

**TUGAS AKHIR
(KL 1702)**

**STUDI PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG
PADA STRUKTUR TIANG PANCANG (PILE
STRUCTURE) MENGGUNAKAN KONSEP
CFD DAN FINITE ELEMENT ANALYSIS**



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	21. 8 - 2000
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	21. 1756

Rske
627.98
Ana
S-1
2000

Disusun Oleh :

CHAIRUL ANAM
NRP. 4395.100.040

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**



**STUDI PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG PADA
STRUKTUR TIANG PANCANG (PILE STRUCTURE)
MENGUNAKAN KONSEP CFD DAN
FINITE ELEMENT ANALYSIS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

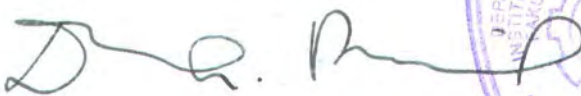
Pada

**Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
NIP. 131 782 038

Dr. Ir. I. K. A. Pria Utama, M.Sc.
NIP. 132 007 645

**SURABAYA
2000**

ABSTRAK

Di dalam Tugas Akhir ini dilakukan analisa perhitungan beban gelombang pada tiang pancang dengan variasi bentuk geometri berupa kubus dan silinder. Analisa ini mempergunakan konsep Computational Fluid Dynamics (CFD) dan Finite Element Methods. Software CFX-5 sebagai modul dari CFD digunakan untuk menghitung beban gelombang yang bekerja pada struktur. Hasil CFX ini dipakai sebagai input dari MSc Nastran untuk melakukan analisa struktur.

Studi kasus yang telah dilakukan pada struktur tiang pancang dengan panjang mencapai 42,65 ft dengan kedalaman perairan sebesar 43 ft dan kecepatan air laut di permukaan sebesar 1.1 m/s. Pile silinder memiliki diameter sebesar 2,5 ft dan ketebalan pile mencapai 1 inch. Pile kubus memiliki panjang sisi sebesar 2,5 ft dan ketebalan sebesar 1 inch. Kecepatan fluida yang bekerja pada sistem computational domain memiliki distribusi yang terbalik terhadap kedalaman. Semakin besar kedalamannya semakin kecil pula kecepatannya. Aliran yang bekerja pada pile silinder memiliki nilai koefisien turbulen (y^+) sebesar 1,9 sedang pada pile kubus y^+ mencapai 68,2. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tajam penampang luasan yang terkena aliran semakin besar kemungkinan terjadinya ulekan pada daerah sekitar struktur.

Selanjutnya analisa kekakuan struktur dengan memberikan beban pada struktur yang diperoleh dari perhitungan CFX. Pile silinder mengalami displasemen sebesar 0,789 m, sedangkan pile kubus mengalami displasemen sebesar 4,1706 m pada masing-masing ujung bebasnya. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa semakin tajam bentuk geometri suatu struktur semakin kecil pula kekakuannya. Pile silinder memiliki beberapa keunggulan yang lebih baik dibandingkan dengan pile kubus berdasarkan dari ulekan akibat aliran fluida dan kekakuannya.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah menciptakan segala kenikmatan di muka bumi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul:

STUDI PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG PADA STRUKTUR TIANG PANCANG (PILE STRUKTUR) MENGGUNAKAN KONSEP CFD DAN FINITE ELEMENT ANALYSIS

Tak lupa Shalawat serta Salam tertuju bagi makhluk terbaik ciptan-Nya, pemimpin umat manusia syuri teladan manusia Nabi Muhammad SAW. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan menyelesaikan studi program sarjana pada Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dengan segala kerendahan hati dan ketulusan penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menikmati dan menjalani kehidupan yang indah ini.
2. Almarhum Ayahanda dan Ibunda penulis yang telah memberikan segala yang diperlukan penulis, semoga yang menjadi harapanmu tercapai dan segala amalmu diterima di sisi Allah SWT.
3. Dr. Ir. Daniel M. Rosyid, selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan selama penulis mengikuti studi di Jurusan Teknik Kelautan, ITS dan mengerjakan Tugas Akhir.

4. Dr. Ir. I. K. A. Pria Utama, MSc, selaku Dosen pembimbing II yang telah memberikan support dan bimbingan penulis dalam mengerjakan tugas akhir secara terus menerus.
5. Dr. Ir. Paulus Indiyono, MSc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan yang telah membantu penulis menuntut ilmu.
7. Bapak Wisnu Wardhana, Bpk. Yoyok, Bpk. Semin, Bpk. Doni , Bpk. Hasan dan seluruh staff Pasca Sarjana Teknik Kelautan ITS yang telah membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir buat mengerjakan CFX.
8. Seluruh kakak-kakakku yang tercinta atas segala limpahan kasih sayang dan perhatiannya.
9. Seluruh teman-teman Angkatan” 95 T. Kelautan atas segala masukan dan bimbingan.
10. Seluruh penghuni T-78 (dulunya T-80) atas tumpangan mandi dan siraman rohaninya sehingga penulis dapat tegar menjalani hidup ini.
11. Seluruh penghuni Lab. Komputasi lantai II khususnya Kangmas Daryono yang telah memberikan banyak bantuan bagi penulis.
12. Kojer, Bloon (Nastran Club), dan mas Nanang yang telah banyak memberikan masukan bagi penulis.
13. Segala pihak yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan di ITS yang tidak mungkin untuk dapat disebutkan satu-persatu.

Tak ada di dunia ini yang sempurna, kesempurnaan itu hanya milik Sang Pencipta. Oleh karenanya penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam

penulisan Tugas Akhir ini. Saran serta kritik sangat penulis harapkan sebagai jalan menuju ke arah yang lebih baik. Semoga penulisan Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya. Amin..

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Tujuan.....	3
I.5 Manfaat.....	3
I.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
II.1 Tinjauan Pustaka.....	7
II.2 Landasan Teori.....	8
II.2.1 Formulasi Gaya Gelombang.....	8
II.2.2 Konsep CFD (Computational Fluid Dynamics).....	14

II.2.3 Hukum Kekekalan Aliran fluida	21
II.2.4 Metode Elemen Hingga.....	26
BAB III METODOLOGI	34
BAB IV ANALISA DAN HASIL PERHITUNGAN	
IV.1 Analisa Perhitungan Beban Gelombang dengan Menggunakan CFX-5.....	40
IV.2 Analisa Perhitungan gaya Gelombang dengan Persamaan Morison.....	45
IV.2 Analisa Struktur dengan Menggunakan MSc Nastran.....	48
IV.3 Analisa Struktur dengan Menggunakan Metode Costrill- Castigliano.....	52
BAB V PENUTUP	
V.1 Kesimpulan.....	57
V.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR LAMPIRAN	
Lampiran A :	Gambar distribusi fluida pada pile
Lampiran B :	Visualisasi MSc Nastran
Lampiran C :	Perbandingan MSc Nastran dengan Metode Costrill- Castigliano
Lampiran D :	Hasil Out-put CFX-5
Lampiran E :	Hasil Out-put MSc nastran

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Distribusi gaya gelombang pada tiang pancang tegak.....	10
Gambar II.2	Geometri fluida gelombang	12
Gambar II.3	Diagram proses simulasi CFD.....	14
Gambar II.4	Elemen fluida untuk hukum kekekalan.....	22
Gambar II.5	Aliran massa masuk dan keluar dari elemen fluida.....	24
Gambar II.6	Elemen beam.....	29
Gambar III.1	Penampang pile berbentuk silinder.....	35
Gambar III.2	Penampang pile berpenampang persegi.....	36
Gambar III.3	Geometri struktur 3-Dimensi.....	37
Gambar IV.1	Skema penyelesaian dengan CFX-5.....	40
Gambar A	Distribusi kecepatan fluida dilihat dari atas pada pile berpenampang lingkaran	
Gambar B	Distribusi kecepatan fluida dilihat dari atas pada pile kubus...	
Gambar C	Distribusi gaya pada pile silinder.....	
Gambar D	Distribusi gaya pada pile kubus.....	
Gambar IV.8	Model penyelesaian tiang pancang	52

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Persamaan momentum dan energi terhadap waktu.....	41
Tabel IV.1	Jenis gaya yang bekerja pada pileberbentuk silinder.....	33
Tabel IV.2	Jenis gaya yang bekerja pada pile berbentuk rectangular.....	44
Tabel IV.3	Hasil perhitungan pile silinder dengan MSc Nastran.....	48
Tabel IV.4	Hasil perhitugnan beban gelombang pile kubus dengan MSc Nastran.....	50
Tabel V.1	Fenomena aliran Fluida.....	58
Tabel V.2	Hasil perhitungan struktur.....	58

"Kebaikan seseorang dapat dilihat dari tata bicarannya".

BAB I



PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Salah satu jenis bangunan lepas pantai (*offshore structure*) yang sering dipakai yaitu *fixed offshore platform*. Dengan semakin ditingkatkannya eksploitasi hidrokarbon semakin banyak pula upaya untuk mengembangkan teknologi *offshore structure*. Untuk daerah laut yang dangkal jenis bangunan ini masih relatif komersial dibanding jenis lain.

Fixed offshore platform untuk dapat berdiri tegak dan kuat memerlukan pondasi tiang pancang (*Pile Poundation*). *Pile* tersebut tidak hanya menopang *deck* tetapi juga menahan beban dari angin, gelombang dan arus. Tiang pancang yang dipakai pada struktur lepas pantai lebih spesifik daripada yang dipakai di darat, *pile* tersebut harus memiliki kekuatan bahan yang tinggi serta tahan akan lingkungan yaitu bahaya akan korosi.

Bangunan lepas pantai mengalami beban yaitu beban axial dan beban lateral. Beban lateral itu sendiri terbentuk dari beban struktur dan operasional. Untuk beban lateral tersusun dari faktor lingkungan yaitu: angin, arus, dan gelombang untuk kondisi normal dan kadang-kadang es yang mencair serta gempa bumi untuk kondisi tertentu. Pada kondisi sebenarnya gaya gelombang itu sendiri sangat dominan dan penting dalam proses desain yang dapat menyebabkan kegagalan struktur (Dawson,1983).

Perhitungan gaya gelombang pada struktur lepas pantai terutama tiang pancang (*Pile*) merupakan salah satu bagian yang pokok dalam desain struktur (Chakrabarti, 1978). Karena kompleksitas dari permasalahan yang terjadi mengakibatkan tingkat kesulitan yang sangat tinggi. Tetapi terdapat beberapa metode yang dapat mempermudah proses tersebut dengan mempelajari gejala-gejala yang ada melalui studi analisa, eksperimen laboratorium maupun pengukuran yang dilakukan langsung di laut.

Penggunaan metode elemen hingga (*Finite Elemen Method*) untuk analisa perilaku tiang pancang akibat beban gelombang lebih realistis karena pergeseran dan rotasi simpul dapat diperhitungkan, *Boundary Condition* dapat ditentukan pula (Turdianto, 1995).

Perhitungan beban gelombang pada *pile* silinder tegak yang mempertimbangkan gelombang permukaan pertama kali oleh morison (Dawson, 1983). Perhitungan tersebut digunakan untuk perbandingan diameter dan panjang yang kecil.

I.2. PERUMUSAN MASALAH

Masalah yang akan diangkat dalam usaha menyelesaikan penulisan tugas akhir ini adalah:

- 1) Bagaimanakah pengaruh perbedaan bentuk geometri tiang pancang terhadap bentuk aliran fluida (gelombang) yang bekerja pada struktur-struktur tersebut (pile berbentuk silinder dan kubus).

bekerja pada suatu struktur secara lebih teliti untuk pertimbangan dalam proses desain struktur.

I.6. SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.2 Perumusan Masalah

1.3 Batasan Masalah

1.4 Tujuan

1.5 Manfaat

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

II. 1. Tinjauan Pustaka.

II. 2. Landasan Teori

II.2.1. Perhitungan Gaya Gelombang.

II.2.2. Konsep CFD (Computational Fluid Dynamics).

II.2.3. Hukum Kekekalan Fluida Bergerak & Boundary Condition.

II.2.4. Metode Elemen Hingga.

BAB III METODOLOGI PENULISAN

BAB IV ANALISA DAN HASIL PERHITUNGAN

IV.1. Perhitungan Gaya Gelombang Software CFX-5.2.

IV.2. Analisa Perhitungan Gaya Gelombang dengan Persamaan Morison

IV.3. Analisa Struktur Menggunakan MSc Nastran.

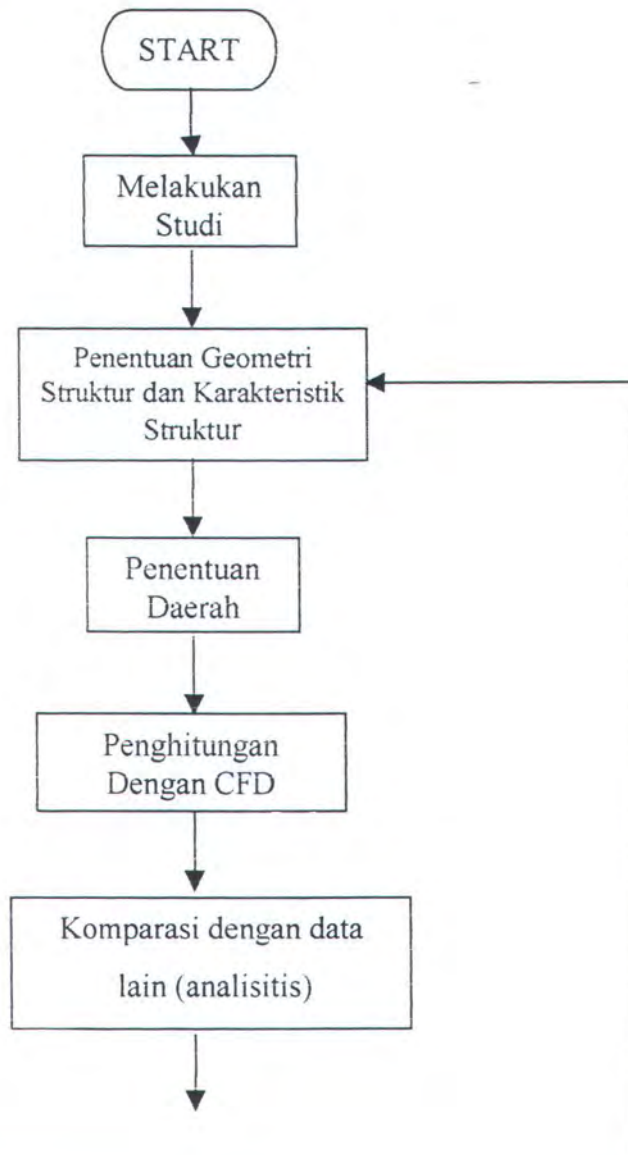
IV.4. Analisa Struktur Menggunakan Metode Costrill-Castigliano.

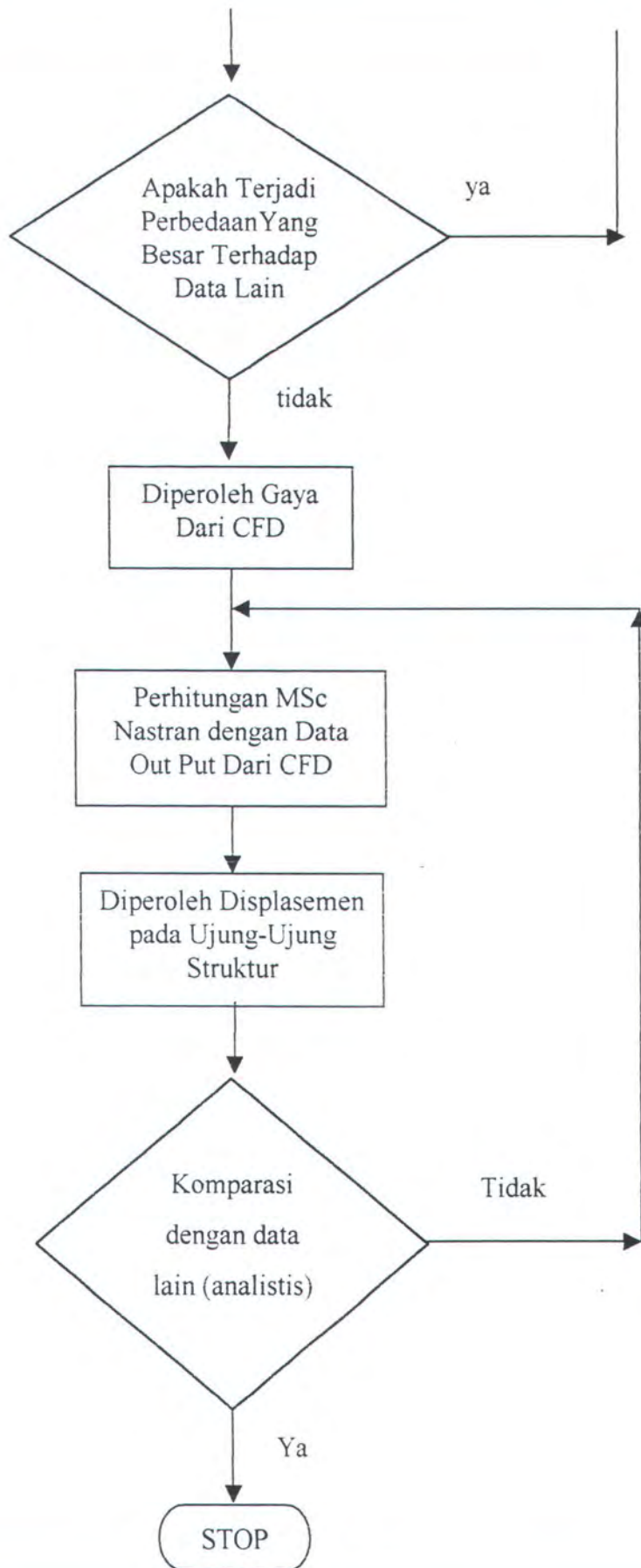
BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

5.2. Saran

Tahapan Metodologi Penulisan





"Manusia yang sebenarnya adalah manusia yang mempergunakan nurani dan akal dalam setiap tindakannya".

