

17.898/H/03

PERPUSTAKAAN  
ITS

TUGAS AKHIR  
(KL 1702)

OPTIMASI BERBASIS KEANDALAN PONDASI TIANG  
PANCANG MENGGUNAKAN METODE METAHEURISTICS



RSKe  
624.154  
Mar  
0-1  

---

2002

Disusun Oleh :

MARTHUNIS  
NRP. 4395 100 014

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	207-07-2002
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	216 026

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



## PERSEMBAHAN

*Tugas Akhir ini kupersembahkan  
kepada:*

*Ibundaku dan Ayahandaku tercinta:  
Dahlia Muaz dan Muhammad Razali*

*Kakak dan Adik tersayang:  
Miksalmina Muhammad  
Masna Muhammad  
Manizb Zahah Muhammad  
Mulki Adli Muhammad  
Muda Mubarak Muhammad*

*Masa Depan Ku*



**DAFTAR GAMBAR**

Halaman

Gambar 2.1. End Bearing Pile (Das,1984).....	II - 4
Gambar 2.2. Friction Bearing Pile (Das,1984).....	II - 6
Gambar 2.3. Harga terdistribusi beban-kekuatan (O'Connor, 1991).....	II- 12
Gambar 2.4. Diagram interferensi beban-kekuatan (O'Connor, 1991).....	II-12
Gambar 2.5. Beberapa tipe distribusi kemungkinan.....	II-15
Gambar 2.6. Diagram Alir Simulasi Monte Carlo.....	II-16
Gambar 2.7. Diagram Alir Perangkat lunak OptQuest.....	II-20

## **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

**BAB I****PENDAHULUAN****I.1. Latar Belakang Masalah**

Hampir semua struktur rekayasa sipil – gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, dinding, menara, kanal, dan bendungan- harus diletakkan di dalam atau di atas tanah. Untuk dapat berfungsi sebagaimana adanya, tiap struktur harus mempunyai pondasi yang kuat, (William dan Whitman, 1969)

Walaupun teori rekayasa pondasi telah berkembang pesat, tetapi masih terdapat banyak ketidakpastian – ketidakpastian (*uncertainties*) akibat kesenjangan pada pemahaman kita. *Uncertainties* yang terbesar adalah akibat keterbatasan pengetahuan kita terhadap kondisi tanah pada pondasi tanah pada atau di sekitar pondasi. keterbatasan pemahaman tentang interaksi antara pondasi dan tanah juga dapat menyebabkan *uncertainties*.

Karena banyak *uncertainties* yang terdapat pada analisa dan desain pondasi, para insinyur pondasi dituntut untuk mengembangkan desain pondasi yang *reliable* sekaligus ekonomis. Oleh karena itu para insinyur sering mengkompensasikan ketidakpastian yang ada dengan menggunakan sebuah faktor keamanan. (Cuduto, 1994)

Secara tradisional, penentuan faktor keamanan pada desain pondasi dilakukan secara intuitif tanpa ada akuntabilitas ilmiah yang dapat diterima. Pemberian faktor keamanan yang terlalu besar akan menyebabkan desain pondasi ‘aman’ namun tidak layak secara ekonomis. Sebaliknya, pemberian faktor keamanan yang terlalu kecil akan menyebabkan keruntuhan dari struktur tersebut.

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN  
TEORI**

**BAB II****TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI****II.1. Tinjauan Pustaka**

Tujuan dari optimasi struktur adalah untuk memperoleh desain yang sebaik mungkin. Konsep deterministik menginterpretasikannya bahwa fungsi tujuan, kondisi pembebahan, persyaratan desain, moda kegagalan dan perubah desain diolah dengan cara-cara non statistik. Malah diasumsikan bahwa peraturan-peraturan desain sudah cukup memberikan jaminan keamanan -dalam bentuk faktor keamanan- terhadap berbagai kegagalan.

Dalam merancang pondasi untuk memikul struktur dan perlengkapannya, kapasitas di tempat (*insitu*) dari lapisan bawah dan/atau batuan harus ditentukan. Tentu saja penentuan ini harus dilakukan berdasarkan informasi geologis yang tersedia dan data lapangan dari penyelidikan sampling tanah yang terbatas.

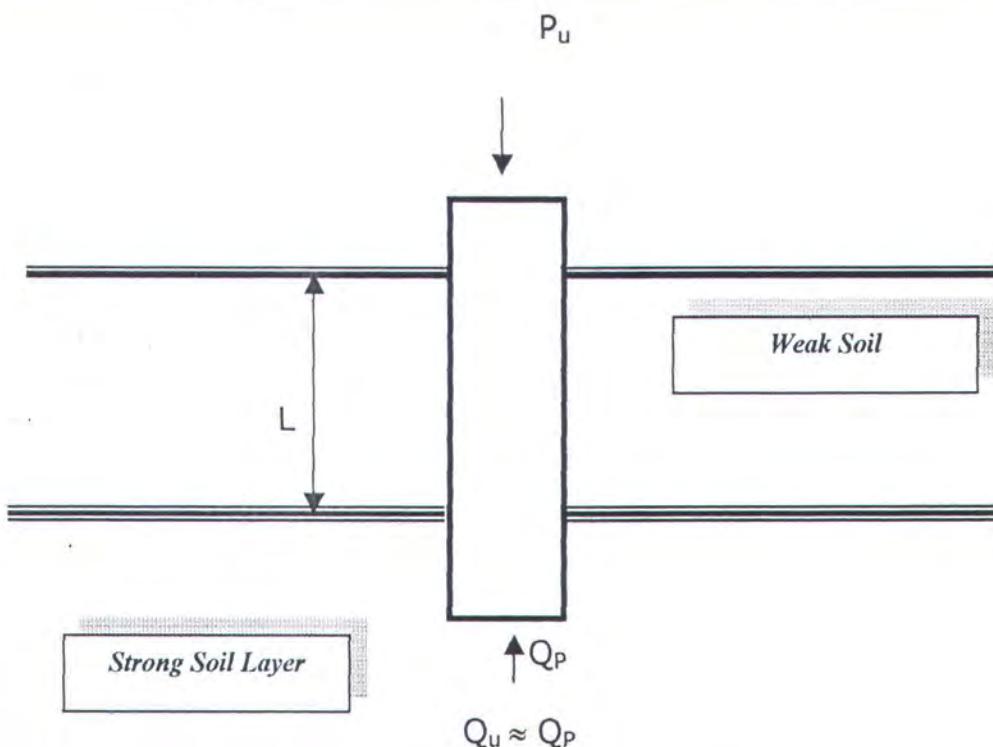
Karena heterogenitas dan ketidakberaturan dari lapisan tanah dan batuan, maka kapasitas tanah dasar akan sangat bervariasi pada keseluruhan pondasi; lagi pula, oleh karena kapasitas daya dukung yang disyaratkan harus ditaksir berdasarkan informasi yang sangat terbatas, penaksiran semacam ini akan meliputi ketidakpastian. Sebagai akibatnya, suatu taksiran boleh jadi mempunyai resiko menaksir terlalu tinggi kapasitas kapasitas tanah yang sebenarnya di lapangan; berdasarkan kenyataan diatas ini, keamanan pondasi yang dirancang berdasarkan taksiran seperti ini mungkin tidak bisa dipastikan dengan 100% keyakinan. Dilain pihak, cadangan keamanan yang berlebihan akan menghasilkan sistem pondasi yang sangat mahal. Dengan demikian cadangan keamanan yang



2. Untuk menahan gaya desakan ke atas, atau gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah di bidang batas air jenuh atau untuk menopang kaki menara terhadap guling.
3. Memampatkan endapan-endapan tak berkohesi yang bebas lepas melalui kombinasi perpindahan isi tiang pancang dan getaran dorongan. Tiang pancang ini dapat ditarik keluar kemudian.
4. Mengontrol penurunan kaki yang tersebar atau telapak berada pada tanah atau didasari oleh sebuah lapisan yang kemampatannya tinggi.
5. Membuat tanah di bawah pondasi mesin menjadi kaku untuk mengontrol amplitudo getaran dan frekuensi alamiah dari sistem tersebut.
6. Sebagai faktor keamanan tambahan dibawah tumpuan jemabatan dan/atau *pier*, khususnya jika erosi merupalkan persoalan potensial.
7. Dalam konstruksi lepas pantai untuk meneruskan beban – beban diatas permukaan air melalui air dan ke dalam tanah yang mendasari air tersebut. Hal seperti ini adalah mengenai tiang pancang yang ditanamkan sebagian dan yang terpengaruh baik oleh beban vertikal (dan tekuk) maupun beban lateral (Bowles, 1991)

#### II.2.1.1. End Bearing Pile

End bearing pile adalah tiang pancang yang tertahan pada ujungnya. Tiang pancang yang dihitung berdasarkan pada tahanan ujung ini dirancang sampai pada lapisan tanah keras, yang mampu memikul beban yang diterima oleh tiang pancang tersebut. (Lihat gambar 2.1)

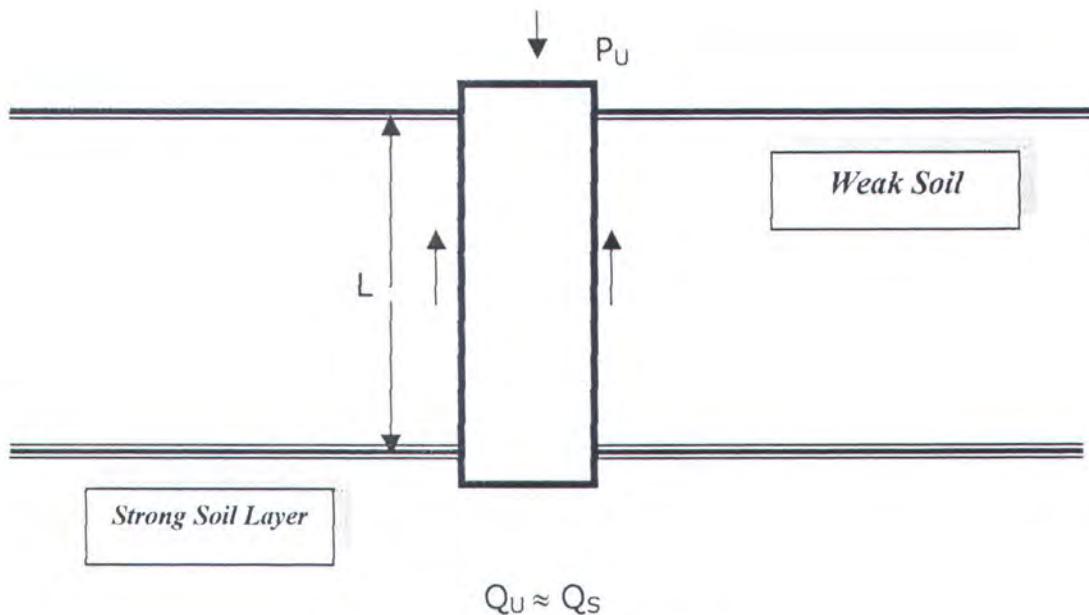


Gambar.2.1. End Bearing Pile (Das,1984)

Lapisan tanah keras ini dapat merupakan lempung keras sampai pada batubatuhan tetap yang sangat keras.

1. Bila lapisan tanah keras tersebut terdiri dari batuan keras, maka penentuan daya dukung tiang tidak akan menjadi soal. Dalam hal ini daya dukung tiang akan tergantung pada kekuatan bahan tiang itu sendiri.
2. Bila lapisan tanah keras tersebut terdiri dari pasir, maka daya dukung tiang pancang tersebut akan sangat tergantung pada sifat-sifat lapisan pasir tersebut terutama mengenai kepadatan lapisan pasir tersebut.

