 0.6 (Huang et al 1996, Donaker and Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001). Dari rentang nilai α



maka disajikan kedalam bentuk distribusi uniform. Sedangkan untuk perhitungan lebar plume atau $L(x)$ nilai β berkisar antara 0.7 sampai 1.4 (Huang et al 1996, Donaker and Jirka 1990 dalam Mukhtasor 2001), sehingga nilai β disajikan dalam bentuk distribusi uniform.

Ketidakpastian mengenai variabilitas input model pada penelitian ini dibatasi hanya pada kecepatan arus rata-rata dan arah arus. Besarnya ukuran ketidakpastian dapat dilihat pada tabel 4.2.

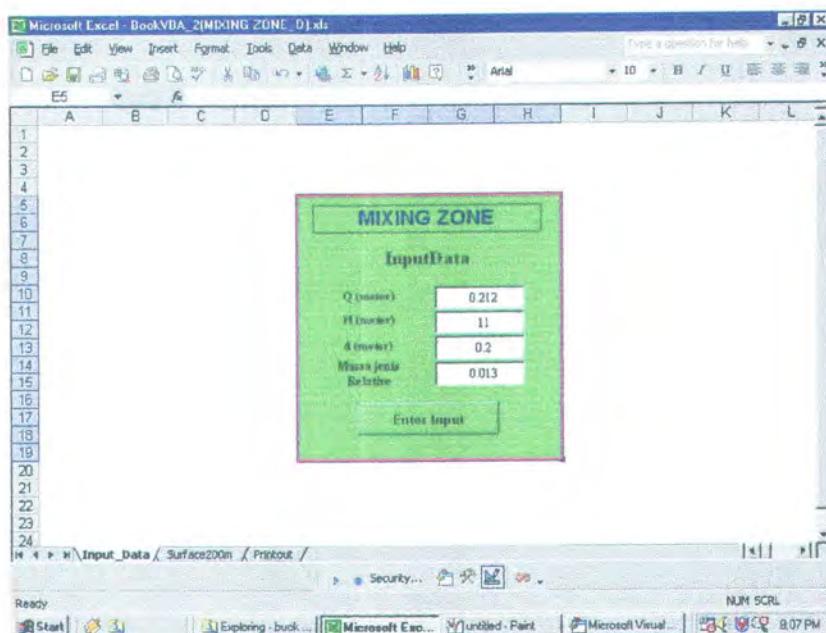
Dari perhitungan matematis ketiga daerah penyebaran, yaitu *near field*, *intermediate region* dan *far field*, maka perlu dirubah menjadi metode numerik yang dibutuhkan oleh VBA.

4.3.2. Tampilan Software

Form utama pengembangan perangkat lunak yang penulis susun dengan menggunakan *Visual Basic for Application* yang terdapat pada Microsoft Excel meliputi beberapa tampilan, yaitu :

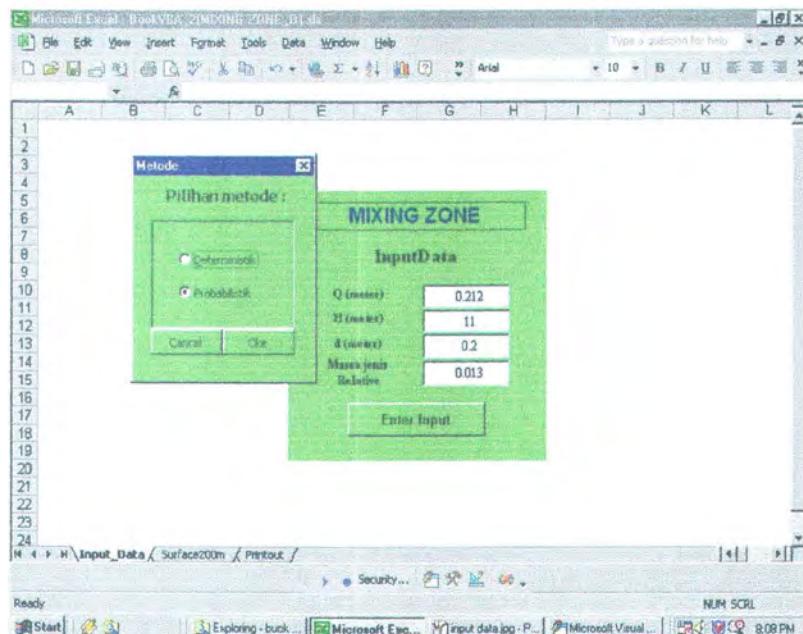
a. Input data

Merupakan tempat dimana pengguna harus memasukkan beberapa data yang diperlukan untuk dapat menjalankan simulasi *mixing zone*. Adapun input data yang diperlukan adalah laju aliran *produced water* (Q), kedalaman pembuangan limbah (H), diameter port (d) dan perbedaan densitas *ambient* dan *effluent*. Pada Gambar 4.1. dibawah ini adalah tampilan untuk form input data.

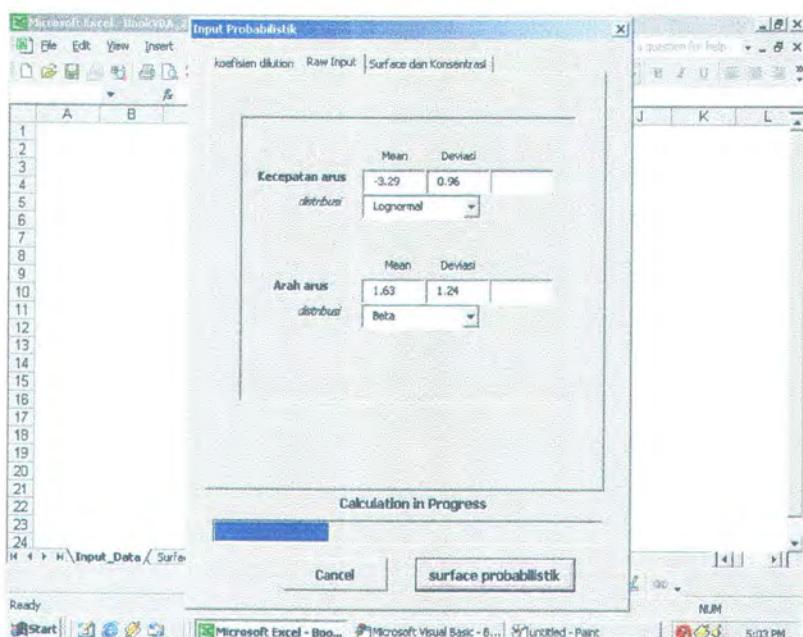


Gambar 4.1. Input Data

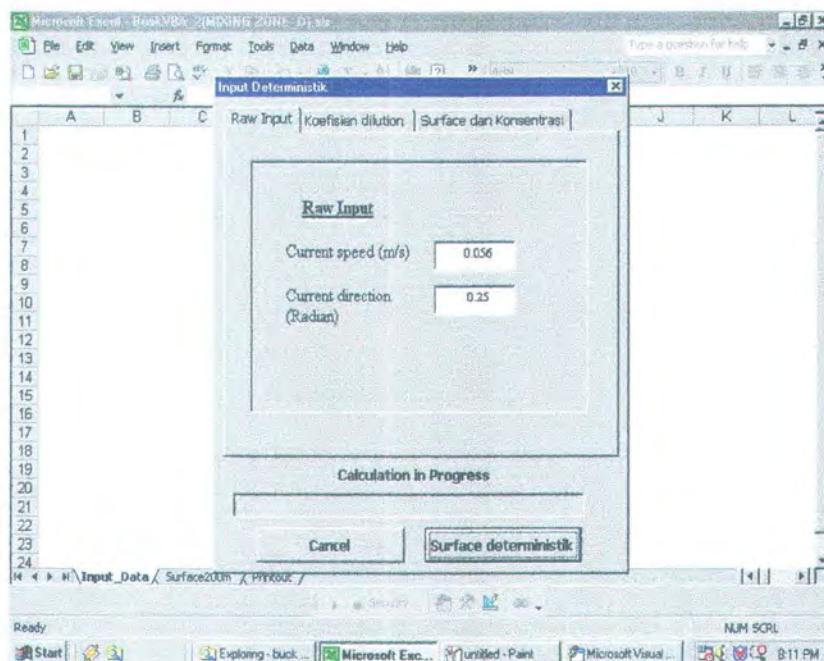
Setelah inpt data dimasukkan, kemudian klik tombol **Enter Input**, sehingga akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.2. Disini user diharuskan memilih metode yang kaan dipergunakan, apakah metode probabilistik atau metode deterministik. Apabila yang dipilih metode probabilistik maka akan tampil seperti Gambar 4.3., sedangkan jika dipilih metode deterministik maka akan tampil seperti Gambar 4.4. Untuk pengoperasian numerik dari perumusan permodelan *mixing zone* dilakukan pada masukan data numerik yang terdapat seperti pada Gambar 4.5.