BAB II



TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

II.1. TINJAUAN PUSTAKA

Perhitungan gaya gelombang pada struktur lepas pantai terutama tiang pancang (*Pile*) merupakan salah satu bagian pokok dalam desain struktur (Chakrabarti, 1978). Karena kompleksitas dari permasalahan yang terjadi mengakibatkan tingkat kesulitan yang sangat tinggi. Tetapi beberapa teori yang ada dapat mempermudah proses tersebut dengan mempelajari gejala-gejala yang ada melalui studi analisa, eksperimen laboratorium maupun pengukuran yang dilakukan langsung di laut.

Pengkajian mengenai kemampuan *pile* dalam fungsi sebagai penahan beban gelombang telah dilakukan sejak tahun 1960. Menurut Soegiharto (1989) kelakuan *pile* dalam menerima beban gelombang dapat dianalisa dengan tiga cara:

1. Teori *beam* pada lendutan.
2. Test model.
3. Pengamatan struktur secara langsung.

Sedangkan untuk klasifikasi jenis *pile* ada 3 macam (Tamtama, 1990):

1. *Rigid Pile*

Pile jenis ini memiliki geometri yang pendek. *Pile* ini akan mengalami gerak rotasi jika ada beban lateral yang bekerja. Deformasinya akan meningkat secara linier terhadap titik pusat rotasi.

2. *Semi Rigid Pile*

Panjang pile di antara *rigid pile* dan *elastis pile*. Bila beban lateral bekerja akan mengalami deformasi bengkok (*flexural deformation*)

3. *Elastis Pile (Flexible Pile)*

Pile jenis ini memiliki panjang dan diameter yang cukup besar.

Dengan kemampuan *Finite Volume Methods* didapatkan pendekatan terhadap permasalahan beban gelombang yang bekerja pada *pile structure*. *Finite Volume Method* dapat diimplimentasikan dalam:

- 1) Deskretisasi *Finite Volume* untuk memecahkan fenomena dalam aliran fluida yaitu: difusi, konveksi, dan sources.
- 2) Dapat mendeskritisasikan fenomena *unsteady*.
- 3) Proses iterasinya dapat memperbaiki hubungan antara variabel aliran.

II.2. LANDASAN TEORI

II.2.1 Perhitungan Gaya Gelombang

Gaya gelombang pada struktur lepas pantai dapat dihitung dengan tiga cara (Chakrabarti, 1978):

- a). Persamaan Morison
- b). Teori Froude-Krylov

c). Teori defraksi

Formulasi secara umum dari ketiga teori tersebut yaitu:

$$f = \Psi(t, T, D, L, u_o, \rho, \nu) \quad (2.1)$$

dimana: f = gaya gelombang pada struktur

D = diameter silinder tegak

T = periode gelombang

t = waktu

u_o = kecepatan maksimum horisontal partikel air

ρ = densitas massa air

ν = koefisien viskositas

Gaya gelombang yang terjadi pada *vertical pile* yang terpancang pertama kali dirumuskan oleh Morison *et al* (1950). Di dalam perhitungan tersebut digunakan batasan diameter *Pile* (D) dengan Panjang gelombang (L) (1/10 atau kurang) sedangkan distorsi gelombang diabaikan. Persamaan gaya gelombang Morison dijabarkan sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{2} \rho C_D D |U|U + \rho C_I \frac{\pi D^2}{4} a_x \quad (2.2)$$

dimana: f = Gaya gelombang.

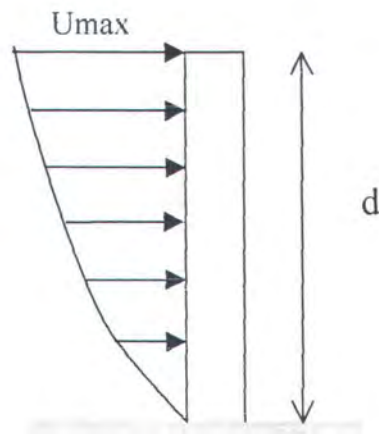
ρ = Densitas air.

C_D, C_I = Koefisien gesekan dan inersia

U, a_x = Kecepatan dan percepatan air horizontal yang bergabung dengan gelombang.

Distribusi gaya gelombang yang terjadi sepanjang struktur *Pile* merupakan fungsi eksponensial decay terhadap kedalaman.

Persamaan morison mengasumsikan gaya menjadi gaya inersi dan gaya geser yang mana koefesien inersi dan geser ditentukan melalui eksperimen. Persamaan Morison digunakan bila gaya geser menjadi sangat penting, biasanya terjadi pada fluida yang memiliki panjang gelombang yang kecil. Distribusi gaya gelombang yang terjadi pada struktur tiang pancang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar. II.1 Distribusi gaya gelombang pada tiang pancang tegak (Dawson, 1976).

Gaya horisontal sepanjang *pile* dapat dirumuskan sebagai berikut (Dawson, 1976):

$$F = \int_0^y f(y)d(y) \quad (2.3)$$

Jumlah momen yang bekerja sepanjang *pile* sebesar (Dawson, 1976):

$$M = \int_0^y yf(y)d(y) \quad (2.4)$$

Jika kita memperhatikan tinggi gelombang (H), frekwensi (ω), dan kedalaman (h), dengan menggunakan teori gelombang Airy dengan $x = 0$ maka gaya gelombang:

$$F = F_D + F_I \quad (2.5)$$

Untuk pile yang memiliki diameter sama :

$$F_D = \frac{\rho C_D D}{32k} (\omega H)^2 \left[\frac{\sinh 2ky}{\sinh^2 kh} + \frac{2ky}{\sinh^2 kh} \right] \cos \omega t \cos \omega t$$

$$\text{dan } F_I = -\frac{\rho C_I}{2k} \frac{\pi D^2}{4} \omega^2 H \left[\frac{\sinh ky}{\sinh^2 kh} \right] \sin \omega t \quad (2.6)$$

Begitu pula dengan besarnya momen yang terjadi pada *pile* akibat inersia dan geser (Sarpkaya dan Isaacson, 1981) yaitu:

$$M = M_D + M_I \quad (2.7)$$

$$M_D = \frac{\rho C_D D}{64k^2} (\omega H)^2 Q_1 \cos \omega t \cos \omega t \quad (2.8)$$

$$M_I = \frac{\rho C_I}{2k^2} \frac{\pi D^2}{4} \omega^2 H Q_2 \sin \omega t \quad (2.9)$$

dengan:

$$Q_1 = \frac{2ky \sinh 2ky - \cosh 2ky + 2(ky)^2 + 1}{\sinh^2 kh} \quad (2.10)$$

$$Q_2 = \frac{ky \sinh ky - \cosh ky + 1}{\sinh kh} \quad (2.11)$$

dimana:

$$y = h + \eta \quad \eta = \text{defleksi air dari SWL } \textit{pile}$$

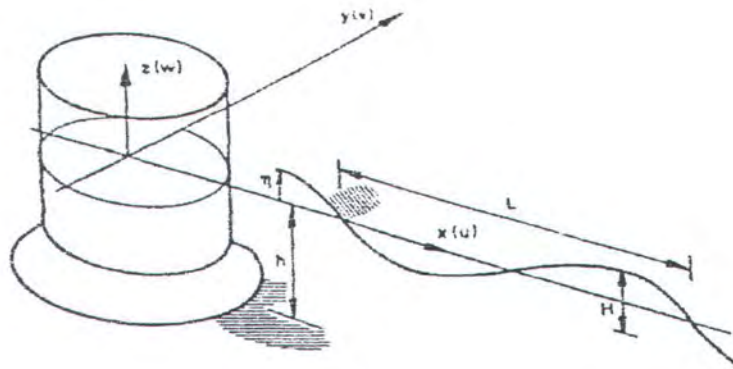
$$\eta = \left(\frac{H}{2} \right) \cos(kx - \omega t) = (H/2) \cos \omega t \quad (2.12)$$

terjadi saat momen dan gaya maksimal yaitu phasanya 90^0

$$F_m = \sqrt{F_{lm}^2 + F_{Dm}^2} = F_{lm} \sqrt{1 + \left(\frac{\mu H}{D}\right)^2} \quad (2.13)$$

Berdasarkan persamaan yang turunan dari persamaan Navier-Stokes didapatkan:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} \quad \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (2.14)$$



Gambar II.2 Geometri fluida gelombang (Zienkiewicz *et al*, 1978).

Dengan hubungan kontinuitas dapat diturunkan persamaan sebagai berikut (Newman, 1977):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{K} \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.15)$$

Daerah sekitar tiang pancang juga memiliki kondisi yang sama yaitu:

$$u_n = \bar{u}_n \quad , \text{dimana komponen kecepatan diwakili oleh permukaannya}$$

saja. Untuk Kondisi permukaan fluida

$$\frac{1}{g} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2.16)$$

Menurut Garrison (1978) penyelesaian beban gelombang yang bekerja pada *Offshore Structures* dilakukan dengan menggunakan metode *Green's Function*. Dengan asumsi fluida bersifat *irrotational* sehingga didapat kecepatan potensialnya:

$$q = \nabla \Phi(x, y, z, t) \quad (2.17)$$

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right] \quad (2.18)$$

dimana:

q = vektor kecepatan fluida

Φ = *velocity potential*

Φ dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Phi = \text{Re}[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (2.19)$$

$$\phi = \frac{1}{4\pi} \iint_S f(\xi, \eta, \zeta) G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) dS \quad (2.20)$$

Dengan mempergunakan cara-cara numerik didapat besarnya gaya dan momen sebagai berikut:

$$F = -\rho\sigma \iint_S \text{Re}[i\phi e^{-i\omega t}] n dS \quad (2.21)$$

$$M = -\rho\sigma \iint_S \text{Re}[i\phi e^{-i\omega t}] (r' \cdot xn) dS \quad (2.22)$$

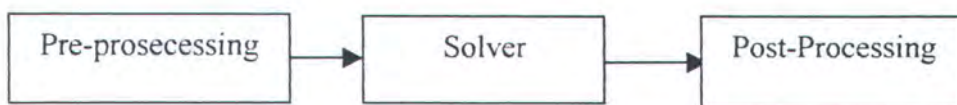
dimana r' adalah vektor posisi dari gaya dan momen.

II.2.2 Konsep CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) adalah merupakan sistem analisa aliran fluida, perambatan panas dan fenomena reaksi kimia yang diterjemahkan ke dalam simulasi komputer. CFD memiliki beberapa keuntungan yaitu:

1. Dapat mengurangi waktu dan ongkos dalam perancangan.
2. Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin untuk dilakukan (termasuk sistem dengan ukuran yang sangat besar).
3. Memiliki kemampuan untuk studi di bawah kondisi bahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
4. Dapat memperagakan hasil yang tak terbatas.

Dalam CFD nantinya dilakukan pembuatan persamaan yang menggambarkan proses momentum, perambatan panas dan massa yang dikenal dengan persamaan Navier-Stokes. Persamaan tersebut dikenal dengan penyelesaian analitik yang selanjutnya digantikan dengan penyelesaian secara numerik dan diskrit. Metode penyelesaian yang digunakan dalam CFD dikenal sebagai *Finite Volume Technique*. Di dalam teknik tersebut daerah yang diselidiki dibagi menjadi sub-daerah yang kecil yang dinamakan *Control Volume* (AEA Technology, 1996). Dalam proses simulasi CFD dibagi menjadi 3 komponen yaitu:



Gambar II.3 Diagram proses simulasi CFD (AEA Technology, 1996)

Pengsetan simulasi : *Pre-processing* (interaktif)

Penyelesaian daerah aliran : *Solver* (non-interaktif)

Visualisasi hasil : *Post-processing* (interaktif)

Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, tekanan, temperatur dan sebgainya) didefinisikan pada *node* tiap sel. Akurasi penyelesaian CFD ditunjukkan dengan jumlah sel tiap *grid*, semakin besar jumlah sel semakin baik pula akurasi penyelesaiannya. *Mesh* yang optimal yaitu *mesh* yang *non-uniform* dimana pada daerah yang dideteksi atau terjadi perbedaan countur yang besar digunakan *grid* yang kasar sedang daerah yang hampir sama digunakan mesh yang uniform.

Pre Processor

Tahapan ini digunakan untuk membuat *input* yang akan diselesaikan pada *Solver*. Yang termasuk tahapan ini yaitu:

- ✓ Menentukan geometri daerah yang akan dianalisa.
- ✓ Memilih model fisik yang termasuk dalam simulasi
- ✓ Menentukan properti fluida.
- ✓ Menentukan *Boundary Condition*.
- ✓ Membuat *mesh*.

Solver

Tahapan ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CFD yang menghasilkan suatu hasil yang dikehendaki. Tahapannya yaitu:

- Persamaan diferensial parsial (PDP) yang merupakan integrasi dari seluruh *Control Volume* pada daerah analisa. Persamaan ini menggunakan hukum kekekalan dasar (termasuk Hukum kekekalan massa dan momentum) pada tiap *control volume*.
- Persamaan integral ini menggambarkan sistem persamaan algebra yang dihasilkan oleh perkiraan persamaan integral.
- Persamaan algebra terselesaikan secara iterasi.

Pendekatan secara iterasi diperlukan karena persamaan *non linier* biasa dan pendekatan penyelesaian eksakta belum cukup. Untuk setiap iterasi dan *error* (kesalahan) atau *residual* (sisa) yang diukur dari seluruh kekekalan properti fluida. Metode numerik dalam bentuk pokok dari penyelesaian melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Perkiraan variabel aliran yang tidak diketahui dengan cara bentuk fungsi sederhana.
2. Deskritisasi pergantian fungsi tersebut menjadi persamaan *governing equation* dan manipulasi matematika.
3. Penyelesaian persamaan aljabar.

Ada tiga teknik penyelesaian numerik yaitu:

1. *Finite Defference Method* (Metode Beda Hingga).

Metode ini untuk menggambarkan fungsi ϕ aliran suatu titik pada titik-titik koordinat *grid (mesh)*. Ekspansi deret Taylor sering digunakan untuk menghasilkan perkiraan beda hingga dari penurunan ϕ pada titik dari tiap-tiap *grid* dan sekitar *grid* tersebut. Penurunan ini tampak pada *governing equation* yang dipindahkan oleh hasil beda hingga pada persamaan aljabar untuk nilai ϕ pada tiap titik.

2. *Finite Element Method* (Metode Elemen Hingga).

Metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana (linier atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran ϕ . *Governing equation* dapat dipenuhi dengan penyelesaian ϕ secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi sehingga terjadi sisa (*residual*) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. Hasilnya tersebut merupakan fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

3. *Spectral Method*.

Metode ini didekati dengan deret Fourier atau deret polinomial Chebyshev. Tidak seperti beda hingga dan elemen hingga yang memiliki pendekatan tidak lokal tetapi valid melalui *computatioanl domain*. Pada metode ini kita menurunkan persamaan yang tidak diketahui tersebut ke dalam *governing equation* dengan fungsi deret.

Finite Volume Method (Metode Volume Hingga).

Metode ini dikembangkan sebagai formulasi khusus metode beda hingga .

Algoritma numeriknya terdiri dari beberapa langkah:

1. Pengintegralan *governing equation* aliran gelombang seluruh *control volume* dari penyelesaian domain.
2. Dekritisasi termasuk pergantian pendekatan tipe beda hingga ke dalam persamaan integral yang menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *sources*. Persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar.
3. Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

Pengintegralan *finite volume* berbeda dengan teknik CFD lainnya.

Kekekalan dari variabel aliran ϕ dalam *finite control volume* dapat diekspresikan dalam persamaan keseimbangan antara proses kenaikan dan penurunan yaitu:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \text{ dalam} \\ \text{control} \\ \text{volume} \\ \text{terhadap} \\ \text{waktu} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \text{ dari} \\ \text{konveksi} \\ \text{ke dalam} \\ \text{control} \\ \text{volume} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \text{ difusi} \\ \text{ke dalam} \\ \text{control} \\ \text{volume} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \text{ ke} \\ \text{dalam} \\ \text{control} \\ \text{volume} \\ \hline \end{array}$$

Kode CFD terdiri dari teknik deskritisasi untuk menyelesaikan fenomena transportasi, konveksi (transportasi aliran fluida) dan difusi (transportasi variasi dari suatu titik ke titik), untuk *source* dan perubahan terhadap waktu.

Post-processor

Bagian ini merupakan komponen yang digunakan untuk menganalisa dan mendapatkan hasil perhitungan. *Post-processor* meliputi segala sesuatu yang berhubungan dengan hasil. Contoh dari beberapa *post-processor* yaitu:

1. Gambaran geometri dan *control volume*.
2. *Vector plot* yang menunjukkan arah dan besaran aliran.
3. Gambaran dari variabel skalar yang berbeda (seperti temperatur) yang melalui *domain*.
4. *Quantitative Numerical output*.
5. *Hard copy output*

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi CFD ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma:

1. Konvergensi yaitu properti metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian dengan pendekatan penyelesaian eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran *control volume* atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. Untuk kondisi lapangan menggunakan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linier memerlukan konvergensi karena konvergensi dan stabil.

2. Konsistensi yaitu urutan numerik untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (*equavalen*) dengan *governing equation* sebagai jarak grid yang mendekati nol.
3. Stabilitas yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan pada data awal dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

CFD menghasilkan hasil fisik yang realistis dengan akurasi yang baik pada simulasi dengan grid yang berhingga. Ada tiga properti perhitungan *finite volume* yaitu: *Conservativeness*, *Boundedness*, dan *transportiveness*. Ketiganya tersebut didisain menjadi bagan *finite volume* yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFD. Di samping itu ketiganya umumnya digunakan untuk alternatif untuk konsep matematika yang akurat. Skema numerik memiliki properti *Conservativeness* yang dapat mempertahankan kekekalan properti fluida global untuk daerah masukan. Pendekatan *finite volume* dapat menjamin tetap berlangsungnya kekekalan properti fluida ϕ untuk tiap *control volume*. Proses aliran terdiri dari dua yaitu: *konveksi dan difusi*, keduanya dapat dihitung pengaruh arahnya dengan bagan *Finite Volume* yaitu *transportiveness*. Sedangkan *boundedness* dapat mempertahankan kestabilan.