Untuk menaksir gaya perlawanan lapisan tanah keras tersebut terhadap ujung tiang, cara yang banyak dilakukan di Indonesia, Belanda maupun negara-negara Eropa ialah dengan alat sondir. Dengan alat sondir, kita dapat



Gambar.2.2. Friction Pile (Das,1984)

### II.2.1.3. Persamaan-Persamaan Perhitungan Kapasitas Tiang Pancang

Kapasitas beban ultimat dari sebuah tiang pancang dapat diberikan oleh persamaan sederhana yang merupakan jumlah dari beban pada ujung tiang pancang dan total resistensi friksi atau gesekan kulit yang didapat dari perkenaan tanah dan dinding tiang pancang, atau

$$Q_U = Q_p + Q_s \quad (2.1)$$

Dimana :

$Q_U$  = kapasitas beban ultimat.

$Q_p$  = kapasitas daya dukung pada ujung tiang pancang.

$Q_s$  = tahanan gesek antara tanah dan kulit tiang bagian dalam dan luar.

Untuk pondasi *open-end pile* atau soil plug, ada dua kondisi yang mungkin terjadi padanya yaitu kondisi *plugged* dan *unplugged*.



Konsep probabilitas yang dikemukakan dalam hal ini adalah sebagaimana yang tercantum pada point 2.

Setiap kejadian mempunyai peluang terjadinya kejadian yang dapat dimasukkan kedalam ring antara 0 dan 1. Jika peluang terjadinya suatu kejadian sama dengan nol artinya kejadian tersebut tidak akan pernah berlangsung. Sebaliknya, bila peluang terjadinya sama dengan satu artinya kejadian tersebut pasti berlangsung.

Jika selama  $N$  kali percobaan terjadi  $n$  kali mengalami kerusakan, maka peluang terjadinya kerusakan dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$Pg' = \frac{n}{N}$$

dimana  $Pg'$  adalah peluang terjadinya kegagalan yang merupakan nilai estimasi dan bukan merupakan nilai yang benar (*exact*). Nilai pasti dari peluang tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Pg = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$$

sedangkan peluang keberhasilannya (keandalannya) dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$R = 1 - Pg$$

#### II.2.2.2. Konsep Ketidakpastian

Di dalam suatu proses rekayasa suatu sistem, kerap kali dilakukan pengambilan keputusan tanpa memandang kelengkapan atau mutu informasi yang tersedia. Dengan demikian suatu keputusan biasanya diambil pada keadaan yang tidak pasti, dalam pengertian bahwa konsekuensi suatu keputusan tidak dapat



Merupakan ketidak pastian yang berhubungan dengan variabilitas fisik, seperti besaran-besaran beban, sifat dan dimensi material. Keseragaman fisik ini bisa dinyatakan dalam data sample, dengan pertimbangan praktis dan ekonomis, dan dapat dikurangi dengan penerapan teknik pengendalian mutu atau operasi.

### 2. Ketidakpastian Statistik.

Merupakan ketidakpastian yang berhubungan data yang dipakai untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik diatas, seperti rentang, harga rata-rata maupun simpangan baku. Data tersebut harus ditentukan jenis distribusi probabilitasnya serta harga parameter-parameterternya. Parameter-parameter tersebut sengan sendirinya dapat dianggap sebagai peubah acak. Ketidakpastian statistik ini dapat dikurangi dengan memperbesar jumlah sampel besaran.

### 3. ketidakpastian Model

merupakan ketidakpastian yang ditimbulkan oleh hubungan antara berbagai besaran dalam sebuah gejala yang umumnya dapat dipahami melalui sebuah model tertentu yang bisa dianggap mewakili gejala tersebut. Dalam menyusunkan model hubungan ini dipakai berbagai anggaran yang dapat dinyatakan secara implisit pada umumnya merupakan penyederhanaan dari interaksi yang sebenarnya terjadi dalam gejala tadi.

#### **II.2.2.3. Diagram Interferensi**

Hubungan antara beban dan kekuatan sangat penting dalam rekayasa keandalan. Biasanya, kegagalan terjadi jika beban melampaui kekuatan.



#### II.2.2.4. Fungsi Kinerja

Fungsi kinerja sistem (FK) adalah sebuah fungsi yang menyatakan moda kegagalan yang hendak dihindari (atau diperkirakan peluang terjadinya) dalam perubah-perubah ( $X$ ) yang mengatur moda kegagalan tersebut. Dari sekian banyak perubah tersebut, tidak semuanya wajar disebut sebagai perubah acak. Dengan kata lain, hanya beberapa saja dari perubah-perubah tersebut yang memiliki ketidakpastian yang cukup besar sehingga lebih wajar jika diperlakukan sebagai perubah acak dengan fungsi kerapatan peluang (fkp) tertentu. Perubah-perubah tersebut selanjutnya disebut sebagai perubah dasar (*basic variables*) dalam fungsi kinerja sistem.

$$FK(X) = FK(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Kasus paling sederhana adalah apabila fungsi kinerja sistem  $FK(X)$  merupakan fungsi linier dari  $X$ , sebagai berikut (Rosyid,1996)

$$FK(X) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

dimana :

$a_i$  = konstanta;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$X_i$  = perubah-perubah dasar dengan fkp noemal gaussian.

Apabila asumsi normal gaussian tersebut shahih dan semua  $X_i$  tidak mempunyai korelasi, maka  $FK(X)$  akan juga normal gaussian, dengan harga rata-rata dan simpangan baku sebagai berikut : (Rosyid,1996)

$$\mu_{FK} = a_0 + a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + \dots + a_n\mu_n$$



$$\sigma_{FK}^2 = a_1\sigma_1 + a_2\sigma_2 + \dots + a_n\sigma_n$$

dimana :

$\mu_i$  = harga rata-rata dari  $X_i$

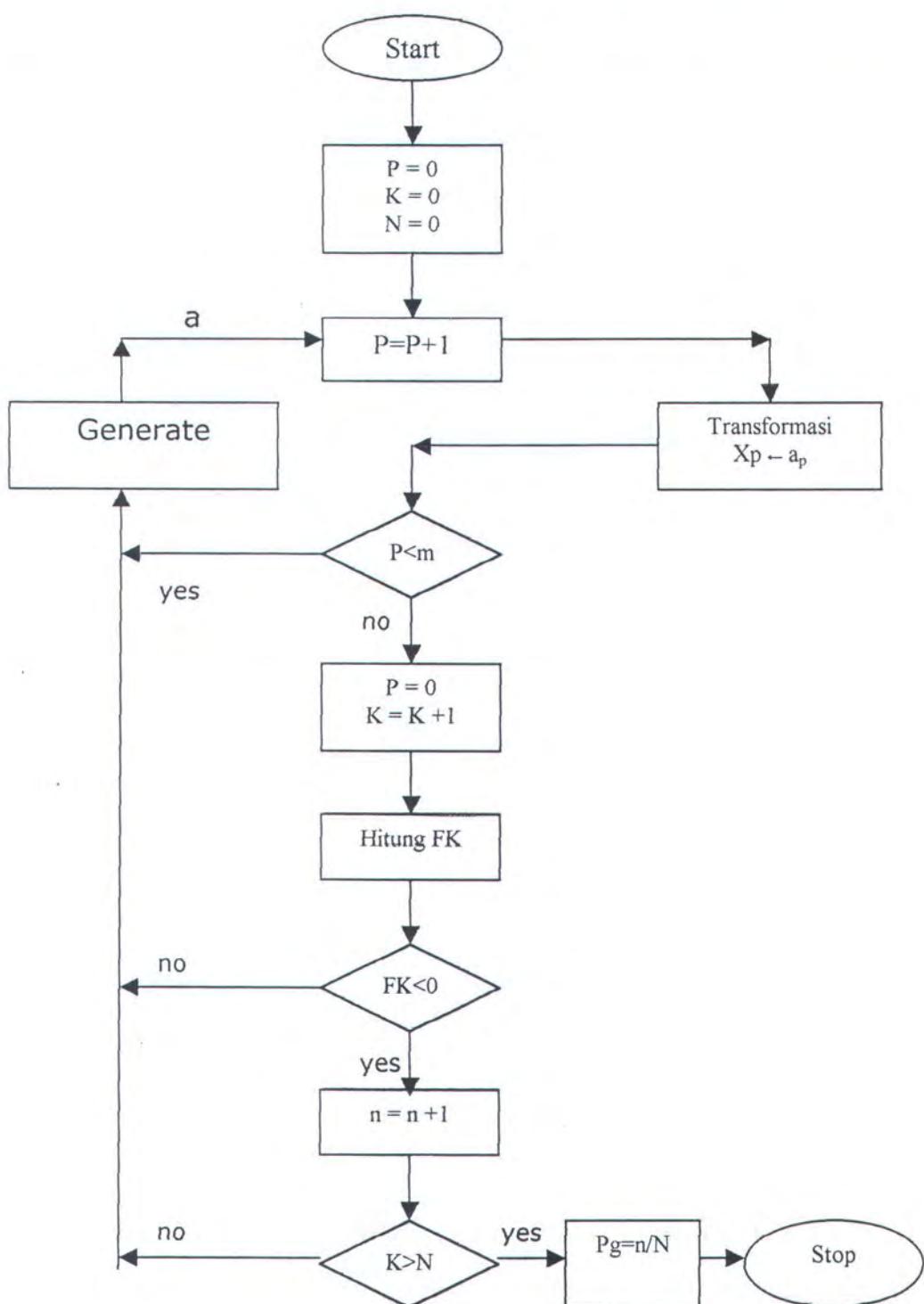
$\sigma_i$  = harga simpangan rata-rata dari  $X_i$

#### II.2.2.5. Simulasi Monte Carlo

Simulasi adalah semua metode analitis yang dimaksudkan untuk meniru sebuah sistem nyata, terutama ketika analisa lainnya terlalu kompleks secara matematis. Simulasi Monte Carlo dinamakan berdasarkan sebuah kota di Monaco dimana penarik utama kota tersebut adalah judi kasino yang juga berarti permainan peruntungan. Permainan ini, seperti meja rolet, dadu dan mesin binggo, menunjukkan sebuah perilaku acak.

Perilaku acak dalam permainan ini sama dengan bagaimana simulasi Monte Carlo memilih nilai variable secara acak untuk mensimulasi sebuah model. Ketika sebuah dadu digulirkan, ada enam angka yang akan keluar. Tetapi angka yang mana yang akan keluar kita tidak tahu pasti. Hal ini juga sama dengan variabel yang mempunyai rentang nilai tertentu namun juga mempunyai nilai ketidakpastian untuk tiap kejadian.

Untuk masing-masing variable, rentang solusi atau nilai didefinisikan dengan sebuah distribusi probabilitas. Tipe distribusi ini dipilih berdasarkan kondisi yang melingkupi variable tersebut (Crystal Ball Manual 2001).