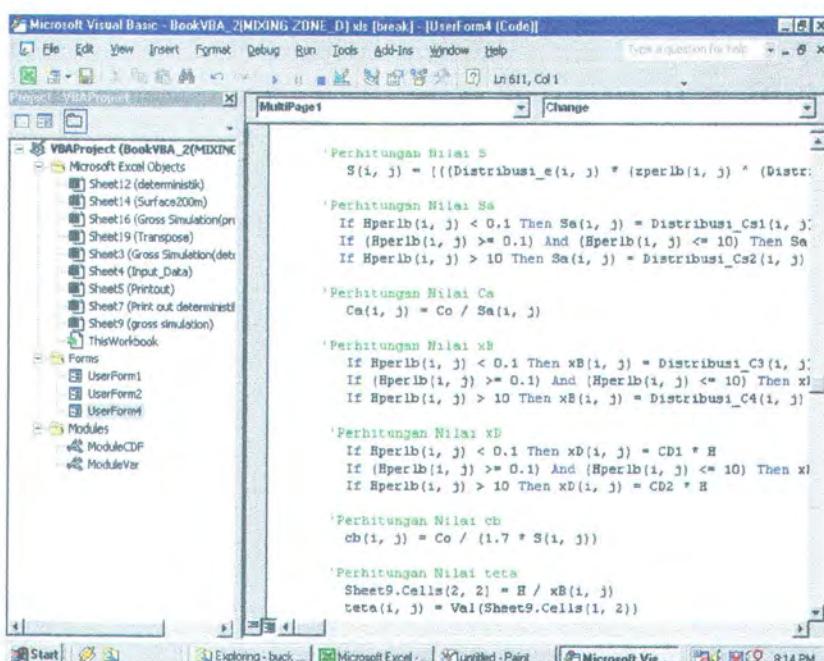
Gambar 4.2. Metode Pilihan



Gambar 4.3. Input Probabilistik



Gambar 4.4. Input Deterministik

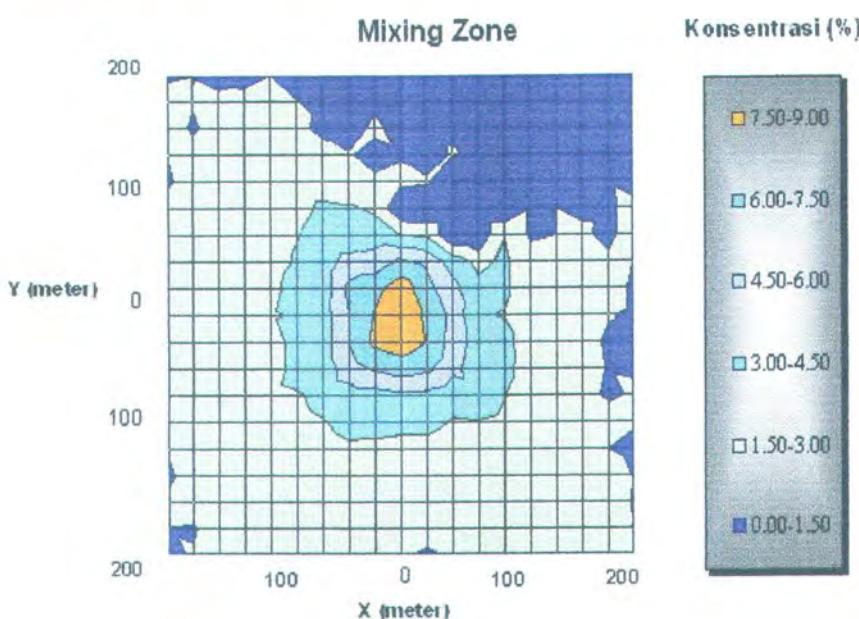


Gambar 4.5. Masukan Data Numerik



b. Surface

Setelah berbagai input data dimasukkan dan *running* program dijalankan maka hasil simulasi akan ditampilkan seperti Gambar 4.6. dibawah ini. Perbedaan warna yang ada menggambarkan perbedaan konsentrasi limbah hasil simulasi.



Gambar 4.6. Contoh Hasil Simulasi Mixing Zone

4.4. Skenario dan Hasil Simulasi Mixing Zone

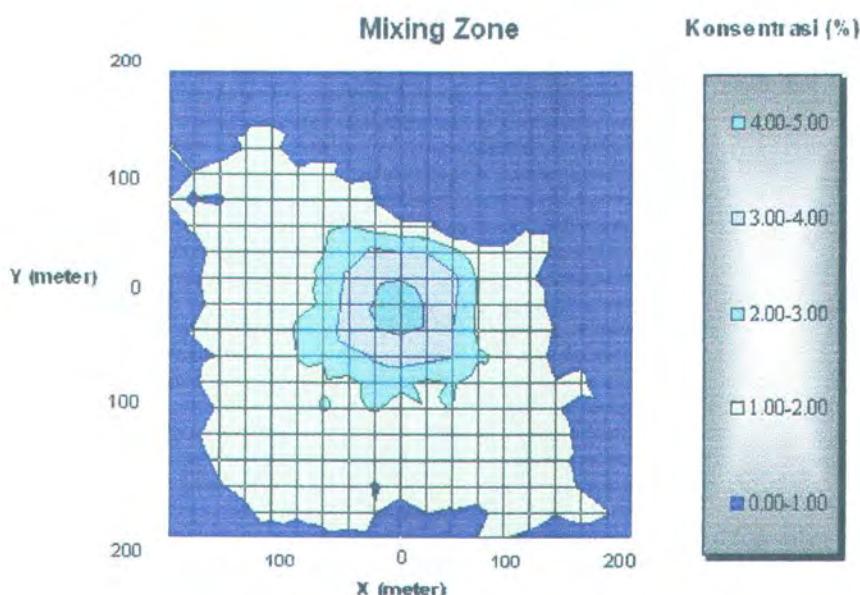
Input data dari studi kasus *produced water* di North Sea dan Bass Strait yang telah dimasukkan ke dalam *software* selanjutnya akan dihasilkan output berupa konsentrasi produced water pada titik-titik (node) di dalam daerah seluas 400m x 400m di sekitas titik pembuangan lokasi outfall.

Simulasi yang dilakukan menggunakan Monte Carlo dengan menggunakan

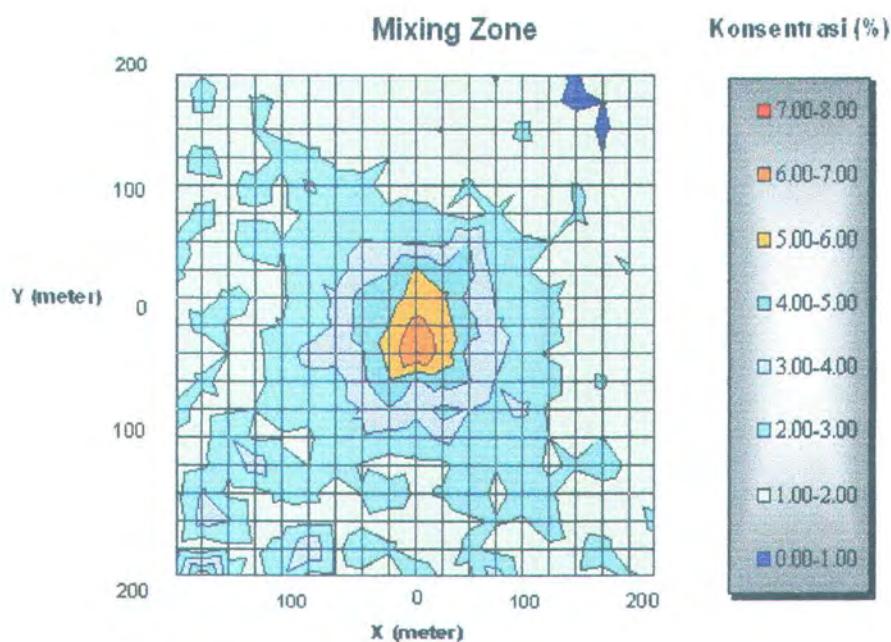


metode sampling LHS (*Latin Hypercube Sampling*). Iterasi di dalam simulasi Monte Carlo, sampai statistik output mengalami konvergen, dilakukan pada tiap-tiap node sebanyak 10.000 kali. Sehingga konsentrasi limbah pada tiap-tiap node dapat diketahui data statistiknya.

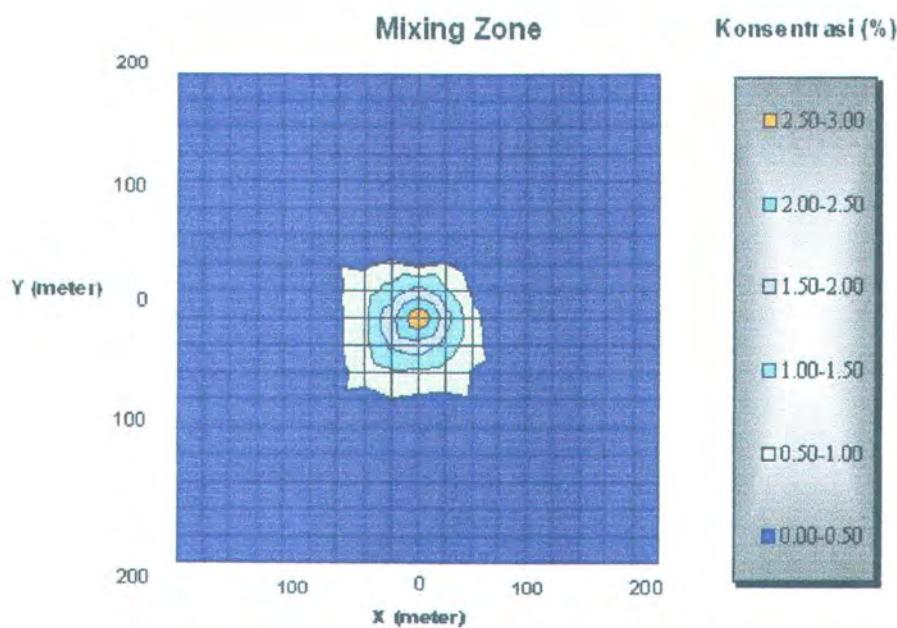
Pada simulasi ini, penulis menggunakan spesifikasi komputer AMD K6-500 Mhz dan Memory 64 MB. Untuk menjalankan simulasi dibutuhkan estimasi waktu sekitar 12 menit. Gambar 4.7 sampai Gambar 4.11. menyajikan hasil simulasi untuk konsentrasi 95-percentile, maksimum dan rata-rata.



