



TUGAS AKHIR

(KL 1702)

OPTIMASI DIMENSI VERTICAL TENDONS PADA TENSION LEG PLATFORMS



RSKe
627.98
Har
0-1

2000

DISUSUN OLEH :

UMAR YUDI HARTONO

NRP : 4395.100.002

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

Rp 35.000

Tgl. Terbit	19/02/01
Terima	H
No. Register	21-3159

**OPTIMASI DIMENSI VERTICAL TENDONS
PADA TENSION LEG PLATFORMS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Daniel M Rosyid, PhD

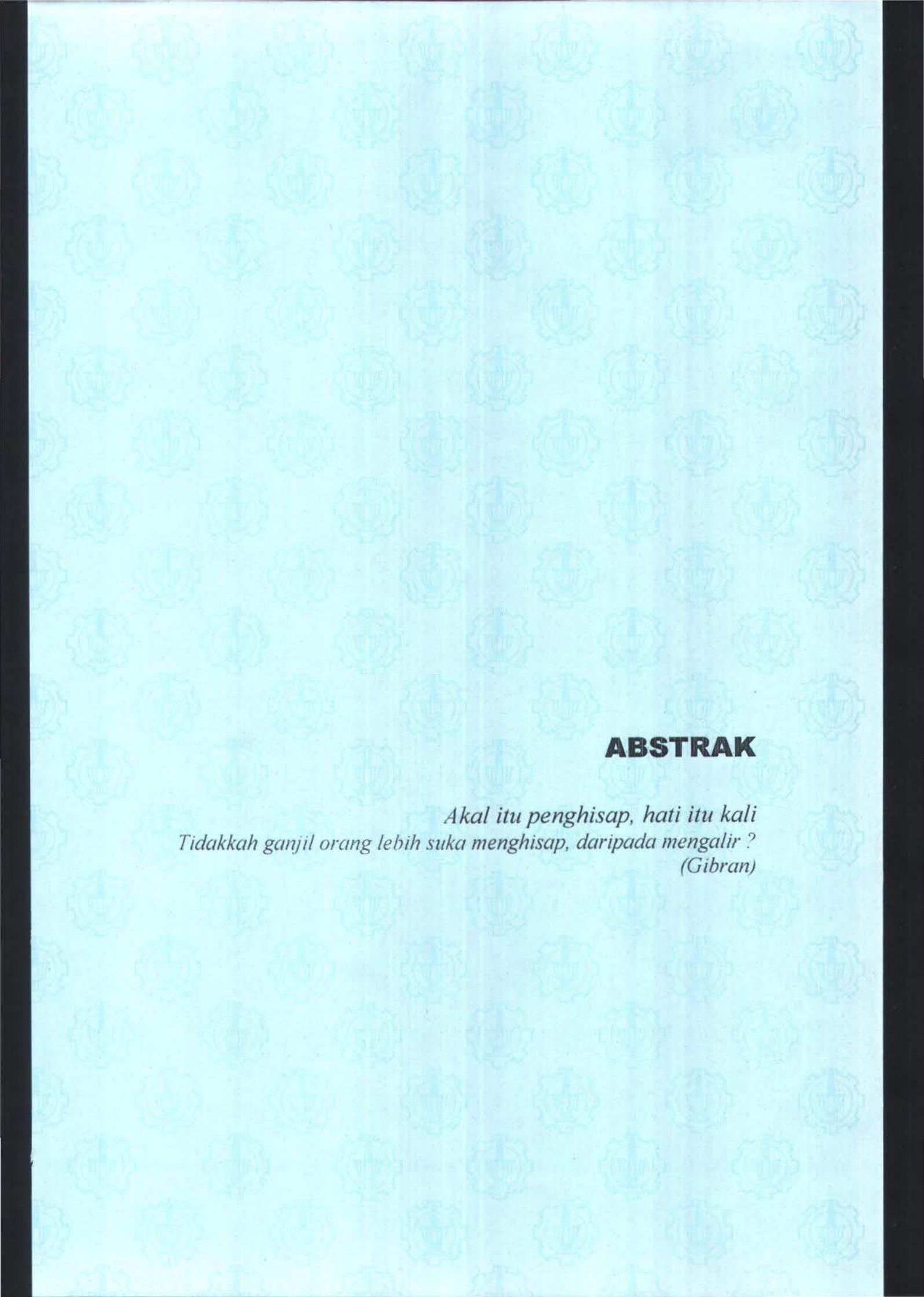
NIP. 131 782 038

Ir. J.J. Soedjono, M.Sc

NIP. 130 359 270

SURABAYA

2001



ABSTRAK

*Akal itu penghisap, hati itu kali
Tidakkah ganjil orang lebih suka menghisap, daripada mengalir ?
(Gibran)*

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini optimasi dimensi tendon pada TLPs dilakukan untuk mendapatkan D (diameter) dan t (tebal) yang optimal. Sequential Unconstrained Minimization Techniques (SUMT) digunakan untuk mengubah persoalan optimasi berkendala menjadi persoalan optimasi tanpa kendala. Kendala-kendala yang digunakan antara lain: D/t minimum, D/t maksimum, tegangan Von mises, tegangan longitudinal maksimum, kedalaman maksimum, combined tensile stress dan axial tension. Metode optimasi tanpa kendala yang digunakan adalah steepest descent.

Penyusunan model optimasi untuk mengakomodasi persoalan optimasi dilakukan berdasarkan kendala-kendala yang diperlukan. Solver yang terdapat pada Microsoft Excell 2000 dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi non linear dengan menggunakan gradient sebagai basis untuk pencarian arahnya.

Hasil yang diperoleh dari proses optimasi pada tugas akhir ini, adalah untuk Joilet TLPs berat tendon minimum adalah 568.66 kN dengan Diameter 0.37 m dan tebal 0.014 m; untuk Snorre TLPs, berat tendon minimum 1390.33 kN dengan Diameter 0.77 m dan tebal 0.028 m; untuk Hutton TLPs berat tendon minimum adalah 352.79 kN dengan Diameter 0.24 m dan tebal 0.074 m; untuk Auger TLPs berat tendon minimum 2855.47 kN dengan Diameter 0.54 m dan tebal 0.027 m.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kepada Allah SWT Pencipta dan Penguasa Jagat Raya, Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang, yang telah membimbing, memberi kekuatan lahir batin, kekuatan berfikir, yang telah mengabulkan doa dan permohonan hamba-Nya ini.

Tugas Akhir ini dikerjakan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan strata 1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pemilihan materi tentang optimasi dimensi *verticals tendon* pada TLP ini dipilih untuk mendapatkan Diameter dan tebal optimum dengan berat yang minimum. Optimasi dimensi dengan meminimalkan berat diharapkan dapat berfungsi sebagai efektif cost dapat menghindari terjadinya over desain dan mengurangi besar pretension. SUMT (Sequential Unconstrained Minimization Tecnique) adalah teknik transformasi yang mengubah optimasi berkendala menjadi optimasi tanpa kendala dengan meminimasi pseudo fungsi objektif. Teknik transformasi dengan menggunakan Interior penalty mentransformasi suatu model optimasi dengan menghasilkan suatu pseudo fungsi objektif $\phi(x)$ dan parameter penalty(r^p). Steepest descent menyelesaikan persoalan optimasi tanpa kendala dengan menggunakan arah menurun. Penyelesaian fungsi satu variabel sebagai one dimensional search melalui golden section untuk mendapatkan desain variabel yang optimum. Variabel yang optimum diperoleh setelah memenuhi kriteria konvergensi.

Dengan segala keterbatasan yang ada, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran guna mencapai kesempurnaan dan kebaikan dari Tugas Akhir ini. Dan penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat berguna bagi siapa saja yang membutuhkannya.

Surabaya, 30 Oktober 2000

Umar Yudi Hartono

UCAPAN TERIMA KASIH

Terlaksananya penulisan tugas akhir ini tidak luput dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak tersebut :

1. Ibu yang telah ikhlas memberikan sebagian nafasnya dan kasih sayangnya dan Bapakku yang memasangkan sayap-sayap kepercayaannya padaku.
2. Ir. Daniel M Rosyid, Msc. PhD dan Ir. J.J. Soedjono, M.Sc.
Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan sejak awal sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. P. Indiyono, M.Sc.
Selaku dosen wali yang telah banyak membantu selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan.
4. Seluruh staf Dosen dan Karyawan yang bertugas di Jurusan Teknik Kelautan ITS.
5. My sister and brother : Warliyah (Mas Di serta Mamad n' Inul) , Darsono (Mbak Aini) dan Urik (Hartono), maafkan atas kepankan sayap kebebasanku yang selalu menjauhi kalian.
6. My Forever friends ; Yasak, Achmad, Gondrong, Reno, Nino dan Probo.

7. My Soulmate : (R.I.P) Alm. M. Choiruman (I still don't believe that you're gone)
8. My Old Friends : Machmud, Chiki, Oliver dan Reyin for the differences.
9. Special thanks to Yusuf dan his very beautiful girl, Rika (dicucuk pitik). "Love will lead you back"
10. My 'bete' Friends : Anam, Anang, Ochim, Daryono, Hanif, Lia dan Susi.
11. Rekan-rekan Seangkatan L'95 : Rojak, Wawan, Cahyo, Ginco, Azhar, Heri (bsb), Eko, Dhodot, Adi, Irlan, Joe dan semuanya.
12. Mbak Rini (for giving me a nice good start), Saiful, Dadan, Hari, Uton, Sonny, Ristia, Charchi, Dea, Iis, Heni, Audy, Amy, Meisy, Nawang, dan seluruh mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan yang selalu memberi keceriaan dan kecerahan suasana selama menjalani studi di Teknik Kelautan ITS.
13. Seluruh staf dan karyawan di Gembong Sawah Barat atas lahan kuburan -jiwaku -.

NOTASI

- A = Luas Penampang Luar
- D, D_s = Diameter Tendon, solid tendon Diameter
- E = Modulus elastisitas material tendon
- F_n = Resultan gaya normal tendon akibat tekanan sisi luar dalam bidang $-xz$
- F_x = Resultan gaya pada arah x akibat tekanan luar (eksternal)
- F_y = Kekutan mulur material
- F_z = Resultan gaya pada arah z akibat tekanan luar (eksternal)
- h_w, \bar{h}_w = Kedalaman air, batasan kedalaman air
- L = Panjang tendon
- P_e = Tekanan hidrostatic eksternal
- R = Stress ratio (σ_o / σ_y) atau water reduction factor
- R_1 = Top reaction yang ditransfer ke hull TLP
- R_2 = Bottom reaction yang ditransfer ke pondasi (anchor connector)
- SF_h = Safety factor untuk hoop stress
- SF_x = Safety factor untuk tensile stress
- t = Tebal tendon
- $T_e(0)$ = Tendon effective bottom tension
- $T_e(1)$ = Tendon effective top tension
- T_1, T_0 = Tendon external true top and bottom tension
- W_a = Berat tendon di udara
- W_e = Berat tendon dalam air

θ	= Sudut tendon
ρ	= Densitas air
σ_a, σ_b	= Axial stress, bending stress
σ_{all}	= Tegangan ijin = σ_y / SF_x
σ_e	= Effective tensile stress
σ_o	= Longitudinal stress = $\sigma_a + \sigma_b$
σ_{ul}, σ_y	= Ultimate strength, yield strength
σ_{vm}	= Tegangan Von Mises
γ_w	= Specific weight of water (64 lb/ft ³)
γ_s	= Specific weight of tendon material (Steel = 490 lb / ft ³ , Composite = 102 lb / ft ³)

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Ucapan Terima Kasih	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xii
Daftar Grafik	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Perumusan Masalah	I-3
1.3. Batasan Masalah	I-3
1.4. Tujuan	I-4
1.5. Gambaram umum	I-5
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Pengaruh tension, berat dan tekanan hidrostatis pada tendon	II-1
2.1.1. Hubungan antara tension tendon atas dan bawah	II-2
2.1.2. Hubungan antara tension tendon dan reaksi pada hull dan bottom flex joints	II-6
2.1.3. Gaya pada silinder akibat tekanan hidrostatik eksternal	II-7
2.1.3.a. Gaya yang terjadi akibat tekanan sisi	II-8
2.1.3.b. Gaya yang terjadi akibat tekanan ujung	II-9
2.1.4. Hubungan antara tension sebenarnya (true tension) dan tension efektif (effective tension)	II-10

2.1.5. Batasan tensile stress dan kedalaman air berdasarkan persyaratan kekuatan	II-11
2.1.6. Pertimbangan hidrostatic collapse	II-12
2.1.6.a. Collapse Check-Hydrostatic Presssure only	II-13
2.1.6.b. Collapse Check-Tension and Hydrostatic Pressure	II-14
2.1.6.c. Pengaruh kedalaman pada allowable combined stress	II-15
2.1.6.d. Pengaruh kedalaman pada allowable D/t	II-16
2.1.6.e. Pengaruh kedalaman pada kekuatan mulur material minimum	II-17
2.1.7. Collapse Check Formulas	II-19
2.2. Metode Optimasi	II-20
2.2.1. Statetement Persoalan Optimasi	II-20
2.2.2. Optimasi Non Linear	II-20
2.2.2.1. Sequantial Unconstrained Minimization Tecnique	II-22
2.2.2.1.1. Interior Penalty Function Method	II-22
2.2.2.1.2. Scaling of the constraint	II-25
2.2.2.1.3. Picking the Initial Parameter	II-28
2.3. Steepest Descent method	II-30
2.4. Golden Section	II-34
2.4.1. Initial Bracketing of minimum	II-37
2.4.2. Fibonacci Sequence	II-37
2.4.3. Reduction of Interval of Uncertainty	II-39

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Model Optimasi	III-2
3.2. Program Optimasi Non Linear	III-5
3.3. Analisa Hasil dan Perhitungan	III-6

BAB I

PENDAHULUAN

*Hari ini aku terhenti di tengah perjalanan,
Seperti seorang musafir yang belum sampai ke tujuan,
Namun ingin tahu mana dia berada,
Aku memandang bergantian ke segala jurusan,
Tetapi tak kutemukan jejak peninggalan masa lalu,
Yang tak dapat kutunjuk dengan pasti :
"Inilah milikku" (Gibran)*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar belakang

Tension leg platforms (TLP) adalah struktur terapung yang ditambatkan ke dasar laut oleh tendon-tendonnya (Chakrabarti, 1987). Tendon-tendon ini terletak di sudut kolom (*hull*) TLP yang di hubungkan ke struktur pondasi dasar laut dengan sambungan *flex joint* (seperti terlihat pada gambar I.1.). Jumlah tendon bervariasi sesuai dengan kebutuhan dan pertimbangan-pertimbangan tertentu. Tendon (atau disebut juga *tether*) dapat terbuat dari baja atau material komposit dengan bentuk solid silinder atau pipa tubular. Tendon yang terbuat dari material komposit memiliki berat yang lebih ringan dan kekuatan yang lebih tinggi serta memberikan gaya pengembali yang cukup besar dibandingkan dengan tendon yang terbuat dari baja, biasanya berupa silinder yang memiliki perbandingan D/t yang lebih baik sehingga dapat mengurangi efek dari adanya tekanan hidrostatik yang dapat menyebabkan *collapse* (*Hydrostatic Collapse*).

Tendon pada TLP berfungsi untuk mengurangi pengaruh lingkungan yaitu angin, arus dan gelombang pada gerakan struktur TLP. Dimana secara horisontal membatasi gerakan platform dari *surge*, *sway* dan *yaw*. Dan secara vertikal membatasi gerakan *heave*, *pitch* dan *roll*. Untuk membatasi gerakan platform tersebut, pretension pada tendon memberikan gaya pengembali pada platform yang cukup untuk membatasi *offset* yang terjadi.

Tendon yang seluruhnya berada di bawah permukaan laut dipengaruhi oleh tekanan hidrostatis yang dapat menyebabkan tendon mengalami *collapse*. Pretension selain menjaga tendon agar tidak mengalami *overload* (memberikan stabilitas pada struktur) juga menjaga tendon (memberikan tension yang cukup) sebagai sistem penambatan untuk menghindari terjadinya *slack* (kendor). Kedalaman air laut sangat mempengaruhi desain awal tendon. Semakin bertambahnya kedalaman air laut maka semakin besar berat tendon yang dibutuhkan. Meminimalisasi berat tendon sangat bermanfaat ditinjau dari segi biaya. Karena hal ini dapat mengurangi biaya atau merupakan *effective cost*.

Untuk meminimisasi berat tendon ada beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain pemilihan material, penentuan rasio D/t , Kedalaman dan safety faktor. Material komposit juga dapat digunakan karena dari segi berat lebih ringan dan juga perbandingan D/t yang lebih baik. Tinjauan terhadap tekanan hidrostatis yang bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman merupakan faktor yang penting dalam penentuan rasio D/t . Untuk material yang terbuat dari baja pemilihan jenis material terutama pada kekuatan mulur material memiliki hubungan langsung terhadap pada kedalaman berapa material tersebut akan dipergunakan.

Optimasi berat tendon sebagai fungsi biaya harus memenuhi beberapa kriteria tegangan yang diijinkan serta besar *pretension* yang diperlukan. Karena desain awal tendon merupakan faktor yang dapat menentukan konfigurasi desain dari platform. Sehingga *pretension* yang terlalu besar akan mengakibatkan meningkatnya besar penambahan *displasmen hull* yang kemudian berakibat meningkatnya pula kebutuhan material. Selain itu besar *pretension* juga

berpengaruh pada bertambahnya *cross sectional area* tendon atau juga kekuatan mulur material.

I.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam melakukan optimasi dimensi vertikal tendon pada TLP pada tugas akhir ini adalah :

- Bagaimana meminimalkan berat tendon untuk mendapatkan D (diameter) dan t (tebal) yang optimum dengan mempertimbangkan kendala-kendala:
 1. D/t minimum (Collapse Check- Tekanan Hidrostatik)
 2. D/t maksimum (Collapse Check- Tekanan Hidrostatik)
 3. Tegangan Von Mises (Tegangan Longitudinal bersih pada kondisi ekstrim)
 4. Tegangan Longitudinal maksimum (berdasarkan persyaratan kekuatan)
 5. Kedalaman maksimum (berdasarkan persyaratan kekuatan)
 6. Combined Tensile Stress (API RP 2T)
 7. Axial Tension (API RP 2A)

I.3. Maksud dan Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- Meminimalkan berat tendon untuk mendapatkan D(diameter) dan t (tebal) yang optimum dengan mempertimbangkan kendala-kendala :
 1. D/t minimum (Collapse Check- Tekanan Hidrostatik)
 2. D/t maksimum (Collapse Check- Tekanan Hidrostatik)

3. Tegangan Von Mises (Tegangan Longitudinal bersih pada kondisi ekstrim)
4. Tegangan Longitudinal maksimum (berdasarkan persyaratan kekuatan)
5. Kedalaman maksimum (berdasarkan persyaratan kekuatan)
6. Combined Tensile Stress (API RP 2T)
7. Axial Tension (API RP 2A)

I.4. Batasan Masalah

Untuk menjaga agar permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini tidak menjadi luas, maka disusun batasan masalah sebagai berikut :

1. Tendon berbentuk silinder terbuat dari baja.
2. Silinder yang digunakan untuk tendon bersifat elastis sederhana tanpa sambungan dan cacat.
3. Tension yang terdapat pada tendon hanya dipengaruhi oleh *pretension*, berat tendon dan tekanan hidrostatik.
4. Gaya Arus dan Gelombang di abaikan
5. Gaya drag pada tendon diabaikan.
6. Frekuensi natural tendon jauh lebih kecil dibandingkan frekuensi gelombang dan periode natural struktur
7. Optimasi dilakukan tanpa memperhitungkan kelelahan tendon.
8. Tinjauan dilakukan ketika tendon dalam posisi vertikal (sudut rotasi 0).
9. Kekuatan mulur material 50 ksi dan tensile strength 70 ksi.

I.5. Sequential Unconstrained Minimization Techniques (SUMT).

Dalam tugas akhir ini untuk mengubah persoalan optimasi berkendala menjadi tanpa kendala dengan menggunakan teknik transformasi yang disebut *Sequential Unconstrained Minimization Techniques* (SUMT). Fungsi penalti yang digunakan untuk membatasi pelanggaran terhadap constraint adalah *Interior Penalty Function Method*. Dari Model Optimasi yang digunakan dapat disusun persamaan fungsi objektif sebagai berikut :

$$F(x) = \rho L \frac{1}{4} \pi (X(1)^2 - (X(1) - 2X(2))^2)$$

Dengan memperhatikan kendala-kendala :

$$G(1) = \frac{20X(2)}{X(1)} - 1 \leq 0$$

$$G(2) = \frac{X(1)}{31X(2)} - 1 \leq 0$$

$$G(3) = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{all}} - 1 \leq 0$$

$$G(4) = \frac{\sigma_o}{\sigma_o} - 1 \leq 0$$

$$G(5) = \frac{h_w}{h_w} - 1 \leq 0$$

$$G(6) = \frac{\sigma}{0.8\sigma_y} - 1 \leq 0$$

$$G(7) = \frac{\sigma_a}{0.6\sigma_y} - 1 \leq 0$$

Maka fungsi penalti yang digunakan adalah :

$$P(X) = \sum_1^7 \frac{-1}{g_1(X)}$$

Sehingga persamaan SUMT untuk mendapatkan *pseudo function objective* yang memiliki *inequality constraint* adalah

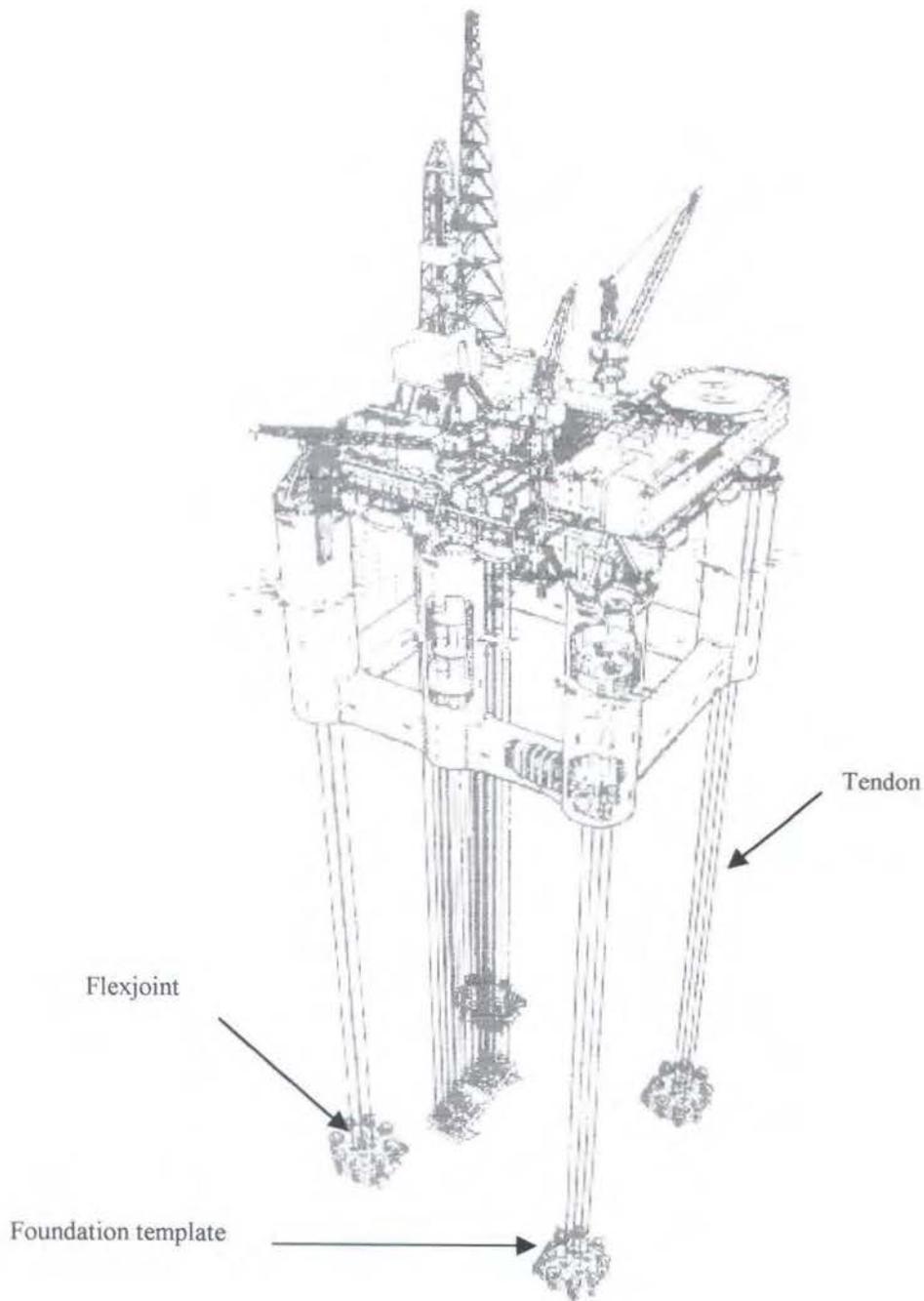
$$\phi(X, r_p) = F(X) + r_p \sum_1^7 \frac{-1}{g_1(X)}$$

Dimana r_p adalah parameter penalti untuk fungsi penalti interior.