Gambar 2.6. Diagram Alir Simulasi Monte Carlo



komponen *redundant* pada sistem seri dan/atau paralel dan bahwa tersedianya alternatif. Optimasi berkonsentrasi pada alokasi optimal dari komponen *redundant* dan pemilihan optial alternatif-alternatif desain untuk memenuhi persyaratan sebuah sistem. (Gen & Cheng,1997)

### II.2.3.1. Perumusan Fungsi Optimasi

Minimize.  $F(C_r) = C_{material} + C_{driving}$

Subject to ;

$$P(s) \geq P(s)_{min} \Rightarrow \text{Reliability Index}$$

$$d \leq d_{max} \Rightarrow \text{Diameter of Pile}$$

$$t \leq t_{max} \Rightarrow \text{Thickness of Pile}$$

$$l \leq l_{max} \Rightarrow \text{Length of Pile}$$

### II.2.4. Perangkat Lunak OptQuest

Metode pencarian tradisional yang ada sekarang (seperti Excel Solver) hanya efektif dalam menemukan solusi-solusi lokal disekitar titik awal yang telah ditentukan dengan data model yang sebelumnya sudah diketahui secara pasti. Metode ini tidak efektif bahkan gagal ketika mencari solusi-solusi global dari persoalan yang dihadapi dalam dunia nyata dimana persoalan tersebut mempunyai jumlah ketidakpastian yang besar. Perkembangan terbaru dari optimasi telah menghasilkan metode pencarian yang efesien dalam mencari solusi terhadap personal kompleks yang melibatkan banyak banyak elemen ketidak pastian (OptQuest Manual, 2001)

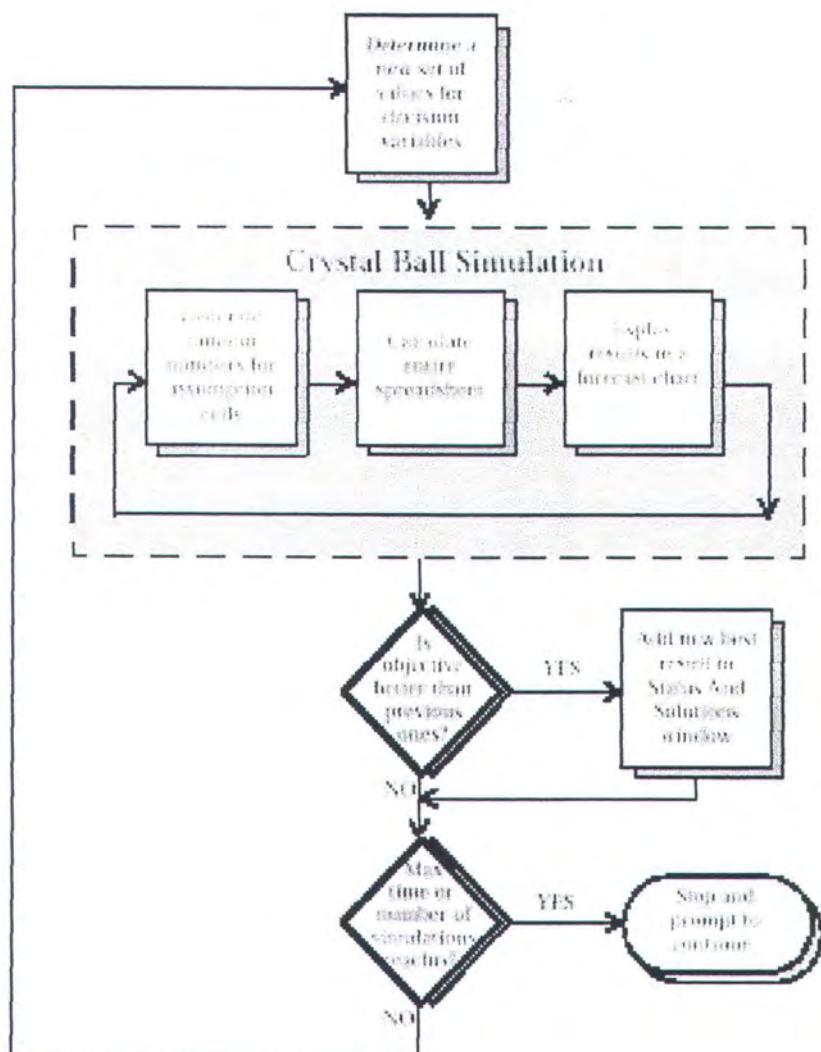


OptQuest menggunakan *metaheuristics* – sebuah pendekatan optimasi yang menggabungkan beberapa metode seperti *genetic algorithms*, *simulated annealing*, *tabu search*, *scatter search* dan bentuk-bentuk hibridnya- untuk memandu algoritma pencarinya hingga menemukan solusi-solusi yang lebih handal. Pendekatan ini menggunakan suatu memori adaptasi (*adaptive memory*) untuk mengingat solusi-solusi handal dan mengawinkan solusi tersebut sehingga tercapai solusi terbaik. Karena teknik ini tidak menggunakan pendekatan naik gunung (*hill climbing approach*) seperti yang digunakan oleh metode-metode pencarian tradisional, ia tidak terperangkap pada solusi-solusi lokal dan tidak bingung oleh ketidakpastian data model.

Setelah permasalahan optimasi ditetapkan (dengan memilih variable keputusan dan menetukan tujuan serta membubuhkan beberapa kendala atau persyaratan tertentu), OptQuest menggunakan Crystal Ball (perangkat lunak untuk simulasi) untuk mengevaluasi berbagai nilai variabel keputusan dari model simulasi tersebut. OptQuest mengevaluasi keluaran statistik dari model simulasi, menganalisa dan mengintegrasikan output tersebut dengan output dari proses simulasi sebelumnya dan akhirnya menetukan serangkaian nilai untuk dievaluasi. Pencarian OptQuest adalah sebuah proses iterasi yang menghasilkan nilai-nilai baru secara berulang. Tidak semua harga yang diproleh akan menghasilkan tujuan yang lebih baik, tapi proses ini memberikan trayektori yang sangat efisien dalam menemukan solusi optimal.

Poses pencarian ini berlanjut sampai OptQuest mencapai beberapa kriteria, seperti jumlah waktu atau jumlah simulasi maksimum yang diberikan.





Gambar.2.7. Alur Kerja OptQuest (OptQuest Manual 2001)

## **BAB III**

## **METODOLOGI**

**BAB III****METODOLOGI****III.1. Studi Literatur**

Untuk mencapai dasar ilmiah yang kuat dan kesahihan hasil yang akan diperoleh, hal yang pertama dilakukan adalah menelaah teori-teori dasar yang berkaitan dengan masalah yang ditinjau. Dalam penelitian ini, teori-teori dasar yang diperlukan adalah teori pondasi tiang pancang, teori keandalan, teori probabilitas dan teori optimasi.

**III.2. Analisa Data**

Data yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data geoteknik dan data struktur pondasi tiang pancang pada Tatum Area untuk lokasi CPT 4 yang merupakan sebuah ladang gas alam di daerah delta Mahakam Kalimantan Timur-Tunu- yang dioperasikan oleh TotalFinaElf Indonésie.

Data yang diperoleh dianalisa melalui metode probabilitas atau statistik sehingga didapat besaran-besaran statistik -seperti nilai rata-rata, simpangan baku, mode dan skala- untuk selanjutnya digunakan pada teori keandalan untuk indeks keandalan struktur.

**III.3. Penentuan Moda Kegagalan**

Sebagaimana telah dijelaskan pada Bab II, moda kegagalan dari pondasi tiang pancang adalah apabila beban ultimat yang diterima struktur melibih



indeks keandalan menjadi kriteria maksimum. Adapun perubah rancang pada persamaan ini adalah panjang, diameter dan tebal dari tiang pancang. Persamaan optimasi dinyatakan dalam :

$$F(C) = C_{\text{material}} + C_{\text{driving}}$$

Yang dibatasi oleh

$$P(s) \geq P(s)_{\min} \Rightarrow \text{Keandalan}$$

$$d \leq d_{\max} \Rightarrow \text{diameter tiang pancang}$$

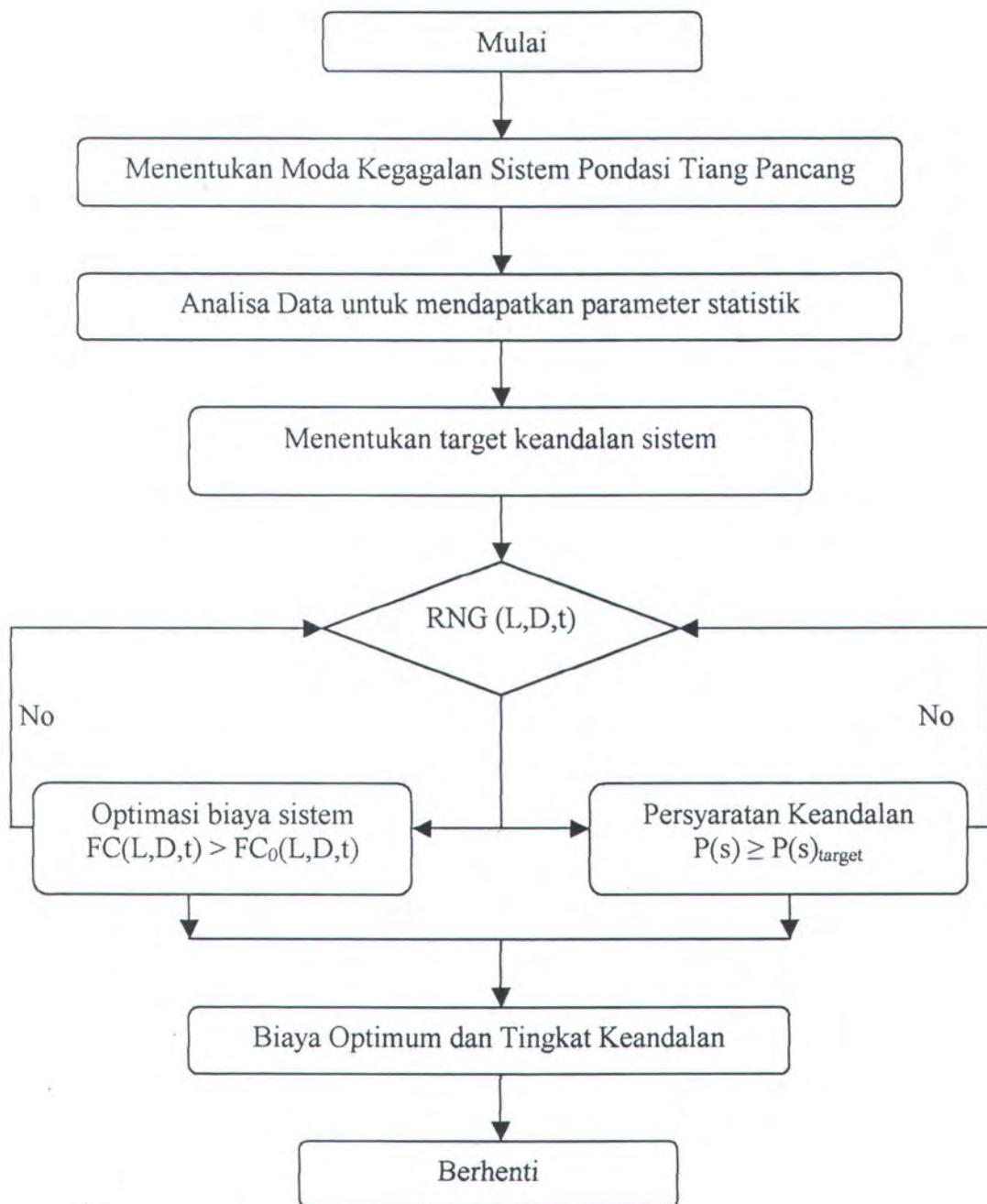
$$t \leq t_{\max} \Rightarrow \text{ketebalan tiang pancang}$$