Ada dua karakteristik dari hasil CFD yang mempengaruhi hasil simulasi yaitu: proses iterasi dan *grid independence*. Algoritma penyelesaian adalah iterasi secara alami dan penyelesaian konvergensi yang dinamakan *residual* (sisa) yang diukur dari seluruh kekekalan properti fluida yang amat kecil. Untuk

Salah satu bentuk piranti lunak dari Computational Fluid Dynamics (CFD) yaitu CFX-5 yang mampu menggabungkan keuntungan *solver* dengan kemampuan *pre-* dan *post-processing* yang baik. CFX-5 memiliki beberapa keuntungan yaitu:

1. Kelebihan *solver* yang mudah dan andal.
2. Kemampuan integrasi permasalahan, analisa dan presentasi hasil.
3. Institusi dan interaktif dalam proses *set-up*, penggunaan menu dan keunggulan grafis.
4. Kemampuan *Help* yang tersedia secara detail.

Kemampuan memodelkan dari CFX-5 diantaranya (AEA Technology, 1996):

1. Aliran *steady-state* dan *transient*.
2. Aliran turbulen dan laminar.
3. Aliran *subsonic*, *transonic* dan *supersonic*
4. *Heat transfer*
5. *Bouyancy*
6. Aliran yang *non-newton*.

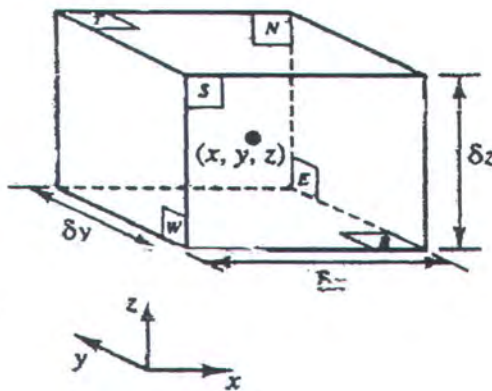
II.2.3. Hukum Kekekalan Aliran Fluida

Governing equation dari aliran fluida digambarkan dengan pernyataan matematika dari hukum kekekalan fisika, diantaranya:

- (1) Massa fluida tersebut bersifat kekal.
- (2) Perubahan momentum sama dengan jumlah gaya pada partikel fluida.
- (3) Besarnya perubahan energi sama dengan jumlah penambahan panas dan kerja yang dilakukan pada partikel fluida.

- (2) Perubahan momentum sama dengan jumlah gaya pada partikel fluida.
- (3) Besarnya perubahan energi sama dengan jumlah penambahan panas dan kerja yang dilakukan pada partikel fluida.

Untuk analisa aliran fluida pada skala makroskopis pergerakan dan struktu atom diabaikan, yang digambarkan properti makroskopis yaitu: kecepatan, tekanan, densitas, dan temperatur serta jarak dan waktu. Untuk gambaran lebih jauh diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar II.4 Elemen Fluida untuk Hukum Kekekalan (Malalasekera and Versteeg, 1995).

Elemen yang diperhatikan sangat kecil sehingga properti fluida pada permukaan dapat digambarkan secara cukup akurat dengan ekspansi deret Taylor. Untuk tekanan pada permukaan E dan W pada jarak $\frac{1}{2} \delta x$ dari pusat elemen dapat ditulis sebagai berikut:

$$p - \frac{\delta p}{\delta x} \frac{1}{2} \delta x \quad \text{dan} \quad p + \frac{\delta p}{\delta x} \frac{1}{2} \delta x \quad (2.23)$$

Kekekalan massa pada tiga dimensi

Dalam menurunkan persamaan kekekalan massa langkah pertama yaitu menuliskan keseimbangan elemen fluida yaitu:

Pertambahan massa dalam elemen fluida = Besarnya massa yang mengalir melalui elemen fluida

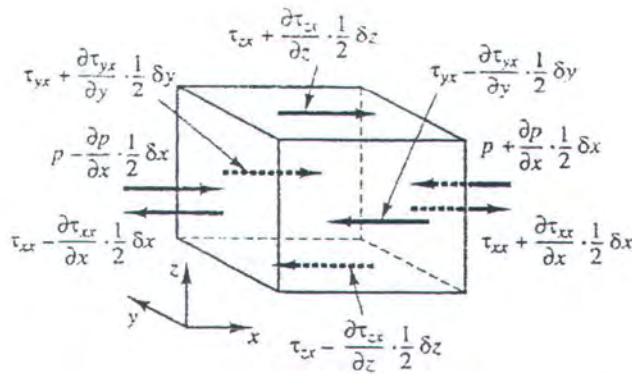
Pertambahan massa pada elemen fluida yaitu:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (2.24)$$

Massa aliran yang melalui element dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & (\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x) \delta y \delta z - (\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x) \delta y \delta z + (\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y) \delta x \delta z \\ & - (\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y) \delta x \delta z + (\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z) \delta x \delta y - (\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z) \delta x \delta y \\ & \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (2.25)$$

Aliran yang langsung melalui elemen menghasilkan pertambahan massa pada elemen dan mendapatkan hasil yang positif dan kemudian aliran ini meninggalkan elemen memberikan nilai yang negatif.



Gambar II.5 Aliran massa masuk dan keluar dari elemen fluida (Malalasekera and Versteeg, 1995).

Pertambahan massa di sisi elemen sama dengan jumlah massa aliran yang melalui elemen memotong permukaan. Kemudian dari persamaan tersebut dipindahkan kekiri dan dibagi dengan volume elemen $\delta x \delta y \delta z$, hasilnya sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.26)$$

Perubahan akibat partikel fluida dan untuk elemen fluida

Hukum Kekekalan momentum dan energi membuat pernyataan yang memperhatikan perubahan properti dari partikel fluida. Setiap properti fluida seperti partikel merupakan fungsi dari posisi (x,y,z) dari partikel dan waktu. Properti tiap massa dinotasikan dengan ϕ . Jumlah atau turunan ϕ terhadap waktu dapat ditulis seperti di bawah ini:

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \frac{dz}{dt} \quad (2.27)$$

Partikel fluida yang mengikuti aliran $dx/dt = u$, $dy/dt = v$, dan $dz/dt = w$.

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + u \frac{\partial\phi}{\partial x} + v \frac{\partial\phi}{\partial y} + w \frac{\partial\phi}{\partial z} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \quad (2.28)$$

Jika kenaikan atau perubahan properti ϕ tiap unit volume untuk partikel fluida dihasilkan oleh perkalian $D\phi/Dt$ dan densitas ρ sehingga persamaannya menjadi:

$$\rho \frac{D\phi}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \right) \quad (2.29)$$

Persamaan kekekalan massa terdiri dari massa tiap unit volume (termasuk densitas ρ merupakan jumlah yang kekal. Jumlah perubahan densitas di dalam persamaan kekekalan massa untuk elemen fluida yaitu:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\mathbf{u}) \quad (2.30)$$

Persamaan umum untuk properti fluida yang kekal dapat didefinisikan sebagai:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) \quad (2.31)$$

Sehingga hubungan antara turunan ϕ dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \rho \left[\frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \right] + \phi \left[\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\mathbf{u}) \right] = \rho \frac{D\phi}{Dt} \quad (2.32)$$

Untuk persamaan momentum untuk ketiga komponen dan persamaan energi tiap unit volume didefinisikan sebagai berikut:

Tabel 1.1 Persamaan momentum dan energi terhadap waktu ((Malalasekera and Versteeg, 1995)

Momentum-x	u	$\rho Du Dt$	$\delta(\rho u) \delta t - \text{div}(\rho u \mathbf{u})$
Momentum-y	v	$\rho Dv Dt$	$\delta(\rho v) \delta t - \text{div}(\rho v \mathbf{u})$
Momentum-z	w	$\rho Dw Dt$	$\delta(\rho w) \delta t - \text{div}(\rho w \mathbf{u})$
Energi	E	$\rho DE Dt$	$\delta(\rho E) \delta t - \text{div}(\rho E \mathbf{u})$

II.2.4. Konsep Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan sebuah peralatan yang sangat populer dalam dunia kumputerisasi *engineering*. Menurut Filipich (1988) ada dua kelebihan metode elemen hingga ditinjau dari segi ekonomi yaitu:

- Waktu pengoperasian komputer.
- Kemungkinan penanganan prosedur algoritma yang lebih baik.

Di samping dua keandalan itu, metode elemen hingga juga mampu meminimalkan terjadinya kesalahan diskritisasi.

Menurut Zienkewiez dan Taylor (1991) formulasi menggunakan metode elemen hingga memiliki beberapa keuntungan yaitu:

- Menghasilkan sistem persamaan yang simetris dan mengumpul (*banded*).
- Sangat cocok untuk menurunkan persamaan momen kopel.
- Dapat digunakan dengan mudah untuk diskritisasi.

Pemecahan suatu elemen dapat dilakukan analisa secara *numerical method* dengan membagi menjadi beberapa *element* yang dihubungkan dengan *nodal* (*node*). Prinsip ini dikenal dengan nama *finite element* yaitu memperlakukan suatu *body/system* sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang disebut *finite elemen*. Dengan kata lain *finite element* adalah pembagian sebuah element menjadi bagian-bagian yang memiliki batas (diskritisasi) yang memiliki batasan (*finite*) (Hughes, 1987). Elemen-elemen tersebut digabungkan satu sama lain melalui titik-titik yang disebut *nodes* atau *nodal points*. Fungsi yang sederhana digunakan untuk mendekati (memperkirakan) distribusi atau variasi dispalasemen yang sesungguhnya dari tiap *finite elemen*.

Prosedure dari analisa metode elemen hingga yaitu:

1. Pendiskretan dari sistem atau body yang akan dianalisa.

Sistem yang akan dianalisa dibagi menjadi beberapa bagian kecil yang disebut *finite elemen*. Elemen ini dapat berupa segitiga atau quadrateral untuk dua dimensi sedangkan untuk tiga dimensi elemen yang sering dipakai yaitu tetahedral, rectangular prisma atau hexahedral. Pemilihan bentuk elemen didasarkan pada bentuk geometri dari sistem yang dianalisa dan koordinat yang digunakan.

2. Pemilihan *displacement model* atau *displacement function*.

Walaupun hanya perkiraan tetapi *displacement function* harus memenuhi persyaratan pokok (*admissel function*). Persamaan yang biasanya dipakai untuk *finite element method* yaitu bentuk polinomial, untuk model yang sederhana digunakan polinomial linier. Untuk mendapatkan pendekatan eksakta ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan model displasemen yaitu :

- a. Tipe dan derajat dari model displasemen harus ditentukan.
- b. Besaran displasemen yang menggambarkan keadaan model harus ditentukan atau dipilih.
- c. Model yang dipilih harus memungkinkan penyelesaian numerik yang menghasilkan hasil yang mendekati sebenarnya.

3. Penurunan matrik kekakuan elemen (*element stiffnes matrix*).

Stiffness pada dasarnya menghubungkan displasemen pada *nodal points* dengan gaya-gaya luar (*external applied forces*) yang bekerja pada *nodal points*

tersebut. Gaya-gaya luar tersebut diubah dari bentuk *uniform (distributed forces)* ke bentuk diskrit pada *nodal forces* yang disebut *equivalent nodal force*.

Persamaan kesetimbangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$[k]\{q\} = \{Q\} \quad (2.33)$$

Penentuan stiffness matrix tergantung pada tiga hal:

- a. Model dari displasemen yang dipakai.
- b. Geometri elemen-elemennya.
- c. Sifat material lokal.

4. Penggabungan dari elemen-elemen. Pada proses ini

Terdapat kontinuitas pada nodal points yang menghubungkan antara satu elemen dengan elemen yang lain. Persamaan global dapat ditulis sebagai berikut:

$$[K]\{r\} = \{R\} \quad (2.34)$$

$[K]$ = global stiffness matrix

$\{r\}$ = vektor displasemen untuk global system

$\{R\}$ = global load vektor

5. Perhitungan displasemen dari persamaan aljabar simultan.

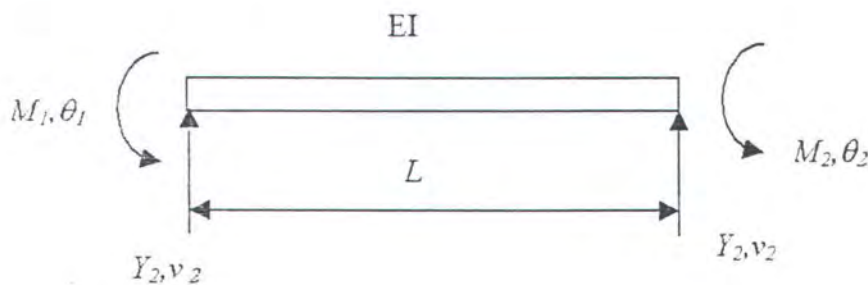
Setelah menyelesaikan persamaan global dan harga batasnya maka didapatkan harga displasemen. Pada persamaan linier tidak ada kesulitan yang berarti tetapi untuk yang non linier harus menggunakan iterasi, metode incremental tau gabungan keduanya.

6. Perhitungan tegangan (*stress*)

Walaupun sebenarnya proses *finite element method* dapat dikatakan selesai namun kadang-kadang perlu untuk mengetahui tegangan yang terjadi. Tujuan untuk perhitungan *finite element method* yaitu mendapatkan harga displasemen.

Prinsip Beam Element

Sebuah elemen beam memiliki momen inersia (I), Modulus Elastisitas (E), dan panjang (L). Elemen tersebut diasumsikan memiliki dua derajat kebebasan pada tiap *nodal point* yaitu defleksi (v) dan slope atau sudut rotasi ($\delta v/\delta x$). Pada ujung-ujung batang terdapat gaya geser vertikal (Y) dan momen bending (M).



Gambar II.6 Elemen beam (Yang, 1977).

Beberapa asumsi yang dipakai pada beam bending yaitu;

- 1) Body dari sistem elastis linier.
- 2) Displasemen yang terjadi kecil, defleksi dan slope kecil.
- 3) Tidak ada ketergantungan pada tegangan dan regangan ke arah sumbu y .

- 4) Bidang atau garis normal terhadap netral Axis setelah defleksi adalah tetap atau garis tegak lurus.

Displasemen yang terjadi pada elemen beam didefinisikan dengan sebuah fungsi yang disebut *displacement function* $v(x)$. Persamaan yang biasanya dipakai untuk fungsi displasemen yaitu persamaan polinomial:

$$u(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 \quad (2.35)$$

dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{Bmatrix} u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \phi \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \end{Bmatrix} \quad (2.36)$$

Dimana:

$$\begin{Bmatrix} u \end{Bmatrix} = \text{Matriks model lendutan}$$

$$\begin{Bmatrix} \phi \end{Bmatrix} = \text{Matriks koordinat masing-masing simpul}$$

$$\begin{Bmatrix} \alpha \end{Bmatrix} = \text{Matriks koordinat umum}$$

Hubungan antara lendutan dan simpul dengan koordinat umum dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\begin{Bmatrix} q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \end{Bmatrix} \quad (2.37)$$

$$\begin{Bmatrix} \alpha \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \end{Bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} q \end{Bmatrix} \quad (2.38)$$

Sehingga persamaan lendutan menjadi:

$$\begin{Bmatrix} u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \phi \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} A \end{Bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} q \end{Bmatrix}$$

$$(2.39)$$

Fungsi yang menghubungkan model lendutan dan vektor lendutan simpul di atas disebut fungsi bentuk (shape function). Notasinya adalah seperti di bawah ini:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{A} \end{bmatrix}^{-1} \quad (2.40)$$

Fungsi bentuk merupakan dasar pembentuk matriks kekakuan dan gaya simpul ekuivalen.

Dengan kondisi pada ujung-ujung batang ,

$$v = v_1 \text{ dan } \frac{\partial v}{\partial x} = \theta_1 \text{ pada } x = 0$$

$$v = v_2 \text{ dan } \frac{\partial v}{\partial x} = \theta_2 \text{ pada } x = L$$

Berdasar asumsi bahwa semua tegangan permukaan adalah nol, juga $\gamma_{zx} = \gamma_{xy} = 0$, sehingga satu-satunya tegangan yang ada adalah:

$$\sigma_{x(x,z)} = E \varepsilon_{(x,z)} \quad (2.41)$$

$[\phi]$ didapat dari hubungan berikut:

$$w(x) = \begin{bmatrix} 1 & x & x^2 & x^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{Bmatrix} \quad (2.42)$$

↓

$$[\phi]$$

$[\mathbf{A}]$ didapat dengan menggunakan definisi:

$$\theta = \frac{dw}{dx} \quad (2.43)$$

dan menggunakan koordinat lokal $x_1 = 0$, $x_2 = L$ maka:

$$\begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & L & L^2 & L^3 \\ 0 & 1 & 2L & 3L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{Bmatrix} \quad (2.44)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & L & L^2 & L^3 \\ 0 & 1 & 2L & 3L^2 \end{bmatrix} = [A]$$

Inverse $[A]$:

$$[A]^{-1} = \frac{1}{L^3} \begin{bmatrix} L^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L^3 & 0 & 0 \\ -3L & -2L^2 & 3L & -L \\ 2 & L & -2 & L \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

Fungsi bentuknya adalah:

$$\begin{aligned} [N] &= [\phi][A]^{-1} \\ &= \frac{1}{L^3} [L^3 - 3Lx^2 + 2Lx^3, L^3x - 2L^2x^2 + Lx^3, 3Lx^2 - 2x^3, -L^2x^2 + Lx^3] \end{aligned} \quad (2.46)$$

$[B]$ didapat dengan:

$$[B] = [S - D] [N]$$

$$\begin{aligned}
 [B] &= \left[-z \frac{d^2}{dx^2} \right] [N] \\
 &= -\frac{z}{L^3} [-6L + 12x, -4L^2 + 6Lx, 6L - 12x, -2L^2 + 6Lx] \quad (2.47)
 \end{aligned}$$

Kemudian matriks kekakuannya adalah:

$$[k] = \int_0^L \int_{-D_2}^{D_2} \int_{-D_2}^{D_2} [B]^T [C] [B] dx dy dz \quad (2.48)$$

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ & & 12 & -6L \\ & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

"Langkah hidup kita ditentukan oleh kerja keras kita sekarang ini"

BAB III



METODOLOGI PENULISAN

BAB III

METODOLOGI

Guna memperoleh hasil yang diinginkan, dalam penulisan Tugas Akhir ini langkah pertama yang harus dilakukan yaitu melakukan studi literatur terutama yang berkaitan dengan masalah beban gelombang yang bekerja pada *offshore* struktur. Studi literatur berguna untuk memperjelas dasar pemikiran dan teori yang digunakan dalam perhitungan beban gelombang yang bekerja pada offshore structure untuk struktur tiang terpancang. Di samping itu juga berguna untuk pertimbangan terhadap hasil perhitungan tugas akhir.