Dalam tugas akhir ini *pseudo objective function*nya adalah

$$\phi(X, r_p) = \rho L^{1/4} \pi (X(1)^2 - (X(1) - 2X(2))^2) - r_p \left(\frac{X(1)}{2(X(2) - X(1))} + \frac{3X(2)}{X(1) - 3X(2)} + \frac{\sigma_{all}}{\sigma_{vm} - \sigma_{all}} + \frac{\bar{\sigma}_O}{\sigma_O - \bar{\sigma}_O} + \frac{\bar{h}_w}{h_w - \bar{h}_w} + \frac{0.8\sigma_y}{\sigma - 0.8\sigma_y} + \frac{0.6\sigma_y}{\sigma_a - 0.6\sigma_y} \right)$$

Persamaan di atas selanjutnya dapat diselesaikan dengan menggunakan metode optimasi non linear tanpa kendala, dalam tugas akhir metode yang digunakan adalah *steepest descent*. Dalam tugas akhir ini proses optimasi dengan meminimalkan berat untuk mendapatkan D/t yang optimum dilakukan dengan menggunakan program solver yang terdapat pada Microsoft Excell 2000.



Gambar.I.1. Tension Leg Platforms

I.6. SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR

Sistematika yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang latar belakang ditulisnya tugas akhir ini, permasalahan yang akan diselesaikan, tujuan yang ingin dicapai yaitu menyelesaikan permasalahan yang ada, batasan masalah yang berupa asumsi-asumsi, SUMT dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Ada beberapa dasar teori yang digunakan oleh penulis untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada. Dasar teori yang digunakan diantaranya adalah pengaruh tension, berat dan tekanan hidrostatis pada tendon, metode optimasi non linier, SUMT dan steepest descent .

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini diterangkan tentang bagaimana langkah-langkah yang dilakukan dalam menyusun tugas akhir. Langkah-langkah tersebut dimulai dari pengambilan data, penyusunan model optimasi. Program komputer yang digunakan untuk membantu pengerjaan tugas akhir ini serta susunan model optimasi.

BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

Dalam bab ini dilakukan perhitungan untuk menentukan beban-beban yang bekerja pada tendon, seperti tension tendon, tegangan longitudinal, combined tensile stress, Hoop stress/ circumferential stress, von Mises stress, tension efektif. Hasil dari running program kemudian dianalisa untuk diselidiki kendala-kendala yang aktif dalam proses optimasi tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diambil dari perhitungan serta hasil dari proses optimasi yang dilakukan. Selain itu dalam bab ini juga berisi saran yang berguna untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II

DASAR TEORI

Sesuatu menjadi mungkin dan tidak mungkin terletak pada determinasi seseorang.

*Orang yang tidak pernah jatuh itu biasa, tapi orang sering jatuh tapi selalu bangkit lagi itu luarbiasa
(pepatah lama)*

BAB II

DASAR TEORI

II.1. Pengaruh tension, berat dan tekanan hidrostatis pada tendon.

Sistem tendon pada TLP berfungsi untuk membatasi gerakan platform terhadap gerakan *heave* serta memberikan gaya pengembali yang dibutuhkan untuk membatasi gerakan platform secara horisontal.

Desain dari tendon dipengaruhi oleh penambahan berat dan penambahan tekanan hidrostatis yang sesuai dengan kedalaman dimana TLP tersebut beroperasi. Oleh karena itu sangat dibutuhkan sistem tendon dengan berat yang minimum yang secara langsung akan berpengaruh terhadap pengurangan biaya yang dibutuhkan. Selain itu desain dari sistem tendon harus memenuhi persyaratan operasional dan juga persyaratan desain.

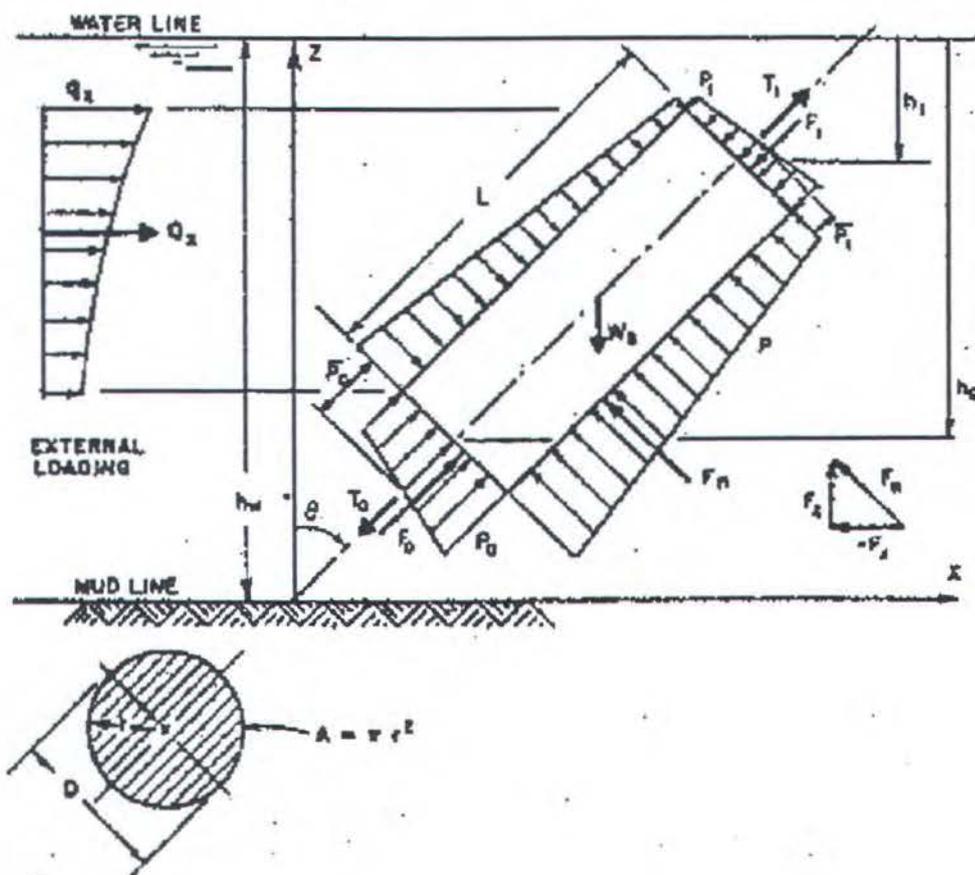
Penambahan kedalaman juga sangat berpengaruh terhadap *performance* dari tendon (Hanna et al,1987). Batasan yang harus dipenuhi jika kedalaman bertambah adalah :

1. Memilih kekakuan tendon, dimana hal ini akan membatasi periode *heave/pitch/roll* sampai 3 detik sehingga dapat mengurangi amplifikasi beban dinamis dan kelelahan (*fatigue*) pada tendon.
2. Optimasi geometri dari *waterline*, yang mana dapat digunakan untuk memperbesar batasan periode dari 3 sampai 5 detik atau lebih.

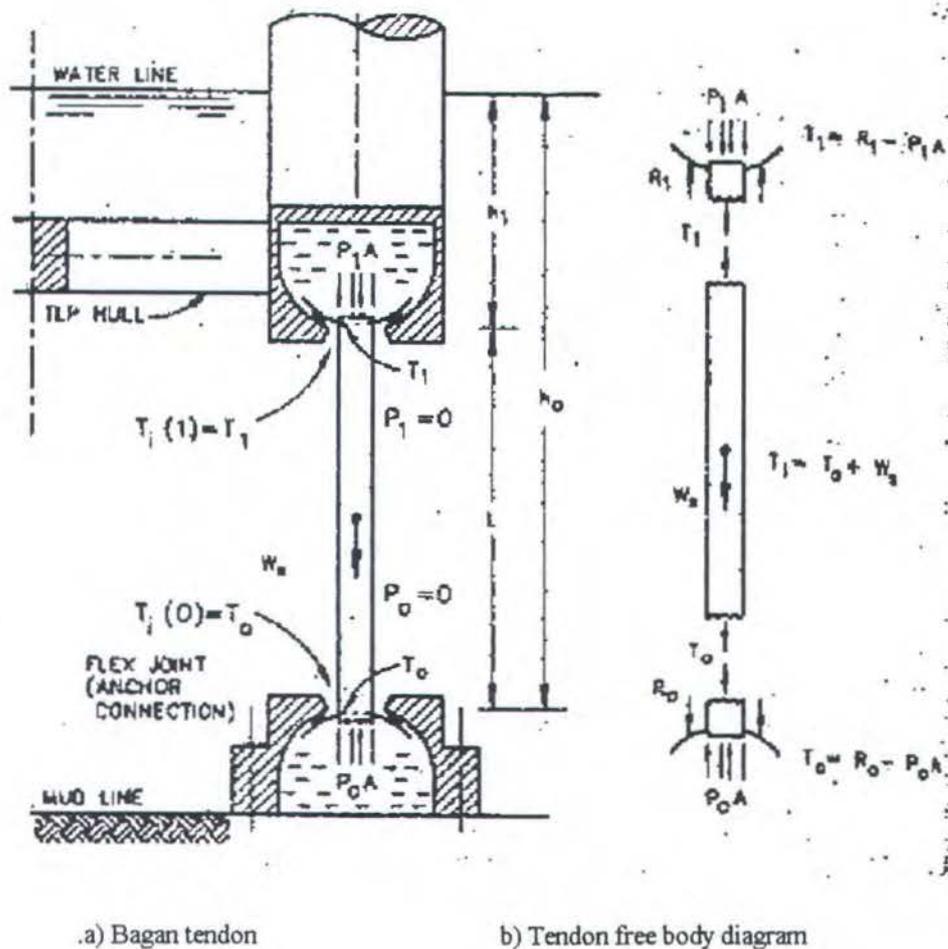
disusun dari persamaan gaya-gaya statis karena tekanan luar, gaya-gaya dalam, dan gaya-gaya luar seperti pada gambar II.1.

Persamaan gaya sepanjang sumbu aksial adalah

$$T_1 = T_0 + W_a \cos \theta - (\bar{P}_0 - P_1) A - Q_x \sin \theta \dots\dots\dots(2.1.1)$$



Gambar II.1. Free body diagram dari rigid tendon akibat tekanan hidrostatik dan gaya eksternal (Hanna et al, 1987)



Gambar II.2. Gaya-gaya tendon, reaksi dan boundary conditions

(Hanna et al, 1987)

Seperti terlihat pada gambar II.2.a kasus ini untuk tendon yang disambungkan dengan sambungan *flex* pada bagian teratas dan bawah tendon. *Tension* tendon bagian atas (T_1), dapat ditentukan dengan memotong tepat di bawah bagian *flex joint* pada tendon bagian atas. Hal serupa juga dapat dilakukan untuk mendapatkan *tension* terbawah (*bottom tension*) T_0 , yaitu dengan melakukan pemotongan tepat di atas sambungan *flex* di dasar laut. Gaya-gaya ini harus seimbang dengan gaya-gaya reaksi pada *flex joint*. Penambahan gaya-gaya

tekanan, P_0A dapat digunakan untuk mengurangi persyaratan *tendon bottom tension* T_0 jika $R = T_0 + P_0A$. Untuk kasus ini, tekanan ujung (*end pressure*) P_1 dan P_0 tidak bekerja langsung pada ujung tendon karena tidak ada tekanan hidrostatik yang bekerja. Sehingga persamaan (2.1) menjadi

$$T_1 = T_0 + W_a \cos \theta - Q_x \sin \theta \dots\dots\dots(2.1.2)$$

Jika tendon pada keadaan vertikal atau sumbu rotasi 0° dan beban luar diabaikan maka didapatkan

$$T_1 = T_0 + W_a \dots\dots\dots(2.1.3)$$

Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa *tension teratas (top tension)* sama dengan *tension terbawah (bottom tension)* ditambah dengan berat tendon di udara.

Dari persamaan diatas dapat pula disimpulkan bahwa untuk mengurangi *tension teratas* dapat dilakukan dengan mengurangi berat tendon di udara dan atau mengurangi *tension terbawah tendon (bottom tension)*. Bila *tension terbawah* diketahui, *Eksternal bouyancy* dapat digunakan untuk mengurangi *top tension* jika memungkinkan melalui *bouyancy chamber* (atau *floats*) dan bukan dengan elemen *bouyancy* yang menerus. Penambahan diameter luar tendon tanpa mengubah berat tendon di udara tidak akan mengurangi *top tension* secara langsung. Tetapi hal ini dapat digunakan untuk mengurangi *top tension* dengan mengurangi persyaratan pada T_0 , hal ini akan dijelaskan nanti.

Dengan mengurangi *top tension* maka desainer dapat dengan leluasa mengurangi ukuran platform atau menambah *deck payload*.

II.1.2.Hubungan antara tendon tension dan reaksi pada hull dan bottom flex joints

Jika R_1 adalah reaksi di dalam material elastis didalam *top flex joint* yang ditransfer ke hull. Dan juga R_0 adalah reaksi di dalam *bottom flex joints* yang di transfer ke struktur pondasi. Tendon seperti terlihat pada gambar II.2.b. dipengaruhi *hydrostatic end pressure*. Daerah yang dipengaruhi oleh tekanan ini adalah merupakan *cross sectional area* A yang ditentukan oleh diameter luar. Dengan menganalisa *free body diagram*, dapat dikembangkan tiga hubungan di bawah ini :

$$T_1 = R_1 - P_1 A \dots\dots\dots(2.1.4)$$

$$T_1 = T_0 + W_a \dots\dots\dots(2.1.5)$$

Dan

$$T_0 = R_0 - P_0 A \dots\dots\dots(2.1.6)$$

Persamaan (2.1.4) dan (2.1.5) dapat dikombinasikan menjadi :

$$R_1 = T_0 + W_a + P_1 A \dots\dots\dots(2.1.7)$$

Hal ini jelas bahwa dengan mengurangi gaya reaksi R_1 dapat dilakukan dengan mengurangi tension terbawah (*bottom tension*), berat tendon di udara, dan gaya tekanan ujung (*end presurre force*).

Dari persamaan (2.1.6 dan 2.1.7) didapatkan :

$$R_1 = R_0 + W_a - (P_0 - P_1) A \dots\dots\dots(2.1.8)$$

Yang dapat ditulis menjadi

$$R_1 = R_0 + (\gamma_s A - \gamma_w A) L = R_0 + W_e \dots\dots\dots(2.1.9)$$

Dari hubungan ini, reaksi pada hull R_1 dapat diminimalkan dengan mengurangi berat tendon di dalam air dan reaksi pada dasar *anchor connector* R_0 . Harga minimum dari R_0 dapat dipilih berdasarkan tipe *anchor connector* dan level stress yang diterima. Jika *connector* terjadi *stroke down*, R_0 berharga nol (atau cenderung negatif untuk menahan gaya geser) jika *anchor connector* menahan tendon secara *fixed*, *slack* akan terjadi jika R_0 berharga nol (hal ini berarti terjadi tegangan kompresi yang tinggi pada tendon). Mengurangi berat tendon di air dapat dilakukan dengan :

1. Mengurangi berat tendon di air dengan menggunakan material yang lebih ringan.
2. Menambah gaya bouyant (apung) dengan meningkatkan rasio D/t.

Tendon disebut *neutrally bouyant* ketika beratnya di bawah air sama dengan nol. Untuk tendon baja hal ini terjadi ketika $D/t=30$ dan untuk material komposit $D/t=5$. Dari persamaan (2.1.9), (2.1.4) dan (2.1.5), Jika tendon *neutrally bouyant* dengan R_0 berharga nol maka reaksi bagian atas R_1 juga bernilai nol dan seluruh panjang tendon akan berada pada kondisi terkompresi jika

$$T_1 = -P_1 A \dots\dots\dots(2.1.10)$$

$$T_0 = - P_0 A \dots\dots\dots(2.1.11)$$

II.1.3.Gaya pada silinder akibat tekanan hidrostatis eksternal

Gaya-gaya dan Tekanan eksternal bekerja pada tendon yang telah didealisasikan seperti terlihat pada gambar II.1.Tekanan eksternal sepanjang sisi tendon diwakili oleh suatu gaya P, dan tekanan yang bekerja pada bagian teratas

bekerja.. *Combined stress* tidak boleh melebihi 80 persen dari kekuatan material menurut persyaratan kekuatan oleh API RP 2A. Oleh karena itu *tensile stress to yield strength ratio*, R, bervariasi dari 0 sampai 0,8.

Dalam perhitungan interaksi rasio, tegangan aksial seharusnya hitung dari *true wall tension* dan bukan dari *effective tension*.

II.1.6.c.Pengaruh kedalaman pada allowable combined stress.

Pengaruh dari meningkatnya kedalaman dari bagian yang tercelup air *allowable combined tensile stress* untuk strom dan operating condition dan untuk 50 ksi steel grade terlihat pada gambar II.3. Kurva untuk tendon dengan variasi D/t juga dapat dilihat pada gambar tsb. Untuk kedalaman dan rasio D/t yang telah diketahui maka dapat ditentukan *allowable combined stress* yang maksimum. Dengan memilih salah satu D/t maka dapat diketahui dengan bertambahnya kedalaman maka akan mengurangi *allowable combined stress*. Pengurangan ini akan bertambah cepat untuk ratio D/t yang lebih besar.

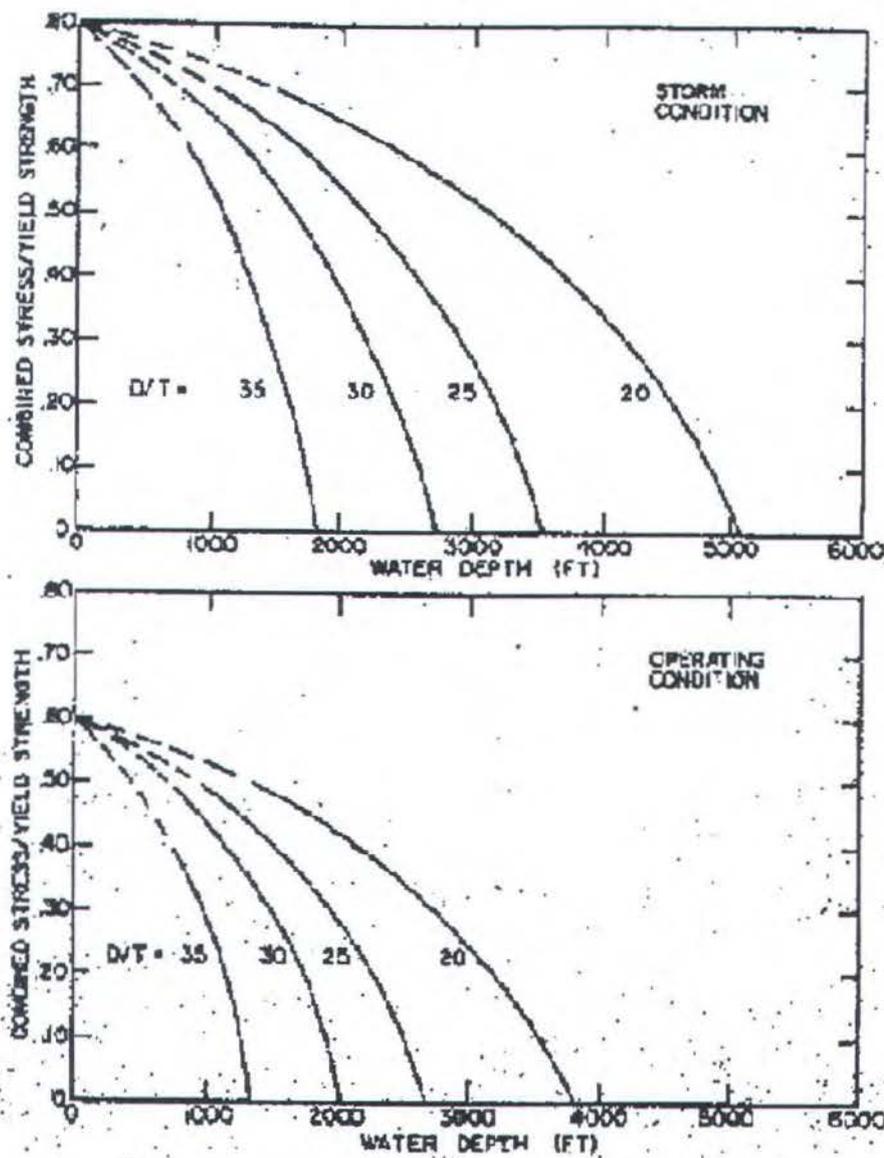
Sebagai catatan bahwa jika maksimum *combined tensile stress* selama kondisi operasional lebih besar 67 persen dari *strom maximum stress*, maka pengecekan *collapse* untuk kondisi operasional akan lebih restrictif dari pada kondisi strom. Hal ini disebabkan *safety factor* yang sesuai dengan kondisi operasi adalah 33 persen lebih besar daripada *safety factor* untuk kondisi *storm*.

II.1.6.d. Pengaruh kedalaman pada allowable D/t.

Pengaruh dari peningkatan kedalaman bagian yang tercelup pada *allowable rasio* D/t untuk rasio *stress* yang berbeda R seperti pada gambar II.4. untuk baja dengan kekuatan mulur 50 ksi.

Untuk harga R yang telah diberikan, peningkatan kedalaman bagian yang tercelup air dapat mengurangi *maximum allowable D/t ratios*. Hubungan ini akan terputus ketika terjadi *elastic hoop buckling stress* 65 persen dari kekuatan mulur material. Hal ini akibat adanya pertimbangan *plasticity reduction factor* untuk adanya pengaruh *inelasticity* dan *residual stress*.

Untuk perairan yang sangat dalam (5000 feet) dan untuk lower steel grade, *maximum allowable* D/t rasio dibatasi sekitar 15. Sebagaimana meningkatnya kekuatan mulur material maka *maximum allowable* D/t ratio bervariasi dari 15 sampai 20.

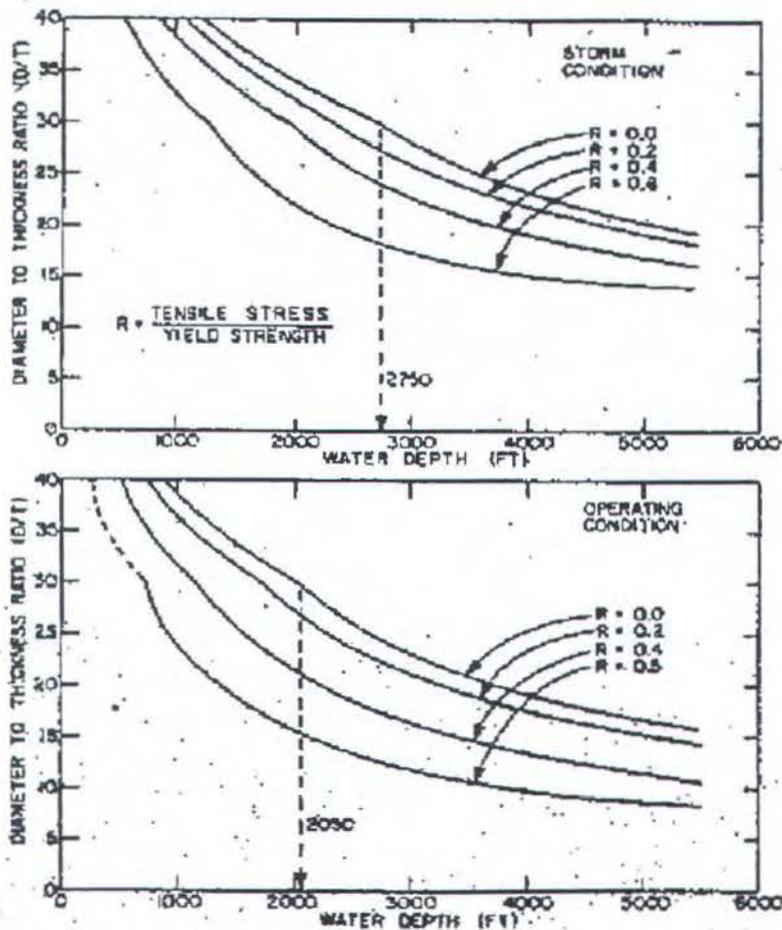


Gambar II.3. Rasio Combined stress yang diijinkan Vs Kedalaman dan D/t (yield strength 50 ksi) (Hanna et al,1987)

II.1.6.e. Pengaruh kedalaman pada minimum material yield strength

Pengaruh meningkatnya kedalaman terhadap pemilihan kekuatan mulur material untuk rasio D/t dari 30 sampai 20 ditunjukkan pada gambar II.5. Untuk tendon dengan rasio D/t yang besar dan stress level yang diberikan maka meningkatnya kedalaman akan secara drastis meningkatkan kekuatan mulur

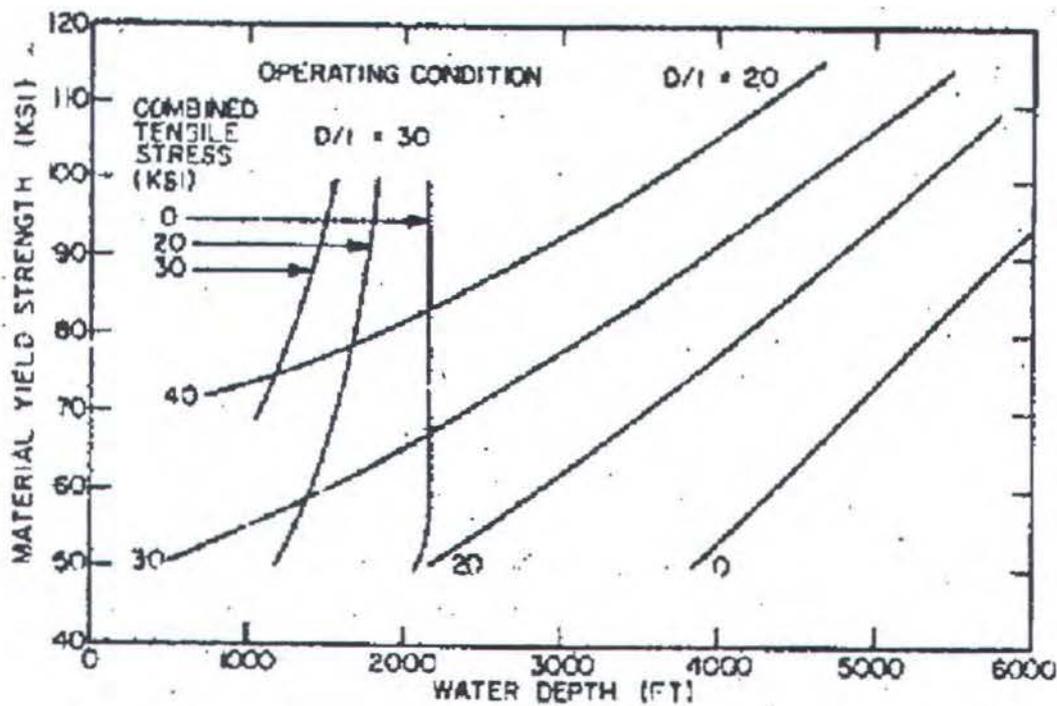
material yang dibutuhkan. Untuk harga D/t sebesar 30 kedalaman maksimum yang tercelup air adalah sekitar 2,200 feet tanpa mempengaruhi kekuatan material sebagai yang ditentukan dengan kondisi operasional tanpa adanya *tensile stress*. Untuk tendon dengan perbandingan D/t yang kecil, meningkatnya kedalaman akan mengakibatkan meningkatnya besar kekuatan mulur material yang dibutuhkan. Untuk perbandingan D/t 20 maka kedalaman maksimum bervariasi dari 4000 sampai 6000 feet dan kekuatan material yang dibutuhkan akan meningkat dari 50 sampai 90 ksi.