$$L \leq L_{\max} \Rightarrow \text{panjang tiang pancang}$$

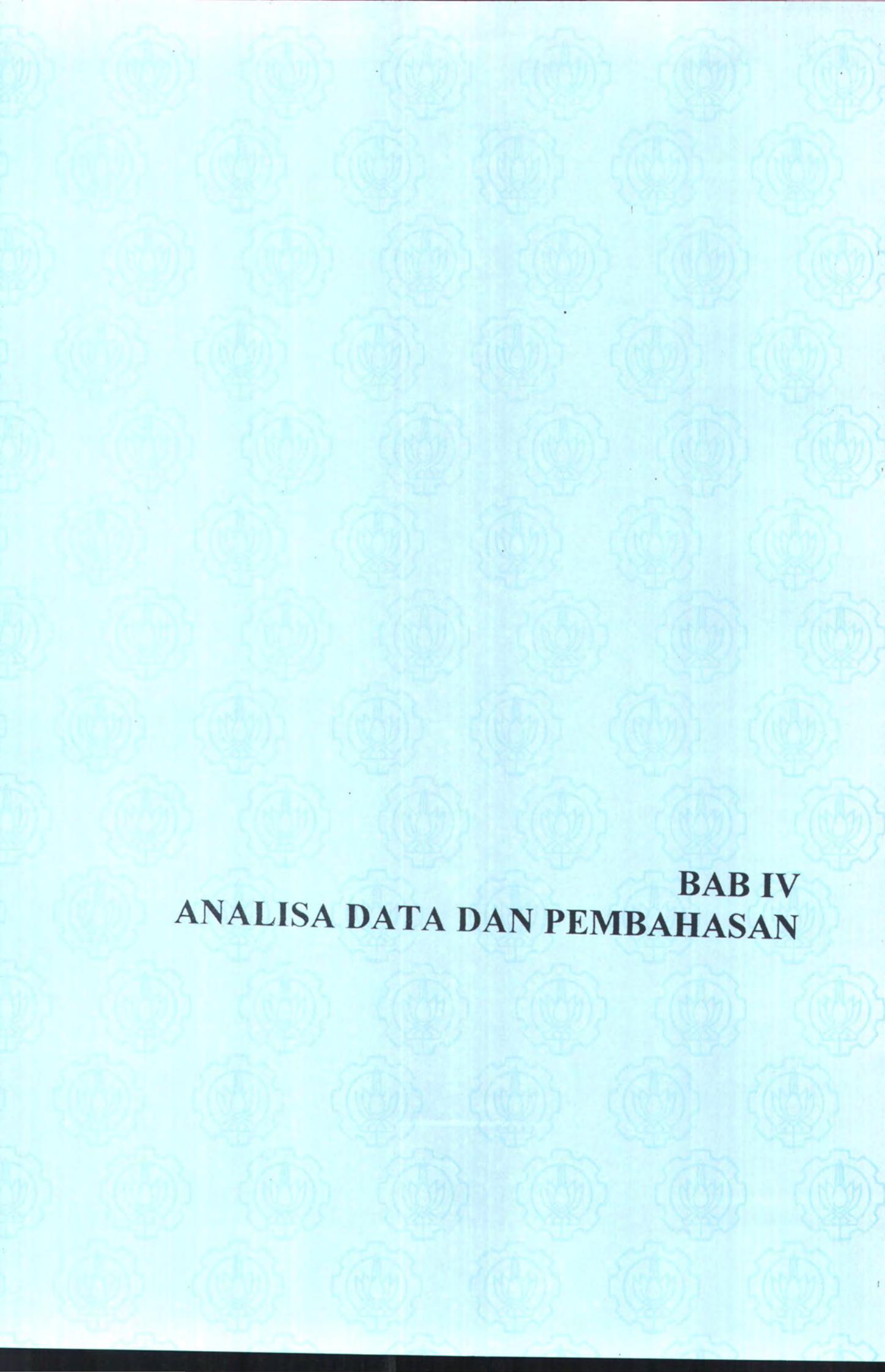
$$L, d, t \geq 0$$

### III.6. Eksekusi Persamaan Optimasi

Setelah persamaan tujuan dan indeks keandalan telah diperoleh, pencarian hasil atau peubah desain dilakukan secara iteratif dengan menggunakan sebuah perangkat lunak yang berbasis pada metode pencarian metaheuristics, yaitu : OptQuest.



Gambar.3.1. Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Analisa Data.

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data tanah di lokasi Delta Mahakam, Kalimantan Timur. Data tanah ini digunakan untuk mendapatkan daya dukung ujung tiang dan gesekan antara tanah dan dinding tiang pancang. Setelah dianalisa dengan menggunakan statistik, diperoleh bahwa daya dukung ujung tiang mempunyai distribusi Extreme Value dengan mode dan skala sebagai berikut 946.58 dan 1058.88. sedangkan daya dukung akibat gesekan tanah dengan tiang mempunyai distribusi normal dengan mean dan deviasi standar 70.6 dan 45.61.

Beban aksial yang akan bekerja pada sistem pondasi tiang pancang ini adalah 3210 KN dan mempunyai distribusi triangular dengan deviasi  $\pm 30\%$ . Adapun penentuan biaya pondasi tiang pancang ditentukan dengan harga material dan harga pemancangan. Harga pemancangan yang dipakai adalah Rp. 300.000,- per meter sedangkan untuk harga material digunakan indeks harga yang diperoleh dari kombinasi diameter dan ketebalan tiang pancang. Indeks harga dapat dilihat pada table berikut.



- $A_o$  = Luas permukaan tiang pancang bagian luar  
 $A_i$  = Luas permukaan tiang pancang bagian dalam  
 $A_t$  = Luas permukaan ujung tiang pancang  
 $f$  = Friksi per satuan panjang  
 $q_w$  = Kapasitas daya dukung tanah  
 $D$  = Diameter tiang pancang  
 $t$  = Ketebalan tiang pancang

#### IV.3. Perumusan Model Optimasi Berbasis Keandalan Sistem Pondasi Tiang Pancang

Dalam pembahasan tugas akhir ini, tujuan yang akan dicapai adalah meminimalkan biaya pondasi tiang pancang dengan tetap memperhatikan keandalan atau batas keamanan yang dapat diterima. Fungsi matematis dari perumusan masalah optimasi pondasi tiang pancang adalah :

$$F(C_t) = C_{material} + C_{driving}$$

dengan memperhatikan,

$$P(s) \geq P_{\lim\text{ it}}(s)$$

$$L \leq L_{\lim\text{ it}}$$

$$D \leq D_{\lim\text{ it}}$$

$$t \leq t_{\lim\text{ it}}$$



#### IV.4. Simulasi Pencarian Optimasi Berbasis Keandalan Sistem Pondasi Tiang Pancang.

Dalam simulasi ini, ditentukan beberapa tingkat keandalan minimal yang dapat diterima untuk mendapatkan biaya pondasi tiang pancang yang paling minimal. Tingkat keandalan yang ditentukan adalah 75 %, 80 %, 85 % dan 90 %.

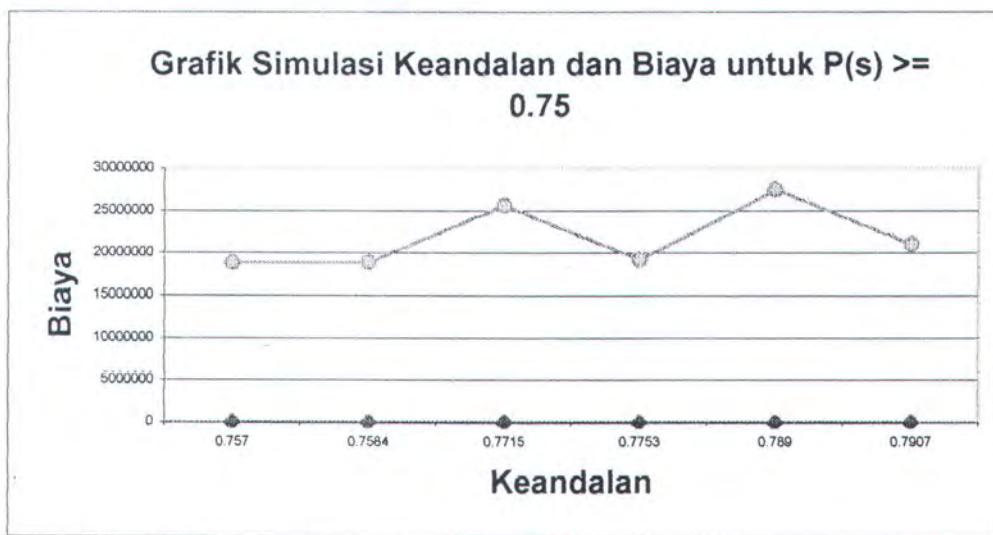
Tingkat keandalan sistem pondasi tiang pancang ditentukan menggunakan simulasi Monte Carlo pada sebuah perangkat lunak Crystal Ball dengan jumlah sampling sebanyak 10.000. Adapun panjang penetrasi, diameter dan ketebalan maksimum tiang pancang adalah 60 meter, 1,4 meter dan 0.1 meter.

##### IV.4.1. Simulasi Pencarian Optimasi Pondasi Tiang Pancang Untuk Tingkat Keandalan Minimal 75 %

Pada simulasi ini diberikan persyaratan bahwa  $P(s)$  atau keandalan tidak boleh kurang dari 75 %. Penetrasi, diameter dan ketebalan maksimum berturut-turut 32.5 meter, 0.765 meter dan 0.0254 meter. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini :

Tabel.4.2. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat Keandalan lebih besar dari 75%

Keandalan	Biaya (Rp)	Penetrasi (m)	Diameter (m)	Ketebalan (m)
0.7570	18870000	20.97	0.62	0.0320
0.7584	18880000	20.98	0.62	0.0254
0.7715	25610000	23.34	0.60	0.0500
0.7753	19210000	21.35	0.65	0.0270
0.7890	27500000	22.91	0.65	0.0470
0.7907	21120000	23.47	0.63	0.0270



Grafik 4.1. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat Keandalan Lebih Besar 75 %

#### IV.4.2. Simulasi Pencarian Optimasi Pondasi Tiang Pancang Untuk Tingkat Keandalan Minimal 80 %

Pada simulasi ini diberikan persyaratan bahwa  $P(s)$  atau keandalan tidak boleh kurang dari 80 %. Penetrasi, diameter dan ketebalan maksimum berturut-turut 32.5 meter, 1 meter dan 0.05 meter. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini :



Tabel.4.3. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat keandalan lebih besar dari 80 %

No	Keandalan	Biaya	Penetrasi	Diameter	Ketabalan
1	0.8038	21750000	24.17	0.654	0.0254
2	0.8164	21160000	21.16	0.800	0.0290
3	0.8169	26000000	20.00	0.840	0.0500
4	0.8261	26290000	20.22	0.890	0.0500
5	0.8321	24460000	22.23	0.840	0.0320
6	0.8391	25500000	28.33	0.708	0.0254
7	0.8411	42000000	35.06	0.600	0.0500
8	0.8419	22810000	20.74	0.960	2.8700
9	0.8422	20000000	20.00	1.000	0.0254
10	0.8459	22990000	20.90	0.980	0.0270
11	0.8483	23987000	21.81	0.960	0.0290
12	0.8494	37500000	31.25	0.700	0.0430

Tabel.4.4. Simulasi Optimasi Berbasis Keandalan Pondasi Tiang Pancang

No	Keandalan	Biaya
1	0.8164	21164000
2	0.8261	26291000
3	0.8422	20000000
4	0.8483	23987000

**IV.4.3. Simulasi Pencarian Optimasi Pondasi Tiang Pancang Untuk Tingkat Keandalan Minimal 85 %**

Pada simulasi ini diberikan persyaratan bahwa  $P(s)$  atau keandalan tidak boleh kurang dari 85 %. Penetrasi, diameter dan ketebalan maksimum berturut-turut 35 meter, 1 meter dan 0.05 meter. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini :

Tabel 4.5. Simulasi Optimasi Berbasis Keandalan untuk Tingkat Keandalan Lebih Besar dari 85 %

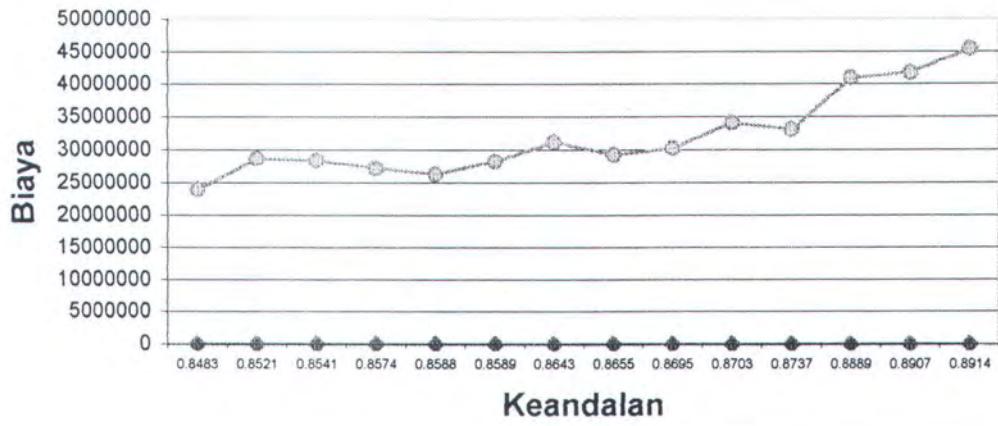
No	Keandalan	Biaya
1	0.8574	27200000
2	0.8588	26250000
3	0.8655	29250000