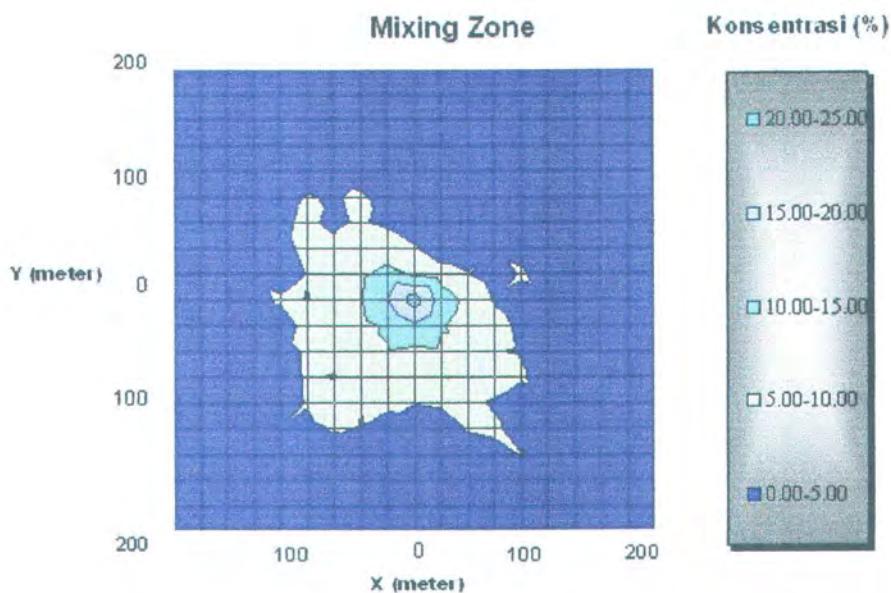
Gambar 4.7. Konsentrasi (%) 95-percentile produced water
(Studi Kasus Bass Straits)



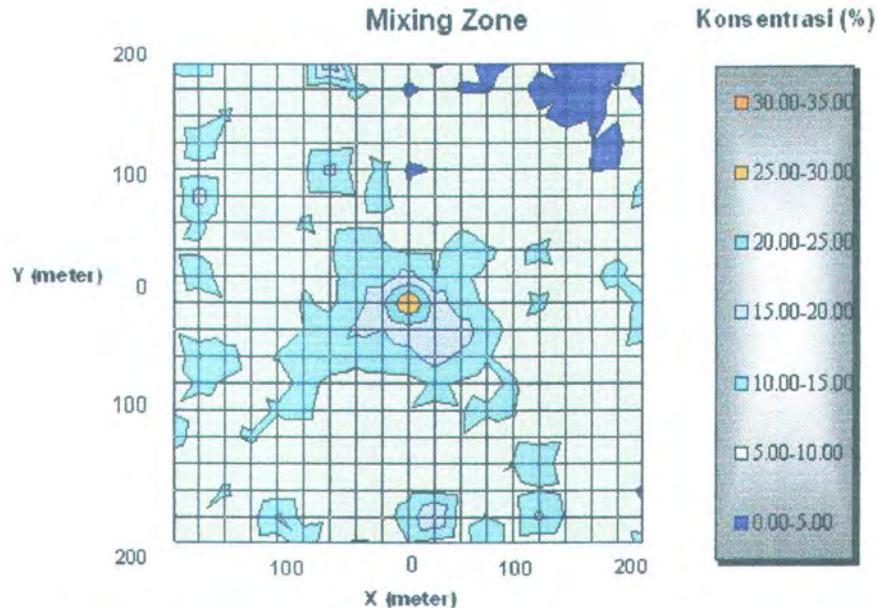
Gambar 4.8. Konsentrasi (%) maksimum produced water
(Studi Kasus Bass Straits)



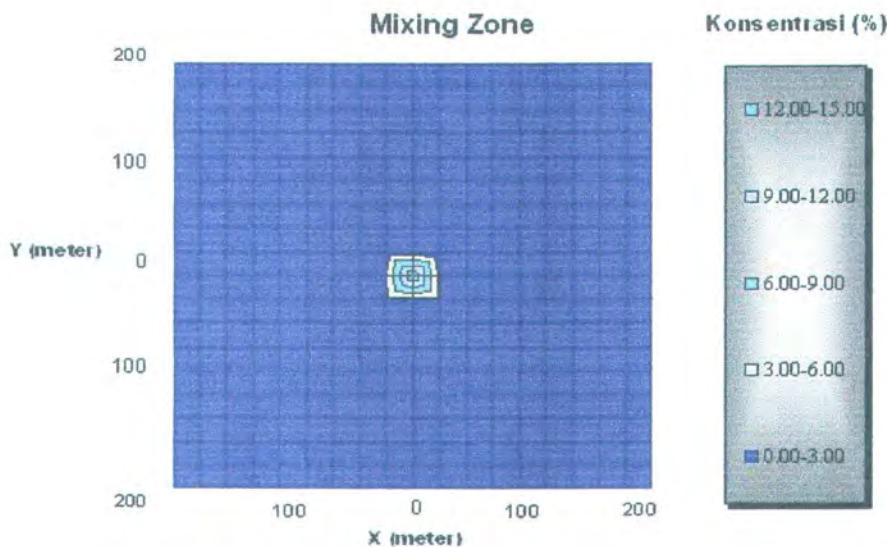
Gambar 4.9. Konsentrasi (%) rata-rata produced water
(Studi Kasus Bass Straits)



Gambar 4.9. Konsentrasi (%) 95-percentile produced water
(Studi Kasus North Sea)



Gambar 4.10. Konsentrasi (%) maksimum produced water
(Studi Kasus North Sea)



Gambar 4.11. Konsentrasi (%) rata-rata produced water
(Studi Kasus North Sea)

Dari hasil *running* studi kasus simulasi permodelan hidrodinamika pada Gambar 4.7. sampai Gambar 4.11. diatas menunjukkan perbedaan luasan *mixing zone* akibat perbedaan percentile. Untuk studi kasus Bass Strait, kontur konsentrasi produced water (95-percentile) dengan nilai 2.0 % atau lebih, berada pada radius kurang lebih 70 m disekitar lokasi outfall. Sedangkan pada studi kasus North Sea, kontur konsentrasi produced water (95-percentile) dengan nilai 5.0 % atau lebih, berada pada radius kurang lebih 90 m disekitar pembuangan lokasi outfall. Penyebaran untuk konsentrasi maksimum maupun rata-rata dapat dilihat pada gambar hasil simulasi diatas.

Untuk melakukan evaluasi pada beberapa hasil studi kasus diatas, maka hasil dari simulasi tersebut dibandingkan dengan *mixing zone* yang dapat



diharapkan terjadi pada suatu kasus tipikal tertentu. Sehingga data-data konsentrasi bahan pencemar (polutan) di dalam *produced water* dari beberapa kegiatan produksi minyak lepas pantai dapat dipakai sebagai masukan evaluasi *mixing zone* (Mukhtasor, 2001). Tabel 4.3. menyajikan data konsentrasi bahan pencemar polutan yang mempunyai perbedaan dalam hal kuantitas maupun kwalitas antara *produced water* di North Sea, Gulf of Mexico, Java Sea dan Bass Strait. Sehingga dari data-data tersebut, penulis akan mengambil salah satu lokasi, yaitu konsentrasi rata-rata dari North Sea sebagai masukan untuk evaluasi *mixing zone* hasil simulasi.



Tabel 4.3. Konsentrasi polutan pada *produced water* dari daerah yang berbeda
(in $\mu\text{g/l}$ or otherwise stated, Mukhtasor 2001)

Parameter	North Sea (6 platforms)			Gulf Mexico (42 platforms)			Java Sea (6 platforms)			Bass Straits (3 platforms)
	min.	Average	max.	min.	Average	max.	min.	Average	max.	
As	-	-	-	-	-	-	1.5	4.7	9	<1.5
Ba	12000	27430	42100	-	-	-	-	-	-	-
Cd	20	6670	10000	0	27	98	*	0.5	*	<5
Cr	0.08	13.2	40	0	186	390	7.5	124	185	<5
Cu	2	128.8	600	0	104	1455	*	5.2	*	<5
Fe	4	20.57	23	-	-	-	-	-	-	-
Hg	1.9	4	9	-	-	-	0.004	0.006	0.0012	0.044
Ni	-	-	-	0	192	1674	45	95	143	<5
Pb	50	112.5	270	2	670	5700	12	193	260	23
Zn	0.26	47	200	17	170	1600	*	*	*	<30
Benzene	-	-	-	2	1318	8722	69.3	1720	3000	24
Toulene	-	-	-	60	1065	4902	90.8	650	1300	-
BTX	1100	15740	66900	-	-	-	-	-	-	-
Naphthalene	38	185	398	0	132	1179	-	-	-	1.6
Phenol	33	1670	5100	0	1049	3660	-	-	-	-
$^{226}\text{Ra}(\text{pCi/l})$	-	-	-	4	262	584	-	-	-	-
$^{228}\text{Ra}(\text{pCi/l})$	-	-	-	18	277	586	-	-	-	-

Catatan : (-) data tidak tercatat

(*) data tidak terdeteksi



Dari hasil simulasi pada Gambar 4.7. sampai 4.11. diatas, perhitungan *mixing zone* dapat dievaluasi dengan menggunakan ambang batas yang telah ditetapkan dalam analisa. (Mengutip dari Mukhtasor 2001), Tabel 4.4. dibawah ini menyajikan ringkasan standard air laut yang ditetapkan di dunia internasional.