Gambar II.4. D/t maksimum yang diijinkan Vs Kedalaman dan stress ratio (yield strength 50 ksi) (Hanna et al, 1987)

II.1.7.Collapse Check Formulas

Rekomendasi desain pada API RP 2A untuk dimensi silinder dan kekuatan mulur material untuk *offshore platform* ($F_y < 60$ ksi dan $D/t < 120$). Studi yang dilakukan Murphey dan Langner 1985 memberikan formula *collapse* yang berbeda dan memberikan formula yang konservatif untuk semua D/t . Seperti Gambar II.5. yang menunjukkan bahwa *collapse pressure* ditentukan berdasarkan formulasi yang berbeda sebagai suatu fungsi dari D/t untuk X60 grade pipe.



Gambar II.5. Yield strength maksimum Vs Kedalaman dan Combined tensile stress (Hanna et al, 1987)

II.2. Metode Optimasi

Optimasi adalah sesuatu yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik untuk kondisi yang tersedia dalam desain, konstruksi dan pemeliharaan untuk semua engineering. Ada beberapa tahap yang harus dilalui sebelum mengambil suatu keputusan. Tujuan dari optimasi adalah untuk memperoleh hasil yang maksimal ataupun minimal dimana hal tersebut dapat dikatakan optimum (RAO,1984).

II.2.1.Statement Persoalan Optimasi

Persoalan matematis atau optimasi dapat dinyatakan sebagai berikut (RAO,1984) :

$$\text{Dapatkan } X = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{Bmatrix} \text{ untuk meminimalkan } f(X)$$

Dengan kendala

$$G_j(X) \leq 0, j=1,2,\dots,m$$

Dan

$$L_j(X) = 0, j=1,2,\dots,p$$

Dimana X adalah suatu n-dimensi dari vektor yang dinamakan vektor desain, $f(X)$ disebut fungsi objektif dan $G_j(X)$ dan $L_j(X)$ adalah inequality dan equality constraints.

II.2.2.Optimasi non linear

Metode optimasi untuk persoalan optimasi yang memiliki fungsi kendala $g(x)$ dan kriteria $f(x)$ non linear. Persoalan yang dijumpai biasanya adalah merupakan persoalan non-linear berdimensi n (jumlah variabel keputusannya

adalah n , yaitu X_1, X_2, \dots, X_n). Persoalan seperti ini dapat diselesaikan dengan dua skenario penyelesaian : skenario penyelesaian langsung dan tidak langsung.

Dalam skenario penyelesaian langsung, pada awal proses optimasi pengambil keputusan perlu menentukan variabel keputusan X sembarang, untuk kemudian x secara bertahap secara iteratif diubah hingga mendekati harga x yang optimum, yaitu pada saat kriteria konvergensi tercapai. Perubahan variabel keputusan secara bertahap ini dilakukan melalui persamaan rekurens (sering disebut juga driving function) berikut ini

$$X_{i+1} = X_i + \alpha \cdot D_i$$

Dimana i adalah iterasi ke i : α adalah sebuah skalar yang merupakan panjang langkah: D adalah vektor arah perubahan. Dalam skenario ini, persoalan optimasinya dapat dibagi menjadi dua, yaitu : 1) menentukan arah perubahan variabel keputusan X , dan 2) menentukan panjang langkah α . Dalam skenario seperti ini, begitu D dapat dihitung persoalan optimasi berdimensi n diubah menjadi persoalan optimasi berdimensi tunggal dalam α . Penentuan D ditentukan oleh ada tidaknya kendala yang harus dipenuhi. Iterasi dihentikan bila konvergensi telah dicapai, yaitu kondisi dimana :

$$\|X_{i+1} - X_i\| \leq \varepsilon$$

$$\left\| \frac{f(X_{i+1}) - f(X_i)}{f(X_i)} \right\| \leq \delta$$

di mana ε dan δ adalah bilangan yang cukup kecil katakan 10^{-2} .

Dalam skenario langsung ini, dari segi ada tidaknya kendala dalam persoalan optimasi yang ditinjau, tersedia dua kategori prosedur optimasi, yaitu :

- 1) Prosedur pelacakan langsung (direct search).

- 2) Prosedur transformasi, dimana persoalan optimasi berkendala diubah menjadi serangkain persoalan optimasi tanpa kendala (Sequential Unconstrained Optimization).

Dalam skenario penyelesaian tak langsung, disusun kriteria optimalitas yang berlaku pada persoalan optimasi yang ditinjau. Kriteria optimalitas ini adalah satu set persamaan yang bila dipenuhi, penyelesaian atas sistem persamaan ini merupakan penyelesaian optimum yang dicari.

II.2.Sequential Unconstrained Minimization Techniques (SUMT).

Tujuan yang utama dari metode SUMT adalah untuk meminimalkan fungsi objektif pada persoalan optimasi berkendala menjadi persoalan optimasi tanpa kendala yang mana memberikan beberapa penalty untuk membatasi pelanggaran terhadap constraint (Vanderplaats, 1984).

Pendekatan yang digunakan pada SUMT adalah dengan membuat suatu fungsi yang disebut sebagai fungsi pseudo-objectif function dengan bentuk ;

$$\phi (X, r_p) = F(X) + r_p P(X) \dots\dots\dots(2.2.1)$$

dimana F(X) adalah fungsi objektif yang sebenarnya. P(x) adalah fungsi penalty yang berpengaruh, bentuknya tergantung dari SUMT yang akan digunakan. Multiplier r_p adalah skalar yang menentukan besarnya harga penalty dan r_p adalah tetap konstan selama proses optimasi tanpa kendala yang dilakukan. Dimana p adalah banyaknya proses minimisasi tanpa kendala yang dilakukan.

II.2.1.Interior Penalty Function Method

Metode ini memberikan beberapa sequense dari peningkatan feasible desain tapi lebih rumit. Perbedaannya di sini adalah bentuk dari fungsi penalty yang dilakukan terhadap *inequality constrain* dan parameter penalty yang

menurun selama proses optimasi . Fungsi penalty yang sering digunakan untuk interior adalah ;

$$P(X) = \sum_{j=1}^m \frac{-1}{g_j(X)} \dots\dots\dots(2.2.2)$$

Sehingga persamaan SUMT untuk mendapatkan *pseudo function objective* yang memiliki *inequality constrain* adalah

$$\phi (X, r_p) = F(X) + r_p \sum_{j=1}^m \frac{-1}{g_j(X)} \dots\dots\dots(2.2.3)$$

dan dengan menambahkan *equality constrain* didapat *pseudo function objective* sebagai berikut ;

$$\phi (X, r_p) = F(X) + r'_p \sum_{j=1}^m \frac{-1}{g_j(X)} + r_p \sum_{k=1}^l [h_k(X)]^2 \dots\dots\dots(2.2.4)$$

dimana kita akan membawa h_k menuju ke nol (0). Bentuk alternatif yang lain adalah :

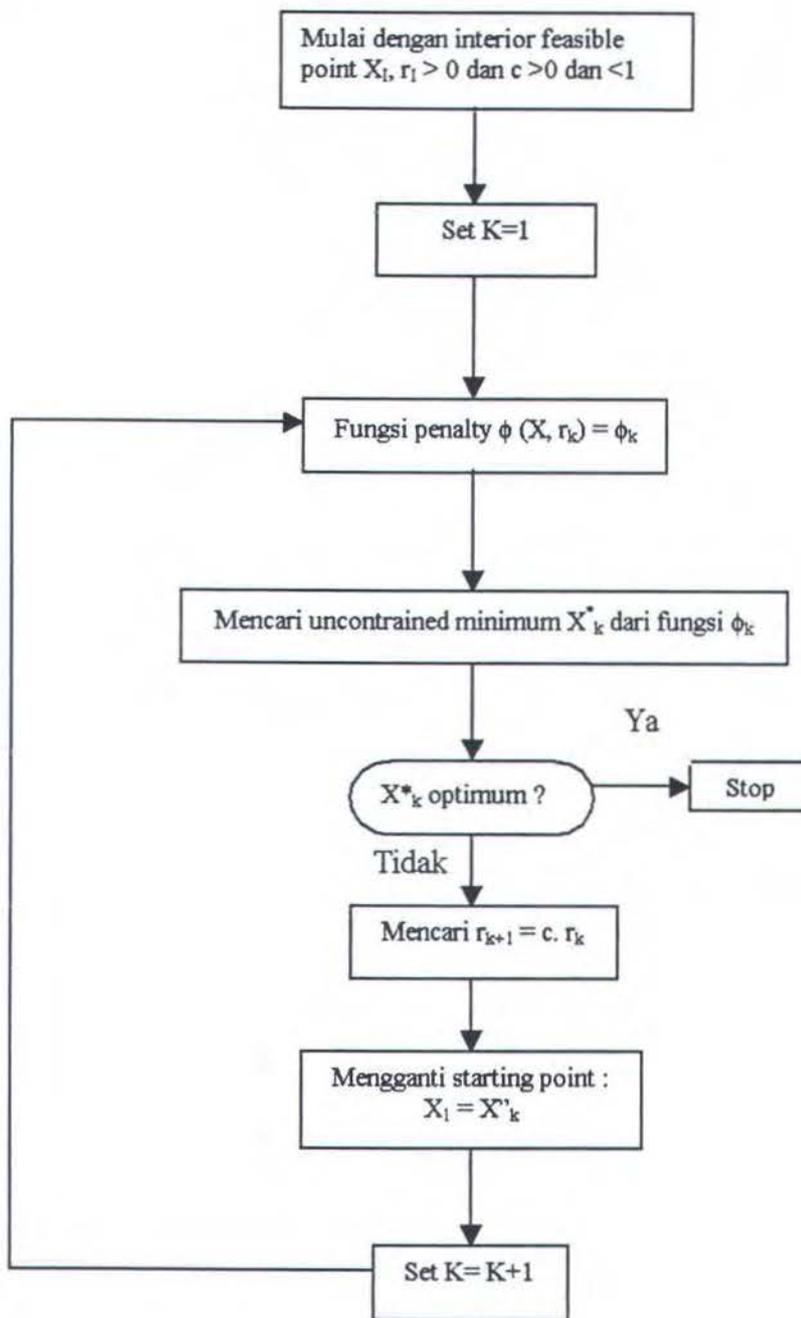
$$P(X) = \sum_{j=1}^m -\log[-g_j(X)] \dots\dots\dots(2.2.5)$$

Persamaan ini lebih sering lebih baik untuk penyelesain yang numeris.

Bentuk yang kedua pada sisi kanan adalah yang membedakan apakah fungsi tersebut interior atau eksterior. Untuk mendapatkan daerah yang feasible maka $g_j(X)$ harus non positif, harga $-1/ g_j(X)$ akan positif mendekati tak terhingga sebagaimana $g_j(X) \rightarrow 0$. Parameter penalty r'_p digunakan untuk membedakan dengan r_p ,dimana r_p dengan harga yang relatif kecil (positif) dan kemudian membesar. Sedangkan harga r'_p relatif besar untuk awalnya dan kemudian menurun (mengecil). Di sini harga r'_p dikalikan dengan γ' sebagai multiplier setiap selesai *unconstrained minimization*. Di mana harga γ' kurang

dari 1.0, misalnya $\gamma' = 0.3$. Kendala yang optimum didekati dari sisi dalam daerah yang feasible sebagaimana $r'_p \rightarrow 0$. Fungsi akan menjadi *discontinuous* pada batasan dimana $g_j(X) = 0$. Oleh karena itu *extreme caution* harus digunakan untuk mengembangkan *one-dimensional search algorithm* untuk meyakinkan bahwa daerah feasible yang minimum telah ditemukan. Hal ini biasanya mudah dilakukan jika menggunakan metode *golden section* tetapi lebih *ingenuity* jika *polynomial interpolation* digunakan.

Fungsi penalty interior memiliki kelebihan dimana dapat menghasilkan daerah yang feasible, tetapi mempunyai kesulitan jika fungsi $\phi(X, r_p)$ mengalami discontinuitas pada boundari constrainnya. Metode eksterior lebih bagus untuk didefinisikan tetapi dapat menuju ke daerah feasible yang optimum jika $r_p \rightarrow \infty$. sehingga sangat dianjurkan untuk kompromise yang diinginkan akan menghasilkan fungsi penalty yang kontinu disetiap daerah tetapi memiliki beberapa daerah yang feasible.



II.2.2. Scaling of the constraint

Bentuk umum dari persamaan (2.2.1) tersebut hanya memiliki satu parameter tunggal sebagai faktor pengali. Hal ini sering menimbulkan kesulitan numeris yang terjadi karena satu fungsi constraintnya memiliki harga yang berbeda atau berubah lebih cepat dari yang lain dan karena itulah fungsi constraint

tersebut menjadi lebih dominan dalam mempengaruhi proses optimasi. Terlepas dari yang kita diskusikan, kita menormalkan kendala-kendala yang ada oleh sebab itu order dari $g_j(X)$ adalah *unity*. Hal ini meningkatkan pengkondisian persoalan optimasi dan selalu harus terlebih dahulu dilakukan ketika memformulasikan persoalan. Sebagai alternatif proses normalisasi dapat dilakukan di dalam optimasi dengan menggunakan parameter penalti yang berbeda untuk setiap *constrain*. Hal ini akan lebih sulit mengingat kita tidak membuat hal yang sama di dalam program optimasi yang dapat kita gunakan ketika memformulasikan persoalan. Dan juga normalisasi juga bukan optimasi secara keseluruhan. Hal ini muncul ketika laju perubahan *constraint* lebih merupakan hal yang kritis, dimana hal ini lebih berhubungan dengan normalisasi, bagaimanapun juga detail matematikanya berubah. Lebih dari itu *additional scaling* lebih memuaskan jika diselesaikan di dalam program optimasi itu sendiri.

Untuk men-scale setiap *constrain* di sini sehingga gradient dari *constraint* berharga sama dengan gradient dari fungsi *objectif*. Hal ini menyediakan dua pilihan. Pertama, hal ini dapat menjamin bahwa *curvature* dari fungsi *pseudo-objectif* tidak didominasi oleh satu kendala. Kedua hal ini akan membuat metode lebih menjadi kurang sensitif terhadap pemilihan harga awal dari r_p dan r'_p karena laju dari perubahan dari dua bagian *pseudo-objective function* akan bernilai sama.

Faktor penyekala atau pengali pada setiap *constraint* telah dipilih sehingga

$$|\nabla F(X)| = c_j |\nabla g_j(X)| \quad j = 1, m \dots\dots\dots(2.2.6)$$

Dimana c_j adalah faktor skala untuk *constraint* $g_j(X)$.

Karena kita lebih memilih untuk mengevaluasi $c_j, j = 1, m$ hanya untuk sekali saja maka kita melakukan hal ini hanya pada permulaan dari optimasi atau,

sebagian besar, pada permulaan *unconstrained minimization subproblem*, sehingga

$$c_j = \frac{|\nabla F(X^0)|}{|\nabla g_j(X)|} \quad j = 1, m \dots\dots\dots(2.2.7)$$

Sekarang jika kita mengevaluasi *constraint* maka *constraint-constraint* tersebut masing-masing akan di kalikan dengan c_j sebelum digunakan pada proses optimasi dan kita masih tetap menggunakan parameter penalty r_p dan r'_p seperti sebelumnya.

Jika kita harus mengevaluasi gradient dengan menggunakan *finite different method*, Penentuan c_j , $j = 1, m$ memerlukan n fungsi evaluasi sebagai tambahan untuk fungsi evaluasi awal pada X^0 . Hal ini juga meminta kita untuk membangun gradient dari *constraint*. Jika kita menggunakan sebuah gradient berdasarkan algoritma untuk *unconstrained subproblem*, gradient yang diperoleh di sini pada permulaan awal dari *unconstrained minimization*.

Sebuah pendekatan alternatif adalah dengan menggunakan pertubarsi pada setiap desain variabel secara simultan sekitar satu persen (atau beberapa harga X yang kecil mendekati nol) dan melakukan evaluasi c_j sebagai rasio dari perubahan di dalam fungsi objektif ke perubahan di dalam $g_j(X)$.

$$c_j = \frac{|F(X^0 + \delta X) - F(X^0)|}{|g_j(X^0 - \delta X) - g_j(X^0)|} \quad j = 1, m \dots\dots\dots(2.2.8)$$

Di sini kita dapat menghitung secara efektif gradient dari fungsi objektif dan gradient dari *constrain* dengan memperhatikan perubahan langkah (pergerakan) di dalam arah pencarian melalui *design space*. Pendekatan ini memerlukan hanya satu fungsi evaluasi tambahan dan tidak memerlukan gradient.

Di dalam prakteknya yang kita perlukan adalah memastikan bahwa problem tersebut berlaku dengan baik diberbagai arah pencarian. Karena hali ini tidak dapat diselesaikan tanpa pertimbangan scaling rules yang kompleks.

II.2.3.Picking The Initial Parameter

Hal yang paling sulit dalam menggunakan metode SUMT adalah ketika memilih harga penalty parameter r_p dan r'_p . hal ini karena harga awal dari parameter ini sering kali merupakan problem yang *dependent* dan hampir selalu memiliki efek yang besar terhadap efisiensi optimasi secara keseluruhan. Dimana secara teoritis dapat diterima dengan mulai harga r_p yang sangat kecil dan harga yang besar untuk r'_p , hal ini sangat mengurangi efisiensi dari metode ini dan tak jarang menghasilkan beberapa desain yang sangat tidak realistis dimana fungsi evaluasi tidak memungkinkan untuk persoalan-persoalan engineering yang praktis. Oleh karena itu untuk mendapatkan harga awal untuk penalty parameter yang akan menjamin efisiensi persoalan optimasi.

Pertama kali mempertimbangkan ekterior penalty parameter r_p . Jika kita membayangkan persoalan optimasi satu variabel dengan hanya memiliki satu *constraint*. Jika kita menskala *constraint* dengan metode seperti pada section II.2.2, dan mengasumsikan harga gradient adalah mendekati konstan. Dan kemudian harga $r_p = 1$ akan menghasilkan pseudo-objektif dengan gradien yang berharga nol pada titik dimana terjadi pelanggaran terhadap *constraint* sebesar $g_j(X)=0.5$. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum sebuah harga yang mendekati unity sangat baik untuk memilih harga r_p .

Sekarang kita pertimbangan harga untuk interior penalty parameter r'_p . Pemilihan harga awal adalah agar dua sisi berharga sama. Sehingga

$$r'_0 = \frac{|F(X^0)|}{P(X^0)} \dots\dots\dots(2.2.9)$$

Jika constrained tidak diskala terlebih dahulu, hal ini dapat dipertimbangkan sebagai pendekatan yang cukup baik. Bagaimanapun juga jika harga fungsi objektif terlalu besar dapat menghasilkan harga r'_0 yang relatif besar. Sebagai alternatif jika kita menggunakan teknik penskala-an , sebuah harga awal yang unity adalah memungkinkan untuk r'_0 .

II.3.Steepest Descent method

Metode *steepest Descent* atau metode gradien adalah metode paling sederhana untuk menentukan arah menurun (*descent direction*) untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi tanpa kendala (Jasbir S Arora, 1989). Metode ini adalah metode paling lama dan diketahui yang terbaik secara numerik untuk optimisasi tanpa kendala. Filosofi dari metode ini diperkenalkan pertama kali oleh Chauchy tahun 1847, yaitu untuk mencari arah S pada suatu iterasi di dalam suatu fungsi objektif yang menurun dengan cepat, setidaknya secara lokal. Hal inilah yang membuat metode ini disebut teknik pencarian *steepest descent*. *Steepest descent* disebut juga metode orde satu dimana Hessian dari fungsi akan digunakan untuk menentukan arah pencarian.

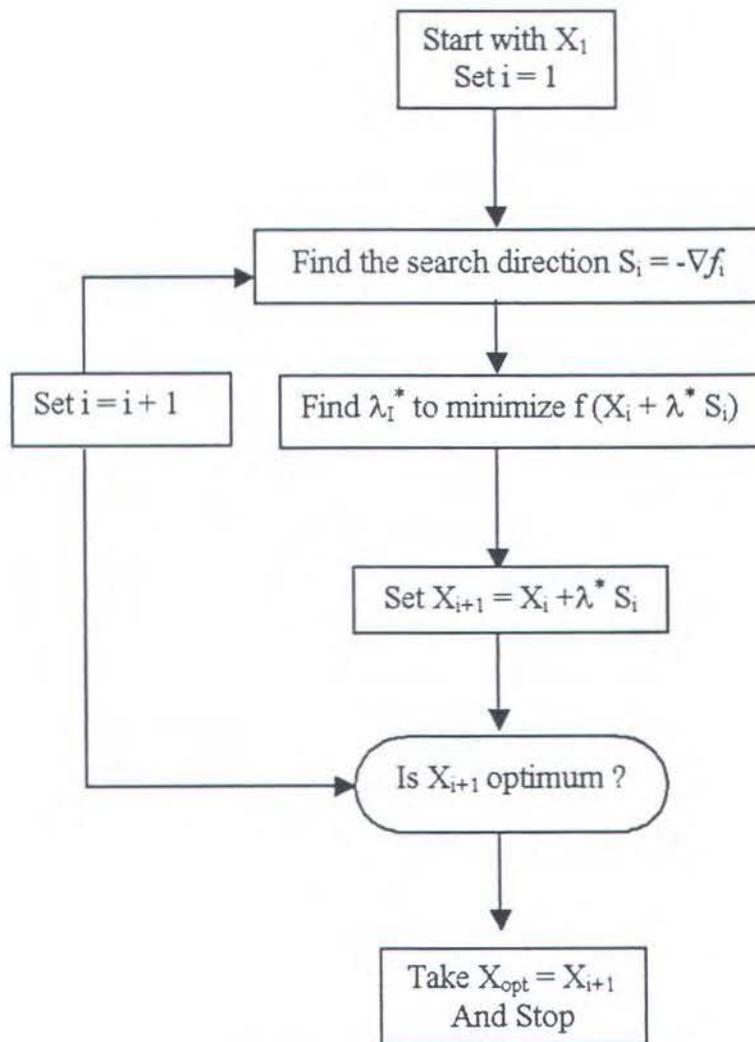
Dalam metode ini (Rao,SS, 1985), dimulai dengan *trial point* awal X_1 awal, dan secara iteratif akan bergerak menuju titik optimum berdasarkan

$$X_{i+1} = X_i + \lambda^* S_i = X_i - \lambda_i^* \nabla f_i \quad \dots\dots\dots(2.3.1)$$

Dimana adalah panjang langkah optimal sepanjang arah pencarian $S_i = -\nabla f_i$, flow chart dapat dilihat pada gambar II.6.