Tabel 4.6. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat Keandalan Lebih Dari 85 %

No	Keandalan	Biaya	Penetrasi	Diameter	Ketebalan
1	0.8483	23990000	21.81	0.960	0.0290
2	0.8521	28680000	31.87	0.690	0.0254
3	0.8541	28370000	31.52	0.720	0.0254
4	0.8574	27200000	30.27	0.764	0.0255
5	0.8588	26250000	26.25	0.881	0.0254
6	0.8589	28280000	31.42	0.740	0.0254
7	0.8643	31180000	23.98	1.000	0.0470
8	0.8655	29250000	32.50	0.762	0.0254
9	0.8695	30260000	30.26	0.860	0.0270
10	0.8703	34080000	26.22	0.990	0.0450
11	0.8737	33130000	33.13	0.830	0.0290
12	0.8889	40970000	34.14	1.000	0.0300
13	0.8907	41730000	34.77	1.000	0.0320
14	0.8914	45500000	35.00	1.000	0.0500

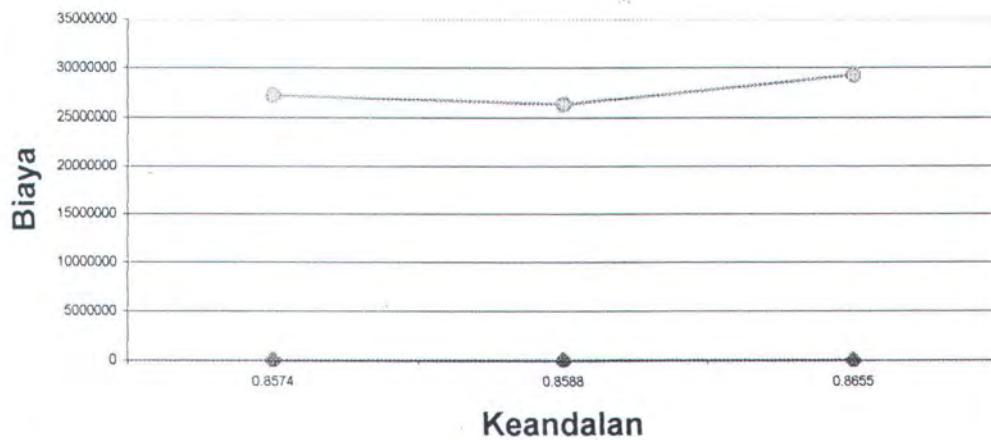


### Grafik Simulasi Keandalan dan Biaya untuk $P(s) \geq 0.85$



Grafik 4.4. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat Keandalan Lebih Besar dari 85%

### Grafik Simulasi Optimasi Berbasis Keandalan untuk $P(s) \geq 0.85$



Grafik 4.5. Simulasi Optimasi Berbasis Keandalan untuk Tingkat keandalan Lebih Besar dari 85 %

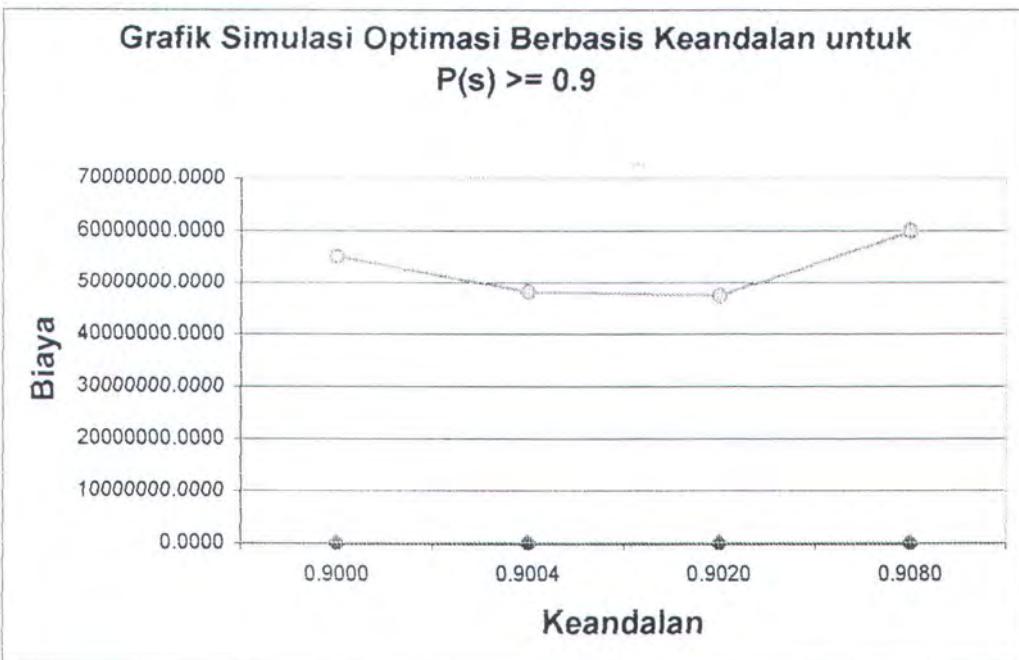


#### IV.4.4. Simulasi Pencarian Optimasi Pondasi Tiang Pancang Untuk Tingkat Keandalan Minimal 90 %

Pada simulasi ini diberikan persyaratan bahwa  $P(s)$  atau keandalan tidak boleh kurang dari 90 %. Penetrasi, diameter dan ketebalan maksimum berturut-turut 60 meter, 1.4 meter dan 0.1 meter. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini :

Tabel.4.7. Simulasi Optimasi Berbasis Keandalan untuk Tingkat Keandalan Lebih besar 90 %

No	Keandalan	Biaya
1	0.9000	55200000
2	0.9004	48100000
3	0.9020	47400000
4	0.9080	60000000



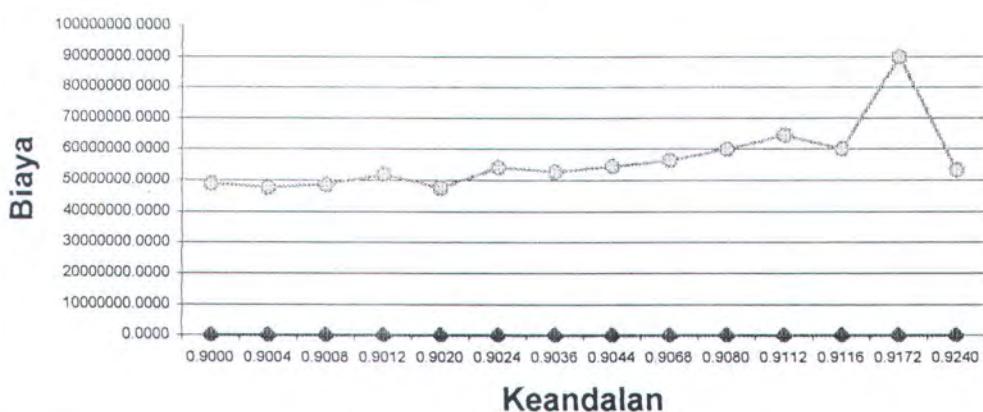
Grafik 4.6. Simulasi Optimasi Berbasis keandalan untuk Tingkat Keandalan lebih besar dari 90 %



Tabel 4.8. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat Keandalan Lebih Besar 90 %

No	Keandalan	Biaya	Penetrasi	Diameter	Ketebalan
1	0.9000	48847000	40.71	1.15	0.0268
2	0.9004	47710000	39.76	1.20	0.0254
3	0.9008	48605000	40.50	1.19	0.0290
4	0.9012	51814000	39.86	1.20	0.0341
5	0.9020	47468000	39.56	1.24	0.0254
6	0.9024	54114000	36.06	1.37	0.0390
7	0.9036	52708000	43.92	1.19	0.0254
8	0.9044	54394000	45.33	1.18	0.0254
9	0.9068	56272000	46.89	1.21	0.0254
10	0.9080	60000000	50.00	1.20	0.0254
11	0.9112	64550000	53.79	1.20	0.0254
12	0.9116	60079000	50.05	1.30	0.0254
13	0.9172	90000000	60.00	1.40	0.0500
14	0.9240	53197000	44.33	1.14	0.0254

### Grafik Simulasi Keandalan dan Biaya untuk $P(s) \geq 0.9$



Grafik 4.7. Simulasi Keandalan dan Biaya untuk Tingkat Keandalan Lebih Besar dari 90%



#### IV.5. Pembahasan.

Seperti telah disebutkan diatas, bahwa target keandalan yang diberikan pada pencarian optimasi biaya dari sistem pondasi tiang pancang ini adalah 75 %, 80 %, 85 % dan 90 %. Dari tabel dan grafik diatas, kita memperoleh hasil optimum sebagai berikut :

- ❖ Target keandalan minimum 75 %.

Diperoleh biaya pondasi tiang pancang minimum seharga Rp. 18.870.000,- dengan variasi penetrasi, diameter dan ketebalan berturut-turut 20.97 meter, 0.62 meter dan 0.032 meter dan nilai keandalan yang diperoleh 75.7%.

- ❖ Untuk Target Keandalan minimum 80%.

Diperoleh biaya pondasi tiang pancang minimum seharga Rp. 20.000.000,- dengan variasi penetrasi, diameter dan ketebalan berturut-turut 20 meter, 1 meter dan 0.0254 meter dan nilai keandalan yang diperoleh 84.22%.

- ❖ Untuk Target Keandalan minimum 85%

Diperoleh biaya pondasi tiang pancang minimum seharga Rp. 26.250.000,- dengan variasi penetrasi, diameter dan ketebalan berturut-turut 26.25 meter, 0.881 meter dan 0.0254 meter dan nilai keandalan yang diperoleh 85.88%.

- ❖ Untuk Target Keandalan Minimum 90 %

Diperoleh biaya pondasi tiang pancang minimum seharga Rp. 47.468.000,- dengan variasi penetrasi, diameter dan ketebalan berturut-turut 39.56 meter, 1.24 meter dan 0.024 meter dan nilai keandalan yang diperoleh 90.2%.



**BAB V**  
**PENUTUP**



---

**BAB V****PENUTUP****V.1. Kesimpulan**

Secara global, peningkatan persyaratan keandalan memberikan konsekuensi kepada peningkatan biaya sistem pondasi tiang pancang pula. Namun seperti terlihat pada grafik-grafik pada Bab IV, peningkatan biaya tidak berlangsung secara linear. Ada beberapa kombinasi penetrasi, diameter dan ketebalan dengan tingkat keandalan lebih tinggi tetapi biayanya rendah.

Untuk mendapatkan tingkat keandalan yang tinggi, variable keputusan penetrasi dan diameter harus di perbesar sedangkan variable ketebalan diusahakan kecil untuk menyediakan luasan area lingkaran dalam dari tiang pancang yang lebih besar. Hal ini bisa kita lihat pada kombinasi optimal dari masing-masing target keandalan yang dibutuhkan, dimana ketebalan selalu berada pada batas minimum yaitu 0.0254 meter (lihat tabel 4.1) kecuali untuk target keandalan rendah 75 % dengan diameter 0.32 meter.