Tabel 4.4. Standard kualitas air laut ($\mu\text{g/l}$) dari beberapa negara
(ANZECC and ARMCANZ 1999, CCME 1999,
U.S. EPA 1999 dalam Mukhtasor 2001)

Parameter	Australia and New Zealand		Canada	United States		
	95.50%	90.50%		CMC	CCC	HHC
As	-	-	12.5	69	36	0.14
Cd	5	12	0.12	42	9.3	-
Cr	10	25	1.5	1.100	50	-
Cu	1.3	3	-	4.8	3.1	-
Hg	0.1	0.4	-	1.8	0.94	0.94
Ni	190	380	-	74	8.2	4600
Pb	-	-	-	210	8.1	
Zn	10	21	-	90	81	69000
Benzene	-	-	110	-	-	71
Toluene	-	-	215	-	-	200000
Naphthalene	40	60	1.4	-	-	

Catatan :

- 95.50% : standar yang dimaksudkan untuk sekurang-kurangnya memproteksi 50% species di laut dengan peluang 95%.
- 90.50% : standar yang dimaksudkan untuk sekurang-kurangnya memproteksi 50% species di laut dengan peluang 90%.
- CMC : Continous Maximum Concentration (konsentrasi maksimum kontinyu)
- CCC : Continous ChronicConcentration (konsentrasi kronik kontinyu)
- HHC : Human Helath Concentration (konsentrasi untuk pencegahan penyakit karena konsumsi seafood yang terkontaminasi polutan tersebut).



Pada Tabel 4.4. tidak secara langsung dapat dipergunakan untuk diabandingkan dengan hasil simulasi, karena memiliki satuan yang berbeda. Untuk itu satuan standart pada Tabel 4.3 diubah menjadi persen relatif (%), yaitu dengan membagi konsentrasi standart pada Tabel 4.4. dengan konsentrasi polutan pada *produced water* di Tabel 4.3. Dimana nilai yang diambil adalah konsentrasi rata-rata dari North Sea. Sehingga standart satuan telah sama dengan satuan yang terdapat pada hasil simulasi, yaitu persen relatif (%). Pada Tabel 4.5. dibawah ini menyajikan standart kualitas air laut yang telah disesuaikan dengan satuan studi kasus.

Tabel 4.5. Standar kualitas air laut (%) yang disesuaikan untuk kasus tipikal

Parameter	Australia and New Zealand		Canada	United States		
	95.5%	90.50%		CMC	CCC	Health
Cd	0.07	0.18	0.00	0.63	0.14	-
Cr	75.76	189.39	11.36	8333.3	378.79	-
Cu	1.01	2.33	-	3.73	2.41	-
Pb	-	-	-	186.67	7.20	-
Zn	21.28	44.68	-	191.49	172.34	146809
Naphthalene	21.62	32.43	0.76	-	-	-

Dari hasil analisa studi kasus untuk data Bass Strait diatas banyak polutan mempunyai nilai konsentrasi lebih kecil dibandingkan dengan tabel standart (Tabel 4.5), kecuali terdapat beberapa polutan yang perlu mendapat perhatian karena nilainya melebihi dari standart konsentrasi bahan polutan yang ditentukan yaitu Cd (Cadmium) dan Cu (Copper). Sedangkan untuk hasil studi kasus untuk data North Sea, banyak sekali

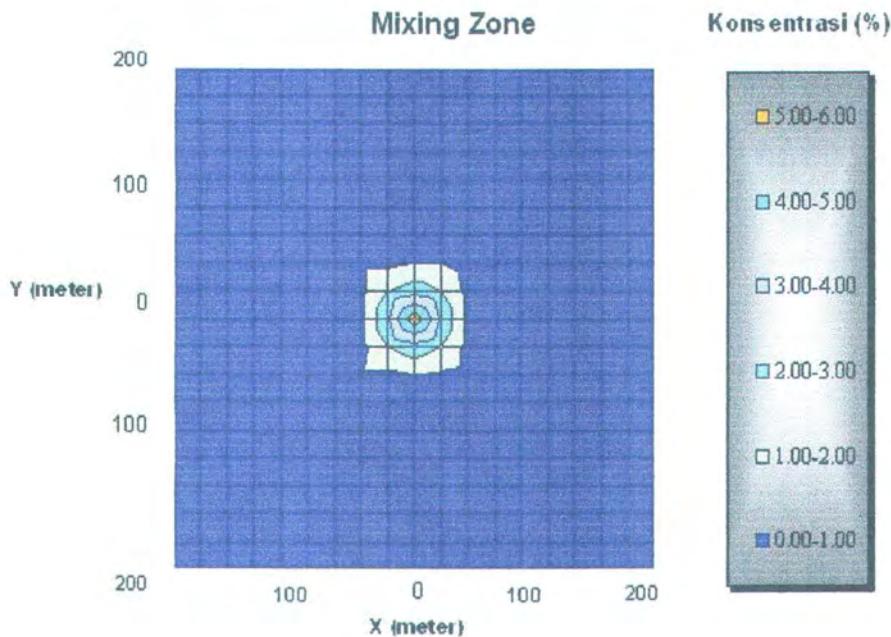


polutan yang memiliki nilai konsentrasi lebih besar dari tabel standart (Tabel 4.5). Beberapa polutan yang perlu diperhatikan adalah Cd (Cadmium), Cu (Copper), Zn (Seng) dan Napthalene.

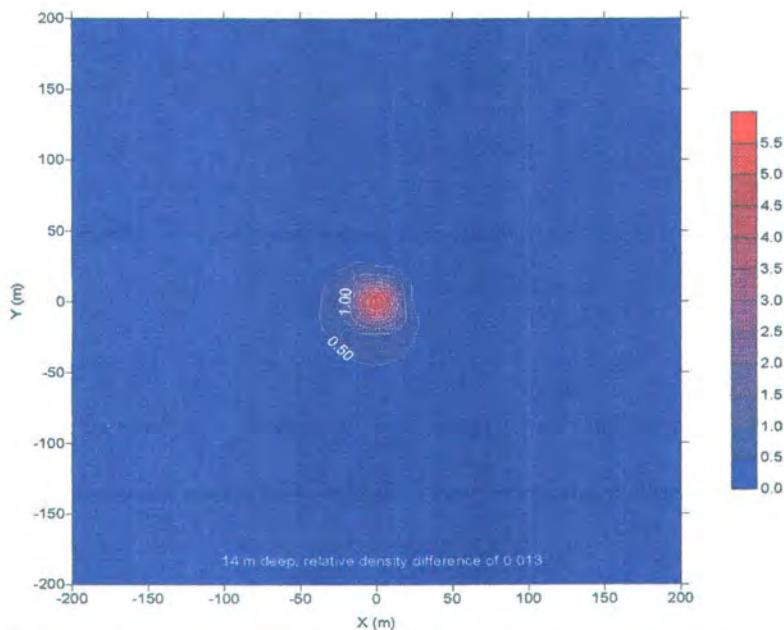
Dari hasil simulasi diatas diharapkan dapat membantu sebagai masukan dalam evaluasi standar kualitas air laut permodelan *mixing zone* untuk *bouyant-jet outfall*.

4.5. Perbandingan Software Mixing Zone

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Mukhtasor 2002), maka akan dilakukan perbandingan terhadap software yang penulis kembangkan, dimana telah memperhitungkan proses difusi turbulen. Data lapangan yang diambil di dalam penelitian sebelumnya dari studi kasus perencanaan pembuangan produced water Terra Nova Project. Potensi laju alir produced water diperkirakan $0.212 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan perbedaan massa jenis relatif antara air laut dan *effluent* sebesar 0.013. Hasil analisa mixing zone yang diperoleh dari penelitian sebelumnya dapat dilihat dalam Gambar 4.13, sedangkan dari software yang penulis kembangkan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Konsentrasi (%) rata-rata produced water
(Software yang penulis kembangkan)



Gambar 4.13. Konsentrasi (%) rata-rata produced water
(Mukhtasor 2002)



Dari kedua hasil simulasi mixing zone diatas menunjukkan bahwa terdapat persamaan di dalam nilai konsentrasi produced water (%) yaitu pada titik boil sebesar 5.5 %, sehingga dapat dinyatakan bahwa software yang penulis kembangkan sudah mendekati kebenaran.