Metode *steepest descent* bisa menjadi teknik minimisasi tanpa kendala terbaik jika dimulai pada arah yang tepat. *Steepest descent* tidak begitu efektif pada kebanyakan kasus karena arahnya merupakan *local property*.

Dalam persoalan dua dimensi, penggunaan *steepest descent* memberikan suatu pola pencarian arah yang paralel dan merupakan segmen yang tegak lurus (*zig-zag*) seperti gambar II.7.



Gambar II.6. Flowchart metode steepest descent

II.4. Golden section

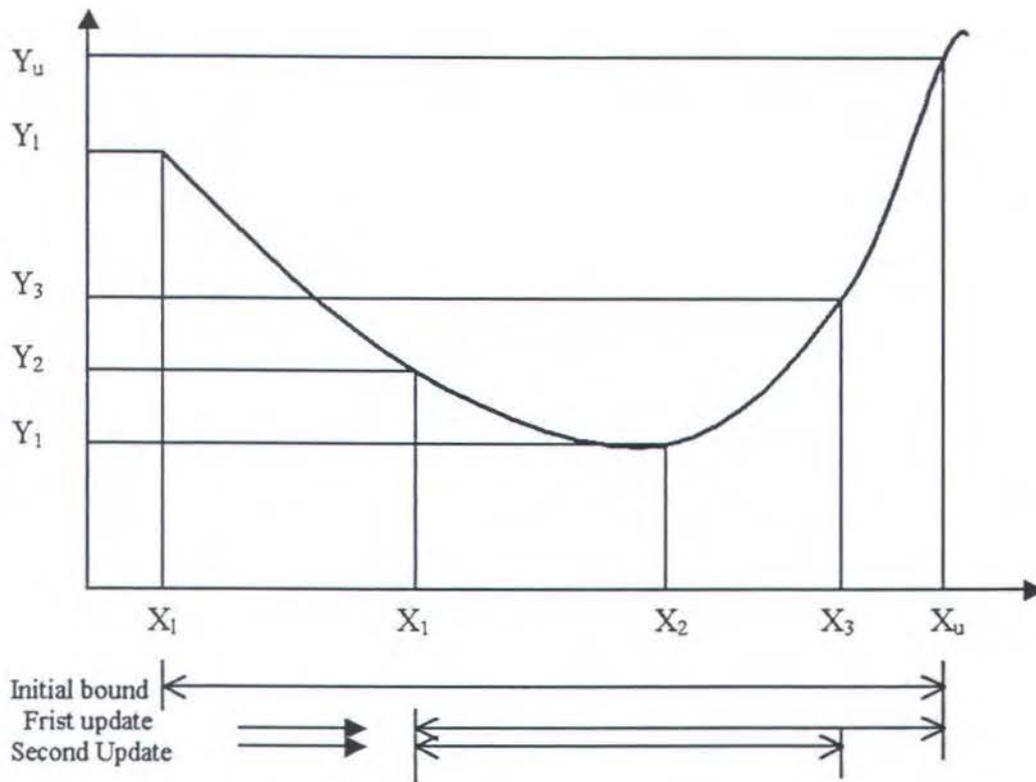
Metode *golden section* ini adalah untuk memperkirakan harga maximum, minimum, atau nol dari fungsi satu variable (Vanderplaats, 1984). Pertama, ketika fungsinya di asumsikan unimodal, hal ini tidak membutuhkan penurunan yang kontinue. Tetapi, dalam beberapa kasus, kita dapat berhubungan dengan kasus dimana tidak uni modal dan kontinue. Yang kedua, sebagaimana kebalikandari polynomial atau *curve fitting technique* lainnya, laju konvergensi dari *golden section* dapat diketahui. Program ini dapat dilakukan dengan program komputer dengan mudah. Metode ini dapat terlihat *reliable* untuk kondisi yang persoalan yang tidak bagus. Bagaimanapun juga jika persoalan dikondisikan dengan baik (contohnya untuk permasalahan yang linear atau kuadratik) metode ini tidak akan konvergen dengan cepat. Gambaran yang lebih baik disini adalah metode ini didapatkan melalui evaluasi fungsi yang relatif besar.

Kita akan memulai melakukan metode ini dengan menentukan harga minimum dari fungsi F , dimana F adalah suatu fungsi yang tergantung terhadap besar dari variabel X .

Kita asumsikan bahwa *lower* dan *upper bound* dari X adalah diketahui dengan melakukan pembracketan harga minimumnya., yaitu dengan X_l dan X_u . Kita juga mengasumsikan bahwa fungsi yang dievaluasi pada tiap bound ini adalah F_u dan F_l . Seperti pada gambar II.8

Sekarang kita ambil harga tengah dari X_1 dan X_2 dimana $X_1 < X_2$, dan mengevaluasi fungsinya yaitu F_1 dan F_2 .

Karena kita mengasumsikan fungsinya adalah unimodal. Hal ini berpengaruh pada salah satu harga X_1 atau X_2 yang akan membentuk batasan



Gambar II.8. Metode Golden Section

pada daerah yang minimum. Dalam kasus ini adalah f_1 lebih besar dari f_2 sehingga membentuk *bound* baru (*lower*) dan sekarang kita memiliki satu set bound baru, X_1 dan X_u . f_2 lebih besar dari f_1 . Hal ini menunjukkan bahwa X_2 akan berubah menjadi *upper bound* yang baru yang memberikan X_1 dan X_2 sebagai titik untuk melakukan bracket pada minimum.

Pada contoh ini, X_1 bertindak sebagai *lower bound* yang baru dan sekarang kita dapat mengambil titik tambahan yang baru yaitu X_3 , yang akan mengevaluasi f_3 . Bandingkan f_2 dan f_3 , kita dapat melihat bahwa f_3 adalah lebih besar. Dengan begitu X_3 menggantikan X_u sebagai *upper bound*. Dengan melakukan pengulangan pada proses ini, kita akan dapat terus mempersempit bound sampai ke batas toleransi yang ditentukan. Sekarang kita harus

menentukan metode untuk memilih *interior points* $X_1, X_2, X_3...$ untuk mengurangi bound dengan secepat mungkin. Karena, setelah pemilihan awal X_u dan X_l , kita akan memerlukan satu evaluasi fungsi untuk tiap iterasi, hal ini diikuti dengan algoritma yang efisien adalah yang mengurangi bound dengan fraction yang sama pada tiap iterasi.

Dengan mengetahui bahwa X_l akan menjadi lower bound yang baru atau X_2 akan menjadi *upper bound* yang baru, kita mengambil harga-harga ini untuk menjadi simetris ditengah interval, maka

$$X_u - X_2 \text{ dan } X_1 - X_l \dots\dots\dots(2.4.1)$$

Juga kita mengambil harga dari X_l dan X_2 sedemikian sehingga didapatkan hubungan :

$$\frac{X_u - X_2}{X_u - X_l} = \frac{X_1 - X_l}{X_u - X_l} \dots\dots\dots(2.4.2)$$

sebagai contoh, jika X_l menjadi lower bound baru X_1 , maka X_2 menjadi X_l baru sehingga rasio $X_2 - X_l$ terhadap total interval $X_u - X_l$ akan selalu sama.

Metode ini memiliki kemiripan dengan metode *fibonacci*, perbedaannya adalah pada metode *fibonacci* total jumlah eksperimen yang dilakukan di tentukan terlebih dahulu sebelum dilakukan perhitungan (Jasbir,S Arora, 1989). Didalam metode *fibonacci*, lokasi dari eksperimen pertama dari dua eksperimen yang dilakukan dietentukan dari jumlah total eksprimen yang dilakukan (N).

Pada *golden section*, dimulai dengan asumsi bahwa akan dilakukan eksperimen yang sangat banyak. Banyaknya eksperimen yang dilakukan ditentukan selama proses perhitungan

II.4.1.Initial bracketing of minimum

Golden section adalah prosedur pencarian suatu variabel dengan metode pencarian pada suatu interval. Harga r pada metode golden section ini tidak dipilih secara arbitrary tetapi di dapat dari metode *fibonacci* yaitu sebesar 1.68.

II.4.2.Fibonacci sequence.

$$F_0 = 1 ; F_1 = 1; F_n = F_{n-1} + F_{n-2} ; \quad n= 2,3,\dots\dots\dots (2.4.3)$$

Setiap urutan *fibonacci* diperoleh penambahan dua jumlah sebelumnya.

$$F_0 = 1 \quad F_1 = 1$$

$$F_2 = F_0 + F_1 = 1 + 1 = 2$$

$$F_3 = F_1 + F_2 = 1 + 2 = 3$$

$$F_4 = F_2 + F_3 = 2 + 3 = 5 \quad \text{dst}$$

Properti sequence

$$\frac{F_n}{F_{n-1}} \rightarrow 1.618 \text{ (atau } \frac{F_{n-1}}{F_n} \rightarrow 0.618) \text{ dimana } n \rightarrow \infty$$

Rasio antara F_n dan F_{n-1} mempunyai harga konstan $1.618 (\sqrt{5} + 1) / 2$

Contoh:

Melakukan proses untuk *initially bracketting of minimum*

Mulai $\alpha = 0$

Kemudian di evaluasi $f(\alpha)$ pada $\alpha = \delta$, dimana $\delta > 0$ jumlah yang kecil

Di cek apakah $f(\alpha) < f(0)$

Jika ya, kita lakukan penambahan dengan 1.618δ

$$.q= 0 ; \alpha_0 = \delta$$

$$.q=1 \quad \alpha_1 = \delta + 1.618 \delta = 2.618 \delta = \sum_{j=0}^1 \delta(1.618)^j$$

$$.q=2 \quad \alpha_2 = 2.618 \delta + 1.618 (1.618 \delta) = \sum_{j=0}^2 \delta(1.618)^j = 5.236 \delta$$

$$.q=3 \quad \alpha_3 = 5.236 \delta + 1.618 (1.618 \delta) = \sum_{j=0}^3 \delta(1.618)^j = 9.472 \delta$$

Secara umum kita lanjutkan dengan mengevaluasi fungsi pada suatu titik .

$$\alpha_q = \sum_{j=0}^q \delta(1.618)^j ; q=0,1,2,\dots \dots\dots\dots\dots\dots(2.4.4)$$

Di asumsikan bahwa fungsi pada α_{q-1} adalah lebih kecil dari α_{q-2} dan α_q yaitu

$$f(\alpha_{q-1}) < f(\alpha_{q-2}) \text{ dan } f(\alpha_{q-1}) < f(\alpha_q) \dots\dots\dots(2.4.5)$$

Dengan cara inilah maka titik optimum dilampaui. Sebenarnya titik optimum terletak pada dua interval sebelumnya antara α_q dan α_{q-2} .

Oleh karena itu :

Upper dan lower limits pada interval uncertainty adalah :

$$\alpha_u \equiv \alpha_q = \sum_{j=0}^q \delta(1.618)^j \dots\dots\dots(2.4.6)$$

$$\alpha_l \equiv \alpha_{q-2} = \sum_{j=0}^{q-2} \delta(1.618)^j \dots\dots\dots(2.4.7)$$

dan *Initial Interval of uncertainty*

$$\begin{aligned} I &= \alpha_u - \alpha_l \\ &= \sum_{j=0}^q \delta(1.618)^j - \sum_{j=0}^{q-2} \delta(1.618)^j \\ &= \delta (1.618)^{q-1} + \delta (1.618)^q \\ &= \delta (1.618)^{q-1} (1 + 1.618) \\ &= 2.618 (1.618)^{q-1} \delta \dots\dots\dots(2.4.8) \end{aligned}$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dan sekarang kedua tanganku yang
terluka bergetar di bawah mega-mega
Dan sekarang kedua tanganku yang
terluka membelai pecahan-pecahan kaca
Dari apa yang dulu segalanya
(Vedder)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Persoalan optimasi yang akan diangkat dan metode yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi tersebut di dalam tugas akhir ini adalah berdasarkan data-data yang diperoleh dari berbagai referensi dan literatur.

Perumusan persoalan optimasi dilakukan dengan menggunakan data-data yang tersedia. Persoalan optimasi di dalam tugas akhir ini adalah meminimasi berat tendon untuk mendapatkan diameter (D) dan tebal dinding tendon (t) yang optimal. Kemudian dilakukan penentuan kendala-kendala yang akan digunakan untuk membentuk suatu model optimasi yang akan dikerjakan. Model optimasi yang terbentuk adalah suatu persoalan optimasi dengan kendala. Model optimasi terdiri dari satu fungsi objektif yang akan diminimalkan dan susunan beberapa kendala yang membatasi fungsi tersebut.

Pada tugas akhir ini menggunakan teknik meminimasi yang disebut dengan SUMT. SUMT (*sequential unconstrained minimization technique*) adalah suatu metode transformasi persoalan optimasi berkendala menjadi suatu persoalan optimasi tanpa kendala dengan menggunakan metode *interior penalty* yang membentuk suatu *pseudo objective function* baru yang memiliki penalty parameter. *Pseudo objective function* yang terbentuk kemudian diselesaikan dengan menggunakan metode *steepest descent*. Pencarian arah dan perhitungan langkah menggunakan metode *one dimensional search* dengan menggunakan metode *golden section*. Model optimasi tersebut kemudian diproses dengan

menggunakan suatu program komputer. Dalam tugas akhir ini menggunakan Solver yang terdapat pada Microsoft Excell 2000. Dan apabila tidak didapatkan konvergensinya maka perlu dilakukan pengecekan terhadap model optimasinya dan kalau perlu model optimasinya di ubah. Bila dari hasil running program didapatkan D (diameter) dan t (tebal) yang optimal, maka dilakukan analisa perbandingan antara D(diameter) dan t (tebal) yang didapatkan dari proses minimisasi berat dengan data-data yang ada melalui perhitungan tension pada tendon. Sehingga akan dapat diketahui diantara keduanya mana yang lebih *effective cost* dari segi berat.

Setelah itu lakukan analisa terhadap output yang kita peroleh dengan menganalisa kendala-kendala yang aktif mempengaruhi fungsi objektif. Kemudian kita amati perilaku Diameter dan tebal tendon dalam minimisasi berat.

III.1 MODEL OPTIMASI

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan model optimasi dalam tugas akhir ini adalah :

1. Pemilihan desain variabel.

Desain variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah ;

X(1) = Diameter

X(2) = tebal dinding tendon

2. Penentuan Fungsi objektif.

Fungsi objektif yang akan diminimumkan adalah berat tendon di udara

$$G(2) = D/t \leq 31$$

$$= \frac{D}{31t} - 1 \leq 0$$

- Batasan tegangan von Mises (combined tensile stress) adalah

$$G(3) = \sigma_{vm} \leq \sigma_{all}$$

$$= \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{all}} - 1 \leq 0$$

- Batasan terhadap tegangan longitudinal yang terjadi terhadap tegangan longitudinal maksimum

$$G(4) = \sigma_o \leq \overline{\sigma_o}$$

$$= \frac{\sigma_o}{\overline{\sigma_o}} - 1 \leq 0$$

- Batasan kedalaman maksimum untuk rasio D/t dan kekuatan mulur material adalah

$$G(5) = h_w \leq \overline{h_w}$$

$$= \frac{h_w}{\overline{h_w}} - 1 \leq 0$$

- Batasan terhadap Combined tensile stress tidak boleh melebihi 80 persen kekuatan mulur material,

$$G(6) = \sigma_o \leq 0.8\sigma_y$$

$$= \frac{\sigma_o}{0.8\sigma_y} - 1 \leq 0$$

- Tension (tegangan tarik aksial) yang terjadi pada kondisi storm tidak boleh melebihi dari 67 % kekuatan mulur material

$$G(2) = D/t \leq 31$$

$$= \frac{D}{31t} - 1 \leq 0$$

- Batasan tegangan von Mises (combined tensile stress) adalah

$$G(3) = \sigma_{vm} \leq \sigma_{all}$$

$$= \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{all}} - 1 \leq 0$$

- Batasan terhadap tegangan longitudinal yang terjadi terhadap tegangan longitudinal maksimum

$$G(4) = \sigma_o \leq \overline{\sigma_o}$$

$$= \frac{\sigma_o}{\overline{\sigma_o}} - 1 \leq 0$$

- Batasan kedalaman maksimum untuk rasio D/t dan kekuatan mulur material adalah

$$G(5) = h_w \leq \overline{h_w}$$

$$= \frac{h_w}{\overline{h_w}} - 1 \leq 0$$

- Batasan terhadap Combined tensile stress tidak boleh melebihi 80 persen kekuatan mulur material,

$$G(6) = \sigma_o \leq 0.8\sigma_y$$

$$= \frac{\sigma_o}{0.8\sigma_y} - 1 \leq 0$$

- Tensile stress yang terjadi pada kondisi storm tidak boleh melebihi dari 67 % kekuatan material

$$\begin{aligned}G(7) &= F_x \leq 0.67F_y \\ &= \frac{F_x}{0.67F_y} - 1 \leq 0\end{aligned}$$

III.2 PROGRAM OPTIMASI NON LINEAR

Untuk membantu pengerjaan tugas akhir ini digunakan suatu program optimasi non linear yang terdapat pada Microsoft Excell 2000 yaitu Solver. Presisi yang digunakan adalah sebesar 0.000001 dengan panjang langkah awal 5 % dan epsilon atau konvergensinya 0.0001. Perhitungan Gradient yang digunakan adalah perhitungan gradien secara numeris dengan metode central.

Dari beberapa data yang diperoleh maka dapat dibentuk kumpulan model optimasi. Dimana model-model optimasi ini akan diproses satu persatu kedalam program solver.

Susunan model optimasi

Minimize

Fungsi Objektif

$$F(x) = Wa = \rho L \frac{1}{4} \pi (X(1)^2 - (X(1) - 2X(2))^2)$$

Kendala

$$G(1) = \frac{20t}{D} - 1 \leq 0$$

$$G(2) = \frac{D}{3lf} - 1 \leq 0$$

$$G(3) = \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{all}} - 1 \leq 0$$

$$G(4) = \frac{\sigma_o}{\sigma_o} - 1 \leq 0$$

$$G(5) = \frac{h_w}{h_w} - 1 \leq 0$$

$$G(6) = \frac{\sigma}{0.8\sigma_y} - 1 \leq 0$$

$$G(7) = \frac{Fx}{0.6F_y} - 1 \leq 0$$

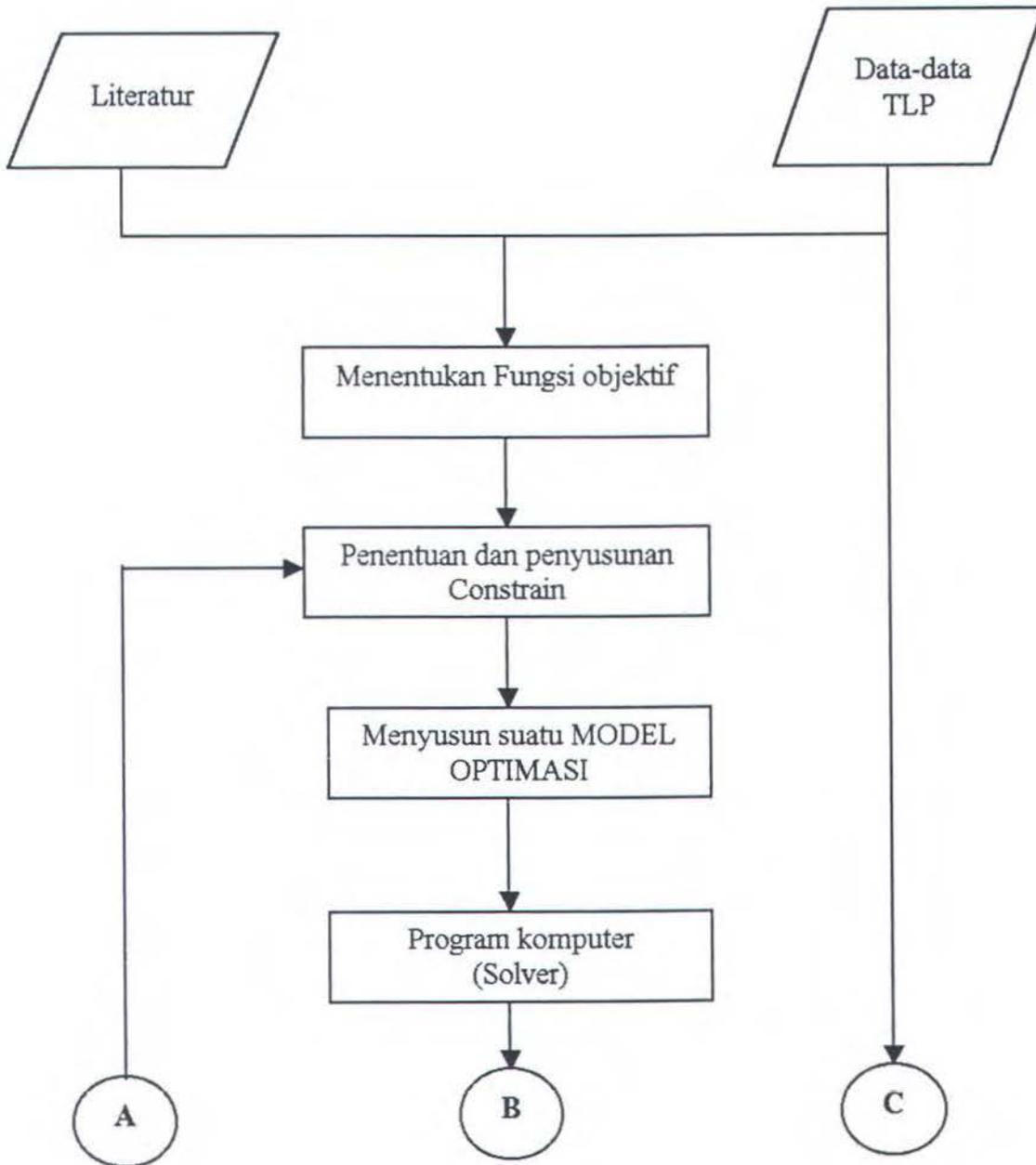
III.3 ANALISA HASIL DAN PERHITUNGAN

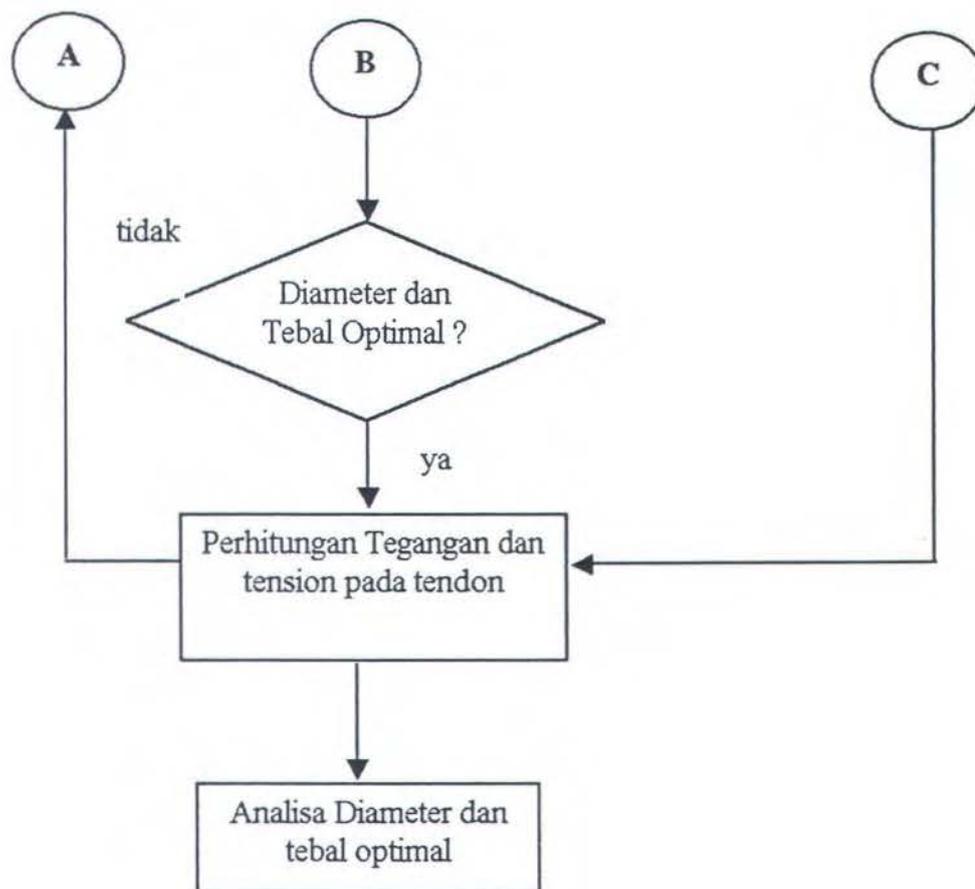
Setelah diperoleh hasil dari running program maka dilakukan analisa terhadap hasil tersebut dan di buat grafik dari output yang di hasilkan. Kemudian dilakukan perhitungan terhadap tension yang terjadi dengan menggunakan D (diameter) dan t (tebal) yang diperoleh.