Pada penulisan tugas Akhir ini, penulis melakukan analisa berdasarkan data dari Platform Ardjuna Field Offshore Northwest Java yang terletak di laut Jawa.

Pengumpulan Data

Penyiapan data-data yang dibutuhkan, yaitu geometri (bentuk dan dimensi) dari tiang pancang dan karakteristik lingkungan sekitar (*Computational Domain*) yang dikehendaki tetapi harus memenuhi wilayah atau daerah aliran fluida yang masih berpengaruh. Data-data yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini yaitu dari Platform Ardjuna Field Offshore Northwest Java yang memiliki dimensi sebagai berikut:

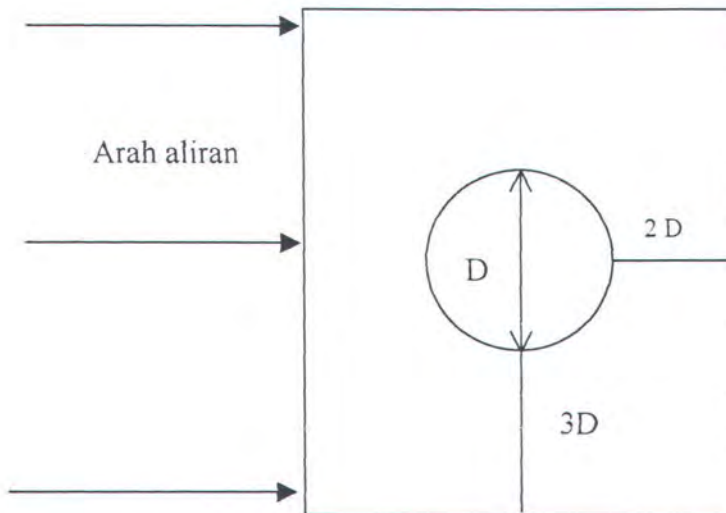
1. Tinggi tiang pancang di dalam air : 13 m
2. Diameter tiang pancang : 2,5 ft = 0,7625 m
3. Ketebalan tiang pancang : 1 inch = 0,025 m
4. Material : Baja API 2H Grade 42 dengan karakteristik material sebagai berikut :

- 1) Berat Jenis : $0,487 \text{ kips/ft}^3 = 76,35 \text{ kg/m}^3$

- 2) Modulus Young (E) : $4,32 \cdot 10^6 \text{ kips/ft}^2 = 2,892 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3$
 - 3) Tegangan Ijin : $6,048 \text{ kips/ft}^2 = 2,0656 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^3$
 - 4) Tensile Stress : $60 \text{ ksia} = 115 \text{ MPa}$
 - 5) Yield Strength : $35 \text{ ksia} = 240 \text{ MPa}$
 - 6) Modulus Geser (G) : $E/2(1+\nu) = 1.112 \cdot 10^6$
5. Kondisi lingkungan perairan:
1. Tinggi gelombang : $26 \text{ ft} = 7,93 \text{ m}$
 2. Periode gelombang : 9.2 s
 3. Kedalaman perairan : $43 \text{ ft} = 13,115 \text{ m}$
 4. Kecepatan air laut di permukaan : 1.1 m/s

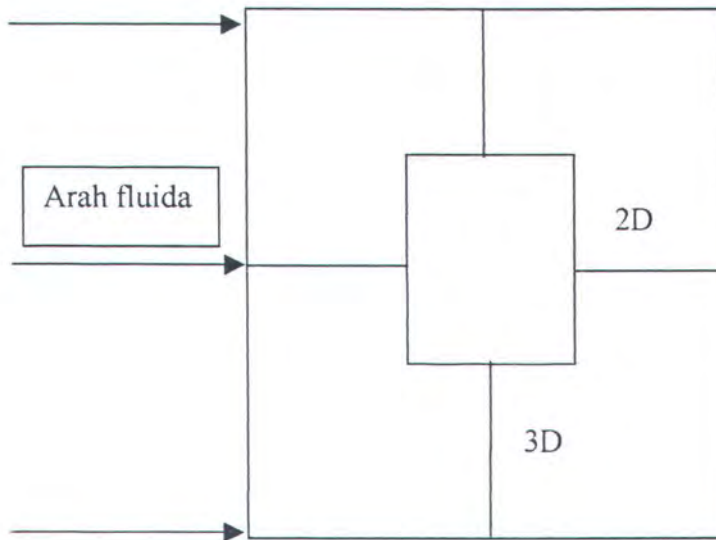
Untuk arah datangnya gelombang serta geometri sebagai berikut:

- 1) Penampang silinder



Gambar III.1 Penampang pile berbentuk silinder

2) Penampang persegi



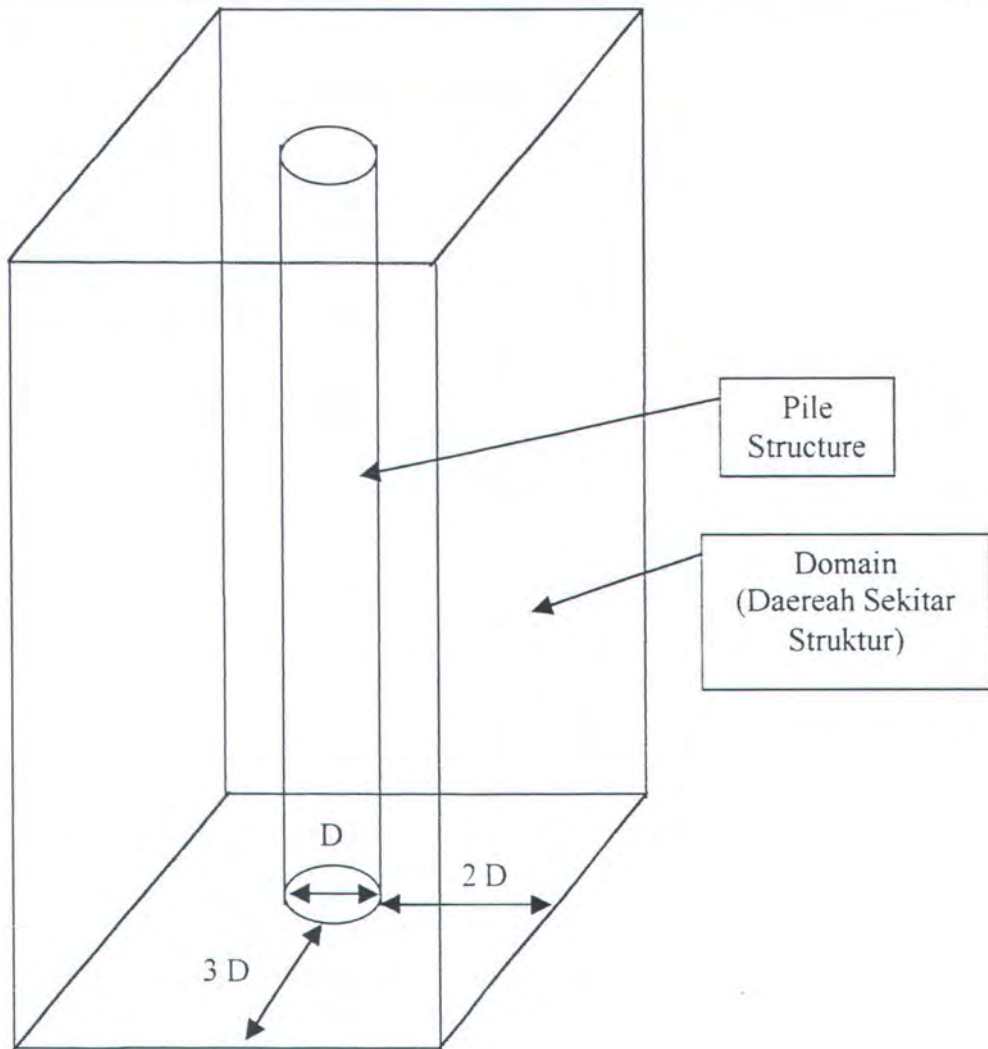
Gambar III.2 Penampang pile berpenampang persegi.

Pada pile kubus dibuat dengan ukuran sisi yang sama dengan besarnya diameter silinder dengan demikian nanti dapat dilihat perbedaan aliran akibat bentuknya, walaupun lebarnya sama.

Tahapan Analisa Tugas Akhir

Langkah-langkah analisa yang dilakukan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- (1) Mengumpulkan data gelombang
- (2) Mengidentifikasi daerah yang masih terdapat pengaruh aliran pada sekitar struktur.



Gambar III.3 Geometri struktur 3-Dimensi.

Untuk memperoleh geometri domain yang diinginkan dilakukan beberapa running agar diperoleh hasil yang memenuhi dan seperti yang diinginkan yaitu:

1. Diameter tiang pancang (D) = 2,5 ft = 0,7625 m
2. Jarak tiang pancang terluar dengan batas domain (L) = $3D$ = 2,2875 m
3. Kedalaman tiang pancang (T) = 13 m
4. Jarak tiang pancang sisi lain $2D$ = 1,525 m
4. Menentukan tipe aliran dan properti fluida dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tipe *Simulasi* : *Steady State*

Jenis *Turbulen* : *K-epsilon*

Jenis *Heat Transfer* : *Isothermal*

Jenis *Buoyancy* : *Non- Buoyancy*

5. Menentukan *Boundary Condition* dari *Fluid Domain* yang berguna untuk mengeset persamaan *Finite Volume Method* sehingga dapat diselesaikan secara numerik dengan perincian sebagai berikut:
 - a) *Inlet* terdiri dari 3 daerah (satu inlet utama yang memiliki nilai kecepatan fluida seperti yang diinginkan yaitu berbanding terbalik, sedangkan *inlet* yang dua lainnya dibuat untuk menanggulangi aliran yang keluar masuk kembali.
 - b) *Outlet* yang merupakan daerah keluarnya fluida.
 - c) Struktur tiang pancangnya sendiri.
 - d) Permukaan dan dasar yang memiliki sifat slip
 6. Penentuan variabel penyelesaian.
 7. Membuat *mesh* pada permukaan dan mesh fluida dengan dibuatnya garis kontrol pada geometri.
 8. Menentukan pengendali dari penyelesaian yang dihasilkan dari CFX-5 *Solver*.
 9. Menyelesaikan program dengan melakukan *running* pada CFX-5 *Solver*.
 10. Mencari konvergensi dari penyelesaian CFX-5 *Solver* dari *running* program.
 11. Hasil dapat divisualisasikan dan dapat memberikan penjelasan yang mendalam tentang keadaan fluida yang melalui domain.
 12. Menganalisa output dari running CFX.
 13. Mengkonversi variabel tekanan menjadi variabel gaya dengan mengalikannya dengan luasan.
 14. Menyusun geometri silinder dan kubus dengan piranti lunak MSc Nastran.
-

15. Membuat *mesh*, properti material, kondisi tumpuan dan pembebanan yang terjadi pada struktur.
16. Melakukan analisa struktur tersebut dengan MSc Nastran.
17. Membuat kesimpulan dari studi yang telah dilakukan.

"Manusia diberikan satu karunia yang tak dimiliki oleh makhluk hidup yang lain yaitu akal budi untuk memperbaiki kehidupan"

BAB IV



ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

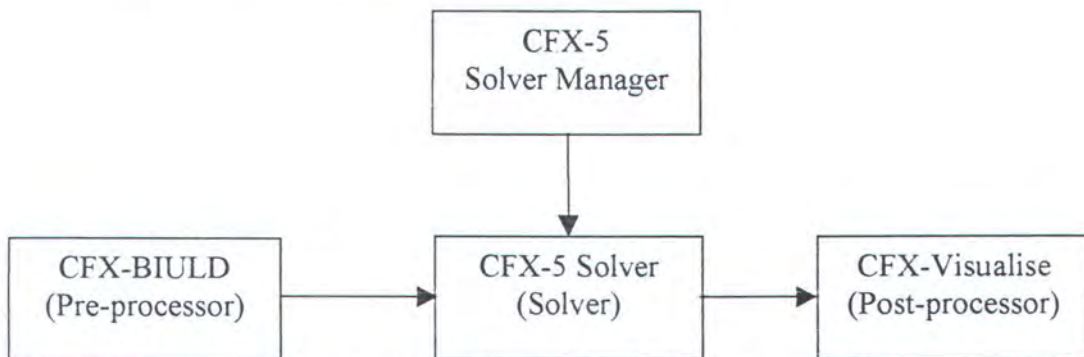
ANALISA DAN HASIL PERHITUNGAN

Setelah melalui tahapan dari metodologi penelitian selanjutnya adalah dilakukan analisa hasil perhitungan yang telah diperoleh. Geometri struktur yang dianalisa terdiri dari dua jenis yaitu:

- (1) *Pile* dengan penampang lingkaran (silinder).
- (2) *Pile* dengan penampang persegi (kubus).

IV.1. Analisa Perhitungan Beban Gelombang dengan Menggunakan CFX-5

Dalam rangka menyelesaikan perhitungan beban gelombang dipergunakan piranti lunak CFX-5 dengan mempergunakan Windows-NT. Berikut urutan penyelesaian dengan mempergunakan CFX-5.



Gambar IV.1 Skema penyelesaian dengan CFX-5

CFX-Build : *Pre-processor*

CFX-5 Solver Manager : *CFD job manager*

CFX-5 Solver : *Solver*

CFX-Visualise : *Post-processor*

Akurasi penyelesaian CFD tergantung pada jumlah *cell* di tiap *grid*, semakin banyak jumlah *cell* maka semakin baik pula akurasinya. Idealnya pada daerah kritis dibuat mesh yang lebih banyak dan bervariasi, sedangkan daerah yang tidak terlalu besar perubahannya dibuat mesh yang kasar. Semakin banyak mesh semakin banyak memori yang dibutuhkan sehingga perlu mempertimbangkan jumlah memori dalam pembuatan *mesh*.

Penyelesaian *meshing* pada *pile* silinder dilakukan dengan membuat *mesh* yang rapat pada daerah yang terjadi banyak perubahan yaitu pada ujung *pile*, sedangkan pada daerah pangkal dibuat jarang. Hal tersebut dilakukan untuk menghemat memori tetapi tidak mengurangi keakuratan penyelesaian CFD. *Meshing* dilakukan pada *computational domain* mulai dari 100000 elemen hingga mencapai sebanyak 457944 elemen. Ketika ditambah jumlah elemennya hasil perhitungan tidak begitu banyak pengaruhnya sehingga dengan jumlah 457944 elemen sudah cukup untuk digunakan.

Pembuatan mesh pada *pile* kotak dilakukan hampir sama dengan yang dilakukan pada *pile* silinder. Tekanan dan kecepatan fluida pada daerah yang dikenai fluida (*frontal*) pada *pile* silinder dan kotak berbeda. Sehingga jumlah elemen yang dibuat juga berbeda. Daerah yang memiliki tekanan dan kecepatan fluida yang tinggi dibuat *mesh* yang rapat dan kecil-kecil yaitu pada ujung tiang pancang, sedangkan pada daerah yang tidak terlalu terjadi variasi tekanan dan kecepatan dibuat *mesh* yang jarang yaitu pangkal tiang pancang. Setelah dilakukan beberapa kali pembuatan *mesh* didapatkan elemen sejumlah 326664 elemen. Ketika dibuat jumlah elemen yang lebih banyak ternyata hasil yang

dipeoleh tidak terlalu berbeda banyak. Dengan jumlah elemen seperti tersebut hasil *running* dapat digunakan

Hasil Perhitungan untuk Penampang Lingkaran (Silinder).

Struktur tiang pancang berbentuk silinder (penampang lingkaran) merupakan struktur yang banyak dipakai dalam disain *offshore*. Penyelesaian analisa perhitungan dilakukan dengan pendekatan terhadap kondisi sekitar struktur tiang pancang. Setelah dilakukan *running* program diperoleh beberapa gaya yang bekerja pada *pile* silinder tersebut diantaranya:

Tabel IV.1 Jenis Gaya yang bekerja pada *pile* berbentuk silinder

Jenis Gaya	Sumbu x	Sumbu x	Sumbu x
Normal Force	2.8822E+03 KN	-2.9011E+00 KN	2.1039E+02 KN
Tangential Force	7.2748E+00 KN	7.4062E-02 KN	5.4405E-01 KN
Normal Momen	7.2717E+01 KNm	2.7850E+04 KNm	2.4713E-01 KNm
Tangential Momen	-7.4824E-01 KNm	6.5845E+01 KNm	4.0714E-02 KNm

Hasil visualisasi dari model *pile* berbentuk silinder yang terdapat pada lampiran gambar A. distribusi fluida pada *pile* silinder memperlihatkan visualisasi vektor kecepatan fluida di sekitar struktur (*Computational Domain*). Di Belakang struktur tersebut terjadi *edies* (ulekan) walaupun kecil. Di sekitar struktur kecepatan air menurun kemudian pada sisi-sisi struktur kecepatan air naik (ditunjukkan dengan warna merah) dan selanjutnya kembali menurun pada bagian akhir struktur. Dalam simulasi ini sendiri fluida tersebut merupakan *steady-flow*, dengan bentuk turbulensi yaitu K-epsilon.