Ditekankan bahwa software ini sebagai alat bantu untuk perencanaan *Ocean Outfall* tipe *Bouyant Jet* tunggal. Permodelan dapat dilakukan dengan menggunakan data lapangan yang ada. Salah satu keunggulan dari software yang penulis kembangkan adalah sudah mengakomodir proses difusi turbulen yang telah dikembangkan oleh (Satriyanto 2002).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari Tugas Akhir ini, dihasilkan *software* berbasis probabilistik untuk permodelan *ocean outfall* tipe *bouyant jet* tunggal yang mengintegrasikan komponen model tiga daerah penyebaran yaitu *near field*, *far field* dan *intermediate region* (Mukhtasor 2001). Di dalam analisa *mixing zone* mengikutsertakan ketidakpastian di dalam input model, koefisien model dan *error term*. Perangkat lunak ini membantu dalam perencanaan desain *ocean outfall*, yaitu mengetahui konsentrasi lokal *produced water* yang berubah-ubah akibat perubahan parameter arah dan arus air laut. Selain itu juga telah dihasilkan *source code* atau *listing program* yang nantinya dapat dilakukan modifikasi pada beberapa parameter ketidakpastian yang ada sehingga dapat mengakomodasi peraturan terbaru yang ada. Kelebihan dari *software* ini telah mengakomodasikan persamaan turbulen difusi pada daerah penyebaran *far filed*.



2. Dari serangkaian *case study* pada analisa *mixing zone* yang telah dilakukan dan mengevaluasi konsentrasi polutan *produced water* yang dihasilkan dengan membandingkan badan standar lingkungan yang ada dapat disimpulkan; untuk studi kasus Bass Strait terdapat beberapa polutan yang perlu diperhatikan karena nilainya melebihi dari standar konsentrasi polutan yang ditentukan yaitu Cd (Cadmium) dan Cu (Copper), sedangkan untuk studi kasus North Sea terdapat beberapa polutan yang nilai konsentrasinya melebihi tabel standar, yaitu Cd (Cadmium), Cu (Copper), Zn (Seng) dan Naphtalene.

5.2. Saran

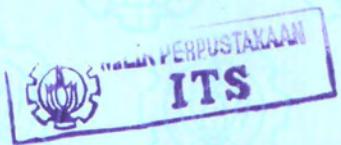
Dari keseluruhan tahapan yang telah diselesaikan pada Tugas Akhir ini, maka terdapat beberapa hal yang perlu disarankan sebagai berikut :

1. Di dalam tugas akhir hanya mengambil dua ketidakpastian input model, yaitu besar dan arah arus air laut. Untuk itu perlu kiranya mengakaji pengaruh input model yang lainnya, misalnya studi kasus pada suatu wilayah yang memiliki variasi suhu dan densitas air laut.
2. Tampilan yang dihasilkan dari tugas akhir ini berbentuk 2D (dimensi), untuk itu perlu adanya pengembangan lebih lanjut pada bentuk 3D (dimensi), sehingga dihasilkan tampilan yang lebih menarik dan interaktif.
3. Salah satu aspek di dalam desain *ocean outfall* adalah susunan pipa pengeluaran, yang mungkin terdiri dari satu atau beberapa pipa



pengeluaran. Dalam pembuatan perangkat lunak ini dibatasi pada *submerged single port discharges*, diharapkan nantinya dapat dimodifikasi untuk *multiport difusser*.