III.4 KESIMPULAN

Menyusun kesimpulan yang diperoleh dari hasil perhitungan dan analisa serta pembuatan grafik. Baik terhadap hasil keluaran, metode, parameter dan analisa yang di lakukan.

Diagram alir (flowchart) metodologi penelitian.





III.5. SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR

Sistematika yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang latar belakang ditulisnya tugas akhir ini, permasalahan yang akan diselesaikan, tujuan yang ingin dicapai yaitu menyelesaikan permasalahan yang ada, manfaat yang ingin diwujudkan oleh penulis, dan batasan masalah yang berupa asumsi-asumsi.

BAB II DASAR TEORI

Ada beberapa dasar teori yang digunakan oleh penulis untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada. Dasar teori yang digunakan diantaranya adalah pengaruh tension, berat dan tekanan hidrostatis pada tendon, metode optimasi non linier, SUMT dan steepest descent .

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini diterangkan tentang bagaimana langkah-langkah yang dilakukan dalam menyusun tugas akhir. Langkah-langkah tersebut dimulai dari pengambilan data, penyusunan model optimasi. Program komputer yang digunakan untuk membantu pengerjaan tugas akhir ini serta susunan model optimasi. Kemudian dituliskan juga tentang sistematika penulisan tugas akhir.

BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

Dalam bab ini dilakukan perhitungan untuk menentukan beban-beban yang bekerja pada tendon, seperti tension tendon, tegangan longitudinal, combined tensile stress, Hoop stress/ circumferential stress, von Mises stress,

tension efektif. Hasil dari running program kemudian dianalisa untuk diselidiki kendala-kendala yang aktif dalam proses optimasi tersebut

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diambil dari perhitungan serta hasil dari proses optimasi yang dilakukan. Selain itu dalam bab ini juga berisi saran yang berguna untuk penelitian lebih lanjut.

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

*Jangan menyalahkan keadaan (sekitar)
jika engkau mengalami kegagalan,
Carilah keadaan yang dapat
mendukungmu,
jika kau tidak menemukannya
maka ciptakanlah keadaan itu.*

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

IV. Data dan Perhitungan awal

Dari data-data yang diperoleh dilakukan perhitungan awal untuk menentukan harga awal tension, berat dan tekanan hidrostatis pada tendon. Untuk tendon yang telah diketahui Diameter dan tebalnya, maka Diameter dan tebal dimasukkan sebagai nilai awal dari variabel desain yang akan dioptimasi dengan meminimisasi berat tendon.

Untuk tendon (Auger) yang tidak diketahui Diameter dan tebal aktualnya maka dilakukan pendekatan berdasarkan asumsi bahwa rasio tendon adalah 30 hal ini disesuaikan dengan kekuatan mulur material yang digunakan pada tugas akhir ini 50 ksi untuk kekuatan mulur materialnya dan 70 untuk Tensile Stressnya. Pengasumsian ini juga diambil berdasarkan pendekatan kedalaman yaitu untuk kedalaman dibawah 4000 feet. Selain juga bertujuan untuk melihat bagaimana hasil yang diperoleh jika Diameter dan tebal awal yang akan kita proses didalam program optimasi dalam Excel 2000 kita tentukan dengan cara sembarang tanpa dicek terlebih dahulu apakah untuk harga variabel desain awal tersebut semua kendala telah dipenuhi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses optimasi.

1. JOILET Tendon

Neutrally buoyant (Thin walled)

Operasional Draft	79.048 feet
Kedalaman	1758 feet
Diameter	24 inch
Tebal	0.812 inch
Pre-tension	750 kips/ per tendon
Yield Stress	50 ksi
Tensile Stress	70 ksi
Spec Air	64 lb/ft ³
Spec Baja	490 lb/ft ³

Panjang Tendon

$$= \text{Kedalaman} - \text{Operasional Draft} = 1679 \text{ feet}$$

Luas Total

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 3.14 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang material (A1)

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{4} \pi (D^2 - (D-2t)^2) \\ &= 0,41 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang Air

$$\begin{aligned} A_2 &= A_t - A_1 \\ &= 3.14 - 0.41 \\ &= 2.72 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Berat di Udara

$$\begin{aligned} W_a &= \rho L A_t \\ &= 350 \text{ kips} \end{aligned}$$

Berat di Air (Baja $D/t = 30$) maka berat tendon di dalam air adalah nol

$$\begin{aligned} W_e &= W_a - \rho L A_2 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Perhitungan Tension pada TLP

Untuk neutrally bouyant maka

$$T1 = -P1.A$$

$$T0 = -P0.A$$

Tekanan Internal

$$\begin{aligned} P_i &= 1 \text{ atm} \\ &= 2118.78 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Hidrostatik (Eksternal)

$$\begin{aligned} P1 &= \rho \cdot H1 \\ &= 3.84 \text{ lb/ft}^2 \\ P2 &= \rho \cdot H2 \\ &= 105547.776 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

$$T1_{\max} = 1.5 \cdot 10^6$$

$$T1_{\min} = 3.3 \cdot 10^5$$

$$H1 = 60 \text{ feet}$$

R1max

$$\begin{aligned} &= T0 + Wa + P1.A \\ &= 1.53786 \cdot 10^6 \text{ lb} \end{aligned}$$

R1min

$$\begin{aligned} &= T0 + Wa + P1.A \\ &= 3.6786 \cdot 10^5 \text{ lb} \end{aligned}$$

T0max

$$\begin{aligned} &= T1 - Wa \\ &= 1.168 \cdot 10^6 \text{ lb} \end{aligned}$$

T0min

$$\begin{aligned} &= T1 - Wa \\ &= -1.781 \cdot 10^3 \text{ lb} \end{aligned}$$

R0max

$$\begin{aligned} &= R1 - We \\ &= 1.53786 \cdot 10^6 \text{ lb} \end{aligned}$$

R0min

$$\begin{aligned} &= R1 - We \\ &= 3.6786 \cdot 10^5 \text{ lb} \end{aligned}$$

Bottom buck Load

$$\begin{aligned} &= P0.A \\ &= -3.6964 \cdot 10^5 \text{ lb} \end{aligned}$$

Circumferensial Stress / hoop stress

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{(P_i - P)D}{2t} \\ &= -1556735.578 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tegangan geser

$$\tau = \sigma_c / 2$$

$$\tau = -778367.79 \text{ lb/feet}^2$$

Longitudinal Stress Maksimum

$$\bar{\sigma}_o = \frac{\gamma_w h_w D}{4t} \left[\sqrt{\left(\frac{4\sigma_{all} t}{\gamma_w h_w D} \right)^2 - 3} - 1 \right]$$

$$= 4748727.225 \text{ lb/feet}^2$$

Tegangan efektif

$$\sigma_e = \sigma_o - \sigma_c / 2$$

$$= 5527095.014 \text{ lb/feet}^2$$

Von Mises Stress

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau^2}$$

$$= 5689143.041 \text{ lb/feet}^2$$

Tegangan Aksial maksimum

$$\sigma_a = T1_{maks} / A_s$$

$$= 3653463.578 \text{ lb/feet}^2$$

Tendon tension

$$\sigma_a = \text{Pre-tension} / A_s$$

$$= 1827664.828 \text{ lb/feet}^2$$

Momen Bending

$$M = 2 \cdot \pi \cdot R^3 \cdot t \cdot \tau$$

$$= -330426.7 \text{ lbft}$$

Inertia tendon

$$I = \frac{\pi}{8} Dt(D^2 + t^2)$$

$$= 0.212 \text{ ft}^3$$

Tegangan Bending

$$\sigma_b = \frac{M.y}{I}$$

$$= -1554557.56 \text{ lb/ft}^2$$

Tegangan Longitudinal

$$\sigma_o = \sigma_a - \sigma_b$$

$$= 273107.27 \text{ lb/ft}^2$$

Combined Tensile Stress

$$\sigma_o = \sigma_a + \sigma_b$$

$$= 3382222 \text{ lb/ft}^2$$

2.SNORRE Tendon

Thin Wall (Tubular)

Operasional Draft	123 feet
Kedalaman	1016 feet
Solid tendon diameter	
Diameter	2.66 ft
Tebal	0.088 ft
Pre-tension	25000 Ton
Yield Stress	50 ksi
Tensile Stress	70 ksi

Spec Air	64 lb/ft ³
Spec Baja	490 lb/ft ³

Panjang Tendon

$$= \text{Kedalaman} - \text{Opersional Draft} = 893 \text{ ft}$$

Luas Total

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 5.57 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang material (A1)

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{4} \pi (D^2 - (D-2t)^2) \\ &= 0.72 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang Air

$$\begin{aligned} A_2 &= A_t - A_1 \\ &= 4.85 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Berat di Udara

$$\begin{aligned} W_a &= \rho L A_t \\ &= 314,5 \text{ kips} \end{aligned}$$

Berat di Air

$$\begin{aligned} W_e &= W_a - \rho L A_2 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Tekanan Internal

$$\begin{aligned} P_i &= 1 \text{ atm} \\ &= 2118.78 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Hidrostatik (Eksternal)

$$\begin{aligned} P_e &= \rho \cdot H^2 \\ &= 57203.2 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

Circumferensial Stress / hoop stress

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{(P_i - P)D}{2t} \\ &= -826256.05 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tegangan geser

$$\begin{aligned} \tau &= \sigma_c / 2 \\ \tau &= -413124 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Longitudinal Stress Maksimum

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_o &= \frac{\gamma_w h_w D}{4t} \left[\sqrt{\left(\frac{4\sigma_{all} t}{\gamma_w h_w D} \right)^2 - 3} - 1 \right] \\ &= 5212555.47 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

Tegangan efektif

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sigma_o - \sigma_c / 2 \\ &= 5625683.4 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Von Mises Stress

$$\begin{aligned} \sigma_{vm} &= \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau^2} \\ &= 5671008.6 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tendon tension

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \text{Pre-tension} / A_s \\ &= 4799510.36 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Momen Bending

$$\begin{aligned} M &= 2.\pi.R^3.t.\tau \\ &= -543948.64 \text{ lbft} \end{aligned}$$

Inertia tendon

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{8}Dt(D^2 + t^2) \\ &= 0.659 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Tegangan Bending

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M.y}{I} \\ &= -1099087.4 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

Tegangan Longitudinal

$$\begin{aligned} \sigma_o &= \sigma_a + \sigma_b \\ &= 3700422.94 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$



Combined Tensile Stress

$$\begin{aligned} \sigma_o &= \sigma_a + \sigma_b \\ &= 5898597 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

3.HUTTON Tendon

(Tickwalled)

Operasional Draft	108.896 ft
Kedalaman	492 ft
Solid tendon diameter	
Diameter	0.8528 ft

Tebal	0.02952 ft
Pre-tension	14800 ton
Yield Stress	50 ksi
Tensile Stress	20 ksi
Spec Air	64 lb/ft ³
Spec Baja	490 lb/ft ³

Panjang Tendon

$$= \text{Kedalaman} - \text{Operasional Draft} = 383.1 \text{ ft}$$

Luas Total

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0.57 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang material (A1)

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{4} \pi (D^2 - (D-2t)^2) \\ &= 0.51 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang Air

$$\begin{aligned} A_2 &= A_t - A_1 \\ &= 0.054 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Berat di Udara

$$\begin{aligned} W_a &= \rho L A_t \\ &= 97024.5 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Berat di Air

$$\begin{aligned} W_e &= W_a - \rho L A_2 \\ &= 95699.29 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Tekanan Internal

$$\begin{aligned} P_i &= 1 \text{ atm} \\ &= 2118.78 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Hidrostatik (Eksternal)

$$\begin{aligned} P_e &= \rho \cdot H^2 \\ &= 24518.656 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

Circumferensial Stress / hoop stress

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{(P_i - P)D}{2t} \\ &= -32355.369 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Tegangan geser

$$\begin{aligned} \tau &= \sigma_c / 2 \\ \tau &= -16177.68 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Longitudinal Stress Maksimum

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_o &= \frac{\gamma_w h_w D}{4t} \left[\sqrt{\left(\frac{4\sigma_{all} t}{\gamma_w h_w D} \right)^2 - 3} - 1 \right] \\ &= 5740074 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

Tegangan efektif

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sigma_o - \sigma_c / 2 \\ &= 5756251.99 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

Von Mises Stress

$$\begin{aligned} \sigma_{vm} &= \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau^2} \\ &= 5756320.57 \text{ lb/feet}^2 \end{aligned}$$

IV.2. Analisa Hasil Optimasi ✓

Dari Optimasi yang dilakukan untuk masing-masing tendon didapatkan output yang dapat dilihat pada Lampiran A.

1. Joilet Tendon

Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.2.1 sampai 4.2.3 :

Berat tendon optimal $F(X) = 127845.85 \text{ lbs}$

Diameter tendon optimal $X(1) = 1.22 \text{ ft}$

Tebal tendon optimum $X(2) = 0.04 \text{ ft}$

Maka dapat di hitung D/t adalah 29.14 berarti tendon masih mendekati *neutrally bouyant tendon*. Selain itu berat tendon yang tereduksi karena menurunnya nilai variabel desain adalah

$$\begin{aligned} \text{Berat yang berkurang} &= \frac{337613.4675 - 127845.85}{337613.4675} \times 100\% \\ &= 62.132\% \end{aligned}$$

Tabel 4.1. Minimisasi Fungsi objektif Joilet tendon

F(X)	Fungsi Objektif	Nilai awal (lbs)	Optimum (lbs)
Wa	Berat Tendon	337613.4675	127845.85

Tabel 4.2. Nilai Variabel Desain Joilet tendon

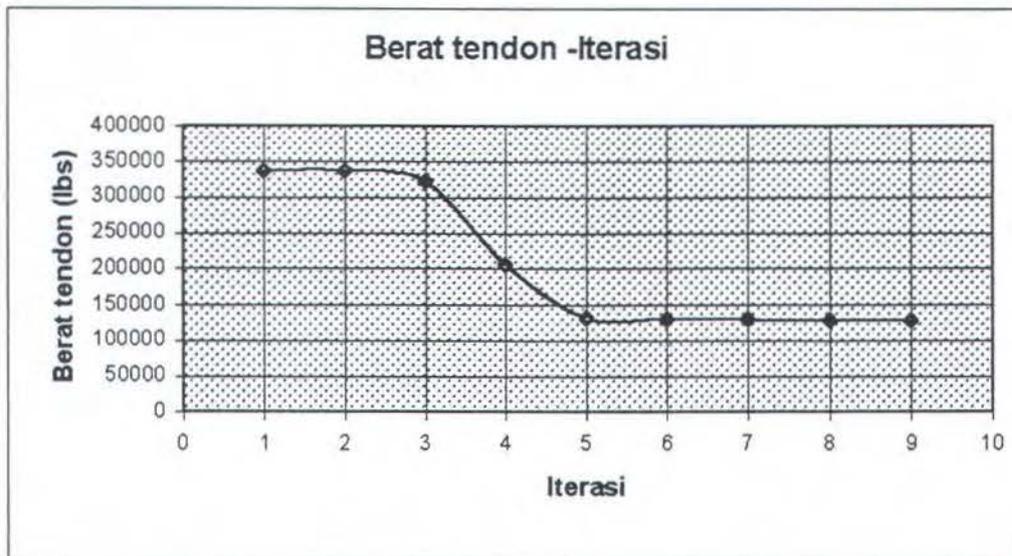
Variabel Desain	Dimensi	Nilai awal (feet)	Optimum (feet)
X (1)	Diameter	1.999488	1.22
X (2)	Tebal	0.0676494	0.04

Tabel 4.3. Kondisi kendala dalam proses optimasi Joilet tendon

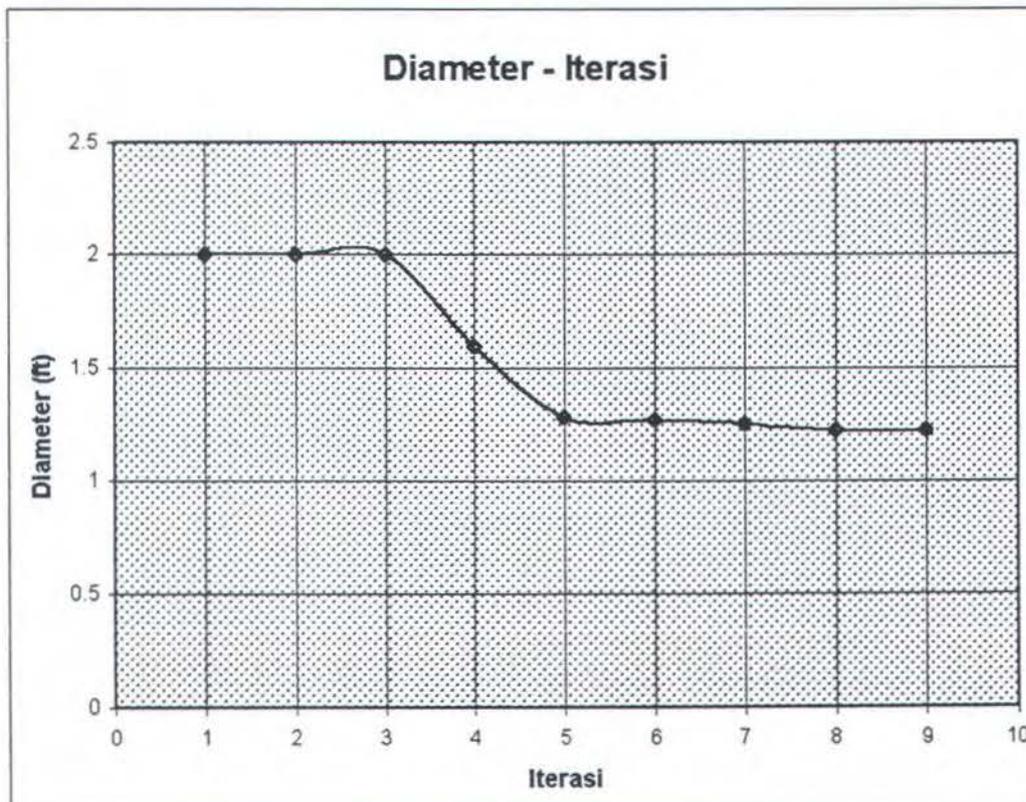
	Kendala	Formulasi	Status	Slack
G (1)	Batasan Diameter Minimum	$20 \leq D/t$	Not Binding	9.13598
G(2)	Batasan Diameter Maksimum	$D/t \leq 31$	Not Binding	1.864
G(3)	Batasan von Mises Stress	$\sigma_{vm} \leq \sigma_{all}$	Not Binding	72486.09
G(4)	Batasan Longitudinal Stress Maksimum	$\sigma_o \leq \overline{\sigma_o}$	Not Binding	875816.2
G(5)	Batasan Kedalaman maksimum	$hw \leq \overline{hw}$	Not Binding	1146.0870
G(6)	Batasan Combined Tensile Stress	$\sigma_c \leq 0.8\sigma_y$	Binding	0
G(7)	Batasan Kekuatan Mulur material	$\sigma_a \leq 0.67\sigma_y$	Binding	0

Dari tabel 4.3. kendala-kendala yang aktif pada proses optimasi adalah batasan *Combined tensile stress* dan kekuatan mulur material dengan nilai *slack*nya nol. Keaktifan dari kendala tersebut dapat di lihat dari nilai *slack* nya . Tingkat keaktifan kendala ditentukan dari besar nilai *slack*nya, semakin kecil maka kendala tersebut semakin aktif membatasi fungsi objektif hingga nilai nol. ✓

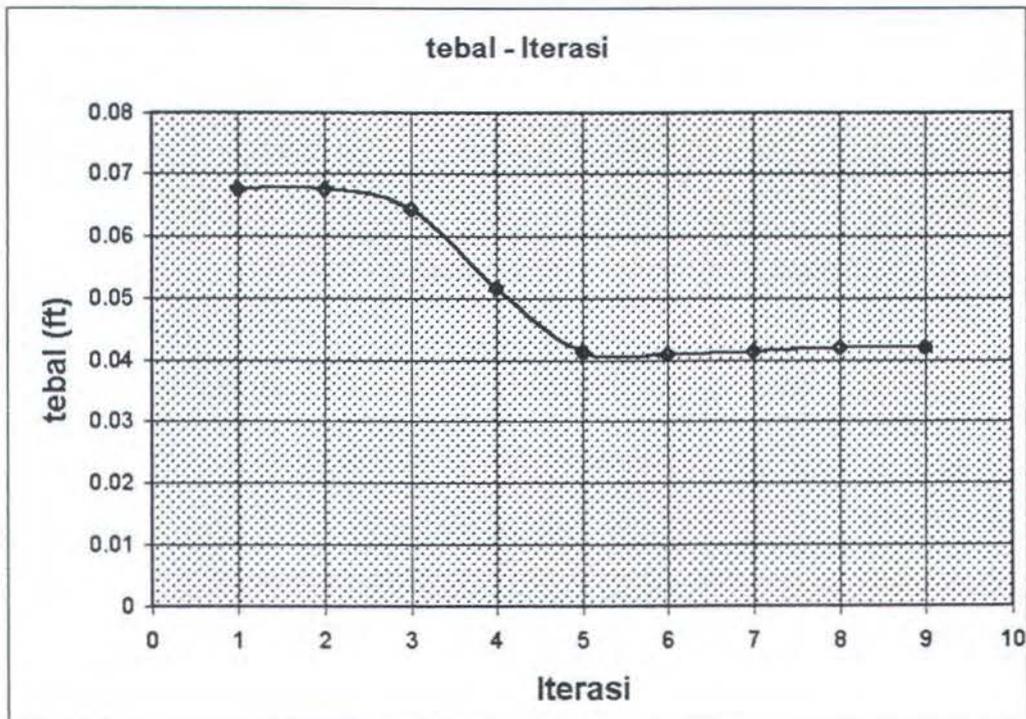
Combined tensile stress membatasi penurunan berat, Diameter dan tebal tendon begitu juga dengan pretension yang diberikan yang menghasilkan tegangan aksial pada tendon . Maka dapat disimpulkan penggunaan material dengan kekuatan mulur 50 ksi dan Tensile stress 70 ksi sangat membatasi proses optimasi pada tugas akhir ini untuk Joilet tendon. Penggunaan material dengan kekuatan mulur material yang lain dapat dipertimbangkan dengan memperhatikan D/t dan kedalaman yang sesuai sebagai pertimbangan tekanan hidrostatis pada tendon. ✓



Grafik 4.1. Berat tendon – Iterasi untuk Joilet tendon

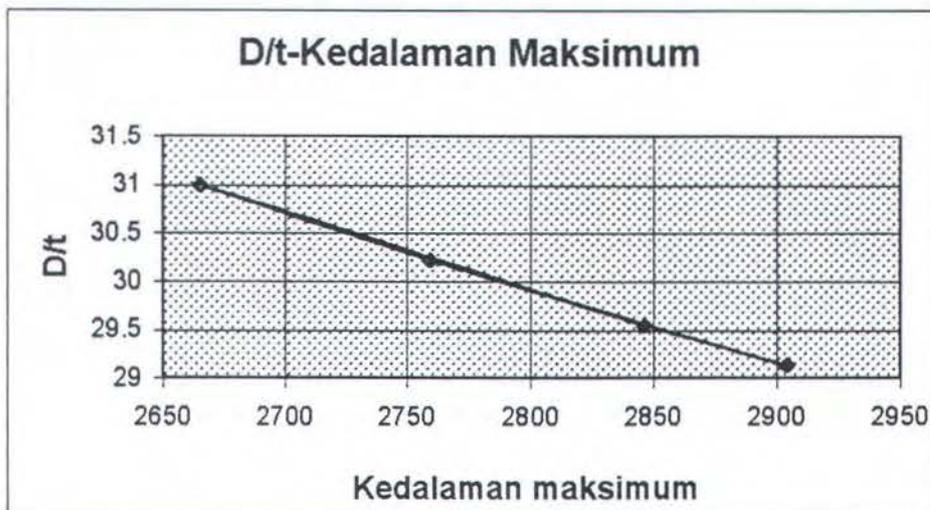


Grafik 4.2. Diameter – Iterasi untuk Joilet tendon



Grafik.4.3. tebal- Iterasi untuk Joilet tendon

Dari ketiga grafik yang dihasilkan dapat dilihat bahwa bentuk ketiga grafik tersebut hampir sama. Penurunan nilai awal dari diameter, tebal dan berat tendon sampai ke nilai optimum memiliki hampir sama. Penurunan yang drastis terjadi pada iterasi ke 3.



Grafik.4.4.rasio D/t –kedalaman maksimum untuk Joilet tendon

Dari grafik 4.4. Menunjukkan penurunan D/t dengan semakin meningkatnya kedalaman maksimum.