**V.2. Saran**

Pemberian nilai yang rendah pada variable ketebalan sebenarnya dapat memicu moda kegagalan baru yaitu *local buckling*. Oleh karena itu, penulis menyarankan agar persyaratan *local buckling* juga dijadikan konsideran dalam mendesain pondasi tiang pancang yang optimum untuk penyempurnaan lanjutan dari tugas ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**



## DAFTAR PUSTAKA

---

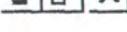
---

### DAFTAR PUSTAKA

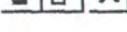
- Ang, A. H-S J., **Konsep-konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa; Prinsip-Prinsip Dasar**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987
- Bowles, J E., **Analisa dan Desain Pondasi**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- Coduto, D. P. **Foundation Design: Principles and Practices**, New Jersey; 1994.
- Das, Braja M., **Mekanika Tabah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1998.
- Gen, M. Cheng, R., **Genetics Algorithm & Engineering Design**, John Wiley & Sons Inc, USA, 1997.
- Lambe, T.W. Whitman., **Soil Mechanics**, John Wiley & Sons, USA, 1969
- Manual Book, **OptQuest for Crystal Ball 2000**, Decisioneering. Inc, Denver, USA, 2001.
- Manual Book, **Crystal Ball 2000**, Decisioneering. Inc, Denver, USA, 2001.
- O'Connor, P.D.T., **Practical Reliability Engineering**, Jhon Wiley,USA, 1991.
- Rosyid, D.M, **Analisa Keandalan dan Resiko**, Teknik Kelautan, Fak. Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya, 1996
- Sardjono, **Pondasi Tiang Pancang**, Sinar Wijaya, Surabaya, 1996.
- Wawan, W.P, Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan Sistem Dengan Menggunakan Metode Simulasi Carlo, **Skripsi Jurusan Teknik Kelautan - FTK, ITS , 1999.**

## **LAMPIRAN**

## OptQuest for Crystal Ball 2000 - [Status and Solutions]



File Edit View Run Tools Window Help



Optimization File

UnNamed.opt

Crystal Ball Simulation: Unis\_running1.xls

Optimization is Complete

Minimize Objective Cost Final_Value	Requirement Reliability Final_Value	Penetrasi	Diameter	ketebalan
2.9250E+07	0.865500	32.5000	0.762000	2.5400E-02
2.6291E+07	0.826100	20.2238	0.883262	4.9629E-02
2.3987E+07	0.848300	21.8068	0.964544	2.8899E-02
2.1369E+07	0.816300	21.3686	0.789198	2.8497E-02
1.8874E+07	0.757000	20.9712	0.617228	3.2691E-02

Simulation: 35

Values of Variables:

Penetrasi: 21.3471728372022

Diameter: 0.6520400007592

ketebalan: 2.66117110248047E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 19212455.553482

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7753

Simulation: 34

Values of Variables:

Penetrasi: 23.471160064733

Diameter: 0.63356367162304

ketebalan: 2.70935508306023E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 21124044.0582597

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7907

Simulation: 33

Values of Variables:

Penetrasi: 20.9762963738581

Diameter: 0.617819943748224

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 18878666.7364723

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7584

Simulation: 32 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 20.9711652508632

Diameter: 0.617228155396576

ketebalan: 0.032691112386038

Objective: Cost: Final\_Value: 18874048.7257769

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.757

Simulation: 31

Values of Variables:

Penetrasi: 26.986215632501

Diameter: 0.971672647186861

ketebalan: 3.61435365128499E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 32383458.7590012  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.871

Simulation: 30

Values of Variables:

Penetrasi: 35  
Diameter: 0.989242968317671  
ketebalan: 3.05407772277375E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 42000000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8906

Simulation: 29

Values of Variables:

Penetrasi: 20.7388431823772  
Diameter: 0.962250190670409  
ketebalan: 2.86882608428853E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 22812727.500615  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8419

Simulation: 28

Values of Variables:

Penetrasi: 22.8746963546084  
Diameter: 0.966838570122979  
ketebalan: 2.91100392607438E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25162165.9900693  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8544

Simulation: 27

Values of Variables:

Penetrasi: 26.5432142799503  
Diameter: 0.862790227148679  
ketebalan: 3.23731972232627E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 29197535.7079454  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8572

Simulation: 26

Values of Variables:

Penetrasi: 28.1523908696764

Diameter: 0.986064525607836

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 36598108.1305793

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8753

Simulation: 25

Values of Variables:

Penetrasi: 23.7423877011584

Diameter: 0.964989912819798

ketebalan: 3.60635735807673E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 28490865.2413901

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8593

Simulation: 24

Values of Variables:

Penetrasi: 20.9033848842464

Diameter: 0.982272190198347

ketebalan: 2.71495750259073E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 22993723.3726711

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8459

Simulation: 23

Values of Variables:

Penetrasi: 31.25

Diameter: 0.7

ketebalan: 0.04385

Objective: Cost: Final\_Value: 37500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8494

Simulation: 22

Values of Variables:

Penetrasi: 23.7045131789952

Diameter: 0.909696253597796

ketebalan: 3.18327667012097E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 28445415.8147943

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8514 .

Simulation: 21

Values of Variables:

Penetrasi: 35

Diameter: 0.668759091644784

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8579

Simulation: 20

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 1

ketebalan: 2.92694417565135E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 24000000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8426

Simulation: 19

Values of Variables:

Penetrasi: 25.6107158907818

Diameter: 0.871303472041478

ketebalan: 2.85288583471156E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25610715.8907818

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8547

Simulation: 18

Values of Variables:

Penetrasi: 23.339292902294

Diameter: 0.6

ketebalan: 4.98849795015928E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25673222.1925234

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7715

Simulation: 17

Values of Variables:

Penetrasi: 21.3809726187884

Diameter: 1  
ketebalan: 2.62875077083358E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 23519069.8806673  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8506

Simulation: 16

Values of Variables:  
Penetrasi: 22.2325669181972  
Diameter: 0.843198415423027  
ketebalan: 3.15107923952933E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 24455823.610017  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8321

Simulation: 15

Values of Variables:  
Penetrasi: 20  
Diameter: 0.87949006680473  
ketebalan: 4.98704599162159E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26000000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8237

Simulation: 14

Values of Variables:  
Penetrasi: 22.5141845758633  
Diameter: 0.968316526489897  
ketebalan: 2.86576446660185E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 24765603.0334496  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8529

Simulation: 13

Values of Variables:  
Penetrasi: 21.0993549611224  
Diameter: 0.960772234303491  
ketebalan: 2.91406554376106E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 23209290.4572346  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8441

Simulation: 12

Values of Variables:

Penetrasi: 22.244968224762

Diameter: 1

ketebalan: 2.93008962506819E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26693961.8697144

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8553

Simulation: 11 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 21.3685713122237

Diameter: 0.789198286301166

ketebalan: 2.84974038529472E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 21368571.3122237

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8163

Simulation: 10

Values of Variables:

Penetrasi: 26.2167729370108

Diameter: 0.985618993184733

ketebalan: 4.49813450807147E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34081804.8181141

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8703

Simulation: 9

Values of Variables:

Penetrasi: 34.1428872299367

Diameter: 0.986948778591386

ketebalan: 3.03298880188083E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 40971464.6759241

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8889

Simulation: 8

Values of Variables:

Penetrasi: 22.9134957525896

Diameter: 0.651684466189727

ketebalan: 4.72733371581141E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 27496194.9031076  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.789

Simulation: 7

Values of Variables:

Penetrasi: 34.1339589708873  
Diameter: 0.622986450659152  
ketebalan: 4.05922765370178E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34133958.9708873  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8448

Simulation: 6 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 21.8067697684928  
Diameter: 0.964544380396694  
ketebalan: 2.88991500518146E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 23987446.7453421  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8483

Simulation: 5 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 20.2238209505346  
Diameter: 0.883262212897932  
ketebalan: 4.96289545304199E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26290967.235695  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8261

Simulation: 4

Values of Variables:

Penetrasi: 35  
Diameter: 1  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 45500000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8914

Simulation: 3

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 0.6

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 18000000

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.738

Simulation: 2

Values of Variables:

Penetrasi: 27.5

Diameter: 0.8

ketebalan: 0.0377

Objective: Cost: Final\_Value: 33000000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8524

Simulation: 1 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 32.5

Diameter: 0.762

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 29250000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8655

OptQuest for Crystal Ball 2000

File Edit View Run Tools Window Help

Optimization File  
UnNamed.opt  
Crystal Ball Simulation: Unis\_running2.xls

Optimization is Complete

Simulation	Minimize Objective Cost Final_Value	Requirement Reliability 0.8 <= Final_Value <= 0.99	Penetrasi	Diameter	ket
1	2.9250E+07	0.865500	32.5000	0.762000	2.54
5	2.6291E+07	0.826100	20.2238	0.883262	4.96
6	2.3987E+07	0.848300	21.8068	0.964544	2.88
18	2.1164E+07	0.816400	21.1640	0.796727	2.85
Best: 24	2.0000E+07	0.842200	20.0000	1.000000	2.54

Simulation: 38

Values of Variables:

Penetrasi: 22.4162061925344

Diameter: 0.659094725856597

ketebalan: 4.89900476716234E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26899447.4310413  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7862

Simulation: 37

Values of Variables:

Penetrasi: 23.4107853126448

Diameter: 0.644274206522856

ketebalan: 4.55566266446048E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25751863.8439093  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7909

Simulation: 36

Values of Variables:

Penetrasi: 21.4567478762948

Diameter: 0.625842233094863

ketebalan: 0.048636668579057

Objective: Cost: Final\_Value: 25748097.4515538  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7627

Simulation: 35

Values of Variables:

Penetrasi: 21.0048187721661

Diameter: 0.649363326206987

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 25205782.5265994  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7675

Simulation: 34

Values of Variables:

Penetrasi: 21.7376495989325

Diameter: 0.650156606662669

ketebalan: 4.14967572254251E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 23911414.5588257  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7765

Simulation: 33

Values of Variables:  
Penetrasi: 24.1666666666667  
Diameter: 0.654  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 21750000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8038

Simulation: 32

Values of Variables:  
Penetrasi: 28.3333333333333  
Diameter: 0.708  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 25500000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8391

Simulation: 31

Values of Variables:  
Penetrasi: 26.986215632501  
Diameter: 0.971672647186861  
ketebalan: 3.61435365128499E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 32383458.7590012  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.871

Simulation: 30

Values of Variables:  
Penetrasi: 20.7388431823772  
Diameter: 0.962250190670409  
ketebalan: 2.86882608428853E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 22812727.500615  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8419

Simulation: 29

Values of Variables:

Penetrasi: 22.8746963546084

Diameter: 0.966838570122979

ketebalan: 2.91100392607438E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25162165.9900693

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8544

Simulation: 28

Values of Variables:

Penetrasi: 26.5432142799503

Diameter: 0.862790227148679

ketebalan: 3.23731972232627E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 29197535.7079454

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8572

Simulation: 27

Values of Variables:

Penetrasi: 28.1523908696764

Diameter: 0.986064525607836

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 36598108.1305793

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8753

Simulation: 26

Values of Variables:

Penetrasi: 23.7423877011584

Diameter: 0.964989912819798

ketebalan: 3.60635735807673E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 28490865.2413901

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8593

Simulation: 25

Values of Variables:

Penetrasi: 20.9033848842464

Diameter: 0.982272190198347

ketebalan: 2.71495750259073E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 22993723.3726711

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8459

Simulation: 24 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 1

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 20000000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8422

Simulation: 23

Values of Variables:

Penetrasi: 31.25

Diameter: 0.7

ketebalan: 0.04385

Objective: Cost: Final\_Value: 37500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8494

Simulation: 22

Values of Variables:

Penetrasi: 35

Diameter: 0.6

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 42000000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8411

Simulation: 21

Values of Variables:

Penetrasi: 25.6022565894976

Diameter: 0.854848126798898

ketebalan: 3.47663833506049E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 30722707.9073971

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8524

Simulation: 20

Values of Variables:

Penetrasi: 23.7045131789952

Diameter: 0.909696253597796  
ketebalan: 3.18327667012097E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 28445415.8147943  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8514

Simulation: 19

Values of Variables:  
Penetrasi: 22.4494992997879  
Diameter: 1  
ketebalan: 2.92694417565135E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26939399.1597455  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.856

Simulation: 18 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:  
Penetrasi: 21.1640402371977  
Diameter: 0.796727089700181  
ketebalan: 2.85288583471156E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 21164040.2371977  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8164

Simulation: 17

Values of Variables:  
Penetrasi: 23.339292902294  
Diameter: 0.6  
ketebalan: 4.98849795015928E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25673222.1925234  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.7715

Simulation: 16

Values of Variables:  
Penetrasi: 22.2325669181972  
Diameter: 0.843198415423027  
ketebalan: 3.15107923952933E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 24455823.610017  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8321

Simulation: 15

Values of Variables:

Penetrasi: 35

Diameter: 0.752600312261294

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8692

Simulation: 14

Values of Variables:

Penetrasi: 26.5855404517715

Diameter: 0.955144692657988

ketebalan: 2.88583844196981E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 29244094.4969487

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8681

Simulation: 13

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 0.844165435229828

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 26000000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8169

Simulation: 12

Values of Variables:

Penetrasi: 22.1906846094861

Diameter: 1

ketebalan: 2.65191091763955E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 24409753.0704347

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8548

Simulation: 11

Values of Variables:

Penetrasi: 21.4228549274996

Diameter: 0.92544760272859

ketebalan: 3.12791909272336E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25707425.9129995  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8403

Simulation: 10

Values of Variables:  
Penetrasi: 26.2167729370108  
Diameter: 0.985618993184733  
ketebalan: 4.49813450807147E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34081804.8181141  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8703

Simulation: 9

Values of Variables:  
Penetrasi: 34.1428872299367  
Diameter: 0.986948778591386  
ketebalan: 3.03298880188083E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 40971464.6759241  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8889

Simulation: 8

Values of Variables:  
Penetrasi: 22.9134957525896  
Diameter: 0.651684466189727  
ketebalan: 4.72733371581141E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 27496194.9031076  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.789

Simulation: 7

Values of Variables:  
Penetrasi: 34.1339589708873  
Diameter: 0.622986450659152  
ketebalan: 4.05922765370178E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34133958.9708873  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8448

Simulation: 6 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8524

Simulation: 1 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 32.5

Diameter: 0.762

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 29250000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8655

Values of Variables:

Penetrasi: 21.8067697684928

Diameter: 0.964544380396694

ketebalan: 2.88991500518146E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 23987446.7453421

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8483

Simulation: 5 \*\*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 20.2238209505346

Diameter: 0.883262212897932

ketebalan: 4.96289545304199E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26290967.235695

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8261

Simulation: 4

Values of Variables:

Penetrasi: 35

Diameter: 1

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 45500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8914

Simulation: 3

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 0.6

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 18000000

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.738

Simulation: 2

Values of Variables:

Penetrasi: 27.5

Diameter: 0.8

ketebalan: 0.0377

Objective: Cost: Final\_Value: 33000000

OptimQuest for Crystal Ball 2000

File Edit View Run Tools Window Help

Optimization File  
c:\my documents\unissim1.opt  
Crystal Ball Simulation: Unis\_running2.xls

Optimization is Complete

Simulation	Minimize Objective Cost	Requirement Reliability 0.85 <= Final_Value	Penetrasi	Diameter	ketebalan
1	2.9250E+07	0.865500	32.5000	0.762000	2.5400E-02
15	2.7239E+07	0.857400	30.2655	0.763764	2.5543E-02
Best: 27	2.6250E+07	0.858800	26.2500	0.881000	2.5400E-02

## ptimization Statistics

Optimization File: C:\My Documents\UNISSIM1.opt  
Total Number of Simulations: 36  
Number of Trials per Simulation: 10000  
Neural Network Engaged after simulation: 30  
Number of Simulations Avoided Due to Neural Network: 3

### \*\*\*\*BEST SOLUTION\*\*\*\*

#### Values of Variables:

Penetrasi: 26.25  
Diameter: 0.881  
ketebalan: 0.0254  
Objective: Cost: Final\_Value: 26250000  
Requirement Feasible  
Requirement: Reliability: 0.8588  
Additional details may be found below...

Simulation: 36

#### Values of Variables:

Penetrasi: 21.2791201625068  
Diameter: 0.937450324563774  
ketebalan: 3.58090848780163E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 25534944.1950081  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8421

Simulation: 35

#### Values of Variables:

Penetrasi: 20.9033848842464  
Diameter: 0.982272190198347  
ketebalan: 2.71495750259073E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 22993723.3726711  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8459

Simulation: 34

#### Values of Variables:

Penetrasi: 23.7045131789952  
Diameter: 0.909696253597796  
ketebalan: 3.18327667012097E-02

Objective: Cost:,Final\_Value: 28445415.8147943  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8514

Simulation: 33

Values of Variables:

Penetrasi: 31.5185409916445  
Diameter: 0.714150674137377  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 28366686.8924801  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8541

Simulation: 32

Values of Variables:

Penetrasi: 31.4178862500161  
Diameter: 0.74541134930613  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 28276097.6250145  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8589

Simulation: 31

Values of Variables:

Penetrasi: 34.7741296060711  
Diameter: 1  
ketebalan: 3.17945658831049E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 41728955.5272853  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8907

Simulation: 30

Values of Variables:

Penetrasi: 31.8687576238656  
Diameter: 0.694985094190814  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 28681881.8614791  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8521

Simulation: 29

Values of Variables:

Penetrasi: 33.1312423761344  
Diameter: 0.829014905809186  
ketebalan: 2.68646778642966E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 33131242.3761344  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8737

Simulation: 28

Values of Variables:  
Penetrasi: 27.0135585545508  
Diameter: 0.758575203859319  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 24312202.6990957  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8428

Simulation: 27 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:  
Penetrasi: 26.25  
Diameter: 0.881  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 26250000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8588

Simulation: 26

Values of Variables:  
Penetrasi: 34.5669794854437  
Diameter: 0.611493225329576  
ketebalan: 4.52961382685089E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 38023677.433988  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8432

Simulation: 25

Values of Variables:  
Penetrasi: 33.5893059805916  
Diameter: 0.669324300439435  
ketebalan: 3.55281843580118E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 33589305.9805916  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8527

Simulation: 24

Values of Variables:

Penetrasi: 33.0446529902958

Diameter: 0.715662150219717

ketebalan: 3.04640921790059E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 33044652.9902958

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8595

Simulation: 23

Values of Variables:

Penetrasi: 23.9816151124561

Diameter: 1

ketebalan: 4.70535081897179E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 31176099.6461929

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8643

Simulation: 22

Values of Variables:

Penetrasi: 34.7351578245547

Diameter: 0.659057434972095

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31261642.0420993

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8553

Simulation: 21

Values of Variables:

Penetrasi: 30.2648421754453

Diameter: 0.864942565027905

ketebalan: 2.74721631090032E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 30264842.1754453

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8695

Simulation: 20

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 0.930295020780145

ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 26000000

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8335

Simulation: 19

Values of Variables:

Penetrasi: 35

Diameter: 0.714967192117787

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.866

Simulation: 18

Values of Variables:

Penetrasi: 27.7769139573522

Diameter: 0.809032807882213

ketebalan: 0.028843818397178

Objective: Cost: Final\_Value: 27776913.9573522

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8547

Simulation: 17

Values of Variables:

Penetrasi: 25.2655158545085

Diameter: 0.801763505525906

ketebalan: 3.78432968771296E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 30318619.0254102

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.842

Simulation: 16

Values of Variables:

Penetrasi: 34.7344841454915

Diameter: 0.760236494474094

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31261035.7309424

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8695

Simulation: 15 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 30.2655158545085

Diameter: 0.763763505525906

ketebalan: 2.55432968771296E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 27238964.2690576

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8574

Simulation: 14

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 1

ketebalan: 2.93008962506819E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 24000000

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8426

Simulation: 13

Values of Variables:

Penetrasi: 35

Diameter: 0.664576015724309

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31500000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8568

Simulation: 12

Values of Variables:

Penetrasi: 29.9065555768704

Diameter: 0.859423984275691

ketebalan: 2.58017461988674E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 29906555.5768704

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8683

Simulation: 11

Values of Variables:

Penetrasi: 20

Diameter: 0.6

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 18000000  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.738

Simulation: 10

Values of Variables:  
Penetrasi: 26.2167729370108  
Diameter: 0.985618993184733  
ketebalan: 4.49813450807147E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34081804.8181141  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8703

Simulation: 9

Values of Variables:  
Penetrasi: 34.1428872299367  
Diameter: 0.986948778591386  
ketebalan: 3.03298880188083E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 40971464.6759241  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8889

Simulation: 8

Values of Variables:  
Penetrasi: 22.9134957525896  
Diameter: 0.651684466189727  
ketebalan: 4.72733371581141E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 27496194.9031076  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.789

Simulation: 7

Values of Variables:  
Penetrasi: 34.1339589708873  
Diameter: 0.622986450659152  
ketebalan: 4.05922765370178E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34133958.9708873  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8448

Simulation: 6

Values of Variables:

Penetrasi: 21.8067697684928  
Diameter: 0.964544380396694  
ketebalan: 2.88991500518146E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 23987446.7453421  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8483

Simulation: 5

Values of Variables:  
Penetrasi: 20.2238209505346  
Diameter: 0.883262212897932  
ketebalan: 4.96289545304199E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 26290967.235695  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8261

Simulation: 4

Values of Variables:  
Penetrasi: 35  
Diameter: 1  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 45500000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8914

Simulation: 3

Values of Variables:  
Penetrasi: 20  
Diameter: 0.6  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 18000000  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.738

Simulation: 2

Values of Variables:  
Penetrasi: 27.5  
Diameter: 0.8  
ketebalan: 0.0377

Objective: Cost: Final\_Value: 33000000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8524

Simulation: 1 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 32.5

Diameter: 0.762

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 29250000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8655

## Optimiser for Crystal Ball 2000



File Edit View Run Tools Window Help



## Status and Solutions



## Optimization File

c:\my documents\unis\_sim\_2.opt

Crystal Ball Simulation: Unis\_running2.xls

## Optimization is Complete

Simulation	Minimize Objective Cost Final_Value	Requirement Reliability 0.9 <= Final_Value	Penetrasi	Diameter	ketebalan
1	6.0000E+07	0.908000	50.0000	1.20000	2.5400E-02
2	5.5250E+07	0.900000	42.5000	1.10000	3.7700E-02
11	4.8158E+07	0.900400	40.1314	1.19617	2.5424E-02
Best: 13	4.7468E+07	0.902000	39.5570	1.24242	2.5400E-02

## Optimization Statistics

Optimization File: C:\My Documents\Unis\_Sim\_2.opt

Total Number of Simulations: 68

Number of Trials per Simulation: 2500

Neural Network Engaged after simulation: 30

Number of Simulations Avoided Due to Neural Network: 23

\*\*\*\*\*BEST SOLUTION\*\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 39.5569795990271

Diameter: 1.24242453633318

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 47468375.5188325

Requirement Feasible

Requirement: Reliability: 0.902

Additional details may be found below...