DAFTAR PUSTAKA



LAMPIRAN



LAMPIRAN (KODE PROGRAM PROBABILISTIK)

```
Dim k, answer, answer1 As Double  
Dim NV(10000), A(3980), B(3980), max As Variant  
Dim myvalue(100) As Variant  
Dim myRange As range  
Dim Distribusi_KecArus(400, 250), Distribusi_ArahArus(400, 250), Distribusi_e(400, 250),  
Distribusi_f(400, 250), Distribusi_w(400, 250), Distribusi_h(400, 250),  
Distribusi_ErrorTerm(400, 250) As Double  
Dim Distribusi_C3(400, 250), Distribusi_C4(400, 250), Distribusi_Cs1(400, 250),  
Distribusi_Cs2(400, 250), Distribusi_Alpha(400, 250), Distribusi_Beta(400, 250) As Double  
Dim lb(400, 250), lm(400, 250), Vj(400, 250), zperlb(400, 250), Hperlb(400, 250), lbperH(400,  
250), Fr(400, 250) As Double  
Dim a1(400, 250), a2(400, 250), Cls, CD1, CD2, Cs1(400, 250), Cs2(400, 250), Co As Double  
Dim S(400, 250), Sa(400, 250), Ca(400, 250), xB(400, 250), xD(400, 250), cb(400, 250), ho(400,  
250), Lo(400, 250), Ls(400, 250), teta(400, 250) As Double  
Dim xp(400, 250), yp(400, 250), Lx(400, 250), hx(400, 250) As Double  
Dim i, j, x  
Dim start As Long
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
    start = Timer  
  
    prob = True  
  
    Q = Val(Sheet4.TextBox_Q.Text)  
    H = Val(Sheet4.TextBox_H.Text)  
    d = Val(Sheet4.TextBox_d.Text)  
    massajenis = Val(Sheet4.TextBox_massajenis.Text)  
  
    KecArus_a = Val(TextBox1.Text)  
    KecArus_b = Val(TextBox2.Text)  
    KecArus_c = Val(TextBox3.Text)  
    ArahArus_a = Val(TextBox4.Text)  
    ArahArus_b = Val(TextBox5.Text)  
    ArahArus_c = Val(TextBox6.Text)  
    e_a = Val(TextBox_e_a.Text)  
    e_b = Val(TextBox_e_b.Text)  
    e_c = Val(TextBox_e_c.Text)  
    f_a = Val(TextBox_f_a.Text)  
    f_b = Val(TextBox_f_b.Text)  
    f_c = Val(TextBox_f_c.Text)  
    w_a = Val(TextBox_w_a.Text)  
    w_b = Val(TextBox_w_b.Text)  
    w_c = Val(TextBox_w_c.Text)  
    h_a = Val(TextBox_h_a.Text)  
    h_b = Val(TextBox_h_b.Text)  
    h_c = Val(TextBox_h_c.Text)  
    error_a = Val(TextBox_error_a.Text)  
    error_b = Val(TextBox_error_b.Text)  
    error_c = Val(TextBox_error_c.Text)  
    C3_a = Val(TextBox_C3_a.Text)
```



```
C3_b = Val(TextBox_C3_b.Text)
C3_c = Val(TextBox_C3_c.Text)
C4_a = Val(TextBox_C4_a.Text)
C4_b = Val(TextBox_C4_b.Text)
C4_c = Val(TextBox_C4_c.Text)
Cs1_a = Val(TextBox_Cs1_a.Text)
Cs1_b = Val(TextBox_Cs1_b.Text)
Cs1_c = Val(TextBox_Cs1_c.Text)
Cs2_a = Val(TextBox_Cs2_a.Text)
Cs2_b = Val(TextBox_Cs2_b.Text)
Cs2_c = Val(TextBox_Cs2_c.Text)
Alpha_a = Val(TextBox_alpha_a.Text)
Alpha_b = Val(TextBox_alpha_b.Text)
Alpha_c = Val(TextBox_Alpha_c.Text)
Beta_a = Val(TextBox_beta_a.Text)
Beta_b = Val(TextBox_beta_b.Text)
Beta_c = Val(TextBox_beta_c.Text)

Sheet5.Cells(17, 4) = Val(KecArus_a)
Sheet5.Cells(17, 5) = Val(KecArus_b)
Sheet5.Cells(17, 6) = Val(KecArus_c)
Sheet5.Cells(17, 7) = UserForm4.ComboBox1
Sheet5.Cells(18, 4) = Val(ArahArus_a)
Sheet5.Cells(18, 5) = Val(ArahArus_b)
Sheet5.Cells(18, 6) = Val(ArahArus_c)
Sheet5.Cells(18, 7) = UserForm4.ComboBox2
Sheet5.Cells(23, 3) = Val(e_a)
Sheet5.Cells(23, 4) = Val(e_b)
Sheet5.Cells(23, 5) = Val(e_c)
Sheet5.Cells(23, 6) = UserForm4.ComboBox_e
Sheet5.Cells(24, 3) = Val(f_a)
Sheet5.Cells(24, 4) = Val(f_b)
Sheet5.Cells(24, 5) = Val(f_c)
Sheet5.Cells(24, 6) = UserForm4.ComboBox_f
Sheet5.Cells(25, 3) = Val(w_a)
Sheet5.Cells(25, 4) = Val(w_b)
Sheet5.Cells(25, 5) = Val(w_c)
Sheet5.Cells(25, 6) = UserForm4.ComboBox_w
Sheet5.Cells(26, 3) = Val(h_a)
Sheet5.Cells(26, 4) = Val(h_b)
Sheet5.Cells(26, 5) = Val(h_c)
Sheet5.Cells(26, 6) = UserForm4.ComboBox_h
Sheet5.Cells(27, 3) = Val(error_a)
Sheet5.Cells(27, 4) = Val(error_b)
Sheet5.Cells(27, 5) = Val(error_c)
Sheet5.Cells(27, 6) = UserForm4.ComboBox_errorterm
Sheet5.Cells(29, 3) = Val(C3_a)
Sheet5.Cells(29, 4) = Val(C3_b)
Sheet5.Cells(29, 5) = Val(C3_c)
Sheet5.Cells(29, 6) = UserForm4.ComboBox_C3
Sheet5.Cells(30, 3) = Val(C4_a)
Sheet5.Cells(30, 4) = Val(C4_b)
Sheet5.Cells(30, 5) = Val(C4_c)
Sheet5.Cells(30, 6) = UserForm4.ComboBox_C4
Sheet5.Cells(31, 3) = Val(Cs1_a)
```



```
Sheet5.Cells(31, 4) = Val(Cs1_b)
Sheet5.Cells(31, 5) = Val(Cs1_c)
Sheet5.Cells(31, 6) = UserForm4.ComboBox_Cs1
Sheet5.Cells(32, 3) = Val(Cs2_a)
Sheet5.Cells(32, 4) = Val(Cs2_b)
Sheet5.Cells(32, 5) = Val(Cs2_c)
Sheet5.Cells(32, 6) = UserForm4.ComboBox_Cs2
Sheet5.Cells(33, 3) = Val(Alpha_a)
Sheet5.Cells(33, 4) = Val(Alpha_b)
Sheet5.Cells(33, 5) = Val(Alpha_c)
Sheet5.Cells(33, 6) = UserForm4.ComboBox_alpha
Sheet5.Cells(34, 3) = Val(Beta_a)
Sheet5.Cells(34, 4) = Val(Beta_b)
Sheet5.Cells(34, 5) = Val(Beta_c)
Sheet5.Cells(34, 6) = UserForm4.ComboBox_beta
```

```
Dim imax, jmax As Integer
```

```
Dim nProg As String
```

```
imax = 361
```

```
ProgressBar1.min = 1
```

```
ProgressBar1.max = imax
```

```
For i = 1 To 361
```

```
For j = 1 To 200
```

```
DoEvents
```

```
    Label34.Caption = (Timer - start)
```

```
    If UserForm4.ComboBox1.Text = "Uniform" Then
```

```
        Distribusi_KecArus(i, j) = Val(Uniform(KecArus_a, KecArus_b))
```

```
    End If
```

```
    If UserForm4.ComboBox1.Text = "Triang" Then
```

```
        Distribusi_KecArus(i, j) = Val(Triang(KecArus_a, KecArus_b, KecArus_b))
```

```
    End If
```

```
    If UserForm4.ComboBox1.Text = "Normal" Then
```

```
        Distribusi_KecArus(i, j) = Val(normal(KecArus_a, KecArus_b))
```

```
    End If
```

```
    If UserForm4.ComboBox1.Text = "Lognormal" Then
```

```
        Distribusi_KecArus(i, j) = Val(lognormal(KecArus_a, KecArus_b))
```

```
    End If
```

```
    If UserForm4.ComboBox1.Text = "Beta" Then
```

```
        Distribusi_KecArus(i, j) = Val(beta(KecArus_a, KecArus_b))
```

```
    End If
```

```
If UserForm4.ComboBox2.Text = "Uniform" Then
```

```
    Distribusi_ArahArus(i, j) = (Val(Uniform(ArahArus_a, ArahArus_b)) * 6.25) + 0.0346
```

```
End If
```

```
If UserForm4.ComboBox2.Text = "Triang" Then
```

```
    Distribusi_ArahArus(i, j) = (Val(Triang(ArahArus_a, ArahArus_b, ArahArus_c)) * 6.25) +
        0.0346
```

```
End If
```

```
If UserForm4.ComboBox2.Text = "Normal" Then
```

```
    Distribusi_ArahArus(i, j) = (Val(normal(ArahArus_a, ArahArus_b)) * 6.25) + 0.0346
```



```
End If
If UserForm4.ComboBox2.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_ArahArus(i, j) = (Val(lognormal(ArahArus_a, ArahArus_b)) * 6.25) + 0.0346
End If
If UserForm4.ComboBox2.Text = "Beta" Then
    Distribusi_ArahArus(i, j) = (Val(beta(ArahArus_a, ArahArus_b)) * 6.25) + 0.0346
End If

If UserForm4.ComboBox_e.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_e(i, j) = Val(Uniform(e_a, e_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_e.Text = "Triang" Then
    Distribusi_e(i, j) = Val(Triang(e_a, e_b, e_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_e.Text = "Normal" Then
    Distribusi_e(i, j) = Val(normal(e_a, e_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_e.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_e(i, j) = Val(lognormal(e_a, e_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_e.Text = "Beta" Then
    Distribusi_e(i, j) = Val(beta(e_a, e_b))
End If

If UserForm4.ComboBox_f.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_f(i, j) = Val(Uniform(f_a, f_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_f.Text = "Triang" Then
    Distribusi_f(i, j) = Val(Triang(f_a, f_b, f_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_f.Text = "Normal" Then
    Distribusi_f(i, j) = Val(normal(f_a, f_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_f.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_f(i, j) = Val(lognormal(f_a, f_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_f.Text = "Beta" Then
    Distribusi_f(i, j) = Val(beta(f_a, f_b))
End If

If UserForm4.ComboBox_w.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_w(i, j) = Val(Uniform(w_a, w_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_w.Text = "Triang" Then
    Distribusi_w(i, j) = Val(Triang(w_a, w_b, w_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_w.Text = "Normal" Then
    Distribusi_w(i, j) = Val(normal(w_a, w_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_w.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_w(i, j) = Val(lognormal(w_a, w_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_w.Text = "Beta" Then
    Distribusi_w(i, j) = Val(beta(w_a, w_b))
End If
```



```
If UserForm4.ComboBox_h.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_h(i, j) = Val(Uniform(h_a, h_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_h.Text = "Triang" Then
    Distribusi_h(i, j) = Val(Triang(h_a, h_b, h_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_h.Text = "Normal" Then
    Distribusi_h(i, j) = Val(normal(h_a, h_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_h.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_h(i, j) = Val(lognormal(h_a, h_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_h.Text = "Beta" Then
    Distribusi_h(i, j) = Val(beta(h_a, h_b))
End If

If UserForm4.ComboBox_errorterm.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_ErrorTerm(i, j) = Val(Uniform(error_a, error_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_errorterm.Text = "Triang" Then
    Distribusi_ErrorTerm(i, j) = Val(Triang(error_a, error_b, error_a))
End If
If UserForm4.ComboBox_errorterm.Text = "Normal" Then
    Distribusi_ErrorTerm(i, j) = Val(normal(error_a, error_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_errorterm.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_ErrorTerm(i, j) = Val(lognormal(error_a, error_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_errorterm.Text = "Beta" Then
    Distribusi_ErrorTerm(i, j) = Val(beta(error_a, error_b))
End If

If UserForm4.ComboBox_C3.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_C3(i, j) = Val(Uniform(C3_a, C3_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_C3.Text = "Triang" Then
    Distribusi_C3(i, j) = Val(Triang(C3_a, C3_b, C3_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_C3.Text = "Normal" Then
    Distribusi_C3(i, j) = Val(normal(C3_a, C3_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_C3.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_C3(i, j) = Val(lognormal(C3_a, C3_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_C3.Text = "Beta" Then
    Distribusi_C3(i, j) = Val(beta(C3_a, C3_b))
End If

lb(i, j) = (Q * 9.81 * massajenis) / (Distribusi_KecArus(i, j) ^ 3)
Vj(i, j) = (4 * Q) / (3.1415 * (d ^ 2))
lm(i, j) = ((Q * Vj(i, j)) ^ 0.5) / Distribusi_KecArus(i, j)
zperlb(i, j) = (H / lb(i, j))
```



```
HperlB(i, j) = (H / lb(i, j))
lbperH(i, j) = (lb(i, j) / H)
Fr(i, j) = (Vj(i, j) / Sqr(9.81 * d * massajenis))
CD1 = 3
CD2 = 0.6
Cls = 0.38
a1(i, j) = (0.5 - (0.5 * (Log(HperlB(i, j)) / Log(10#))))
a2(i, j) = (0.5 + (0.5 * (Log(HperlB(i, j)) / Log(10#))))
Co = 1
```

```
If UserForm4.ComboBox_C4.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_C4(i, j) = Val(Uniform(C4_a, C4_b)) * ((lb(i, j) / lm(i, j)) ^ 0.25)
End If
If UserForm4.ComboBox_C4.Text = "Triang" Then
    Distribusi_C4(i, j) = Val(Triang(C4_a, C4_b, C4_c)) * ((lb(i, j) / lm(i, j)) ^ 0.25)
End If
If UserForm4.ComboBox_C4.Text = "Normal" Then
    Distribusi_C4(i, j) = Val(normal(C4_a, C4_b)) * ((lb(i, j) / lm(i, j)) ^ 0.25)
End If
If UserForm4.ComboBox_C4.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_C4(i, j) = Val(lognormal(C4_a, C4_b)) * ((lb(i, j) / lm(i, j)) ^ 0.25)
End If
If UserForm4.ComboBox_C4.Text = "Beta" Then
    Distribusi_C4(i, j) = Val(beta(C4_a, C4_b)) * ((lb(i, j) / lm(i, j)) ^ 0.25)
End If
```

```
If UserForm4.ComboBox_Cs1.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_Cs1(i, j) = Val(Uniform(Cs1_a, Cs1_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs1.Text = "Triang" Then
    Distribusi_Cs1(i, j) = Val(Triang(Cs1_a, Cs1_b, Cs1_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs1.Text = "Normal" Then
    Distribusi_Cs1(i, j) = Val(normal(Cs1_a, Cs1_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs1.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_Cs1(i, j) = Val(lognormal(Cs1_a, Cs1_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs1.Text = "Beta" Then
    Distribusi_Cs1(i, j) = Val(beta(Cs1_a, Cs1_b))
End If
```

```
If UserForm4.ComboBox_Cs2.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_Cs2(i, j) = Val(Uniform(Cs2_a, Cs2_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs2.Text = "Triang" Then
    Distribusi_Cs2(i, j) = Val(Triang(Cs2_a, Cs2_b, Cs2_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs2.Text = "Normal" Then
    Distribusi_Cs2(i, j) = Val(normal(Cs2_a, Cs2_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs2.Text = "Lognormal" Then
```



```
Distribusi_Cs2(i, j) = Val(lognormal(Cs2_a, Cs2_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_Cs2.Text = "Beta" Then
    Distribusi_Cs2(i, j) = Val(beta(Cs2_a, Cs2_b))
End If

If UserForm4.ComboBox_alpha.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_Alpha(i, j) = Val(Uniform(Alpha_a, Alpha_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_alpha.Text = "Triang" Then
    Distribusi_Alpha(i, j) = Val(Triang(Alpha_a, Alpha_b, Alpha_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_alpha.Text = "Normal" Then
    Distribusi_Alpha(i, j) = Val(normal(Alpha_a, Alpha_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_alpha.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_Alpha(i, j) = Val(lognormal(Alpha_a, Alpha_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_alpha.Text = "Beta" Then
    Distribusi_Alpha(i, j) = Val(beta(Alpha_a, Alpha_b))
End If

If UserForm4.ComboBox_beta.Text = "Uniform" Then
    Distribusi_Beta(i, j) = Val(Uniform(Beta_a, Beta_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_beta.Text = "Triang" Then
    Distribusi_Beta(i, j) = Val(Triang(Beta_a, Beta_b, Beta_c))
End If
If UserForm4.ComboBox_beta.Text = "Normal" Then
    Distribusi_Beta(i, j) = Val(normal(Beta_a, Beta_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_beta.Text = "Lognormal" Then
    Distribusi_Beta(i, j) = Val(lognormal(Beta_a, Beta_b))
End If
If UserForm4.ComboBox_beta.Text = "Beta" Then
    Distribusi_Beta(i, j) = Val(beta(Beta_a, Beta_b))
End If
```