2.SNORRE Tendon

Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.4 sampai 4.5 :

Berat tendon optimal $F(X) = 312574.62 \text{ lbs}$

Diameter tendon optimal $X(1) = 2.5237 \text{ ft}$

Tebal tendon optimum $X(2) = 0.0935 \text{ ft}$

Maka dapat di hitung D/t adalah 26.98 hal ini dapat dilihat bahwa tendon tersebut sudah tidak neutrally bouyant lagi atau beratnya di dalam air adalah tidak sama dengan nol.

$$\begin{aligned} \text{Berat yang berkurang} &= \frac{314330.4663 - 312574.63}{314330.4663} \times 100\% \\ &= 0.558\% \end{aligned}$$

Dapat juga dilihat bahwa penurunan berat tendonnya kecil. Begitu juga dengan Diameter tendon begitu juga dengan peningkatan tebal tendon tidak begitu besar. Hal ini menunjukkan bahwa harga awal yang diambil untuk prose optimasi ini mendekati optimum.

Tabel 4.4. Minimisasi Fungsi objektif Snorre tendon

F(X)	Fungsi Objektif	Nilai awal (lbs)	Optimum (lbs)
Wa	Berat Tendon	314330.4663	312574.6288

Tabel 4.5. Nilai Variabel Desain Snorre tendon

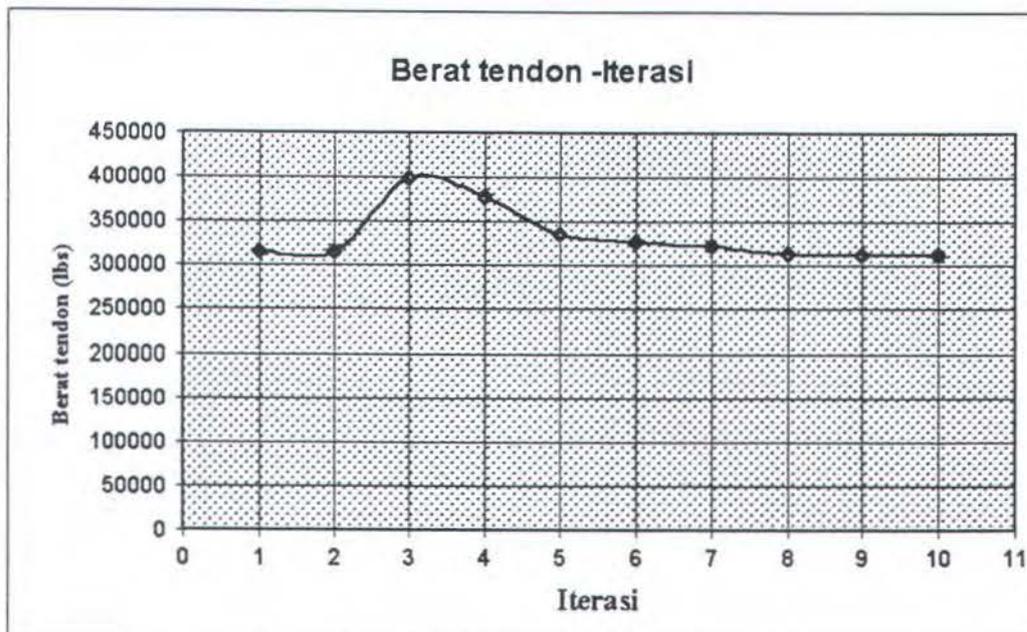
Variabel Desain	Dimensi	Nilai awal (feet)	Optimum (feet)
X (1)	Diameter	2.66336	2.5237
X (2)	Tebal	0.0888	0.0935

Tabel 4.6. Kondisi kendala dalam proses optimasi Snorre tendon

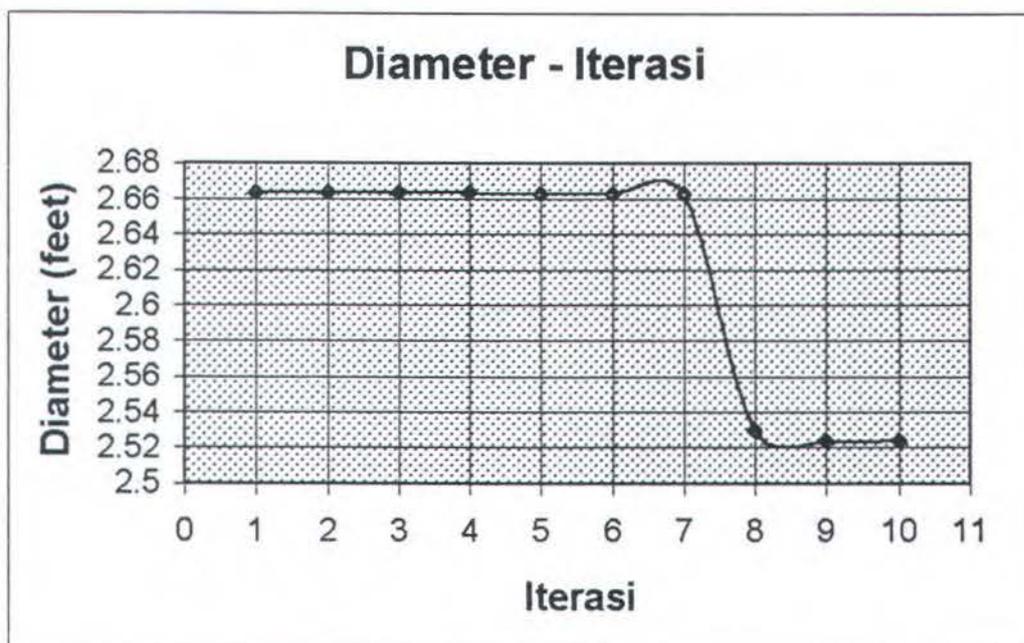
	Kendala	Formulasi	Status	Slack
G (1)	Batasan Diameter Minimum	$20 \leq D/t$	Not Binding	6.983
G(2)	Batasan Diameter Maksimum	$D/t \leq 31$	Not Binding	4.017
G(3)	Batasan von Mises Stress	$\sigma_{vm} \leq \sigma_{all}$	Not Binding	81202.47
G(4)	Batasan Longitudinal Stress Maksimum	$\sigma_o \leq \overline{\sigma_o}$	Not Binding	1383603.29
G(5)	Batasan Kedalaman maksimum	$hw \leq \overline{hw}$	Not Binding	2224.17
G(6)	Batasan Combined Tensile Stress	$\sigma_c \leq 0.8\sigma_y$	Binding	0
G(7)	Batasan Kekuatan Mulur material	$\sigma_a \leq 0.67\sigma_y$	Binding	0

Dari tabel 4.6. kendala-kendala yang aktif pada proses optimasi ini sama dengan optimasi pada Joilet tendon adalah batasan *Combined tensile stress* dan kekuatan mulur material dengan nilai *slacknya nol*.

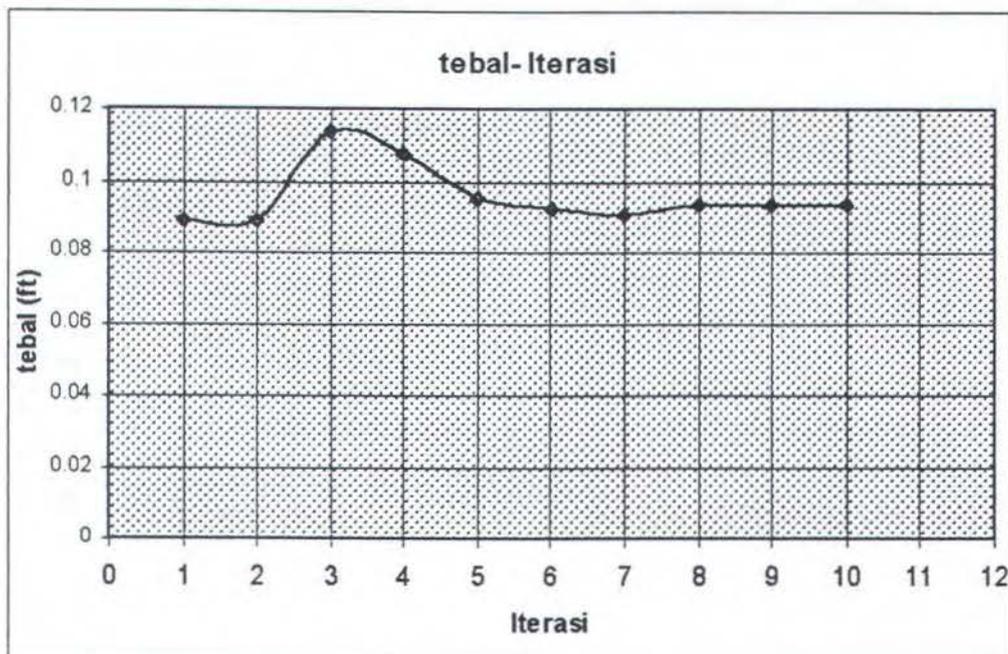
Penggunaan material lain dengan kekuatan mulur material yang berbeda juga dapat dipertimbangkan untuk tendon Snorre dengan tentu saja mempertimbangkan tekanan hidrostatik dengan memperhatikan D/t dan kedalaman untuk menghindari terjadinya *Collapse*.



Grafik.4.5. Berat-Iterasi untuk Snorre tendon

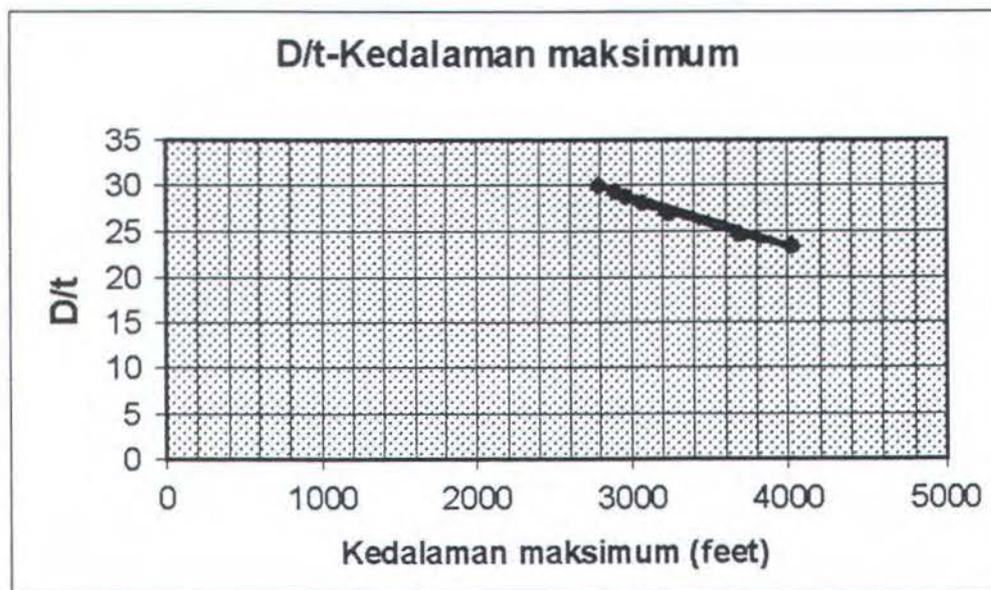


Grafik.4.6. Diameter-Iterasi untuk Snorre tendon



Grafik.4.7. tebal-Iterasi untuk Snorre tendon

Dari grafik 4.5, 4.6, dan 4.7, Berat, Diameter dan tebal tendon mengalami penurunan yang polanya berbeda dimana berat dan tebal tendon mengalami peningkatan sebelum iterasi ke-3 dan penurunan dan kemudian mengalami penurunan yang semakin mengecil fluktuasinya sampai ke titik optimum. Sedangkan untuk Diameter tendon mengalami perubahan yang hampir konstan sebelum mengalami penurunan yang drastis pada iterasi ke -7. Grafik 4.8. juga memperlihatkan penurunan D/t disamping meningkatnya kedalaman maksimum.



Grafik.4.8. D-t kedalaman maksimum untuk Snorre tendon

3. Hutton Tendon

Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.7 sampai 4.8 :

Berat tendon optimal $F(X) = 79314.35$ lbs

Diameter tendon optimal $X(1) = 0.796$ ft

Tebal tendon optimum $X(2) = 0.244$ ft

Maka dapat di hitung D/t adalah 3.2 berarti tendon mengalami peningkatan rasio D/t dengan terjadinya penurunan berat, Diameter dan tebal. Berat tendon yang tereduksi karena menurunnya nilai variabel desain adalah

$$\begin{aligned} \text{Berat yang berkurang} &= \frac{97024.53 - 79314.35}{97024.53} \times 100\% \\ &= 18.253\% \end{aligned}$$

Tabel 4.7. Minimisasi Fungsi objektif Hutton tendon

F(X)	Fungsi Objektif	Nilai awal (lbs)	Optimum (lbs)
Wa	Berat Tendon	97024.52669	79314.34955

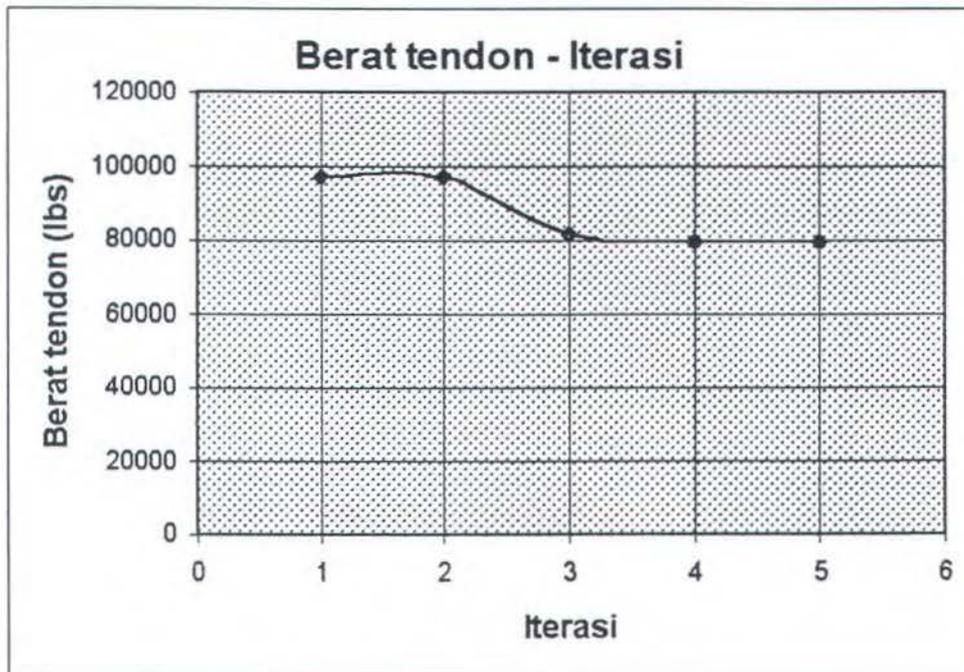
Tabel 4.8. Nilai Variabel Desain Hutton tendon

Variabel Desain	Dimensi	Nilai awal (feet)	Optimum (feet)
X (1)	Diameter	0.8528	0.7959
X (2)	tebal	0.2952	0.2436

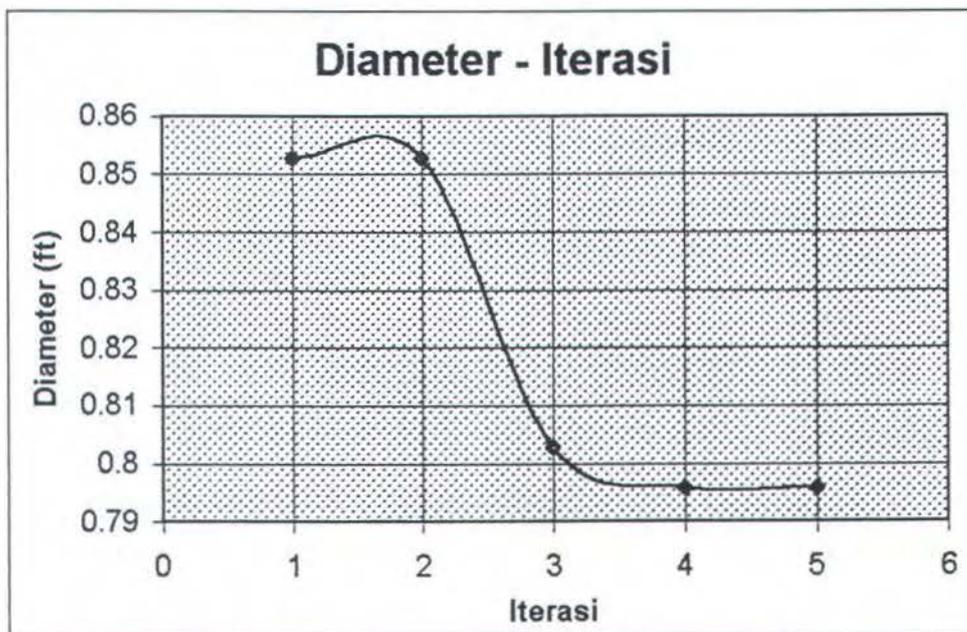
Tabel 4.2.9. Kondisi kendala dalam proses optimasi Hutton tendon

G (I)	Kendala	Formulasi	Status	Slack
G (1)	Batasan Diameter Minimum	$D/t \leq 31$	Not Binding	27.733
G (2)	Batasan von Mises Stress	$\sigma_{vm} \leq \sigma_{all}$	Not Binding	7507.064
G (3)	Batasan Longitudinal Stress Maksimum	$\sigma_o \leq \overline{\sigma_o}$	Not Binding	923904
G (4)	Batasan Kedalaman maksimum	$hw \leq \overline{hw}$	Not Binding	436121.51
G (5)	Batasan Combined Tensile Stress	$\sigma_c \leq 0.8\sigma_y$	Not Binding	923166.6272
G (6)	Batasan Kekuatan Mulur material	$\sigma_a \leq 0.67\sigma_y$	Binding	0

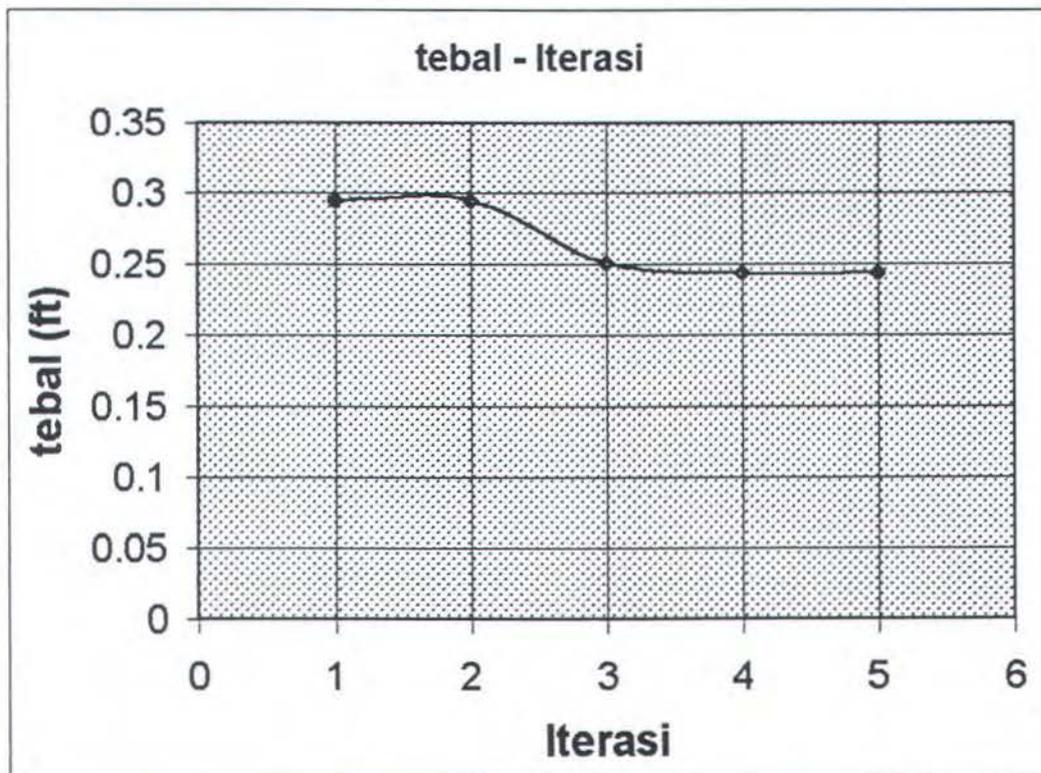
Dari tabel 4.2.9. Kendala-kendala yang aktif pada proses optimasi adalah batasan kekuatan mulur material dengan nilai *slack*nya nol. Hal ini berkaitan dengan besarnya pretension yang diberikan dan berhubungan dengan dengan besarnya displacement TLP.



Grafik. 4.9. Berat tendon- Iterasi untuk Hutton tendon

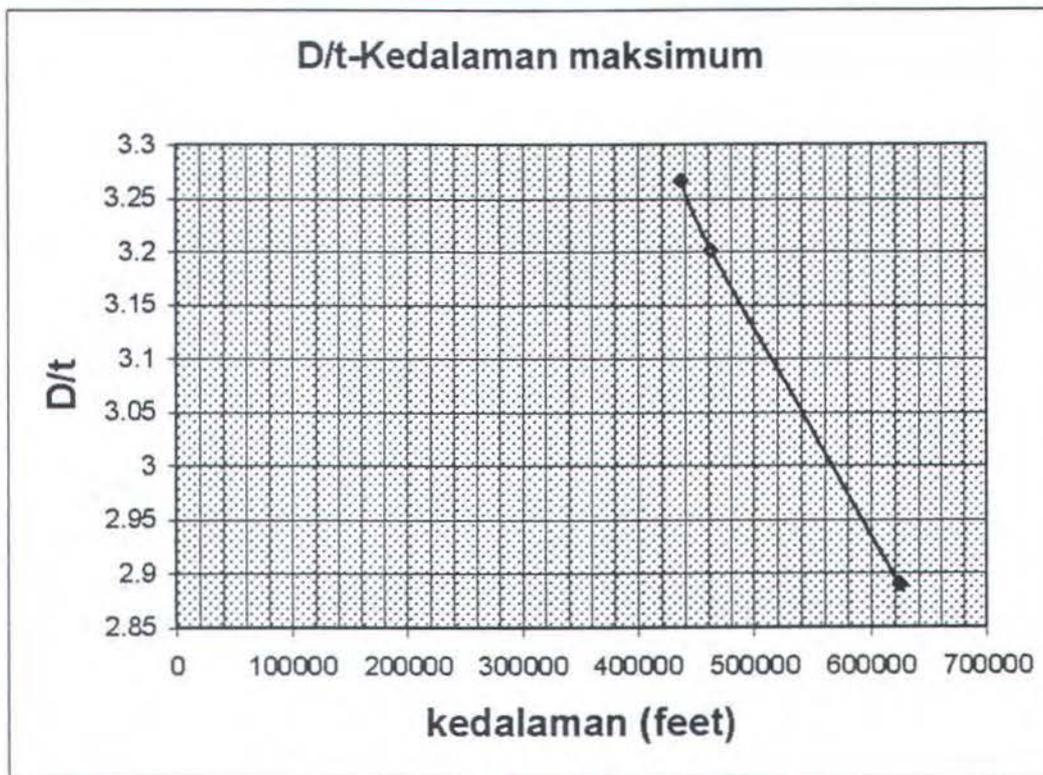


Grafik. 4.10. Diameter- Iterasi untuk Hutton tendon



Grafik. 4.11. tebal- Iterasi untuk Hutton tendon

Grafik 4.9, 4.10 dan 4.11, juga menunjukkan pola yang mirip dengan dengan proses minimisasi berat tendon pada Joilet untuk kekuatan mulur material 50 ksi. Tetapi penurunan berat, Diameter dan tebal tendon terjadi pada iterasi ke-2. Penurunan D/t dengan meningkatnya kedalaman maksimum juga di perhatikan grafik 4.12.