Simulation: 68

Values of Variables:

Penetrasi: 32.8803301227841

Diameter: 1.25016635420811

ketebalan: 3.84844427061719E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 42744429.1596194

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8956

Simulation: 67

Values of Variables:

Penetrasi: 28.294642748118

Diameter: 1.38472681948837

ketebalan: 2.97982629356775E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 36783035.5725534

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8932

Simulation: 66

Values of Variables:

Penetrasi: 30.1369495048486

Diameter: 1.30890632170171

ketebalan: 2.80000371679517E-02



Objective: Cost: Final\_Value: 36164339.4058183  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8932

Simulation: 65

Values of Variables:  
Penetrasi: 27.1078980632416  
Diameter: 1.07340828529752  
ketebalan: 2.71495750259073E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 32529477.67589  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8744

Simulation: 64

Values of Variables:  
Penetrasi: 36.0758010552891  
Diameter: 1.36789118338308  
ketebalan: 3.96206134044146E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 54113701.5829336  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9024

Simulation: 63

Values of Variables:  
Penetrasi: 32.6457985908862  
Diameter: 1.35735387698906  
ketebalan: 3.42598817281146E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 42439538.168152  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8988

Simulation: 62

Values of Variables:  
Penetrasi: 32.8728079550628  
Diameter: 0.870182306854416  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 42734650.3415817  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.872

Simulation: 61

Values of Variables:

Penetrasi: 28.1411449274629  
Diameter: 1.35416096302522  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 33769373.9129555  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8912

Simulation: 60

Values of Variables:  
Penetrasi: 30.2904473255037  
Diameter: 1.33947217816487  
ketebalan: 3.52433238715573E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 39377581.5231548  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8948

Simulation: 59

Values of Variables:  
Penetrasi: 25  
Diameter: 1.22128911067992  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 37500000  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8804

Simulation: 58

Values of Variables:  
Penetrasi: 30.7064601557279  
Diameter: 1.35042077926202  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 36847752.1868735  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8948

Simulation: 57

Values of Variables:  
Penetrasi: 27.7251320972387  
Diameter: 1.34321236192806  
ketebalan: 3.43737318083188E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 36042671.7264103  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8904

Simulation: 56

Values of Variables:

Penetrasi: 46.9861583991581

Diameter: 0.822986450659153

ketebalan: 3.55281843580118E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 56383390.0789897  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.89

Simulation: 55

Values of Variables:

Penetrasi: 35.993079199579

Diameter: 0.811493225329576

ketebalan: 3.04640921790059E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 35993079.199579  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8728

Simulation: 54

Values of Variables:

Penetrasi: 26.9962919298218

Diameter: 0.880459528023266

ketebalan: 0.03422425254592

Objective: Cost: Final\_Value: 32395550.3157862  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8556

Simulation: 53

Values of Variables:

Penetrasi: 31.2342881791793

Diameter: 0.886314066904924

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 31234288.1791793  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.868

Simulation: 52

Values of Variables:

Penetrasi: 34.6705356797946

Diameter: 1.18561899318473

ketebalan: 3.84542300538098E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 45071696.383733  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8948

Simulation: 51

Values of Variables:

Penetrasi: 29.8352678398973  
Diameter: 0.992809496592366  
ketebalan: 3.19271150269049E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 35802321.4078768  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8756

Simulation: 50

Values of Variables:

Penetrasi: 32.3537247719323  
Diameter: 0.912289529922693  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 42059842.203512  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8756

Simulation: 49

Values of Variables:

Penetrasi: 25.3481659230538  
Diameter: 1.08326221289793  
ketebalan: 4.15526363536132E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 32952615.6999699  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8692

Simulation: 48

Values of Variables:

Penetrasi: 25.1740829615269  
Diameter: 0.941631106448966  
ketebalan: 3.34763181768066E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 30208899.5538323  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.856

Simulation: 47

Values of Variables:

Penetrasi: 30.599576885233

Diameter: 1.4

ketebalan: 2.91454321008415E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 39779449.9508028

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8976

Simulation: 46

Values of Variables:

Penetrasi: 26.3837807587497

Diameter: 1.04118208850153

ketebalan: 2.56462820490269E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 29022158.8346246

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.868

Simulation: 45

Values of Variables:

Penetrasi: 37.0802126272184

Diameter: 1.1269579228674

ketebalan: 0.036725484757535

Objective: Cost: Final\_Value: 48204276.4153839

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.896

Simulation: 44

Values of Variables:

Penetrasi: 42.4255985623237

Diameter: 1.09195358836333

ketebalan: 3.68960139766873E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 55153278.1310207

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9

Simulation: 43

Values of Variables:

Penetrasi: 39.3342126543423

Diameter: 1.07579391414192

ketebalan: 0.042429951106576

Objective: Cost: Final\_Value: 51134476.450645  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8968

Simulation: 42

Values of Variables:  
Penetrasi: 26.8451153043814  
Diameter: 0.840191595234061  
ketebalan: 4.85914618000458E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 34898649.8956958  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8456

Simulation: 41

Values of Variables:  
Penetrasi: 37.5469585483389  
Diameter: 1.06266489594947  
ketebalan: 3.90181246419317E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 48811046.1128406  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8932

Simulation: 40

Values of Variables:  
Penetrasi: 27.7845722884626  
Diameter: 1.37340828529752  
ketebalan: 2.79509572688208E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 36119943.9750014  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8912

Simulation: 39

Values of Variables:  
Penetrasi: 26.353348450442  
Diameter: 1.4  
ketebalan: 2.70027644858271E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 31624018.1405304  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.89

Simulation: 38

Values of Variables:

Penetrasi: 33.6438640843222  
Diameter: 1.26454438039669  
ketebalan: 3.18327667012097E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 43737023.3096189  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8972

Simulation: 37

Values of Variables:  
Penetrasi: 38.0719320421611  
Diameter: 1.18227219019835  
ketebalan: 3.47663833506049E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 49493511.6548094  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8988

Simulation: 36

Values of Variables:  
Penetrasi: 30.83333333333333  
Diameter: 0.9  
ketebalan: 0.0295

Objective: Cost: Final\_Value: 33916666.6666667  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.868

Simulation: 35

Values of Variables:  
Penetrasi: 36.66666666666667  
Diameter: 1  
ketebalan: 0.0336

Objective: Cost: Final\_Value: 44000000  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8888

Simulation: 34

Values of Variables:  
Penetrasi: 33.1246759241591  
Diameter: 1.26888429184381  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 39749611.108991  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8964

Simulation: 33

Values of Variables:

Penetrasi: 39.7584965714389

Diameter: 1.2034001129769

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 47710195.8857267

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9004

Simulation: 32

Values of Variables:

Penetrasi: 40.5043670808078

Diameter: 1.18893543211565

ketebalan: 2.89530195059343E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 48605240.4969694

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9008

Simulation: 31

Values of Variables:

Penetrasi: 53.7917748154642

Diameter: 1.20114166595373

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 64550129.7785571

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9112

Simulation: 30

Values of Variables:

Penetrasi: 36.3396570106591

Diameter: 1.19502610659254

ketebalan: 2.54310175706278E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 43607588.4127909

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8964

Simulation: 29

Values of Variables:

Penetrasi: 43.9232066415876

Diameter: 1.1973094385

ketebalan: 0.025416808396797

Objective: Cost: Final\_Value: 52707847.9699051  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9036

Simulation: 28

Values of Variables:

Penetrasi: 39.2312056741038  
Diameter: 1.38228161200531  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 58846808.5111557  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9068

Simulation: 27

Values of Variables:

Penetrasi: 40.4060296717115  
Diameter: 1.19231465031806  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 48487235.6060538  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9004

Simulation: 26

Values of Variables:

Penetrasi: 39.8568339805352  
Diameter: 1.20002089477448  
ketebalan: 3.41365126275958E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 51813884.1746958  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9012

Simulation: 25

Values of Variables:

Penetrasi: 50.0657159130617  
Diameter: 1.29808388627314  
ketebalan: 2.54119564918562E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 60078859.095674  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9116

Simulation: 24

Values of Variables:

Penetrasi: 28.3990783780212

Diameter: 0.838763349642295

ketebalan: 0.048636668579057

Objective: Cost: Final\_Value: 36918801.8914276

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8552

Simulation: 23

Values of Variables:

Penetrasi: 34.5759151127361

Diameter: 0.983740390371818

ketebalan: 3.99901957666469E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 44948689.6465569

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.884

Simulation: 22

Values of Variables:

Penetrasi: 37.3536734694297

Diameter: 1.08995408145905

ketebalan: 3.27070543751796E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 44824408.1633157

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8936

Simulation: 21

Values of Variables:

Penetrasi: 45.3284156745164

Diameter: 1.18294402340327

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 54394098.8094196

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9044

Simulation: 20

Values of Variables:

Penetrasi: 34.9344479777304

Diameter: 1.20939152168927

ketebalan: 2.79853710417891E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 41921337.5732764  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8964

Simulation: 19

Values of Variables:  
Penetrasi: 25.0161598706205  
Diameter: 1.4  
ketebalan: 2.93931080281961E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 32521007.8318067  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.888

Simulation: 18

Values of Variables:  
Penetrasi: 44.3310680819861  
Diameter: 1.13773707260285  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 53197281.6983834  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9024

Simulation: 17

Values of Variables:  
Penetrasi: 35.9317955702606  
Diameter: 1.25459847248969  
ketebalan: 2.59178709600939E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 43118154.6843127  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8984

Simulation: 16

Values of Variables:  
Penetrasi: 46.8936207289351  
Diameter: 1.21455314244289  
ketebalan: 2.54241915736221E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 56272344.8747221  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9068

Simulation: 15

Values of Variables:

Penetrasi: 33.3692429233116  
Diameter: 1.17778240264966  
ketebalan: 2.54236343938027E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 40043091.5079739  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.892

Simulation: 14

Values of Variables:  
Penetrasi: 43.0744522270963  
Diameter: 1.05374323621309  
ketebalan: 0.039109448358238

Objective: Cost: Final\_Value: 55996787.8952252  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8988

Simulation: 13 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:  
Penetrasi: 39.5569795990271  
Diameter: 1.24242453633318  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 47468375.5188325  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.902

Simulation: 12

Values of Variables:  
Penetrasi: 40.7058840532196  
Diameter: 1.14991100875936  
ketebalan: 2.68333613419504E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 48847060.8638636  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9

Simulation: 11 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:  
Penetrasi: 40.1314318261234  
Diameter: 1.19616777254627  
ketebalan: 2.54239129837124E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 48157718.191348  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9004

Simulation: 10

Values of Variables:

Penetrasi: 44.4393806749621

Diameter: 1.12553881233831

ketebalan: 4.93664689662842E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 66659071.0124431

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9024

Simulation: 9

Values of Variables:

Penetrasi: 39.5058035196919

Diameter: 1.3784284897771

ketebalan: 4.49813450807147E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 59258705.2795379

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9068

Simulation: 8

Values of Variables:

Penetrasi: 31.7981567560425

Diameter: 0.87752669928459

ketebalan: 4.72733371581141E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 41337603.7828552

Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8684

Simulation: 7

Values of Variables:

Penetrasi: 57.9792375987371

Diameter: 0.834479675988729

ketebalan: 4.05922765370178E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 69575085.1184845

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9

Simulation: 6

Values of Variables:

Penetrasi: 29.2157961264833

Diameter: 1.34681657059504

ketebalan: 2.88991500518146E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 37980534.9644283  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8932

Simulation: 5

Values of Variables:

Penetrasi: 25.5222488845807  
Diameter: 1.2248933193469  
ketebalan: 4.96289545304199E-02

Objective: Cost: Final\_Value: 38283373.3268711  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.8808

Simulation: 4

Values of Variables:

Penetrasi: 60  
Diameter: 1.4  
ketebalan: 0.05

Objective: Cost: Final\_Value: 90000000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9172

Simulation: 3

Values of Variables:

Penetrasi: 25  
Diameter: 0.8  
ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 22500000  
Infeasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.83

Simulation: 2 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 42.5  
Diameter: 1.1  
ketebalan: 0.0377

Objective: Cost: Final\_Value: 55250000  
Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.9

Simulation: 1 \*\*\*\*NEW BEST SOLUTION\*\*\*\*

Values of Variables:

Penetrasi: 50

Diameter: 1.2

ketebalan: 0.0254

Objective: Cost: Final\_Value: 60000000

Feasible Requirement: Reliability: Final\_Value: 0.908