Perhitungan Nilai S

$$S(i, j) = (((Distribusi_e(i, j) * (zperlbi, j) ^ (Distribusi_f(i, j))) + (Distribusi_w(i, j) * \text{Exp}(Distribusi_h(i, j) / zperlbi, j))) * (Distribusi_KecArus(i, j) * (H ^ 2))) / Q + Distribusi_ErrorTerm(i, j)$$

Perhitungan Nilai Sa

$$\begin{aligned} \text{If } Hperlbi, j < 0.1 \text{ Then } Sa(i, j) &= Distribusi_Cs1(i, j) * S(i, j) \\ \text{If } (Hperlbi, j) \geq 0.1 \text{ And } (Hperlbi, j) \leq 10 \text{ Then } Sa(i, j) &= (a1(i, j) * Distribusi_Cs1(i, j) * S(i, j)) + (a2(i, j) * Distribusi_Cs2(i, j) * S(i, j)) \\ \text{If } Hperlbi, j > 10 \text{ Then } Sa(i, j) &= Distribusi_Cs2(i, j) * S(i, j) \end{aligned}$$

Perhitungan Nilai Ca

$$Ca(i, j) = Co / Sa(i, j)$$

Perhitungan Nilai xB

$$\text{If } Hperlbi, j < 0.1 \text{ Then } xB(i, j) = Distribusi_C3(i, j) * (H ^ (4 / 3)) / (lb(i, j) ^ (1 / 3))$$



```
If (HperlB(i, j) >= 0.1) And (HperlB(i, j) <= 10) Then xB(i, j) = (a1(i, j) *  
    Distribusi_C3(i, j) * (H ^ (4 / 3)) / (lb(i, j) ^ (1 / 3))) + (a2(i, j) * Distribusi_C4(i,  
    j) * (H ^ (3 / 2)) / (lb(i, j) ^ (1 / 2)))  
If HperlB(i, j) > 10 Then xB(i, j) = Distribusi_C4(i, j) * (H ^ (3 / 2)) / (lb(i, j) ^ (1 / 2))
```

Perhitungan Nilai xD

```
If HperlB(i, j) < 0.1 Then xD(i, j) = CD1 * H  
If (HperlB(i, j) >= 0.1) And (HperlB(i, j) <= 10) Then xD(i, j) = (a1(i, j) * CD1 * H) + (a2(i, j)  
    * CD2 * H)  
If HperlB(i, j) > 10 Then xD(i, j) = CD2 * H
```

Perhitungan Nilai cb

```
cb(i, j) = Co / (1.7 * S(i, j))
```

Perhitungan Nilai teta

```
Sheet9.Cells(2, 2) = H / xB(i, j)  
teta(i, j) = Val(Sheet9.Cells(1, 2))
```

Perhitungan Nilai Ls

```
If HperlB(i, j) < 0.1 Then  
    If lbperH(i, j) > 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then  
        Ls(i, j) = 2.12 * (H ^ (3 / 2)) * ((1 - Cos(teta(i, j))) ^ (3 / 2)) * (lb(i, j) ^ (-1 / 3))  
    End If  
    If lbperH(i, j) <= 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then  
        Ls(i, j) = Cls * lb(i, j)  
    End If  
End If  
If (HperlB(i, j) >= 0.1) And (HperlB(i, j) <= 10) Then  
    If lbperH(i, j) > 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then  
        Ls(i, j) = (a1(i, j) * 2.12 * (H ^ (3 / 2)) * ((1 - Cos(teta(i, j))) ^ (3 / 2)) *  
            (lb(i, j) ^ (-1 / 3))) + (a2(i, j) * Sqr(Q * Sa(i, j) / (3.1415 * Distribusi_KecArus(i,  
            j))) / Sin(teta(i, j)))  
    End If  
    If lbperH(i, j) <= 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then  
        Ls(i, j) = (a1(i, j) * Cls * lb(i, j)) + (a2(i, j) * Sqr(Q * Sa(i, j) / (3.1415 *  
            Distribusi_KecArus(i, j))) / Sin(teta(i, j)))  
    End If  
End If  
If HperlB(i, j) > 10 Then  
    Ls(i, j) = Sqr(Q * Sa(i, j) / (3.1415 * Distribusi_KecArus(i, j))) /  
        Sin(teta(i, j))  
End If
```

Perhitungan Nilai Lo

```
If HperlB(i, j) < 0.1 Then  
    If lbperH(i, j) > 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then  
        Lo(i, j) = 5.2 * 2.12 * (H ^ (3 / 2)) * ((1 - Cos(teta(i, j))) ^ (3 / 2)) * (lb(i, j) ^ (-1 / 3))  
    End If  
    If lbperH(i, j) <= 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then  
        Lo(i, j) = 5.2 * Cls * lb(i, j)  
    End If  
End If  
If (HperlB(i, j) >= 0.1) And (HperlB(i, j) <= 10) Then
```



```
If lbperH(i, j) > 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then
    Lo(i, j) = (a2(i, j) * 2 * Sqr(Sa(i, j) * Q / (2 * Distribusi_KecArus(i, j)))) +
    (a1(i, j) * 5.2 * 2.12 * (H ^ (3 / 2)) * ((1 - Cos(teta(i, j))) ^ (3 / 2)) * (lb(i, j) ^ (-1 / 3)))
End If
If lbperH(i, j) <= 6.11 * (1 - Cos(teta(i, j))) Then
    Lo(i, j) = (a2(i, j) * 2 * Sqr(Sa(i, j) * Q / (2 * Distribusi_KecArus(i, j)))) +
    (a1(i, j) * 5.2 * Cls * lb(i, j))
End If
End If
If Hperlb(i, j) > 10 Then Lo(i, j) = 2 * Sqr(Sa(i, j) * Q / (2 * Distribusi_KecArus(i, j)))
Perhitungan Nilai ho
ho(i, j) = ((Sa(i, j) * Q) / (Distribusi_KecArus(i, j) * Lo(i, j)))
```

Perhitungan Nilai $x = X\cos\theta + Y\sin\theta - xB - xD$

$$xp(i, j) = ((Sheet9.Cells(i + 3, 1)) * \cos(Distribusi_ArahArus(i, j))) + \\
((Sheet9.Cells(i + 3, 2)) * \sin(Distribusi_ArahArus(i, j))) - xB(i, j) - xD(i, j)$$

Perhitungan Nilai $y = Y\cos\theta - X\sin\theta$

$$yp(i, j) = ((Sheet9.Cells(i + 3, 2)) * \cos(Distribusi_ArahArus(i, j))) - \\
((Sheet9.Cells(i + 3, 1)) * \sin(Distribusi_ArahArus(i, j)))$$

Perhitungan Nilai $L(x) = (x)^2 + 4$

```
If ((-xD(i, j) - Ls(i, j)) <= xp(i, j) And xp(i, j) < 0) Then
    Lx(i, j) = Lo(i, j) * Sqr((xp(i, j) + xD(i, j) + Ls(i, j)) / (xD(i, j) + Ls(i, j)))
End If
If (xp(i, j)) > 0 Then
    Lx(i, j) = Lo(i, j) * (((3 * Distribusi_Beta(i, j)) * (Sqr(lb(i, j) / Lo(i, j))) *
    (xp(i, j) / Lo(i, j))) + 1) ^ (2 / 3))
End If
If ((-xD(i, j) - Ls(i, j)) > (xp(i, j))) Then
    Lx(i, j) = 0
End If
```