Menurut White (1979) tekanan dan geseran tergantung pada bentuk dari sistem atau struktur karena adanya *flow separation*. Bentuk ujung struktur yang berbeda dapat menyebabkan pemisahan aliran (*flow separation*) dan koefesien geser yang berbeda sehingga gaya geser dan tekanan juga berbeda.

Terjadinya turbulen pada bagian akhir struktur selain dapat dilihat dari visualisasi hasil dapat juga dilihat dari hasil *Running* program yang memiliki nilai $\min y^+ = 11,9$. Nilai y^+ merupakan koefesien aliran turbulen yang mana jika fluida tersebut memiliki nilai $y^+ > 11,63$ maka aliran tersebut merupakan jenis aliran turbulen (Malelasekera dan Versteg, 1995). Pada hasil visualisasi tampak aliran mengalami pemisahan (*separation*) pada $>90^\circ$ dari arah aliran. Bentuk moncong tersebut dapat mengurangi geseran sampai 85 % (White, 1979). Bentuk yang demikian mulus mengakibatkan *drag* yang kecil sehingga gaya yang bekerja yaitu gaya gesernya kecil.

Hasil Perhitungan untuk Penampang Persegi (Kotak).

Bentuk *pile* berpenampang persegi jarang digunakan dalam disain struktur lepas pantai. Dalam tugas akhir ini pile kotak digunakan sebagai bahan perbandingan atau komparasi dari hasil perhitungan geometri *pile* silinder. Dengan sisi persegi atau kotak yang sama dengan diameter dari *pile* silinder. Berikut hasil perhitungan dari model *pile* kotak yaitu:

Tabel IV.2 Jenis gaya yang bekerja pada pile rectangular

No.	Jenis Gaya	Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
1.	Normal Force	3.3756E-03KN	2.0978E+00KN	2.8172E+02KN
2.	Tangential Force	9.3424E-00KN	6.2015E-03KN	-1.0524E-01KN
3.	Normal Moment	-4.3961E+01KNm	3.2365E+04KNm	-1.0373E+00KNm
4.	Tangential Moment	-5.0024E-02KNm	8.7229E+01KNm	1.3364E-03KNm

Untuk mengetahui struktur sebenarnya dilakukan penyelesaian dengan CFX Visualise yang ditunjukkan pada lampiran gambar B distribusi fluida pada *pile* kotak. Pada gambar tersebut digambarkan bagaimana distribusi kecepatan fluida yang melewati domain. Di belakang struktur kecepatan fluida mengalami penurunan dan terjadi *edies* (ulekan). Bentuk *rectangular* tersebut memiliki pemisahan (*separation*) yang banyak dan terjadi secara tiba-tiba pada ujungnya yang tajam sehingga memiliki *drag* yang tinggi.

Bentuk geometri yang tajam berakibat timbulnya *edies* yang mencolok. Kecepatan fluida tersebut *uniform* pada waktu masuk ke domain, selanjutnya mengecil pada waktu mendekati struktur dan membesar pada sisi struktur.

Dengan bentuk ujung (moncong) yang, *pile* berbentuk *silinder* lebih mudah untuk meneruskan aliran fluida daripada *pile* berbentuk *rectangular* sehingga *pile* silinder memiliki kriteria turbulensi yang lebih kecil akibatnya tekanan yang diterima oleh *pile* silinder lebih kecil dan gaya yang bekerja padanya lebih besar dibandingkan *pile* berpenampang persegi. Dengan bentuk struktur yang lebih lebar maka *flow separation* yang terjadi lebih besar sehingga koefisien gesernya besar yang menyebabkan tekanan dan geser menjadi besar.

Koefisien geser *pile* penampang persegi lebih besar daripada bentuk lingkaran sehingga gaya yang terjadi pada struktur dalam hal ini tekanan mengalami perbedaan. Tekanan pada *pile* berbentuk *silinder* lebih kecil daripada tekanan *pile rectangular*.

Bentuk luasan yang terkena arah aliran fluida akan menentukan besarnya geser yang dapat menyebabkan perubahan pada besarnya gaya yang bekerja pada struktur tersebut (White, 1979). Di samping koefisien geser dan reynolds number,

pada konsep CFD terjadinya *flow separation* tergantung pula pada besarnya koefisien turbulen (y^+). Menurut Malalasekera and Versteeg (1995) Suatu aliran termasuk laminar jika $y^+ \leq 11,63$ sedangkan untuk turbulen jika nilai $y^+ > 11,63$. Berdasarkan hasil *out-put* dari program nilai $y^+ = 68,2$ sehingga aliran fluida tersebut dapat dikategorikan sebagai aliran turbulen.

Besarnya *drag* akan menentukan besarnya gaya yang bekerja pada struktur sehingga dengan penampang yang berbeda maka gaya yang bekerja berbeda pula karena besarnya *drag* tergantung pada bentuk penampang struktur yang terkena aliran fluida. Semakin mulus luasan permukaan struktur depan yang terkena aliran fluida semakin kecil pula gaya yang bekerja.

IV.2. Analisa Perhitungan Beban Gelombang dengan Menggunakan Metode Morison

Setelah mempergunakan software CFX-5, diperlukan pengecekan hasil perhitungan dengan menggunakan metode yang lain. Pengecekan ini dilakukan dengan melihat gaya gelombang yang menimpa struktur tiang pancang. Menurut Dawson (1976) gaya yang bekerja pada pile silinder dengan posisi tegak telah dirumuskan oleh Morison sebagai berikut:

$$F = F_i + F_d$$

$$F_i = \rho \times \frac{\pi}{4} \times D^3 \times C_m \times \dot{U} \cdot dy$$

$$F_d = \rho \times \frac{D}{2} \times C_d \times \dot{U} |U| \cdot dy$$

$$\Phi = -\frac{a \cdot g}{\omega} e^{-\gamma} \text{Cos}(kx - \omega t)$$

$$U = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = k \cdot \frac{a \cdot g}{\omega} e^{-y} \cos(kx - \omega t)$$

$$\dot{U} = \frac{\partial U}{\partial t} = -k \cdot a \cdot g \cdot e^{-y} \sin(kx - \omega t)$$

Di mana :

a = amplitudo gelombang = $\frac{1}{2} H$ (m) = 3,965 m

g = gravitasi bumi = 10 m/dt²

λ = panjang gelombang = 94,25 m

$k = (2\pi/\lambda) = 0,067$ rad/det

$\omega =$ kecepatan sudut ($2\pi/T$) = 0,683 rad/det

$\rho = 999,9$ kg/m³

Perhitungan gaya gelombang pada pile silinder

a) Gaya inersia

$$F_i = \rho \cdot \frac{\pi}{4} D \cdot C_m \int U dy$$

$$\int U dy = - \int k \cdot a \cdot g \cdot e^{-y} \cdot \cos(kx - \omega \cdot t) dy = -k \cdot a \cdot g \cdot \cos(kx - \omega \cdot t) \int e^{-y} dy$$

$$F_i = 209,83 \cos(kx - \omega t) \text{ KN}$$

Kondisi maksimum $\cos(kx - \omega t) = 1$

b) Gaya gesek:

$$F_d = \rho \cdot \frac{D}{2} \cdot C_d \int U \cdot |U| dy$$

$$\int U \cdot |U| dy = \int \frac{k \cdot a \cdot g}{\omega} e^{-y} \sin(kx - \omega \cdot t) \cdot \left| \frac{k \cdot a \cdot g}{\omega} e^{-y} \sin(kx - \omega \cdot t) \right| dy$$

$$F_d = 2644,5741 \sin(\omega t) \text{ KN}$$

pada kondisi maksimum $\sin(\omega t) = 1$

Jadi total gaya yang bekerja pada struktur tiang pancang (pile) silinder adalah:
2854,448 KN

Koreksi perhitungan gaya gelombang antara hail CFX-5 dan persamaan morison sebesar:

$$\frac{2882,2 - 2854,448}{2854,448} \times 100\% = 0,97\%$$

Perhitungan gaya gelombang pada pile kotak

(a) Gaya inersia

$$F_i = \rho \cdot \frac{\pi}{4} D^3 \cdot C_m \dot{U} dy$$

$$\dot{U} dy = - \dot{U} k \cdot a \cdot g \cdot e^{\omega t} \cdot \cos(kx - \omega t) dy = -k \cdot a \cdot g \cdot \cos(kx - \omega t) e^{\omega t} dy$$

$$F_i = 499,199 \cos(kx - \omega t) \text{ KN}$$

Kondisi maksimum terjadi pada $\cos(kx - \omega t) = 1$

(b) Gaya gesek:

$$F_d = \rho \cdot \frac{D}{2} \cdot C_d \cdot |U| \cdot U \cdot dy$$

$$|U| \cdot U \cdot dy = \left| \frac{k \cdot a \cdot g}{\omega} e^{\omega t} \sin(kx - \omega t) \right| \cdot \frac{k \cdot a \cdot g}{\omega} e^{\omega t} \sin(kx - \omega t) dy$$

$$F_d = 3217,142 \sin(\omega t) \text{ KN}$$

Kondisi maksimum terjadi pada $\sin(\omega t) = 1$

Jadi total gaya yang bekerja pada struktur tiang pancang (pile) kotak adalah:
3716,342 KN

Koreksi perhitungan gaya gelombang antara hasil CFX-5 dan persamaan morison sebesar:

$$\frac{3716,342 - 3575,6}{3575,6} \times 100\% = 5,16\%$$

Berdasarkan komparasi yang telah dilakukan pada perhitungan gaya gelombang dengan menggunakan CFX-5 terhadap perhitungan dengan persamaan morison terjadi selisih yang kecil sehingga hasil dari CFX-5 dapat dipergunakan.

IV.3. Analisa Struktur (Kekakuan) Pile

Setelah dilakukan perhitungan properti fluida terhadap struktur tiang pancang, dilanjutkan dengan perhitungan analisa struktur dengan menggunakan MSc Nastran. Tetapi terlebih dulu dilakukan konversi hasil *out-put* CFX yang berupa tekanan ke dalam variabel gaya. Untuk mengetahui kekakuan struktur suatu sistem dapat ditinjau dari lendutan (displasemen) yang terjadi pada struktur tersebut. Bila struktur tersebut mengalami displasemen yang besar maka struktur tersebut dapat dikatakan kurang kaku.

Pada proses analisa ini struktur tiang pancang dianggap sebagai *beam element* (elemen balok) dengan jenis pembebanan yang bekerja pada elemen tersebut berupa *distributed load*. Tumpuan pada pangkal struktur berupa tumpuan jepit, sedangkan pada ujung yang lain berupa ujung bebas. Hasil perhitungan dengan MSc Nastran kemudian dilaksanakan komparasi dengan perhitungan manual. Perhitungan manual ini dilakukan berdasarkan metode energi karena memiliki keuntungan yaitu lebih teliti daripada metode lain. Metode energi ini menggunakan cara pengintegralan dalam mencari displasemen.

Analisa Struktur Pile Berbentuk Silinder

Struktur tiang pancang silinder mengalami bentuk pembebanan terdistribusi. Beban menyerupai segitiga dengan beban terkecil bernilai nol (0) KN terletak di

pangkal struktur. Karena pada pangkal struktur kondisinya tumpuan jepit maka pada pangkal struktur tersebut tidak mengalami displasemen. Pada bagian ujung struktur yang memiliki kondisi batas berupa ujung bebas mengalami lendutan dan *slope*. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan MSc Nastran, geometri *pile* berbentuk silinder memiliki beberapa karakteristik struktur sebagai berikut:

Tabel IV.3 Hasil perhitungan *pile* berbentuk silinder dengan MSc Nastran.

No.	Item	Value
1.	Disp Maksimum	0.789 m
2.	Disp Minimum	0.m
3.	Gaya Maksimum	1853.97 KN
4.	Gaya Minimum	1853.97 KN
5.	Tegangan Maksimum	179261.KN/m ²
6.	Tegangan Minimum	-179261.KN/m ²

Displasemen maksimum terjadi pada struktur bagian ujung bebas karena pada bagian ini gaya yang bekerja paling tinggi dan memiliki kemampuan untuk translasi dan rotasi ke segala arah (tumpuan ujung bebas). Sedangkan pada struktur bagian pangkal memiliki displasemen terkecil karena gaya yang bekerja kecil dan hanya memiliki kemampuan untuk gerak rotasi saja (tumpuan jepit).

Oleh karenanya gaya maksimum yang bekerja pada struktur *pile* silinder terjadi pada bagian pangkal. Sedangkan besarnya gaya minimum yang bekerja pada *pile* silinder juga terjadi pada bagian pangkal dengan besar sama dengan gaya maksimum dengan vektor yang berlawanan.

Besarnya tegangan yang bekerja pada suatu struktur tergantung pada besarnya gaya dan momen yang bekerja semakin besar gaya dan momen yang

bekerja semakin besar pula tegangan yang terjadi. Begitu pula pada struktur tiang pancang silinder, pada bagian pangkal terjadi tegangan maksimum dan tegangan minimum. Pada bagian pangkal tersebut terjadi gaya dan momen yang terbesar.

Bentuk displasemen yang terjadi pada struktur akibat beban gelombang dapat terlihat pada lampiran C gambar Out-Put MSc Nastran perhitungan gaya gelombang pada *pile* silinder. Pada gambar tersebut nampak bahwa displasemen pada ujung sangat besar sedangkan pada pangkal tidak terjadi translasi.

Pada analisa tugas akhir ini tidak diperhitungkan mengenai kondisi dari tanah baik gaya geser dan daya dukung tanah maupun *settlement* yang terjadi. Bagian pangkal yang tertancap pada tanah mempergunakan asumsi sebagai tumpuan jepit.

Analisa Struktur *Pile* Kotak

Kondisi pada struktur tiang pancang berbentuk kotak sama dengan pada struktur berbentuk silinder tetapi memiliki perbedaan pada harga (besaran). Gaya yang bekerja pada *pile* kotak lebih besar dibandingkan pada *pile* silinder dikarenakan bentuk yang lebih tajam dibandingkan *pile* silinder. Berdasarkan hasil perhitungan struktur *pile* kotak dengan menggunakan MSc Nastran didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel IV.4 Hasil perhitungan beban gelombang *pile* kotak dengan MSc Nastran.

No.	Item	Value
1.	Disp Maksimum	4.17061 m
2.	Disp Minimum	0.m
3.	Gaya Maksimum	1874.44 KN
4.	Gaya Minimum	-1874.44 KN
5.	Tegangan Maksimum	471816. Mpa
6.	Tegangan Minimum	-471816. Mpa

Displasemen maksimum terjadi pada struktur bagian ujung bebas karena pada bagian ini gaya yang bekerja paling tinggi dan memiliki kemampuan untuk translasi dan rotasi ke segala arah (tumpuan ujung bebas). Displasemen yang terjadi *pile* kotak lebih besar dibandingkan *pile* silinder karena besarnya gaya yang bekerja pada *pile* kotak lebih besar dan bentuk geometri dari kotak yang memiliki momen inersia yang lebih kecil sehingga K (kekakuannya lebih kecil). Sedangkan pada struktur bagian pangkal memiliki displasemen terkecil karena gaya yang bekerja kecil dan hanya memiliki kemampuan untuk gerak rotasi saja (tumpuan jepit) ke arah x dan y . Suatu struktur akan dikatakan stabil apabila masih berlaku adanya hukum kesetimbangan. Oleh karenanya gaya maksimum yang bekerja pada struktur *pile* kotak terjadi pada bagian pangkal. Sedangkan besarnya gaya minimum yang bekerja pada *pile* silinder juga terjadi pada bagian pangkal dengan besar sama dengan gaya maksimum dengan vektor yang berlawanan. Faktor K (Kekakuan) dipengaruhi oleh panjang struktur, modulus young dan momen inersia. *Pile* silinder dan kotak memiliki panjang struktur dan modulus young yang sama. Sedangkan momen inersianya berbeda, *pile* kotak memiliki momen inersia lebih kecil dibandingkan *pile* silinder. Semakin kecil harga K maka semakin besar displasemen yang terjadi pada gaya yang sama. Pada studi yang dilakukan *pile* kotak memiliki harga K yang lebih kecil dan gaya yang lebih besar daripada *pile* silinder sehingga displasemen yang terjadi pada *pile* kotak juga lebih besar dibandingkan dengan *pile* silinder.

Besarnya tegangan yang bekerja pada suatu struktur tergantung pada besarnya gaya dan momen yang bekerja semakin besar gaya dan momen yang bekerja semakin besar pula tegangan yang terjadi. Begitu pula pada struktur tiang

pancang kotak, pada bagian pangkal terjadi tahanan maksimum dan tegangan minimum. Pada bagian pangkal tersebut terjadi gaya dan momen yang terbesar.

Bentuk displasemen yang terjadi pada struktur akibat beban gelombang dapat terlihat pada lampiran gambar D. Out-Put MSc Nastran perhitungan gaya gelombang pada *pile* kotak. Pada gambar tersebut nampak bahwa displasemen pada ujung sangat besar sedangkan pada pangkal tidak terjadi translasi.

Pada analisa tugas akhir ini tidak diperhitungkan mengenai kondisi dari tanah baik gaya geser dan daya dukung tanah maupun *settlement* yang terjadi. Bagian pangkal yang tertancap pada tanah mempergunakan asumsi sebagai tumpuan jepit.