Grafik. 4.12. D/t - Kedalaman untuk Hutton tendon

4. Auger Tendon

Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.10 sampai 4.11 :

Berat tendon optimal $F(X) = 641967.0418$ lbs

Diameter tendon optimal $X(1) = 1.782$ ft

Tebal tendon optimum $X(2) = 0.0891$ ft

Dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan berat tendon dan tebal dari berat dan tebal awal yang diberikan dengan Diameter yang menurun. Pertambahan berat disertai menurunnya nilai variabel desain adalah

$$\begin{aligned} \text{Berat yang bertambah} &= \frac{641967.048 - 556181.7487}{556181.7487} \times 100\% \\ &= 15.424\% \end{aligned}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dan semua gambaran itu.....telah... tercuci dalam hitam,
dari apa yang dulu segalanya
Semua cintaku berjalan buruk.... merubah duniaku ke dalam hitam
Mencacah diriku.....mencacah semuanya
Aku tahu suatu saat kamu akan memiliki hidup yang indah
Aku tahu kamu akan menjadi seperti apa yang kamu inginkan
Tapi... Mengapamengapa ini tidak bisa menjadi milikku ?
(Vedder)

Tabel 4.10. Minimisasi Fungsi objektif Auger tendon

F(X)	Fungsi Objektif	Nilai awal (lbs)	Optimum (lbs)
Wa	Berat Tendon	556181.7487	641967.0418

Tabel 4.11. Nilai Variabel Desain Auger tendon

Variabel Desain	Dimensi	Nilai awal (feet)	Optimum (feet)
X (1)	Diameter	1.999488	1.782
X (2)	Tebal	0.0676494	0.0891

Tabel 4.12. Kondisi kendala dalam proses optimasi Auger tendon

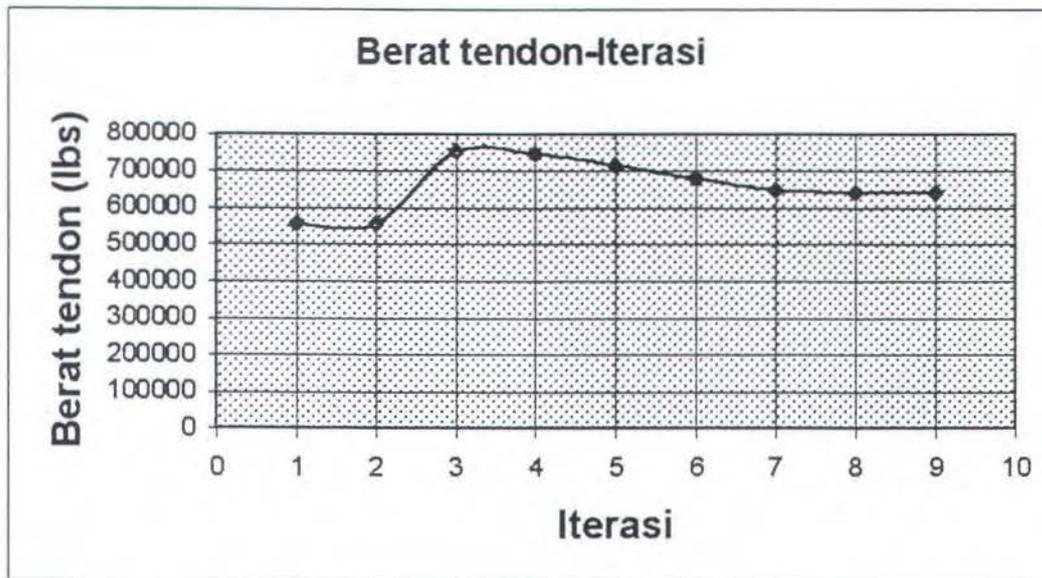
G (I)	Kendala	Formulasi	Status	Slack
G (1)	Batasan Diameter Minimum	$20 \leq D/t$	Binding	0
G (2)	Batasan Diameter Maksimum	$D/t \leq 31$	Not Binding	11
G (3)	Batasan von Mises Stress	$\sigma_{vm} \leq \sigma_{all}$	Not Binding	58265.61
G (4)	Batasan Longitudinal Stress Maksimum	$\sigma_o \leq \overline{\sigma}_o$	Not Binding	417008.06
G (5)	Batasan Kedalaman maksimum	$hw \leq \overline{hw}$	Not Binding	2329.108
G (6)	Batasan Combined Tensile Stress	$\sigma_c \leq 0.8\sigma_y$	Binding	0
G (7)	Batasan Kekuatan Mulur material	$\sigma_a \leq 0.67\sigma_y$	Not Binding	618092.87

Dari tabel 4.12. Tingkat keaktifan kendala ditentukan dari besar nilai *slack*-nya, semakin kecil maka kendala tersebut semakin aktif membatasi fungsi objektif hingga nilai nol. Harga D/t akhir untuk Diameter dan tebal optimal adalah 20 hal ini menunjukkan terjadinya penurunan nilai D/t disamping terjadinya penurunan Diameter dan tebal. Penurunan ini perlu dicermati karena dari harga D/t awal 30 berkurangnya D/t bergerak sampai mendekati batas D/t minimum.

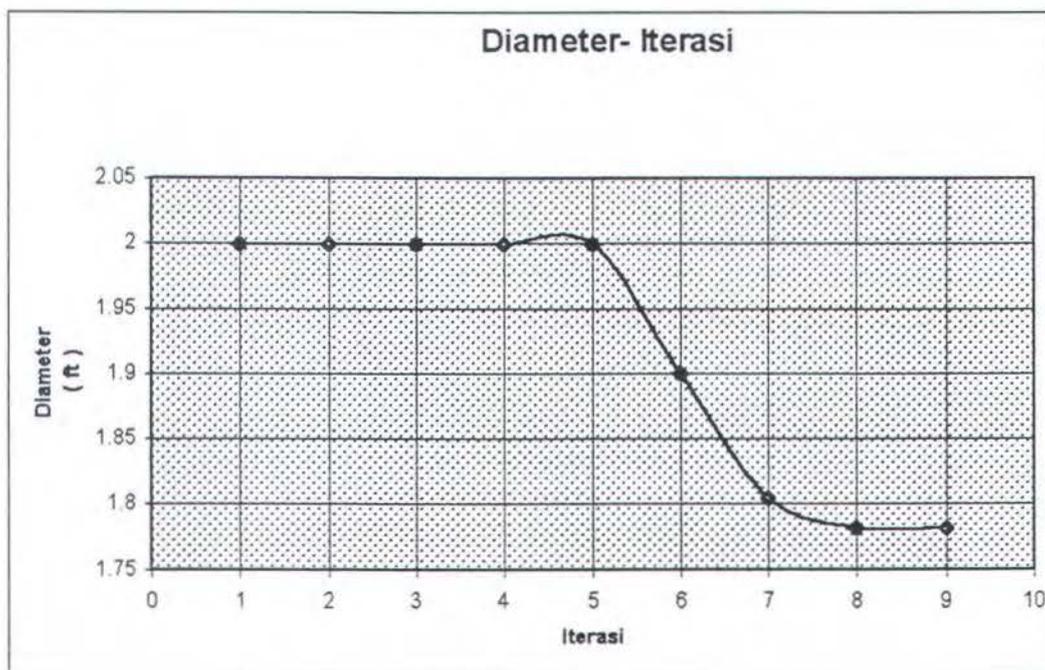
Hal ini menunjukkan bahwa dengan kedalaman yang lebih dari 2000 feet, terjadi penurunan harga D/t meskipun berat tendon bertambah hal ini karena adanya kendala yang menyebabkan terjadi penurunan D/t dimana kendala tersebut aktif membatasi terjadinya peningkatan D/t bahkan cenderung untuk menekan harga D/t sekecil mungkin. Bisa jadi bila kendala untuk diameter minimum diperkecil maka D/t yang dihasilkan akan lebih kecil lagi. Ini menunjukkan batasan untuk Diameter yang optimum merupakan kendala yang aktif. Selain itu juga dapat dilihat bahwa kendala untuk batasan *Combined tensile stress* juga aktif membatasi proses menurunnya Diameter dan tebal tendon dan karena *Combined tensile stress* berhubungan dengan tegangan aksial dalam hal ini adalah tension tendon yang didapatkan dari pretension yang diberikan maka dapat disimpulkan bahwa kendala ini aktif membatasi terjadinya penurunan berat tendon. Pada grafik 4.13 terlihat bahwa dari berat tendon awal terjadi peningkatan sampai iterasi ke 3 begitu juga dengan ketebalan tendon grafik 4.15. mengalami peningkatan sampai iterasi ke 3 sebelum keduanya mengalami penurunan sampai harga optimum tetapi masih diatas nilai awal.

Dari grafik 4.14 dapat dilihat bahwa hampir tidak terjadi perubahan harga Diameter dari harga awal samapi iterasi kelima tetapi terjadi penurunan yang drastis ketika berat dan tebal tendon meningkat.

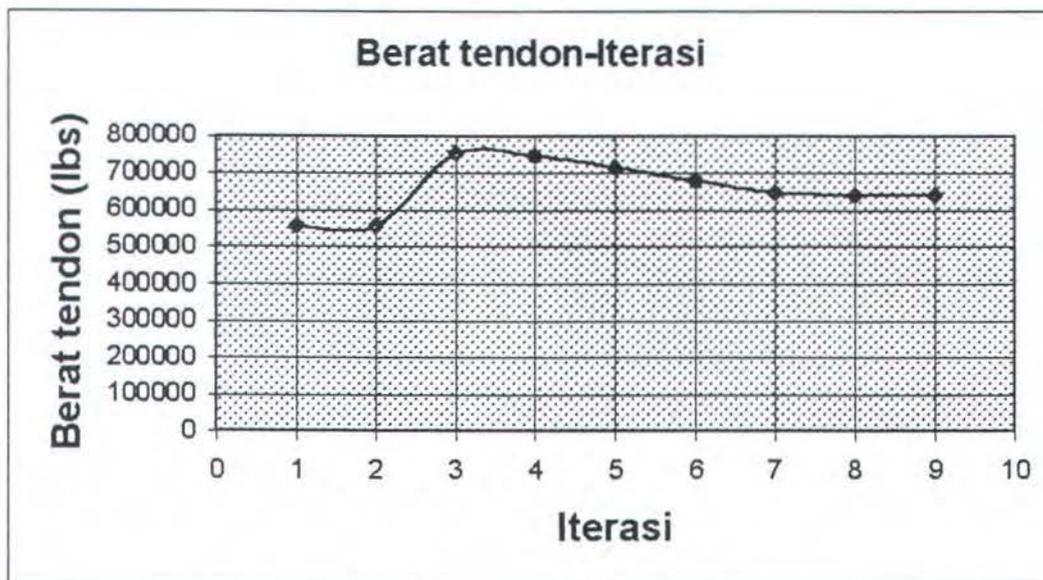
Dari grafik 4.16 juga dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya kedalaman maka D/t mengalami penurunan.



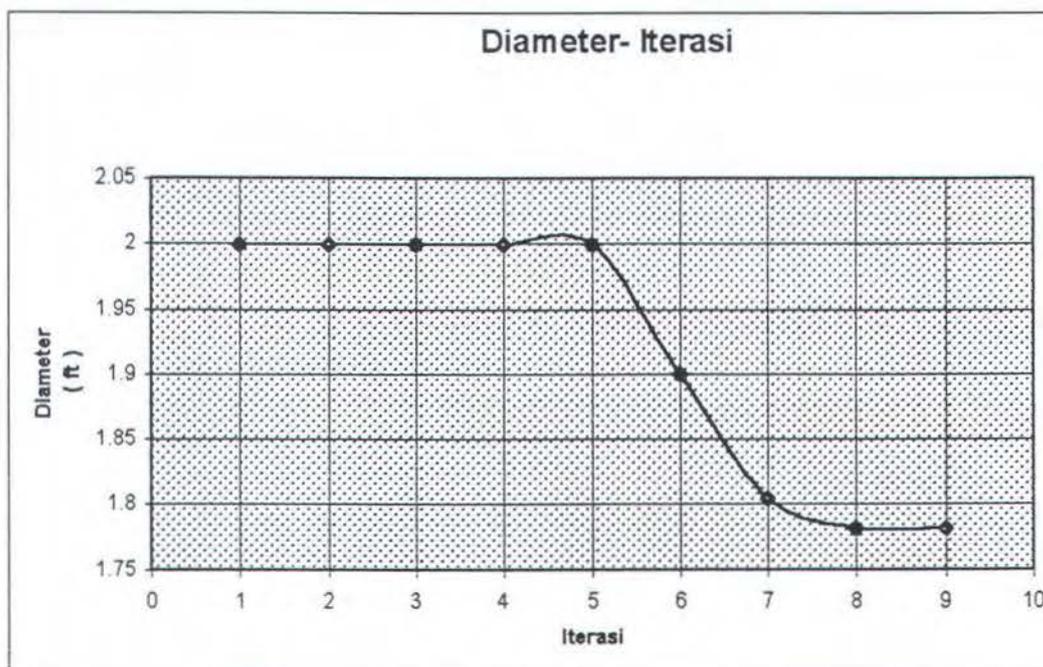
Grafik.4.13. Berat tendon- iterasi untuk Auger tendon.



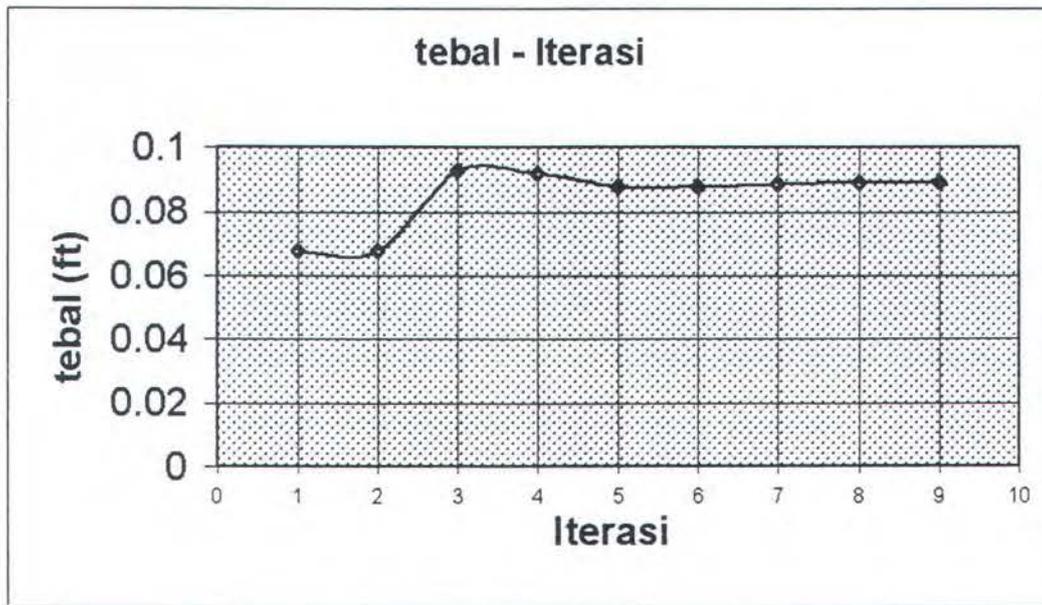
Grafik 4.14. Diameter-Iterasi untuk Auger tendon



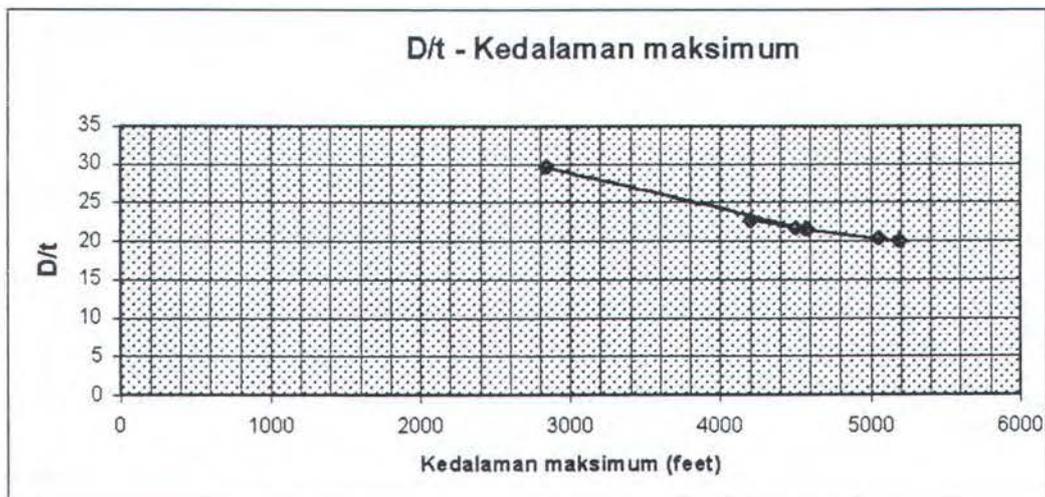
Grafik.4.13. Berat tendon- iterasi untuk Auger tendon.



Grafik 4.14. Diameter-Iterasi untuk Auger tendon



Grafik 4.15. tebal-iterasi untuk Auger tendon



Grafik 4.16. D/t – Kedalaman maksimum untuk Auger tendon

IV.3. Indeks Struktural.

Indeks struktural adalah rasio interaksi antara tension per kedalaman kuadrat dengan Diameter, tebal dan rasio D/t. Pada tugas akhir ini proses optimasi dimensi dengan minimisasi berat digunakan data-data Joilet tendon untuk melakukan studi terhadap indeks struktur, dimana hal ini nantinya diharapkan dapat digunakan untuk menentukan berapa Diameter, tebal dan rasio D/t awal dalam perancangan tendon pada TLP.

Dengan memberikan Pre-tension yang berbeda pada kedalaman yang sama 1758 feet untuk model optimasi tendon sebagai berikut;

1. Pre-tension = 300.000 lb
2. Pretension = 750.000 lb
3. Pretension = 2.000.000 lb

maka diperoleh laporan optimasi tendon seperti yang terlampir pada lampiran A, dimana untuk pretension 750.000 lb kondisinya sama dengan Joilet tendon :

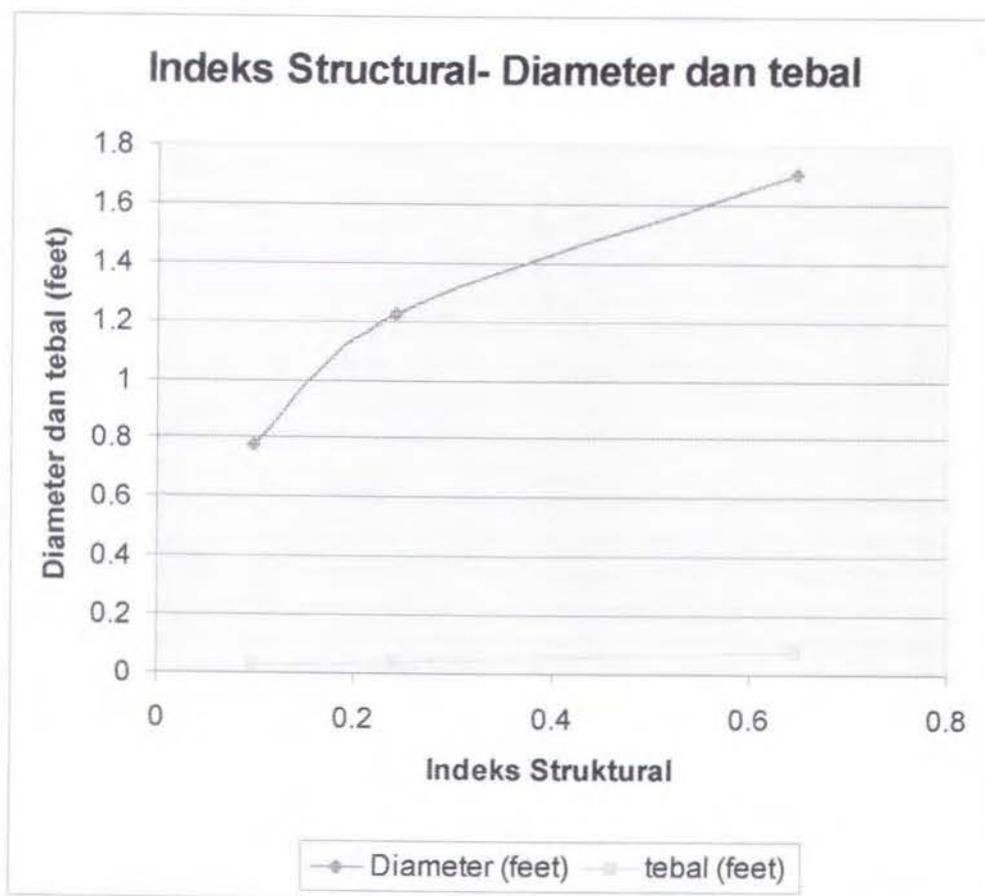
1. Pre tension = 300.000 lb

Kendala yang membatasi hanya batasan kekuatan material

2. Pretension = 2000000 lb

Kendala yang membatasi Combined tensile stress dan kekuatan mulur material.

Diameter Optimum	tebal	Pretension	Indeks Struktural
0.7768	0.02638	300.000 lb	0.097
1.222	0.04	750.000 lb	0.24
1.703	0.08	2.000.000 lb	0.64



Grafik. 4.17. Indeks Struktural terhadap Diameter dan tebal optimum

Grafik 4.17. menunjukkan semakin besar pre tension maka Diameter dan Tebal tendon akan semakin besar dengan semakin bertambahnya tegangan aksial hal ini disebabkan aktifnya kendala Combined stress dan batas kekuatan material yang berpengaruh langsung terhadap besar pretension.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Minimisasi berat tendon sering diikuti dengan menurunnya harga variabel desainnya yaitu Diameter dan tebal. Yang juga diikuti dengan menurunnya rasio D/t . Secara umum dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kedalaman maksimum yang diperbolehkan untuk thinwalled tendon seperti pada Joilet dan Snorre yang juga memiliki perbandingan D/t 30 atau neutrally bouyant tendon maka harga D/t memiliki kecenderungan untuk menurun hal ini karena disebabkan oleh aktif nya kendala *Combined tensile stress* dan pre tension yang berhubungan kekuatan mulur material yang dipilih.

Dari seluruh proses optimasi yang dilakukan untuk data-data tendon yang diperoleh kendala- kendala yang sering muncul sebagai kendala yang aktif adalah *Combined tensile stress* dan pre-tension yang berpengaruh pada tegangan aksial tendon. Untuk pretension tetap yang dalam tugas akhir ini digunakan sebagai data inputan, maka untuk kekuatan material yang sama pula hal ini sangat membatasi dimana masing masing tergantung dari luas tendon. Bila luas tendon diperkecil dengan semakin menurunnya Diameter dan tebal maka pretension akan semakin memperbesar tension dalam tendon dan akan semakin bergerak mendekati harga yang diijinkan sesuai dengan kekuatan material yang dipakai. Hal ini juga menunjukkan bahwa Diameter dan tebal

tendon dikontrol oleh kondisi dimana besar tension yang terjadi pada tendon kurang dari 67 % kekuatan material.

Dapat disimpulkan pula pengaruh bertambahnya kedalaman berpengaruh pada pemilihan kekuatan mulur material yang sesuai dengan rasio D/t_n nya.

Dari segi optimasi, bila pemilihan Diameter dan tebal awal mendekati harga optimum maka kendala-kendala yang aktif akan mempercepat proses optimasi menuju ke titik optimum. Meskipun Optimasi yang dilakukan adalah dengan meminimisasi berat tendon, jika data awal yang kita masukkan masih dibawah nilai optimum maka dalam proses optimasi akan memperbesar harga awal yang kita masukkan. Dan kemudian menurun sampai ke titik optimum meskipun masih diatas harga awalnya. Hal ini disebabkan oleh adanya kendala yang aktif yang membatasi Bergeraknya nilai awal tendon untuk bergerak lebih rendah.

Dari Grafik indeks Struktural menunjukkan dengan semakin besar pretension yang di berikan maka akan semakin besar pula Diameter dan tebal optimum yang diperlukan.