Perhitungan Nilai $h(x)$

```
If Lx(i, j) = 0 Then
    hx(i, j) = 0
Else
    hx(i, j) = ho(i, j) * (((Lx(i, j)) / (Lo(i, j))) ^ (Distribusi_Alpha(i, j) - 1))
End If
```

```
If (Abs(yp(i, j))) > (0.5 * (Abs(Lx(i, j)))) Then
    Sheet9.Cells(i + 3, j + 3) = 0
End If
If (Abs(yp(i, j))) <= (0.5 * (Abs(Lx(i, j)))) Then
    If (xp(i, j) < (-xD(i, j) - Ls(i, j))) Then
        Sheet9.Cells(i + 3, j + 3) = 0
    End If
```



```
If ((xp(i, j) < 0) And (xp(i, j) >= (-xD(i, j) + Ls(i, j)))) Then
    Sheet9.Cells(i + 3, j + 3) = 1.2 * Ca(i, j)
End If

If (xp(i, j) >= (-xD(i, j) - Ls(i, j))) And (xp(i, j) <= (-xD(i, j) + Ls(i, j))) Then
    Sheet9.Cells(3 + i, j + 3) = Co / (1.7 * S(i, j))
End If

If (xp(i, j) > 0) Then
    If hx(i, j) > 0 Then
        Sheet9.Cells(3 + i, j + 3) = 0.916 * Ca(i, j) * (ho(i, j) / hx(i, j)) * _
            (erf_x(((0.273 * Lo(i, j)) + yp(i, j)) / (0.4082 * Lx(i, j))) + _
            erf_x(((0.273 * Lo(i, j)) - yp(i, j)) / (0.4082 * Lx(i, j))))
    End If
End If

End If

ProgressBar1.Value = i

Next j
Next i

50% percentile
If OptionButton5.Value = True Then

For i = 1 To 19
    Sheet19.Cells(i + 1, 2) = 100 * Sheet9.Cells(3 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 3) = 100 * Sheet9.Cells(22 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 4) = 100 * Sheet9.Cells(41 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 5) = 100 * Sheet9.Cells(60 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 6) = 100 * Sheet9.Cells(79 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 7) = 100 * Sheet9.Cells(98 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 8) = 100 * Sheet9.Cells(117 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 9) = 100 * Sheet9.Cells(136 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 10) = 100 * Sheet9.Cells(155 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 11) = 100 * Sheet9.Cells(174 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 12) = 100 * Sheet9.Cells(193 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 13) = 100 * Sheet9.Cells(212 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 14) = 100 * Sheet9.Cells(231 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 15) = 100 * Sheet9.Cells(250 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 16) = 100 * Sheet9.Cells(269 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 17) = 100 * Sheet9.Cells(288 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 18) = 100 * Sheet9.Cells(307 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 19) = 100 * Sheet9.Cells(326 + i, 250)
    Sheet19.Cells(i + 1, 20) = 100 * Sheet9.Cells(345 + i, 250)
Next i

Worksheets("Surface200m(Probabilistik)").Activate
End If

95% percentile
If OptionButton1.Value = True Then

For i = 1 To 19
```



```
Sheet19.Cells(i + 1, 2) = 100 * Sheet9.Cells(3 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 3) = 100 * Sheet9.Cells(22 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 4) = 100 * Sheet9.Cells(41 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 5) = 100 * Sheet9.Cells(60 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 6) = 100 * Sheet9.Cells(79 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 7) = 100 * Sheet9.Cells(98 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 8) = 100 * Sheet9.Cells(117 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 9) = 100 * Sheet9.Cells(136 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 10) = 100 * Sheet9.Cells(155 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 11) = 100 * Sheet9.Cells(174 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 12) = 100 * Sheet9.Cells(193 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 13) = 100 * Sheet9.Cells(212 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 14) = 100 * Sheet9.Cells(231 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 15) = 100 * Sheet9.Cells(250 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 16) = 100 * Sheet9.Cells(269 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 17) = 100 * Sheet9.Cells(288 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 18) = 100 * Sheet9.Cells(307 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 19) = 100 * Sheet9.Cells(326 + i, 252)
Sheet19.Cells(i + 1, 20) = 100 * Sheet9.Cells(345 + i, 252)
```

Next i

```
Worksheets("Surface200m(Probabilistik)").Activate
End If
```

maximum

```
If OptionButton2.Value = True Then
```

For i = 1 To 19

```
Sheet19.Cells(i + 1, 2) = 100 * Sheet9.Cells(3 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 3) = 100 * Sheet9.Cells(22 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 4) = 100 * Sheet9.Cells(41 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 5) = 100 * Sheet9.Cells(60 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 6) = 100 * Sheet9.Cells(79 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 7) = 100 * Sheet9.Cells(98 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 8) = 100 * Sheet9.Cells(117 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 9) = 100 * Sheet9.Cells(136 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 10) = 100 * Sheet9.Cells(155 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 11) = 100 * Sheet9.Cells(174 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 12) = 100 * Sheet9.Cells(193 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 13) = 100 * Sheet9.Cells(212 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 14) = 100 * Sheet9.Cells(231 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 15) = 100 * Sheet9.Cells(250 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 16) = 100 * Sheet9.Cells(269 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 17) = 100 * Sheet9.Cells(288 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 18) = 100 * Sheet9.Cells(307 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 19) = 100 * Sheet9.Cells(326 + i, 251)
Sheet19.Cells(i + 1, 20) = 100 * Sheet9.Cells(345 + i, 251)
```

Next i

```
Worksheets("Surface200m(Probabilistik)").Activate
```

End If

```
If OptionButton3.Value = True Then
```

Memanggil Surface

End If



```
If OptionButton4.Value = True Then
    Memanggil Surface
End If

Unload Me

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
Unload Me
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
    ComboBox1.AddItem "Normal"
    ComboBox1.AddItem "Beta"
    ComboBox1.AddItem "Triangular"
    ComboBox1.AddItem "Uniform"
    ComboBox1.AddItem "Gamma"
    ComboBox1.AddItem "Lognormal"
    ComboBox1.Text = "Lognormal"
    ComboBox2.AddItem "Normal"
    ComboBox2.AddItem "Beta"
    ComboBox2.AddItem "Triangular"
    ComboBox2.AddItem "Uniform"
    ComboBox2.AddItem "Gamma"
    ComboBox2.AddItem "Lognormal"
    ComboBox2.Text = "Beta"
    ComboBox_e.AddItem "Normal"
    ComboBox_e.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_e.AddItem "Beta"
    ComboBox_e.AddItem "Uniform"
    ComboBox_e.AddItem "Triang"
    ComboBox_e.AddItem "Gamma"
    ComboBox_e.Text = "Normal"
    ComboBox_f.AddItem "Normal"
    ComboBox_f.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_f.AddItem "Beta"
    ComboBox_f.AddItem "Uniform"
    ComboBox_f.AddItem "Triang"
    ComboBox_f.AddItem "Gamma"
    ComboBox_f.Text = "Normal"
    ComboBox_w.AddItem "Normal"
    ComboBox_w.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_w.AddItem "Beta"
    ComboBox_w.AddItem "Uniform"
    ComboBox_w.AddItem "Triang"
    ComboBox_w.AddItem "Gamma"
    ComboBox_w.Text = "Normal"
    ComboBox_h.AddItem "Normal"
    ComboBox_h.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_h.AddItem "Beta"
    ComboBox_h.AddItem "Uniform"
    ComboBox_h.AddItem "Triang"
    ComboBox_h.AddItem "Gamma"
    ComboBox_h.Text = "Normal"
```



```
ComboBox_errorterm.AddItem "Normal"
ComboBox_errorterm.AddItem "Lognormal"
ComboBox_errorterm.AddItem "Beta"
ComboBox_errorterm.AddItem "Uniform"
ComboBox_errorterm.AddItem "Triang"
ComboBox_errorterm.AddItem "Gamma"
ComboBox_errorterm.Text = "Normal"
    ComboBox_C3.AddItem "Normal"
    ComboBox_C3.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_C3.AddItem "Beta"
    ComboBox_C3.AddItem "Uniform"
    ComboBox_C3.AddItem "Triang"
    ComboBox_C3.AddItem "Gamma"
    ComboBox_C3.Text = "Triang"
ComboBox_C4.AddItem "Normal"
ComboBox_C4.AddItem "Beta"
ComboBox_C4.AddItem "Uniform"
ComboBox_C4.AddItem "Triang"
ComboBox_C4.AddItem "Gamma"
ComboBox_C4.Text = "Uniform"
    ComboBox_Cs1.AddItem "Normal"
    ComboBox_Cs1.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_Cs1.AddItem "Beta"
    ComboBox_Cs1.AddItem "Uniform"
    ComboBox_Cs1.AddItem "Triang"
    ComboBox_Cs1.AddItem "Gamma"
    ComboBox_Cs1.Text = "Uniform"
ComboBox_Cs2.AddItem "Normal"
ComboBox_Cs2.AddItem "Lognormal"
ComboBox_Cs2.AddItem "Beta"
ComboBox_Cs2.AddItem "Uniform"
ComboBox_Cs2.AddItem "Triang"
ComboBox_Cs2.AddItem "Gamma"
ComboBox_Cs2.Text = "Uniform"
    ComboBox_alpha.AddItem "Normal"
    ComboBox_alpha.AddItem "Lognormal"
    ComboBox_alpha.AddItem "Beta"
    ComboBox_alpha.AddItem "Uniform"
    ComboBox_alpha.AddItem "Triang"
    ComboBox_alpha.AddItem "Gamma"
    ComboBox_alpha.Text = "Uniform"
ComboBox_beta.AddItem "Normal"
ComboBox_beta.AddItem "Lognormal"
ComboBox_beta.AddItem "Beta"
ComboBox_beta.AddItem "Uniform"
ComboBox_beta.AddItem "Triang"
ComboBox_beta.AddItem "Gamma"
ComboBox_beta.Text = "Uniform"
```

End Sub