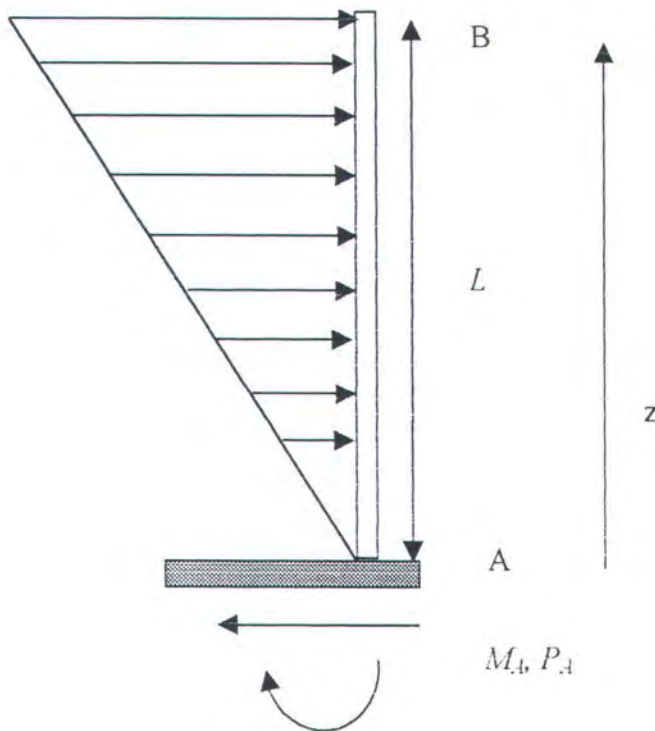
Struktur *pile* kotak yang terkena beban gelombang akan mengalami deformasi yang ditunjukkan pada lampiran gambar D. Gaya gelombang yang bekerja lebih besar dari pada gaya yang bekerja pada *pile* silinder sehingga lendutan yang terjadi sangat besar mencapai 4.17061 m. Berdasarkan hasil perhitungan dari MSc Nastran terlihat jelas bahwa struktur tiang pancang berbentuk silinder memiliki kekakuan struktur yang lebih baik daripada yang berbentuk kotak. Hal tersebut dapat diperlihatkan pada besarnya lendutan yang terjadi. Harga kekakuan (K) yang lebih kecil dan gaya yang lebih besar, sehingga pada *pile* kotak terjadi lendutan atau displasemen yang lebih besar daripada *pile* silinder.

IV.3. Analisa Struktur dengan menggunakan Metode Costrill-Castigliano

Untuk mengecek keakuratan dari perhitungan dengan MSc Nastran perlu dilakukan komparasi dengan perhitungan secara manual. Oleh karenanya

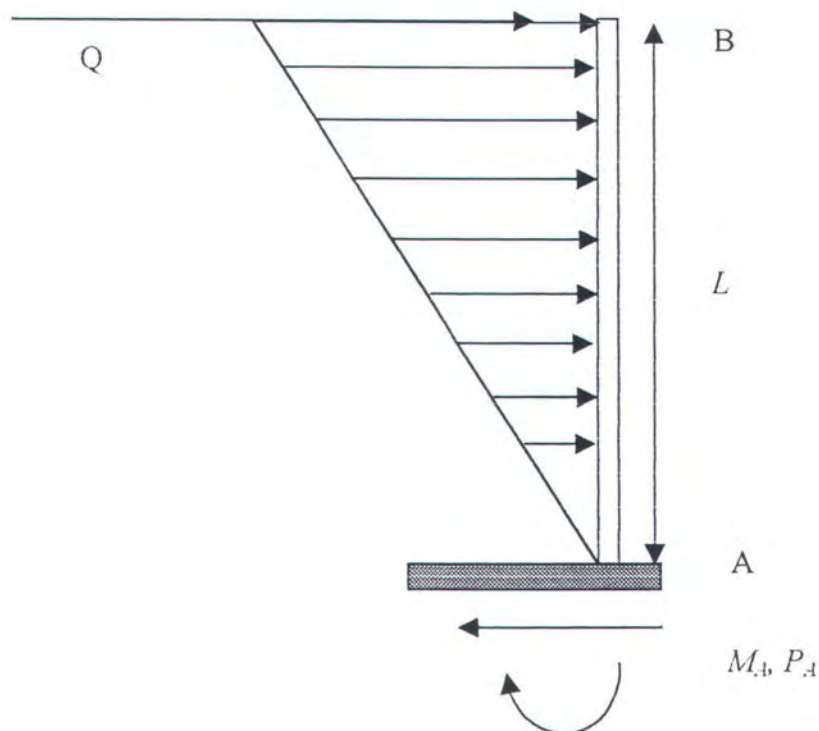
digunakan metode Costrill-Costagliano. Menurut Chajes(1990) metode ini menggunakan sebuah gaya yang tidak nyata (*virtual force*) yang dapat menyebabkan terjadinya (*virtual displacement*) displasemen yang tidak nyata pula. Pemodelan struktur dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Dalam analisa perhitungan ini mempergunakan pemodelan sebagai berikut:

q_0



Gambar IV.2 Model struktur tiang pancang.

Kondisi tumpuan pada kedua ujungnya berbeda pada satu ujung merupakan jenis jepit dimana tidak mengalami rotasi sedangkan pada ujung yang lain mengalami rotasi dan translasi yaitu jenis tumpuan ujung bebas. Dengan menambahkan beban tambahan (*virtual force*) yang akan menimbulkan *displacement virtual* pada bagian ujung struktur sehingga model strukturnya menjadi:



Gambar IV.3 Stuktur dengan beban tambahan.

Sehingga momen bending yang bekerja pada sumbu z dari bawah yaitu:

$$M = -\frac{qz^3}{3L} + \left(\frac{qL}{2} + Q\right)z + \left(\frac{qL}{3} + QL\right)$$

$$\text{Strain energi akibat momen bending } U = \int \frac{M \cdot dz}{2EI}$$

dengan menggunakan hukum Castigliano didapatkan:

$$v = \frac{\partial U}{\partial Q}$$

$$= \frac{1}{2EI} \int \left[-\frac{qz^3}{3L} + \left(\frac{qL}{2} + Q\right)z + \left(\frac{qL}{3} + QL\right) \right] (z + L) \cdot dz$$

$$= \frac{3q_0 L^3}{40EI}$$

Tiang pancang berbentuk silinder memiliki harga displasemen sebesar $v = 0,78376$ m dan sedangkan pada *pile* berbentuk kotak memiliki harga displasemen sebesar $v = 4,46248$ m. Sehingga didapatkan angka koreksi perhitungan MSc Nastran terhadap perhitungan manual dengan mempergunakan metode energi sebagai berikut:

1.) Untuk *pile* berbentuk silinder:

$$\text{Koreksi} = [(0,789 - 0,78376) / 0,78376] \times 100\% = 0,67\%$$

2.) Untuk struktur tiang pancang berbentuk kotak:

$$\text{Koreksi} = [(4,46248 - 4,17061) / 4,17061] \times 100\% = 5,55\%$$

Dengan angka koreksi sebesar $\pm 5\%$ maka hasil perhitungan dari MSc Nastran terhadap dua struktur tiang pancang (*pile* kotak dan silinder) tersebut dapat dipergunakan hasilnya.

Terjadi selisih yang besar pada hasil displasemen pada kedua jenis *pile*. Hal tersebut terjadi karena terjadinya perbedaan yang besar pada harga kekakuan dan besarnya gaya yang bekerja pada masing-masing *pile*. Harga kekakuan dipengaruhi oleh momen inersia, modulus young dan panjang struktur. Pada kedua *pile* terdapat perbedaan yang besar pada harga momen inersia. *Pile* kotak memiliki momen inersia lebih kecil dibandingkan *pile* silinder. Pada lampiran grafik A dan B digambarkan adanya perbedaan displasemen tiap *node* atau titik pada *pile* silinder dan kotak. Perbedaan itu dikarenakan adanya perbedaan pendekatan pada metode perhitungan. MSc Nastran menggunakan metode elemen hingga sedangkan Costrill-Castigliano menggunakan metode energi (*virtual work*).

"Setiap manusia akan dan mengalami satu hal di kehidupannya yang tak dapat dihindari dan ditunda bila saatnya tiba yaitu kematian."

BAB V



PENUTUP

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Aliran fluida yang melewati sebuah benda atau struktur akan mengalami penurunan atau kenaikan kecepatan. Perubahan tersebut memerlukan kerja melalui penerapan gaya pada struktur yang mengubah momentum fluida. Adanya ulekan pada sisi belakang struktur menyebabkan terjadinya gaya geser dan distribusi tekanan yang tidak merata. Pada sisi bagian depan memiliki tekanan fluida tinggi sedangkan pada daerah belakang struktur memiliki tekanan yang kecil bahkan mencapai nol.

Bentuk suatu penampang struktur yang terkena aliran fluida mempengaruhi terjadinya ulekan pada daerah sekitar struktur. Struktur yang memiliki tekstur yang tajam akan menyulitkan aliran fluida untuk melewatinya. Seolah-olah struktur tersebut akan melawan aliran fluida sehingga menyebabkan terjadinya pemisahan aliran (flow separation). Begitu pula sebaliknya untuk struktur yang memiliki tekstur penampang yang halus memudahkan aliran untuk mengalir. Bentuk yang tajam dapat pula menyebabkan terjadinya gaya geser yang lebih besar serta menimbulkan terjadinya ulekan.

Aliran fluida yang melewati *pile* silinder lebih mudah untuk diteruskan ke belakang struktur karena memiliki permukaan yang halus atau licin. Sedangkan pada *pile* kubus karena memiliki moncong struktur yang tajam maka aliran fluida

lebih sulit untuk meneruskannya ke belakang struktur. Fenomena fluida yang terjadi pada kedua jenis *pile* (kotak dan silinder) sebagai berikut:

Tabel V.1 Fenomena aliran fluida

No	Jenis	Pile Silinder	Pile Kotak
1	Koefesien Turbulen (y^+)	11,9	68,2
2	Gaya Normal pada sumbu -x	2.8822E+03 KN	3.3756E+03 KN
3	Gaya Tangensial pada sumbu-x	7.2748E+00 KN	9.3424E+00 KN

Berdasarkan harga kriteria turbulen di atas menyebabkan pile kotak lebih rentan terhadap terjadinya ulekan.

Dari studi yang telah dilakukan pada kedua jenis tiang pancang didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel V.2 Hasil perhitungan struktur

No	Jenis	Pile Silinder	Pile Kotak
1	Displasemen	0,789 m	4,17061 m
2	Momen Inersia	0,0039462 m ⁴	0,000757 m ⁴
3	Gaya Maksimum	1853,97 KN	1874,44 KN
4	Tegangan Maksimum	179261 KN/m ²	471816 KN/m ²

Berdasarkan tabel di atas dapat dikatakan bahwa displasemen yang terjadi pada *pile* silinder lebih kecil dibandingkan *pile* kotak. Kekakuan suatu struktur dapat diidentifikasi oleh adanya besaran yang disebut displasemen. Dari studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *pile* silinder lebih baik dalam hal kekakuan struktur dibandingkan dengan *pile* kotak. Besarnya displasemen dipengaruhi oleh harga kekakuan yang mencakup modulus young, panjang

struktur dan momen inersia. *Pile* kotak memiliki momen inersia yang lebih kecil dibandingkan *pile* silinder dan gaya yang bekerja pada *pile* kotak lebih besar dibandingkan pada *pile* silinder sehingga displasemen yang terjadi pada *pile* kotak lebih besar dibandingkan *pile* silinder.

Pemakaian *Software* CFX-5 sebagai sarana mempermudah dalam perhitungan beban gelombang bekerja pada suatu struktur tiang pancang. Dalam pemakaian CFX-5 penulis mengalami beberapa hambatan diantaranya:

- a). Guna penguasaan CFX-5 yang lebih baik memerlukan waktu yang lebih panjang dan beberapa konsep mekanika fluida.
- b). Sedikitnya literatur yang dapat membantu dalam mempelajari software tersebut.

V.2. Saran

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan dan guna mendapatkan hasil yang lebih maksimal terdapat saran sebagai berikut:

1. Dalam penulisan tugas akhir masih banyak kekurangan terutama variasi dari model geometri yang dapat dipergunakan sebagai bahan penelitian ataupun bahan Tugas Akhir.
2. Untuk memperoleh hasil yang teliti seharusnya dalam analisa perhitungan struktur dipergunakan sebuah fungsi yang menggambarkan distribusi gaya dan pemodelan mempergunakan bentuk silinder. Pada tugas akhir digunakan elemen garis.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

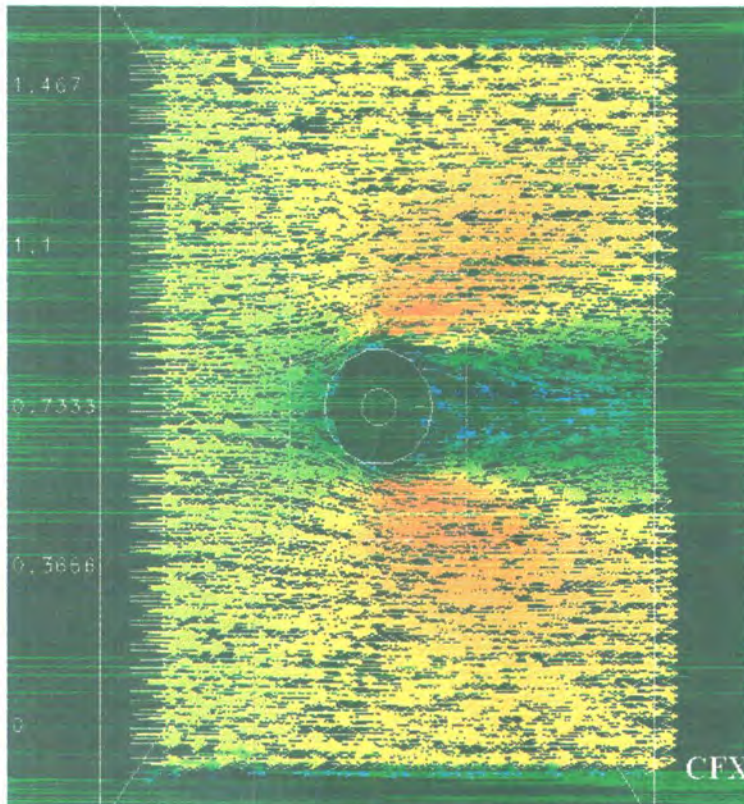
- AEA Technology. 1995. **Using CFX-5 for Unix & Windows NT**. London. AEA Technology plc. United Kingdom.
- Chajes, A. 1990. **Structural Analysis**. New-Jersey: Printice-Hall, Inc.
- Chakrabarti, S.K. 1978. **Hydrodynamics of Offshore Structures**. Jersey : Regents/Prentice Hall.
- Soegiharto, B. O. 1989. **Analisa Pile Offshore Structure Terhadap Beban Lateral**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS, Surabaya.
- Turdianto, L. 1995. **Analisa Prilaku Tiang Pancang Struktur Jacket Terhadap Beban Lateral**. Tugas Akhir , Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS, Surabaya.
- Tamtama, P. 1990. **Analisa Pondasi Pile Terhadap Beban Lateral dengan Metode Beda Hingga**. Tugas Akhir , Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS, Surabaya.
- Desai, C.S. 1979. **Elementary Finite Element Method**. New Jersey: Printice-Hall, Inc.
- Dawson, Thomas. 1976. **Offshore Structural Engineering**, New York:John Wiley & Sons.
- Filipich, C.P. and C. Jouglard. 1988. "An Optimization of the Finite Element Method and Its Application To Certain Ocean Engineering Problems". **J. Ocean Engineering**. 15:237-248.
- Garrison, C.J. 1978. "Hydrodynamic Loading of Offshore Structures: Three-Dimensional Source Distribution Methods". **Numerical Methods in Offshore Engineering**. 3:87-137.

- Hughes, T. J. R. 1987. **The Finite Element Method, Linier Static and Dynamic Finite Element Analysis**. New Jersey: Printice-Hall, Inc.
- Morison, J.R., O'Brien, M. P. , Johnson, J.W. and Scaaf, S. A. 1950. "The Forces Exerted by Surface Waves on Piles " **Petroleum Transaction AIME**, Vol 189.
- Malalasekera, W. and H.K. Versteeg, 1995 **Introduction to Computational Fluids Dynamics, The Finite Volume Method**. England: Longman Scientific & Technical, Harlow.
- Newman, J.N. 1977. **Marine Hydrodynamics**. Cambridge: The MIT Press.
- Sarpkaya, T and M. Isaacson, 1981. **Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures**. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- White, F. M. 1979. **Fluid Mechanics**. McGraw-Hill, Inc.
- Zienkiewicz, O.C., P. Bettess, and D.W. Kelly. 1978. "The Finite Element Method for Determining Fluid Loadings on Rigid Structures Two- and Three-Dimensional Formulations". **Numerical Methods in Offshore Engineering**. Vol. IV:141-179.
- Zienkiewicz, O.C., and R. L. Taylor. 1991. **The Finite Element Method Vol.2**, London : McGraw HillBook Co.