V. Saran

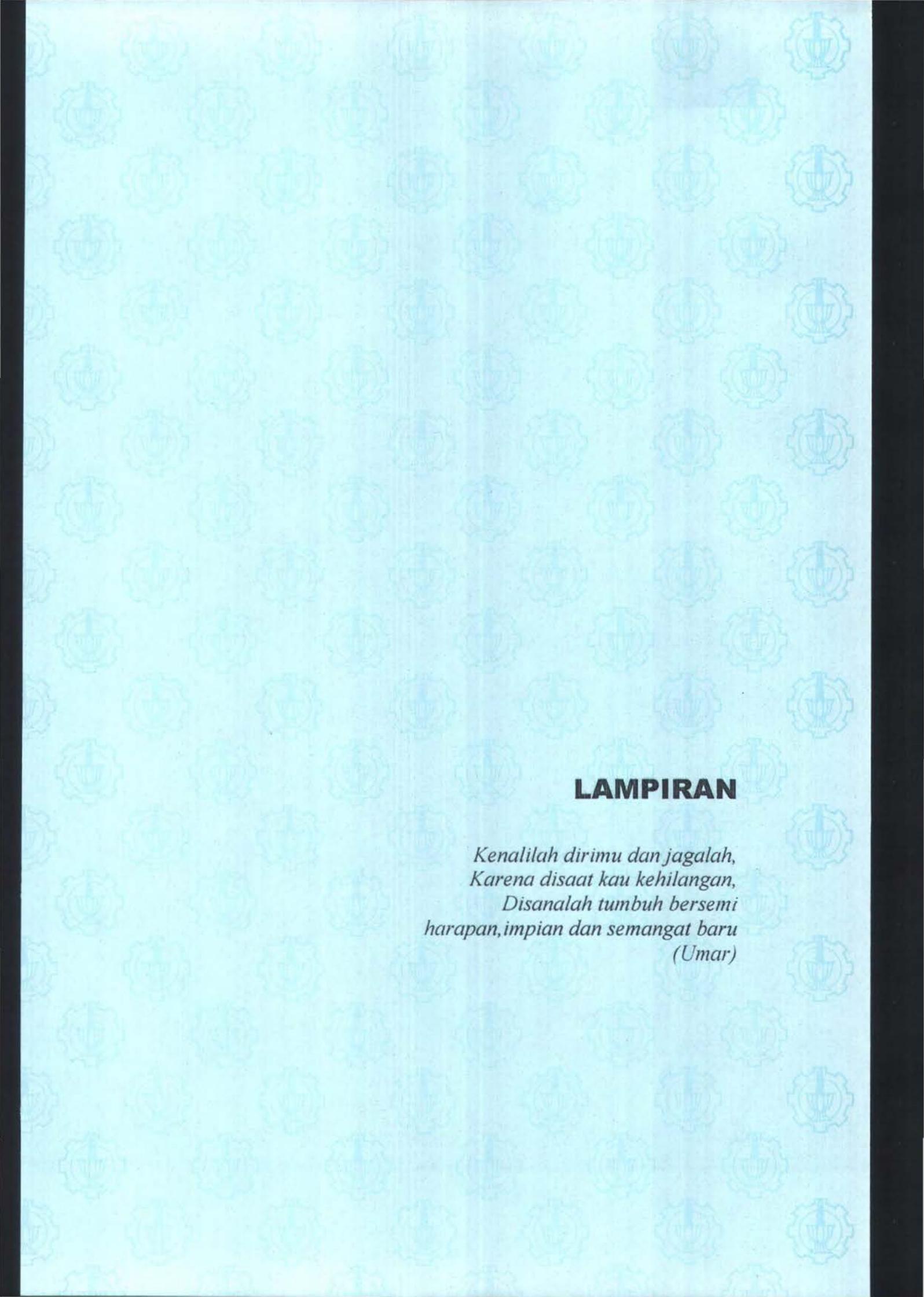
Perlu dilakukan studi untuk membandingkan penggunaan kekuatan mulur material yang berbeda dengan Diameter dan tebal optimum yang didapatkan. Dan kemudian membandingkannya dari segi berat. Hal ini akan sangat berguna sekali dalam perancangan suatu tendon dimana akan didapatkan fungsi biaya yang dapat menghemat biaya. Dan dari segi kekuatan akan didapatkan besar pre-tension minimum yang diperlukan untuk dapat mengurangi besar displacement struktur Tension Leg Platforms.

DAFTAR PUSTAKA

Tapi pabila peladang menaburkan benih di jantung bumi,
Dan pulang di senja hari, dengan harapan dan menanti
Datangnya musim panen yang bakal tiba,
Maka yang kutanam adalah benih batin dalam putus asa
Akan harapan dan penantian sia-sia
(Gibran)

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2A, 1984. "Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms".
- API RP 2T, 1987. "Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platforms".
- Arora, Jasbir.S. 1989. **Introduction to Optimum Design**. New York : McGraw Hill Book Company Inc.
- Hanna, et al. 1987." Influence of Tension, Weight, and Hydrostatic Pressure on Deep Water TLP Tendons ". Offshore Technology Conference: 517-529
- RAO, S. S. 1978. **OPTIMIZATION**."Theory and Applications". New Delhi Wiley Easter Limited.
- Vanderplaats. 1984. **Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Aplications**. New York : McGraw Hill Book Company Inc.



LAMPIRAN

*Kenalilah dirimu dan jagalah,
Karena disaat kau kehilangan,
Disanalah tumbuh bersemi
harapan, impian dan semangat baru
(Umar)*

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 1:44:59 PM



Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Berat Tendon	337613.4675	127845.8486

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	Diameter	1.999488	1.221939166
\$D\$4	tebal	0.067649444	0.041939179

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$54	Batasan D/t minimum	20	\$D\$54<=\$F\$54	Not Binding	9.135981888
\$F\$54	Batasan D/t maksimum	29.13598189	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	1.864018112
\$H\$54	Von Mises stress	5690464.162	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	72486.09133
\$G\$54	Longitudinal stress	3889991.421	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	875816.204
\$K\$54	Combined Tensile Stress	5762950.253	\$K\$54<=\$G\$9	Binding	0
\$L\$54	tension	4826470.837	\$L\$54<=\$F\$9	Binding	0
\$B\$6	kedalaman	1758.08	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	1146.087387

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report

Worksheet: [joil.xls]Sheet2

Report Created: 11/3/00 1:45:00 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	Diameter	1.221939166	0
\$D\$4	tebal	0.041939179	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$D\$54	Batasan D/t minimum	20	0
\$F\$54	Batasan D/t maksimum	29.13598189	0
\$H\$54	Von Mises stress	5690464.162	0
\$G\$54	Longitudinal stress maksimum	3889991.421	0
\$K\$54	Combined tensile stress	5762950.253	0
\$L\$54	tension	4826470.837	-0.026488472
\$B\$6	kedalaman	1758.08	0

Microsoft Excel 9.0 Limits Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 1:45:00 PM

Cell	Target Name	Value
\$A\$54	Berat Tendon	127845.8486

Cell	Adjustable Name	Value
\$D\$3	diameter	1.221939166
\$D\$4	tebal	0.041939179

Lower Limit	Target Result
1.221939166	127845.8486
0.041939179	127845.8486

Upper Limit	Target Result
1.221939166	127845.8486
0.041939179	127845.8486

Scenario Summary							
Iterasi	Current Values	1	2	3	4	6	8
Changing Cells:							
Diameter	1.999488	1.999488	1.999373562	1.59949885	1.27959908	1.272498554	1.251375159
tebal	0.067649444	0.067648376	0.064494858	0.051595686	0.041276349	0.041047299	0.041400949
Result Cells:							
Berat tendon	337613.4675	337608.3259	322376.6211	206320.2628	132044.3485	130582.9621	129410.9755

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

7 optimum

1.221939 1.221939166
0.041938 0.041939179

127842.8 127845.8486

Scenario Summary						
Iterasi	Current Values	1	2	3	4	5
Changing Cells:						
Diameter tebal	1.999488	1.999488	1.999373562	1.59949885	1.27959908	1.272498554
	0.067649444	0.067648376	0.064494858	0.051595686	0.041276349	0.041047299
Result Cells:						
D/t	29.55660656	29.55707303	31.00051095	31.00063137	31.00078189	31.00078623
Longitudinal Stress	273107.2729	273110.517	283470.4161	1686243.927	3629429.062	3687516.548
von Mises Stress	5689143.041	5689141.572	5684553.54	5684553.154	5684552.671	5684552.657
Long. Stress Maksimum	4748727.225	4748708.239	4689482.082	4689477.101	4689470.875	4689470.696
Kedalaman Maksimum	2846.505986	2846.443337	2665.209551	2665.195417	2665.17775	2665.177241
Combined tensile stress	3382222.383	3382274.808	3544625.169	4295177.884	5716586.382	5763092.474
Tendon tension	1827664.828	1827692.663	1914047.792	2990710.906	4673007.722	4725304.511
Circumferential stress	-1556735.578	-1556760.147	-1632785.49	-1632791.833	-1632799.76	-1632799.989
Tegangan geser	-778367.7889	-778380.0734	-816392.7452	-816395.9164	-816399.8802	-816399.9945
Tension efektif	5527095.014	5527088.312	5505874.827	5505873.017	5505870.756	5505870.69

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

6	7	optimum
---	---	---------

1.251375	1.221939166	1.221939166
0.041401	0.041938137	0.041939179

30.22576	29.13670576	29.13598189
3773106	3890083.75	3889991.421
5687027	5690461.894	5690464.162
4721389	4765778.299	4765807.625
2759.443	2904.066107	2904.167387
5763091	5763089.224	5762950.253
4768098	4826586.487	4826470.837
-1591980	-1534619.558	-1534581.432
-795990	-767309.7789	-767290.7158
5517379	5533088.078	5533098.341

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 3:01:55 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Berat Tendon	337613.4675	340922.263

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	Diameter	1.999488	1.703064248
\$D\$4	tebal	0.067649444	0.081377372

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$54	Batasan D/t minimum	20	\$D\$54<=\$F\$54	Not Binding	0.927982958
\$F\$54	Batasan D/t maksimum	20.92798296	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	10.07201704
\$H\$54	Von Mises stress	5714767.593	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	48182.65954
\$G\$54	Longitudinal stress maksimum	3889991.421	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	1193350.082
\$K\$54	Combined tensile stress	5762950.253	\$K\$54<=\$G\$9	Binding	0
\$L\$54	tension	4826470.837	\$L\$54<=\$F\$9	Binding	0
\$B\$6	kedalaman	1758.08	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	3050.878506

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 3:01:56 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	diameter	1.703064248	0
\$D\$4	tebal	0.081377372	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$D\$54	Batasan D/t minimum	20	0
\$F\$54	Batasan D/t maksimum	20.92798296	0
\$H\$54	Von Mises stress	5714767.593	0
\$G\$54	Longitudinal stress maksimum	3889991.421	0
\$K\$54	Combined Tensile stress	5762950.253	0
\$L\$54	tension	4826470.837	-0.070635929
\$B\$6	kedalaman	1758.08	0

Microsoft Excel 9.0 Limits Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 3:01:56 PM

Cell	Target Name	Value
\$A\$54	Fungsi Objektif	340922.263

Cell	Adjustable Name	Value
\$D\$3	diameter	1.703064248
\$D\$4	tebal	0.081377372

Lower Limit	Target Result
1.703064248	340922.263
0.081377372	340922.263

Upper Limit	Target Result
1.703064248	340922.263
0.081377372	340922.263

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 3:02:44 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Fungsi Objektif	337613.4675	51138.33945

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	diameter	1.999488	0.776828429
\$D\$4	tebal	0.067649444	0.026377877

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$54	D/t min	20	\$D\$54<=\$F\$54	Not Binding	9.449998126
\$F\$54	d/t	29.44999813	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	1.550001874
\$H\$54	Von Mises stress	5689478.562	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	73471.69053
\$G\$54	Longitudinal stress maksimum	4224687.423	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	528376.46
\$K\$54	Combined Tensile stress	5428254.25	\$K\$54<=\$G\$9	Not Binding	334696.0024
\$L\$54	tension	4826470.837	\$L\$54<=\$F\$9	Binding	0
\$B\$6	kedalaman	1758.08	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	1102.818226

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 3:02:44 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	diameter	0.776828429	0
\$D\$4	tebal	0.026377877	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$D\$54	D/t min	20	0
\$F\$54	d/t	29.44999813	0
\$H\$54	Von Mises stress	5689478.562	0
\$G\$54	Longitudinal stress	4224687.423	0
\$K\$54	Combined Tensile stress	5428254.25	0
\$L\$54	tension	4826470.837	-0.010595389
\$B\$6	kedalaman	1758.08	0

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report

Worksheet: [joil.xls]Sheet2

Report Created: 11/3/00 3:02:44 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	diameter	0.776828429	0
\$D\$4	tebal	0.026377877	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$D\$54	D/t min	20	0
\$F\$54	d/t	29.44999813	0
\$H\$54	Von Mises stress	5689478.562	0
\$G\$54	Longitudinal stress	4224687.423	0
\$K\$54	Combined Tensile stress	5428254.25	0
\$L\$54	tension	4826470.837	-0.010595389
\$B\$6	kedalaman	1758.08	0

Microsoft Excel 9.0 Limits Report
 Worksheet: [joil.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 3:02:44 PM

Cell	Target Name	Value
\$A\$54	Fungsi Objektif	51138.33945

Cell	Adjustable Name	Value	Lower Limit	Target Result	Upper Limit	Target Result
\$D\$3	diameter	0.776828429	0.776828429	51138.33945	0.776828429	51138.33945
\$D\$4	tebal	0.026377877	0.026377877	51138.33945	0.026377877	51138.33945

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [snorr.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 2:10:59 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Berat Tendon	314330.4663	312574.6288

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	Diameter	2.66336	2.523702096
\$D\$4	tebal	0.08877976	0.093529929

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$54	Batasan D/t minimum	20	\$D\$54<=\$F\$54	Not Binding	6.982829265
\$F\$54	Batasan D/t maksimum	26.98282927	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	4.017170735
\$H\$54	Von Mises stress	5681747.779	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	81202.47376
\$K\$54	Combined Tensile Stress	5762950.253	\$K\$54<=\$G\$9	Binding	0
\$L\$54	Tendon tension	4826470.837	\$L\$54<=\$F\$9	Binding	0
\$B\$6	Kedalaman	1016.8	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	2224.172047
\$G\$54	Batasan Longitudinal Stress maksimum	3889991.421	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	1383603.293

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report
 Worksheet: [snorr.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 2:10:59 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	diameter	2.523702096	0
\$D\$4	tebal	0.093529929	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$D\$54	Batasan D/t minimum	20	0
\$F\$54	Batasan D/t maksimum	26.98282927	0
\$H\$54	Von Mises stress	5681747.779	0
\$K\$54	Combined Tensile Stress	5762950.253	0
\$L\$54	Tendon tension	4826470.837	-0.064762564
\$B\$6	Kedalaman	1016.8	0
\$G\$54	Batasan Longitudinal Stress maksimum	3889991.421	0

Microsoft Excel 9.0 Limits Report
 Worksheet: [snorr.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 2:10:59 PM

Cell	Target Name	Value
\$A\$54	Berat Tendon	312574.6288

Cell	Adjustable Name	Value	Lower Limit	Target Result	Upper Limit	Target Result
\$D\$3	diameter	2.523702096	2.523702096	312574.6288	2.523702096	312574.6288
\$D\$4	tebal	0.093529929	0.093529929	312574.6288	0.093529929	312574.6288

Scenario Summary	Current Values	1	2	3	4	5	6
------------------	----------------	---	---	---	---	---	---

Changing Cells:

Diameter	2.66336	2.66336	2.663761653	2.663469754	2.662899133	2.662795952	2.662729439
tebal	0.08877976	0.088778671	0.113778646	0.107528652	0.094936139	0.092537938	0.090939659

Result Cells:

Berat tendon	314330.4663	314326.7443	398991.9438	377955.8952	335263.5997	327086.5006	321628.7537
---------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

--	--	--	--	--	--	--	--

2.529593	2.523702096	2.523702096
0.093407	0.093528835	0.093529929

312935.3	312571.1149	312574.6288
----------	-------------	-------------

Scenario Summary	Current Values	1	2	3	4	5
------------------	----------------	---	---	---	---	---

Changing Cells:

Diameter tebal	2.66336	2.66336	2.663761653	2.663469754	2.662899133	2.662795952
	0.08877976	0.088778671	0.113778646	0.107528652	0.094936139	0.092537938

Result Cells:

D/t	29.99963055	29.99999846	23.41178895	24.76986081	28.04937263	28.77518126
Longitudinal Stress	3700422.942	3700466.264	2923860.551	3084503.228	3472544.804	3558431.727
von Mises Stress	5671008.649	5671007.319	5694039.599	5689419.016	5677988.086	5675406.375
Long. Stress Maksimum	5212555.47	5212547.947	5344184.487	5317550.888	5252162.761	5237485.609
Kedalaman Maksimum	2788.248877	2788.20151	4014.627427	3680.610252	3064.76819	2955.560967
Combined tensile stress	5898597.783	5898668.124	4638358.957	4898609.878	5527133.845	5666237.144
Tendon tension	4799510.363	4799567.194	3781109.754	3991556.553	4499839.325	4612334.436
Circumferential stress	-826256.0517	-826266.1849	-644812.3511	-682216.6479	-772541.6433	-792532.0153
Tegangan geser	-413128.0258	-413133.0924	-322406.1755	-341108.324	-386270.8217	-396266.0076
Tension efektif	5625683.496	5625681.04	5666590.662	5658659.212	5638433.582	5633751.616

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

7	8	9	10
---	---	---	----

2.662729	2.529592967	2.523702096	2.523702096
0.09094	0.093406685	0.093528835	0.093529929

29.28018	27.08149803	26.98314475	26.98282927
3618186	3878801.175	3890034.7	3889991.421
5673599	5681401.663	5681746.673	5681747.779
5227230	5271618.746	5273588.398	5273594.714
2884.133	3223.814854	3240.916895	3240.972047
5763017	5763015.58	5763015.491	5762950.253
4690602	4820908.377	4826525.096	4826470.837
-806440.7	-745884.2403	-743175.3736	-743166.6846
-403220.4	-372942.1201	-371587.6868	-371583.3423
5630450	5644560.867	5645176.085	5645178.056

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [hut.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 1:52:08 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Berat Tendon	97024.52669	79314.34955

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	Diameter	0.8528	0.79591863
\$D\$4	tebal	0.2952	0.243642532

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$F\$54	d/t	3.266747485	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	27.73325251
\$H\$54	Von Mises stress	5755443.189	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	7507.06419
\$K\$54	Combined	4839783.626	\$K\$54<=\$G\$9	Not Binding	923166.6272
\$L\$54	Tension	4826470.837	\$L\$54<=\$F\$9	Binding	0
\$G\$54	Longitudinal stress m	4813158.048	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	923904.2397
\$B\$6	Kedalaman	492	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	436121.5165

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report
 Worksheet: [hut.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 1:52:08 PM

175

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	Diameter	0.79591863	0
\$D\$4	tebal	0.243642532	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$F\$54	d/t	3.266747485	0
\$H\$54	Von Mises stress	5755443.189	0
\$K\$54	Combined	4839783.626	0
\$L\$54	Tension	4826470.837	-0.016433198
\$G\$54	Longitudinal stress	4813158.048	0
\$B\$6	kedalaman	492	0

Microsoft Excel 9.0 Limits Report
 Worksheet: [hut.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 1:52:08 PM

Cell	Target Name	Value
\$A\$54	Berat Tendon	79314.34955

Cell	Adjustable Name	Value
\$D\$3	diameter	0.79591863
\$D\$4	tebal	0.243642532

Lower Limit	Target Result
0.79591863	79314.34955
0.243642532	79314.34955

Upper Limit	Target Result
0.79591863	79314.34955
0.243642532	79314.34955

Scenario Summary					
Iterasi	Current Values	1	2	3	optimum
Changing Cells:					
Diameter	0.8528	0.8528	0.8028	0.795918606	0.79591863
tebal	0.2952	0.295198705	0.250754303	0.243641308	0.243642532
Result Cells:					
Berat tendon	97024.52669	97024.32636	81595.43044	79314.12331	79314.34955

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

Scenario Summary					
Iterasi	Current Values	1	2	3	optimum
Changing Cells:					
Diameter	0.8528	0.8528	0.8028	0.795918606	0.79591863
tebal	0.2952	0.295198705	0.250754303	0.243641308	0.243642532
Result Cells:					
D/t	2.888888889	2.888901564	3.201540277	3.26676381	3.266747485
Longitudinal Stress	3933160.571	3933168.652	4678428.453	4813171.738	4813158.048
von Mises Stress	5756320.192	5756320.163	5755594.695	5755443.151	5755443.189
Long. Stress Maksimum	5740074.308	5740074.207	5737582.402	5737062.157	5737062.288
Kedalaman Maksimum	624807.3076	624799.2886	462970.6522	436607.1777	436613.5165
Combined tensile stress	3957800.779	3957808.991	4704655.698	4839797.471	4839783.626
Tendon tension	3945480.675	3945488.821	4691542.075	4826484.604	4826470.837
Circumferential stress	-32355.36944	-32355.5114	-35857.04484	-36587.5442	-36587.36137
Tegangan geser	-16177.68472	-16177.7557	-17928.52242	-18293.7721	-18293.68069
Tension efektif	5756251.992	5756251.962	5755510.924	5755355.929	5755355.968

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [auger.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 2:02:12 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Fungsi Objektif	556181.7487	641967.0418

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	diameter	1.999488	1.782045241
\$D\$4	tebal	0.067649444	0.089102262

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$54	D/t min	20	\$D\$54<=\$F\$54	Binding	0
\$F\$54	d/t	20	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	11
\$H\$54	Von Mises stress	5704684.638	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	58265.61448
\$K\$54	Combined Tensile stress	5762950.253	\$K\$54<=\$G\$9	Binding	0
\$L\$54	tension	4208377.966	\$L\$54<=\$F\$9	Not Binding	618092.8703
\$G\$54	Longitudinal stress	4208367.176	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	417008.0629
\$B\$6	kedalaman	2860.16	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	2329.108598

Microsoft Excel 9.0 Answer Report
 Worksheet: [auger.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 2:02:12 PM

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$A\$54	Fungsi Objektif	556181.7487	641967.0418

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$D\$3	diameter	1.999488	1.782045241
\$D\$4	tebal	0.067649444	0.089102262

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$54	D/t min	20	\$D\$54<=\$F\$54	Binding	0
\$F\$54	d/t	20	\$F\$54<=\$E\$54	Not Binding	11
\$H\$54	Von Mises stress	5704684.638	\$H\$54<=\$J\$49	Not Binding	58265.61448
\$K\$54	Combined Tensile stress	5762950.253	\$K\$54<=\$G\$9	Binding	0
\$L\$54	tension	4208377.966	\$L\$54<=\$F\$9	Not Binding	618092.8703
\$G\$54	Longitudinal stress	4208367.176	\$G\$54<=\$I\$54	Not Binding	417008.0629
\$B\$6	kedalaman	2860.16	\$B\$6<=\$J\$54	Not Binding	2329.108598

Microsoft Excel 9.0 Sensitivity Report
 Worksheet: [auger.xls]Sheet2
 Report Created: 11/3/00 2:02:13 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$D\$3	diameter	1.782045241	0
\$D\$4	tebal	0.089102262	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$D\$54	D/t min	20	-21504.68517
\$F\$54	d/t	20	0
\$H\$54	Von Mises stress	5704684.638	0
\$K\$54	Combined Tensile stress	5762950.253	-0.187102846
\$L\$54	tension	4208377.966	0
\$G\$54	Longitudinal stress	4208367.176	0
\$B\$6	kedalaman	2860.16	0

Microsoft Excel 9.0 Limits Report
Worksheet: [auger.xls]Sheet2
Report Created: 11/3/00 2:02:13 PM

Cell	Target Name	Value
\$A\$54	Berat tendon	641967.0418

Cell	Adjustable Name	Value	Lower Limit	Target Result	Upper Limit	Target Result
\$D\$3	diameter	1.782045241	1.782045241	641967.0418	1.782045241	641967.0418
\$D\$4	tebal	0.089102262	0.089102262	641967.0418	0.089102262	641967.0418

Scenario Summary	Iteration	Current Values	1	2	3	4	5	6
------------------	-----------	----------------	---	---	---	---	---	---

Changing Cells:

Diameter	1.999488	1.999488	1.999821726	1.999781835	1.99958019	1.89960118	1.804621121
tebal	0.067649444	0.067648376	0.092648351	0.091867102	0.087899539	0.088128902	0.088850232

Result Cells:

Berat tendon	556181.7487	556173.2784	751985.6322	745934.4261	715127.7182	679409.6726	648783.1052
---------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

optimum

1.782045	1.782045241
0.089101	0.089102262

641959.6	641967.0418
----------	-------------

Scenario Summary	Current Values:	1	2	3	4	5
------------------	-----------------	---	---	---	---	---

Changing Cells:						
Diameter tebal	1.999488	1.999488	1.999821726	1.999781835	1.99958019	1.89960118
	0.067649444	0.067648376	0.092648351	0.091867102	0.087899539	0.088128902

Result Cells:						
D/t	29.55660656	29.55707303	21.58507623	21.76820417	22.74847199	21.55480357
Longitudinal Stress	4857458.907	4857532.885	3592661.891	3621806.455	3777828.815	3976439.603
von Mises Stress	5666046.271	5666044.244	5698702.414	5697999.758	5694198.652	5698818.341
Long. Stress Maksimum	3912689.806	3912652.007	4515339.689	4502425.533	4432578.884	4517470.465
Kedalaman Maksimum	2846.505986	2846.443337	4570.601465	4508.196604	4200.49727	4581.079169
Combined tensile stress	7438685.418	7438800.226	5476151.95	5521306.329	5763019.524	5763019.114
Tendon tension	4857476.823	4857550.801	3592674.964	3621819.639	3777842.593	3976452.003
Circumferential stress	-2584825.014	-2584865.808	-1887687.778	-1903702.935	-1989430.665	-1885040.332
Tegangan geser	-1292412.507	-1292432.904	-943843.889	-951851.4673	-994715.3324	-942520.166
Tension efektif	5205102.313	5205084.912	5459183.578	5454277.001	5427294.216	5459990.631

Notes: Current Values column represents values of changing cells at time Scenario Summary Report was created. Changing cells for each scenario are highlighted in gray.

1	2	3
1.804621	1.782045241	1.782045241
0.08885	0.089101173	0.089102262
20.31082	20.00024446	20
4164154	4208415.909	4208367.176
5703526	5704683.73	5704684.638
4604043	4625358.508	4625375.239
5055.648	5189.16086	5189.268598
5763018	5763018.082	5762950.253
4164165	4208426.699	4208377.966
-1776250	-1749088.891	-1749067.511
-888124.9	-874544.4454	-874533.7557
5492168	5499902.953	5499908.995