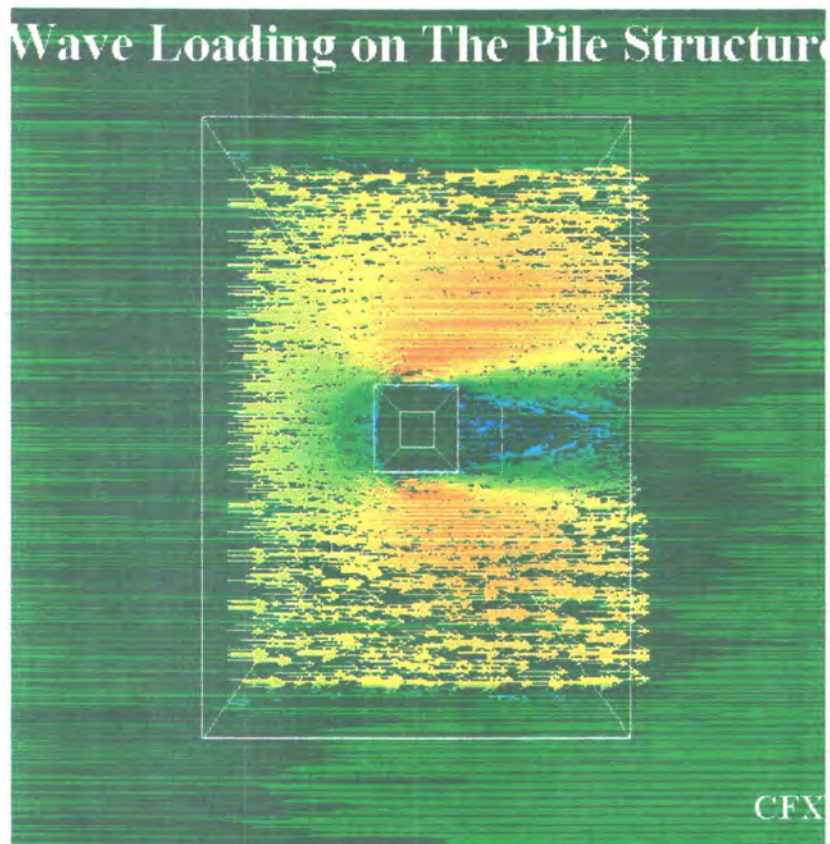


LAMPIRAN

Lampiran A:
Gambar Distribusi Fluida pada Pile



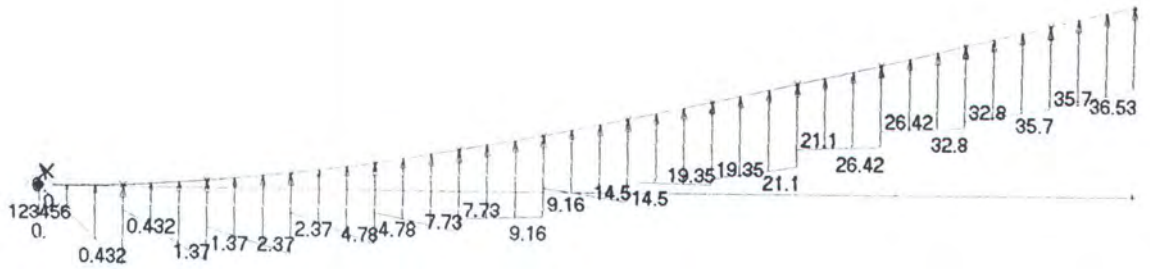
Gambar A. Distribusi Aliran pada Pile Silinder.



Gambar B. Distribusi Fluida pada Pile Silinder

Lampiran B:
Visualisasi MSc Nastran

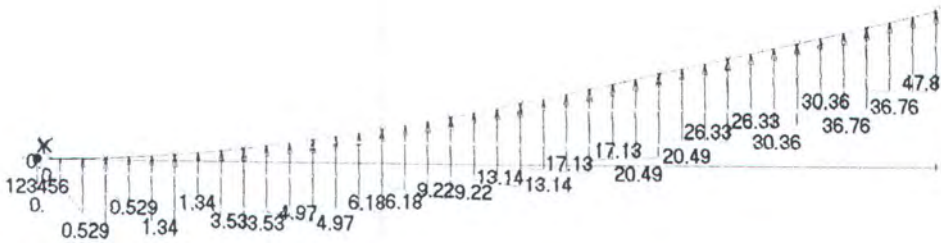
V1
L1
C1



Output Set: MSC/NASTRAN Case 1
Deformed(0.789): Total Translation

Gambar D. Distribusi gaya gelombang pada pile kotak

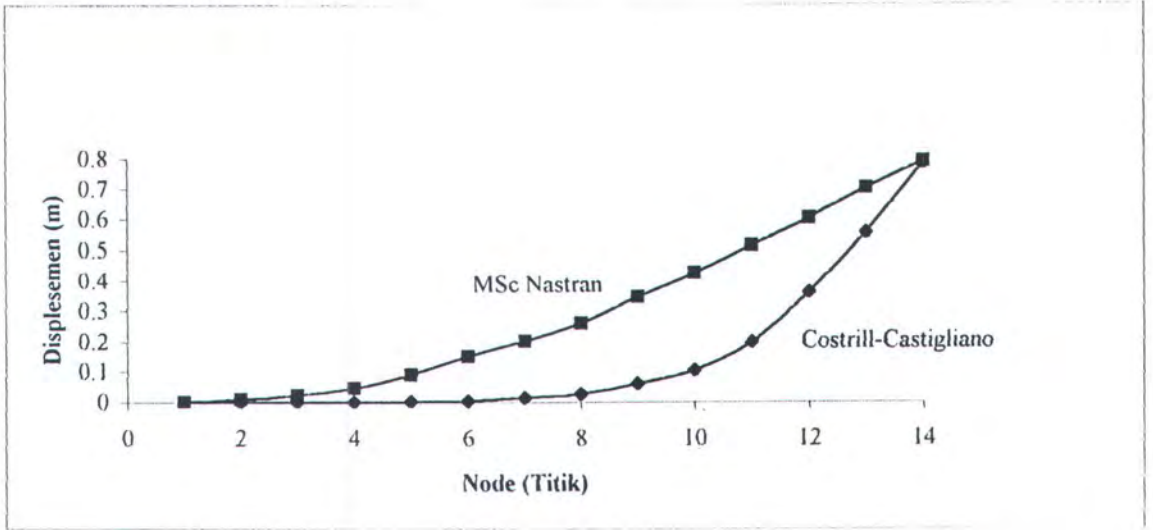
V1
L1
C1



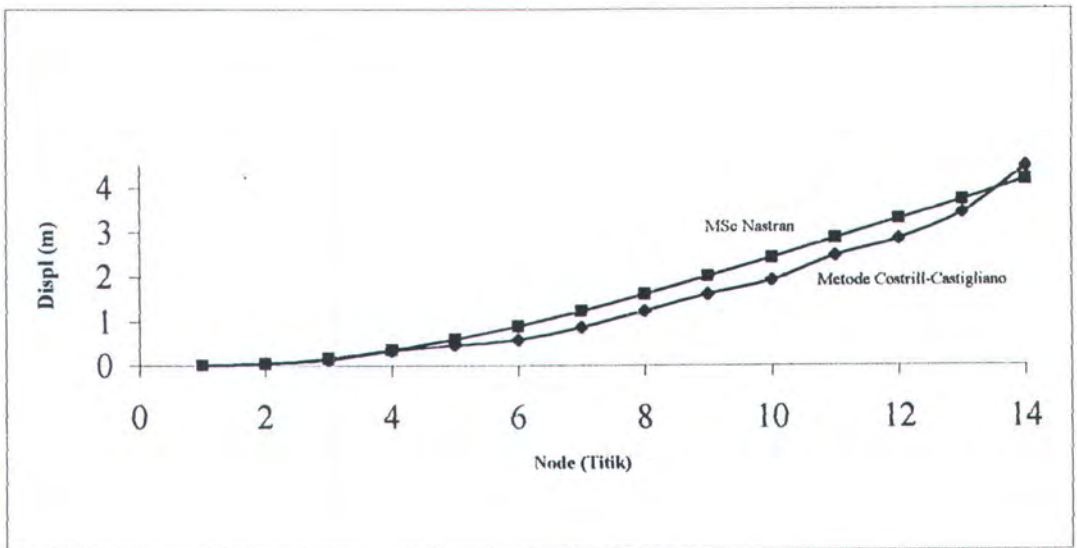
Output Set: MSC/NASTRAN Case 1
Deformed(4.171): Total Translation

Gambar C. Distribusi gaya gelombang pada pile silinder.

Lampiran C:
Perbandingan MSc Nastran dengan
Metode Costrill-Castigliano



Gambar E. Perbandingan Displasemen Metode Costrill-Castigliano dan MSc Nastran pada Pile Silinder



Gambar F. Perbandingan Displasemen Metode Costrill-Castigliano dan MSc Nastran pada Pile Kotak

Lampiran D:
Hasil Out-put CFX-5

Hasil Running Program Pile Silinder CFX-5

Total number of Vertices, Elements, and Faces

Total number of Vertices = 83954
Total number of Elements = 457944
Total number of Faces = 22902

Model Details

Domain Name : PILESTRUCTURE3
Simulation Type : Steady State
Turbulence Model : k-epsilon
Heat Transfer Model : Isothermal
Domain Temperature = 3.8800003E+02 K
Buoyancy Model : Non-Buoyant
Reference Pressure
Value = 1.0000001E+05 Pa
Number of additional variables = 0

Solution Algorithm

Maximum No. Of Timesteps = 50
Timestep Size = 5.0000000E+00
RMS normal for residual
Target Residual = 1.0000000E-04
Discretisation = 0.0000000E+00
0.0 = 1st Order, 1.0 = 2nd Order

Expression Language Variables

List of Expression Language Variables defined:
Umax = 1.1 [m s⁻¹] ; Kecepatan Maksimum
d = 13.115 [m] ; Kedalaman air laut
Uprof = Umax*(z/d) ; Distribusi Kecepatan

Material Properties

Fluid Type : General Fluid
Density = 9.9990005E+02 kg m⁻³
Viscosity
Dynamic Viscosity = 1.7520000E-03 kg m⁻¹ s⁻¹

Boundary Conditions

Boundary Name : INLET
Boundary Type : INLET
List of Surfaces : Solid 1.4
Flow Regime : Subsonic
Mass and Momentum : Cartesian Velocity Components
Expression = Uprof
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : outlet
Boundary Type : OUTLET
List of Surfaces : Solid 1.6
Flow Regime : Subsonic
Mass and Momentum : Uniform Static Pressure
Relative Pressure = 0.0000000E+00 Pa

Boundary Name : pilestructure
Boundary Type : WALL
List of Surfaces : Solid 1.1
Solid 1.2
Solid 1.7
Solid 1.8
Wall Influence On Flow : No Slip (Stationary)
Wall Roughness : Smooth Wall

Boundary Name : side
Boundary Type : INLET
List of Surfaces : Solid 1.3
Solid 1.5
Flow Regime : Subsonic
Mass and Momentum : Normal Speed in
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : surface
Boundary Type : WALL
List of Surfaces : Solid 1.9
Wall Influence On Flow : Free Slip

-----+
| Initialization Information |
-----+
-----+

Initial value of Pressure-Gradients array is not found in DEF file.
Default initial value will be used, which is 0.000000E+00
-----+

-----+
| Average Scale Information |
-----+

Global Length Scale	:	6.392E+00
Density Scale	:	1.000E+03
Dynamic Viscosity Scale	:	1.752E-03
Velocity Scale	:	0.000E+00
Prandtl Number	:	1.752E-03
Cp Scale	:	1.000E+00
Conductivity Scale	:	1.000E+00

-----+
| The Equations Solved in This Calculation |
-----+

Number of equations solved = 6
U - Mom
V - Mom
W - Mom
P - Mass
K-TurbKE

pilestructure	2.8822E+03	-2.9011E+00	2.1039E+02
surface	4.5701E-07	6.5077E-07	2.5871E+02

-----+
| Tangential Force On Walls |
-----+

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
pilestructure	7.2748E+00	7.4062E-02	5.4405E-01
surface	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

-----+
| Normal Moment On Walls |
-----+

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
pilestructure	7.2717E+01	2.7850E+04	2.4713E-01
surface	1.6131E+01	1.4447E+03	-2.0819E-06

-----+
| Tangential Moment On Walls |
-----+

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
pilestructure	-7.4824E-01	6.5845E+01	4.0714E-02
surface	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

-----+
| Locations of maximum residuals |
-----+

Equation	Node #	X	Y	Z
U - Mom	70865	7.032E-01	1.493E-01	1.162E+01
V - Mom	71700	1.063E+00	1.225E-01	1.134E+01
W - Mom	75521	9.659E-01	-9.787E-02	1.197E+01
P - Mass	1620	1.808E-01	-3.357E-01	1.165E+01
K-TurbKE	979	2.760E-01	2.630E-01	7.719E+00
E-Diss.K	1180	3.676E-01	1.011E-01	1.289E+01

-----+
| Peak Values of residuals |
-----+

Equation	Peak occur at loop #	Peak Residual	Final Residual
U - Mom	2	3.10859E-02	8.24636E-05
V - Mom	2	5.48770E-03	1.55194E-05
W - Mom	2	9.13602E-03	1.55088E-05
P - Mass	2	2.46127E-02	9.21671E-06
K-TurbKE	1	7.43799E-02	2.50386E-04
E-Diss.K	1	5.70447E-02	4.72228E-04

-----+
| Average Scale Information |
-----+

Global Length Scale	:	6.392E+00
Density Scale	:	1.000E+03
Dynamic Viscosity Scale	:	1.752E-03
Advection Time Scale	:	9.645E+00
Reynolds Number	:	2.417E+06
Velocity Scale	:	6.627E-01
Prandtl Number	:	1.752E-03

Cp Scale : 1.000E+00
Conductivity Scale : 1.000E+00

y+ information (min, max, average)			
Face set name	min y+	max y+	ave y+
pilestructure	1.19E+01	2.07E+03	2.46E+02

CPU Requirements of Numerical Solution

Equation Type	Discretization		Linear Solution	
	(secs. %total)		(secs. %total)	
Momentum-Mass	1.53E+03	49.3 %	5.14E+02	16.6 %
Scalars	5.97E+02	19.2 %	4.63E+02	14.9 %

Hasil Running Pile Kotak dengan CFX-5

Total number of Vertices, Elements, and Faces

Total number of Vertices = 59194
Total number of Elements = 326664
Total number of Faces = 13378

Memory Usage Information

Allocated storage in:	WORDS,	WORDS/NODE:
Real	23909361	403.0
Integer	5997045	101.0
Character	200000	3.0
Logical	10000	0.0
Double	7000	0.0

Note: allocated storage generally exceeds the required storage

Model Details

Domain Name : PILELAUT
Simulation Type : Steady State
Turbulence Model : k-epsilon
Heat Transfer Model : Isothermal
Domain Temperature = 3.8800003E+02 K
Buoyancy Model : Non-Buoyant
Reference Pressure Value = 1.0000001E+05 Pa
Number of additional variables = 0

Solution Algorithm

Maximum No. Of Timesteps = 50
RMS normal for residual
Target Residual = 1.0000000E-04
Discretisation = 0.0000000E+00
0.0 = 1st Order, 1.0 = 2nd Order

Expression Language Variables

List of Expression Language Variables defined:
Umax = 1.1 [m s⁻¹] ; kecepatan Maksimum
d = 13.115 [m] ; Kedalaman laut
Uprof = Umax*(z/d) ; Distribusi Kecepatan Aliran

Initial Values

Relative Pressure : Specified by user
Value = 1.0000001E+05 Pa
Cartesian Velocity Components : Specified by user
U :

Expression = Uprof
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
k : Default Value
Epsilon : Default Value

Material Properties

Fluid Type : General Fluid
Density = 9.9990005E+02 kg m⁻³
Viscosity
Dynamic Viscosity = 1.7520000E-03 kg m⁻¹ s⁻¹

Boundary Conditions

Boundary Name : body
Boundary Type : WALL
List of Surfaces : Solid 1.5
Solid 1.6
Solid 1.7
Solid 1.8
Solid 1.9
Wall Influence On Flow : No Slip (Stationary)
Wall Roughness : Smooth Wall

Boundary Name : free
Boundary Type : WALL
List of Surfaces : Solid 1.11
Wall Influence On Flow : Free Slip

Boundary Name : INLET
Boundary Type : INLET
List of Surfaces : Solid 1.4
Flow Regime : Subsonic
Mass and Momentum : Cartesian Velocity Components
Expression = Uprof
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : INLET23
Boundary Type : INLET
List of Surfaces : Solid 1.1
Solid 1.3
Flow Regime : Subsonic
Mass and Momentum : Normal Speed in
Value = 0.0000000E+00 m s⁻¹
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : OUTLET
Boundary Type : OUTLET
List of Surfaces : Solid 1.2
Flow Regime : Subsonic
Mass and Momentum : Uniform Static Pressure
Relative Pressure = 0.0000000E+00 Pa

Boundary Name : symp

Boundary Type : SYMMETRY
 List of Surfaces : Solid 1.10

Average Scale Information

Global Length Scale	:	6.377E+00
Density Scale	:	1.000E+03
Dynamic Viscosity Scale	:	1.752E-03
Advection Time Scale	:	8.619E+00
Reynolds Number	:	2.692E+06
Velocity Scale	:	7.399E-01
Prandtl Number	:	1.752E-03
Cp Scale	:	1.000E+00
Conductivity Scale	:	1.000E+00

Code estimated physical timestep = 0.25858E+01

The Equations Solved in This Calculation

Number of equations solved = 6
 U - Mom
 V - Mom
 W - Mom
 P - Mass
 K-TurbKE
 E-Diss.K

Boundary Mass Flow and Total Source Term Summary

body	0.0000E+00
free	0.0000E+00
INLET	3.8497E+04
INLET23	0.0000E+00
OUTLET	-3.8497E+04
symp	0.0000E+00
PILELAUT/TET	0.0000E+00
Global Mass Balance:	1.8359E-01
Global Imbalance, in %:	0.0005 %

Boundary Momentum Flow and Total Source Term Summary

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
body	-3.3849E+03	-2.1138E+00	-2.8162E+02
free	6.8538E-07	-1.3169E-06	-1.5279E+02
INLET	3.2327E+04	3.5123E-04	1.3608E-01
INLET23	-1.3419E+01	4.9019E+00	2.5173E-01
OUTLET	-2.8929E+04	-3.2264E+00	4.4163E+02
symp	-1.1812E-08	-4.6788E-09	-1.0366E+01
PILELAUT/TET	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Global Momentum Balance:	4.2969E-02	-4.3792E-01	-2.7591E+00

Global Imbalance, in %: 0.0001 % -0.0014 % -0.0085 %

Normal Force On Walls

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
body	3.3756E+03	2.0978E+00	2.8172E+02
free	-6.8538E-07	1.3169E-06	1.5279E+02

Tangential Force On Walls

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
body	9.3424E+00	6.2015E-03	-1.0524E-01
free	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

Normal Moment On Walls

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
body	-4.3961E+01	3.2365E+04	-1.0373E+00
free	1.2097E+00	1.7057E+03	-2.4696E-06

Tangential Moment On Walls

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
body	-5.0024E-02	8.7229E+01	1.3364E-03
free	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

Locations of maximum residuals

Equation	Node #	X	Y	Z
U - Mom	5915	-1.531E+00	-6.157E-02	-3.383E-08
V - Mom	5915	-1.531E+00	-6.157E-02	-3.383E-08
W - Mom	16156	1.078E+00	3.103E-03	1.230E+01
P - Mass	5131	3.812E-01	-2.587E-01	1.162E+01
K-TurbKE	5053	3.812E-01	2.011E-01	1.288E+01
E-Diss.K	5054	3.812E-01	-1.718E-01	1.289E+01

Peak Values of residuals

Equation	Peak occur at loop #	Peak Residual	Final Residual
U - Mom	1	1.76223E+01	9.56144E-05
V - Mom	2	1.14128E-02	2.34721E-05
W - Mom	3	2.74396E-02	1.99405E-05
P - Mass	1	1.42300E-01	3.17324E-06
K-TurbKE	6	1.71962E-02	6.51980E-04
E-Diss.K	6	2.42107E-02	7.23822E-04

Average Scale Information

```

Global Length Scale      :          6.377E+00
Density Scale           :          1.000E+03
Dynamic Viscosity Scale :          1.752E-03
Convection Time Scale   :          8.401E+00
Reynolds Number        :          2.762E+06
Velocity Scale          :          7.591E-01
Prandtl Number         :          1.752E-03
Thermal Conductivity Scale :          1.000E+00
Thermal Diffusivity Scale :          1.000E+00

```

```

-----+
y+ information (min, max, average) |
-----+

```

Face set name	min y+	max y+	ave y+
body	6.82E+01	1.39E+03	3.19E+02

```

-----+
CPU Requirements of Numerical Solution |
-----+

```

Equation Type	Discretization		Linear Solution	
	(secs.	%total)	(secs.	%total)
Momentum-Mass	1.73E+03	51.7 %	5.67E+02	17.0 %
Scalars	5.86E+02	17.5 %	4.63E+02	13.8 %

Lampiran E:
Hasil Out-put Nastran

Hasil Running Pile Silinder dengan MSC/NASTRAN

Analysis Type = Static

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 47)
Maximum Node ID = 14 Value = 0.789
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 2 - T1 Translation (Model Vector 7)
Maximum Node ID = 14 Value = 0.789
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3 - T2 Translation (Model Vector 8)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 4 - T3 Translation (Model Vector 9)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 48)
Maximum Node ID = 14 Value = 0.083068
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 6 - R1 Rotation (Model Vector 10)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 7 - R2 Rotation (Model Vector 11)
Maximum Node ID = 14 Value = 0.083068
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 8 - R3 Rotation (Model Vector 12)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 41 - Total Applied Force (Model Vector 49)
Maximum Node ID = 13 Value = 35.3618
Minimum Node ID = 1 Value = 0.070574
Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 42 - T1 Applied Force (Model Vector 41)
Maximum Node ID = 13 Value = 35.3618
Minimum Node ID = 1 Value = 0.070574

Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 43 - T2 Applied Force (Model Vector 42)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 44 - T3 Applied Force (Model Vector 43)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 45 - Total Applied Moment (Model Vector 50)
Maximum Node ID = 14 Value = 3.01095
Minimum Node ID = 1 Value = 0.017287
Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 46 - R1 Applied Moment (Model Vector 44)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 47 - R2 Applied Moment (Model Vector 45)
Maximum Node ID = 11 Value = 0.4682
Minimum Node ID = 14 Value = -3.01095
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 48 - R3 Applied Moment (Model Vector 46)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 51 - Total Constraint Force (Model Vector 51)
Maximum Node ID = 1 Value = 193.977
Minimum Node ID = 2 Value = 0.
Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 52 - T1 Constraint Force (Model Vector 1)
Maximum Node ID = 2 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = -193.977
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 53 - T2 Constraint Force (Model Vector 2)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 54 - T3 Constraint Force (Model Vector 3)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 55 - Total Constraint Moment (Model Vector 52)

Maximum Node ID = 1 Value = 1853.97
Minimum Node ID = 2 Value = 0.
Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 56 - R1 Constraint Moment (Model Vector 4)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 57 - R2 Constraint Moment (Model Vector 5)
Maximum Node ID = 2 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = -1853.97
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 58 - R3 Constraint Moment (Model Vector 6)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 13)
Maximum Element ID = 1 Value = 1853.97
Minimum Element ID = 13 Value = 18.1267
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 14)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 20)
Maximum Element ID = 1 Value = 1660.06
Minimum Element ID = 13 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 21)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 15)
Maximum Element ID = 1 Value = 193.977
Minimum Element ID = 13 Value = 36.115
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 16)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 22)
Maximum Element ID = 1 Value = 193.761
Minimum Element ID = 13 Value = 0.



Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pt2 Shear Force (Model Vector 23)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 17)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 24)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 18)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 25)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3026 - Beam EndA Warping Torque (Model Vector 19)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3027 - Beam EndB Warping Torque (Model Vector 26)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress (Model Vector 27)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3140 - Beam EndA Pt2 Comb Stress (Model Vector 28)
Maximum Element ID = 13 Value = -1752.67
Minimum Element ID = 1 Value = -179261.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3141 - Beam EndA Pt3 Comb Stress (Model Vector 29)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3142 - Beam EndA Pt4 Comb Stress (Model Vector 30)
Maximum Element ID = 1 Value = 179261.
Minimum Element ID = 13 Value = 1752.67
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3151 - Beam EndB Pt1 Comb Stress (Model Vector 35)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3152 - Beam EndB Pt2 Comb Stress (Model Vector 36)
Maximum Element ID = 13 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = -160512.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3153 - Beam EndB Pt3 Comb Stress (Model Vector 37)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3154 - Beam EndB Pt4 Comb Stress (Model Vector 38)
Maximum Element ID = 1 Value = 160512.
Minimum Element ID = 13 Value = 0.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3164 - Beam EndA Max Comb Stress (Model Vector 31)
Maximum Element ID = 1 Value = 179261.
Minimum Element ID = 13 Value = 1752.67
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3165 - Beam EndA Min Comb Stress (Model Vector 32)
Maximum Element ID = 13 Value = -1752.67
Minimum Element ID = 1 Value = -179261.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3166 - Beam EndB Max Comb Stress (Model Vector 39)
Maximum Element ID = 1 Value = 160512.
Minimum Element ID = 13 Value = 0.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3167 - Beam EndB Min Comb Stress (Model Vector 40)
Maximum Element ID = 13 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = -160512.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3168 - Beam Tension M.S. (Model Vector 33)
Maximum Element ID = 13 Value = 121.67
Minimum Element ID = 1 Value = 0.19937
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3169 - Beam Compression M.S. (Model Vector 34)
Maximum Element ID = 13 Value = 135.934

Minimum Element ID = 1 Value = 0.33883
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary

Maximum Value 0.789 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value 0. Output Vector 1 - Total Translation

Force Summary

Maximum Value 1853.97 Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment
Minimum Value -1853.97 Output Vector 57 - R2 Constraint Moment

Stress Summary

Maximum Value 179261. Output Vector 3142 - Beam EndA Pt4 Comb
ress
Minimum Value -179261. Output Vector 3140 - Beam EndA Pt2 Comb
ress

Hasil Running Pile Kotak dari MSc Nastran

Analysis Type = Static Value = 0.

Output Vector 1 - Total Translation	(Model Vector 47)
Maximum Node ID = 14	Value = 4.17061
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 2 - T1 Translation	(Model Vector 7)
Maximum Node ID = 14	Value = 4.17061
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3 - T2 Translation	(Model Vector 8)
Maximum Node ID = 1	Value = 0.
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 4 - T3 Translation	(Model Vector 9)
Maximum Node ID = 1	Value = 0.
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 5 - Total Rotation	(Model Vector 48)
Maximum Node ID = 14	Value = 0.44322
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 6 - R1 Rotation	(Model Vector 10)
Maximum Node ID = 1	Value = 0.
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 7 - R2 Rotation	(Model Vector 11)
Maximum Node ID = 14	Value = 0.44322
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 8 - R3 Rotation	(Model Vector 12)
Maximum Node ID = 1	Value = 0.
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Displacement Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 41 - Total Applied Force	(Model Vector 49)
Maximum Node ID = 13	Value = 37.5022
Minimum Node ID = 1	Value = 0.084619
Type = Force Calc = Y	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 42 - T1 Applied Force	(Model Vector 41)
Maximum Node ID = 13	Value = 37.5022
Minimum Node ID = 1	Value = 0.084619
Type = Force Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 43 - T2 Applied Force	(Model Vector 42)
Maximum Node ID = 1	Value = 0.
Minimum Node ID = 1	Value = 0.
Type = Force Calc = N	Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 44 - T3 Applied Force	(Model Vector 43)

Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 45	- Total Applied Moment (Model Vector 50)			
Maximum	Node ID = 14	Value = 3.56035		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.020268		
Type = Force		Calc = Y	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 46	- R1 Applied Moment (Model Vector 44)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 47	- R2 Applied Moment (Model Vector 45)			
Maximum	Node ID = 13	Value = 0.66818		
Minimum	Node ID = 14	Value = -3.56035		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 48	- R3 Applied Moment (Model Vector 46)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 51	- Total Constraint Force (Model Vector 51)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 193.879		
Minimum	Node ID = 2	Value = 0.		
Type = Force		Calc = Y	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 52	- T1 Constraint Force (Model Vector 1)			
Maximum	Node ID = 2	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = -193.879		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 53	- T2 Constraint Force (Model Vector 2)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 54	- T3 Constraint Force (Model Vector 3)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 55	- Total Constraint Moment (Model Vector 52)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 1874.44		
Minimum	Node ID = 2	Value = 0.		
Type = Force		Calc = Y	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 56	- R1 Constraint Moment (Model Vector 4)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 57	- R2 Constraint Moment (Model Vector 5)			
Maximum	Node ID = 2	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = -1874.44		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 58	- R3 Constraint Moment (Model Vector 6)			
Maximum	Node ID = 1	Value = 0.		
Minimum	Node ID = 1	Value = 0.		
Type = Force		Calc = N	Component Dir = Y	Centroid = Y
Output Vector 3014	- Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 13)			

Maximum Element ID = 1 Value = 1874.44
Minimum Element ID = 13 Value = 22.06
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 14)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 20)
Maximum Element ID = 1 Value = 1680.65
Minimum Element ID = 13 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 21)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 15)
Maximum Element ID = 1 Value = 193.879
Minimum Element ID = 13 Value = 42.28
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 16)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 22)
Maximum Element ID = 1 Value = 193.614
Minimum Element ID = 13 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 23)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 17)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 24)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 18)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 25)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3026 - Beam EndA Warping Torque (Model Vector 19)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3027 - Beam EndB Warping Torque (Model Vector 26)

Maximum Element ID = 1 Value = 0.
 Minimum Element ID = 1 Value = 0.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress (Model Vector 27)
 Maximum Element ID = 1 Value = 471816.
 Minimum Element ID = 13 Value = 5552.72
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3140 - Beam EndA Pt2 Comb Stress (Model Vector 28)
 Maximum Element ID = 13 Value = -5552.72
 Minimum Element ID = 1 Value = -471816.
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3141 - Beam EndA Pt3 Comb Stress (Model Vector 29)
 Maximum Element ID = 13 Value = -5552.72
 Minimum Element ID = 1 Value = -471816.
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3142 - Beam EndA Pt4 Comb Stress (Model Vector 30)
 Maximum Element ID = 1 Value = 471816.
 Minimum Element ID = 13 Value = 5552.72
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3151 - Beam EndB Pt1 Comb Stress (Model Vector 35)
 Maximum Element ID = 1 Value = 423037.
 Minimum Element ID = 13 Value = 0.
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3152 - Beam EndB Pt2 Comb Stress (Model Vector 36)
 Maximum Element ID = 13 Value = 0.
 Minimum Element ID = 1 Value = -423037.
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3153 - Beam EndB Pt3 Comb Stress (Model Vector 37)
 Maximum Element ID = 13 Value = 0.
 Minimum Element ID = 1 Value = -423037.
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3154 - Beam EndB Pt4 Comb Stress (Model Vector 38)
 Maximum Element ID = 1 Value = 423037.
 Minimum Element ID = 13 Value = 0.
 Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3164 - Beam EndA Max Comb Stress (Model Vector 31)
 Maximum Element ID = 1 Value = 471816.
 Minimum Element ID = 13 Value = 5552.72
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3165 - Beam EndA Min Comb Stress (Model Vector 32)
 Maximum Element ID = 13 Value = -5552.72
 Minimum Element ID = 1 Value = -471816.
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3166 - Beam EndB Max Comb Stress (Model Vector 39)
 Maximum Element ID = 1 Value = 423037.
 Minimum Element ID = 13 Value = 0.
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3167 - Beam EndB Min Comb Stress (Model Vector 40)
 Maximum Element ID = 13 Value = 0.
 Minimum Element ID = 1 Value = -423037.
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3168 - Beam Tension M.S. (Model Vector 33)
 Maximum Element ID = 13 Value = 37.7197
 Minimum Element ID = 1 Value = -0.54431
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Output Vector 3169 - Beam Compression M.S. (Model Vector 34)
 Maximum Element ID = 13 Value = 42.222
 Minimum Element ID = 1 Value = -0.49133
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary

Maximum Value	4.17061	Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value	0.	Output Vector 1 - Total Translation
Force Summary		
Maximum Value	1874.44	Output Vector 55 - Total Constraint
Minimum Value	-1874.44	Output Vector 57 - R2 Constraint Moment
Stress Summary		
Maximum Value	471816.	Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb
Minimum Value	-471816.	Output Vector 3140 - Beam EndA Pt2 Comb



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS – Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax. 5928105, 5994251 Psw. 1104 – 1105.

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Chairul Anam
NOMOR POKOK : 4395.100.040
DOSEN PEMBIMBING I : Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
TUGAS DIMULAI : 26 Januari 2000
TUGAS SELESAI :
JUDUL TUGAS AKHIR : Studi Perhitungan Beban Gelombang pada
Struktur Tiang Pancang (Pile Struktur)
Menggunakan Konsep CFD dan Finite Element
Analysis

No.	Tanggal	Konsultasi Mengenai	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1		1. signifikansi gelombang → rona → not → gelombang	
2		2. kualitas air	
3		- nama bahan dan sifat	
4		- bahan 2 gelombang dalam Bab IV.	
5		- Koneksi	
6		- struktur	
7		- fluida	
8		- distribusi dan koneksi	
9		- absudasi gelombang	
10			

Catatan : Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax 5928105, 5994251 Psw. 1104-1105

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Chairul Anam
NOMOR POKOK : 4395 100 040
DOSEN PEMBIMBING II : Dr. Ir. I. K. A. Pria Utama, MSc.
TUGAS DIMULAI : 26 Januari 2000
TUGAS DISELESAIKAN :
JUDUL TUGAS AKHIR :

Studi Perhitungan Beban Gelombang pada Struktur Tiang Pancang (Pile Struktur) Menggunakan Konsep CFD dan Finite Element Analysis

No	Tanggal	Konsultasi Mengenai	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1	7/2/2000	Penjelasan tentang konsep CFD	
2	21/2/2000	Pengenalan dan latihan awal software CFX	
3	13/3/2000	Pembuatan geometry sld tahap penentuan titik ² hubung	
4	6/4/2000	Penentuan Boundary Conditions	
5	24/4/2000	Pembuatan grid cells/meshing	
6	8/5/2000	Pembuatan input file maknatis	
7	17/5/2000	check kenyamanan hasil untuk pile s.linder	
8	25/5/2000	Visualisasi hasil dengan cfx-visualise	
9	14/6/2000	Modelling dan analisa pile berbentuk kotak	
10	3/7/2000	check dead load perpan 771	

Catatan: Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir.



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp.5928105, 5994251-5 Psw. 1104-7 Telex 34224 Fax 5947254

TUGAS AKHIR (OE.1701)

No. 046/K03.4.4/PP/2000

MATA KULIAH	:	TUGAS AKHIR
NOMOR MATA KULIAH	:	OE.1701
NAMA MAHASISWA	:	Chairul Anam
NOMOR POKOK	:	4395100040
TGL.DIBERIKAN TUGAS	:	26 Januari 2000
TGL.SELESAINYA TUGAS	:	26 Juni 2000
DOSEN PEMBIMBING	:	1. Dr.Ir. Daniel M Rosyid 2. Dr.Ir. I.K. Ariya Priya Utama,MSc

THEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN/JUDUL TUGAS AKHIR :

**STUDI PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG PADA STRUKTUR TIANG PANCANG
(PILE STRUCTURE) MENGGUNAKAN KONSEP CFD DAN FINITE ELEMEN ANALYSIS**

Surabaya, 26 Januari 2000

Ketua Jurusan ;

Dr.Ir. P. Indiyono,MSc
NIP. 131 453 680

DIBUAT RANGKAP 4 :

- 1. Mahasiswa ybs.**
- 2. Dekan FTK-ITS**
- 3. Dosen Pembimbing I**
- 4. Dosen Pembimbing II**
- 5. Arsip Jurusan**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus TE, Sebelah Utara, Surabaya 60111 Telp. 59172411-172411 Fax. 59172411-172411

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa

Nama : Chairul Anam
NRP : 4395100040
Judul TA : Studi Perhitungan Beban Gelombang pada Struktur Tiang Pancang. Menggunakan Konsep CFD dan Finite Element Method.

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi
- Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini
- Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan
- Masa Studi yang tersisa

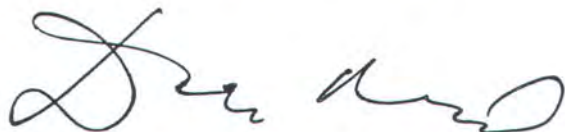
Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diproseskan sebagai :

- Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru.
- Diperkenankan menyelesaikan tanpa pers. bahan
- Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan judul tetap/~~berubah~~ :

Studi Perhitungan Beban Gelombang pada Struktur Tiang Pancang Menggunakan Konsep CFD dan Finite Element Method

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk Wisuda ... 19

Surabaya, 7/7/2020
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Daniel M. Rosyid