

ANALISA KEKUATAN FIX STINGER PADA S LAY BARGE UNTUK INSTALASI PERPIPAAN BAWAH LAUT

Wildan Achmad Suryaningrat¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Muhammad Iqbal²⁾

²⁾ Staff Pengajar S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

¹⁾ Mahasiswa S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

Email: wildansurya.ws@gmail.com

Abstrak

Metode penginstalan pipa bawah laut yang paling banyak digunakan saat ini adalah metode S Lay. Banyak digunakan karena eksplorasi minyak dan gas saat ini masih berkisar pada laut dangkal yang mempunyai kedalaman dibawah 300 meter. Untuk mempertahankan bentuk pipa pada saat instalasi S Lay barge memerlukan struktur pendukung berupa konstruksi tiang – tiang yang dilengkapi dengan roller disebut *Stinger* yang terbuat dari material baja STPG 410. Tujuan utama *Stinger* adalah untuk mengatur lendutan pipa pada daerah *overbend* agar sesampainnya pipa pada dasar laut mempunyai derajat kedatangan yang aman sehingga mencegah terjadinya *buckling*. kedalaman laut yang semakin dalam berakibat tegangan yang diterima stinger akan semakin besar, akibat beban pipa yang diterima oleh *stinger*. Oleh karena itu tugas akhir ini akan mengkaji kekuatan *Fix Stinger SEA 004* yang dimiliki oleh *McDermott Middle East* dengan metode elemen hingga. Dan dari hasil analisa menunjukkan bahwasannya *Stinger* masih mampu menginstal pipa berdiameter 3 meter, lebih besar dari ketentuan fabrikator yang mencapai 0,75 meter. Serta kdalaman laut hingga 400 meter lebih dari batas instalasi S Lay yang biasanya hanya sampai kedalaman 300 meter. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwasannya variasi beban terbesar terjadi pada model IV dengan beban sebesar 289 N/mm² pada node 26. Dengan mengalami deformasi sebesar 20512 mm. Hasil tersebut masih dinyatakan aman menurut rules ASTM A53 karena *Yield Material* baja STPG sebesar 360 N/mm²

Kata kunci : Analisa kekuatan, Struktur, S Lay Barge, Instalasi Pipa bawah laut, Deformasi bentuk, Metode Elemen Hingga

Abstract

Most common pipelaying methods today is S Lay Methods. That occurs because almost of oil and gas exploration are still on shallow water area that have water depth below 300 meters. For maintaining the pipe shape during installation S Lay barge need supporting structures likes beams construction equipped with rollers called Stinger, made from STPG 410 Carbon Steel material. The Stinger Main aim is to control pipe deflection when lay down from barge and touch down to sea bed avoiding buckling. More depth the sea resulting bigger tension will received by stinger, due to pipe free span. Therefore this thesis will analyzing the strength from Fix Stinger Sea 004 owned by McDermott Middle East using finite element methods. And the result shown that stinger is able to install 3 meters pipe diameter, which is the company allowable is just 0,75 meters. And reach the installation depth until 400 meters which normally S Lay are use maximum for the 300 meters water depth. the heaviest load variation is on fourth Model. With the maximum loads 289 N/mm² on 26th node. And Stinger received shape deformation 20512 mm. With those loads Stinger is declared still on safe condition because based on ASTM A 53 the Tensile Strength of carbon steel equal to 360 N/mm²

Keywords : Strenthg Analysis, Structures, S Lay Barge, Subsea pipeline installation, Shape deformation, Finite element methods.

1. PENDAHULUAN

Dalam *life-cycle* sebuah *project* industri *Upstream* ada beberapa tahapan yang harus dilaksanakan sebelum minyak ataupun gas siap untuk di produksi dan di distribusikan

kepada pelanggan. Adapun tahapan *project* tersebut adalah Instalasi, meliputi instalasi struktur dan komponen perpipaan bawah laut. Untuk menginstal pipa bawah laut *installation barge* memerlukan *Stinger*. Saat ini kedalaman

S Lay hanya mampu untuk menginstal pipa pada kedalaman 300 meter dibawah permukaan laut. Jika kita ingin mengoptimalkan metode *S Lay* untuk kondisi laut yang lebih dalam maka kita akan memerlukan *Stinger* yang lebih panjang dan atau *Stinger* yang lebih kuat. Hal tersebut jelas di butuhkan karena semakin dalam dasar laut maka semakin panjang pipa yang tertahan dan berakibat pada semakin besarnya berat yang harus ditahan oleh *Stinger*. Pembahasan dibawah ini akan membahas tentang *Stinger*.

Permasalahan yang akan dibahas di dalam tugas akhir ini adalah :

1. Penentuan beban maksimal yang bekerja pada *fix stinger* pada masa instalasi pipa, dengan melakukan variasi diameter dan kedalaman laut.
2. Penentuan deformasi dan tegangan maksimal pada stuktur *Fix Stinger*.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut:

1. Tugas Akhir ini hanya melakukan analisa statis terhadap *fix stinger SEA 004* dengan variasi pembenan berupa variasi kedalaman dan diameter pipa.
2. Tugas Akhir ini tidak melakukan analisa yang mempertimbangkan faktor dinamis seperti : gelombang, arus, dan olah gerak kapal.
3. Tugas Akhir ini tidak memperhitungkan *material yield stress* pipa yang diinstal akibat penambahan diameter dan kedalaman laut.

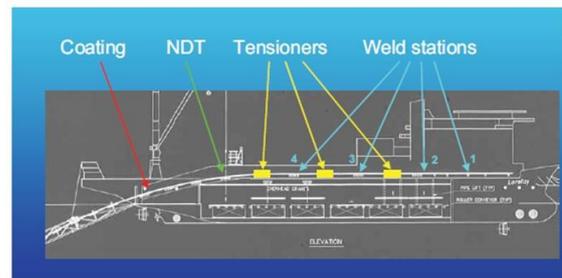
Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah mengetahui kekuatan maksimal dan deformasi yang terjadi pada *Fix Stinger SEA 004* apabila memuat beban maksimalnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Metode Instalasi Perpipaan bawah laut

Metode instalasi pipa bawah laut yang paling banyak digunakan saat ini adalah Metode *S Lay*. Disebut *S Lay* dikarenakan bentuk pipa yang menjulur dari kapal menuju dasar laut seperti huruf *S*. metode ini banyak dipilih karena memungkinkan untuk langsung menyambungkan pipa semasa berada di atas Barge/ Kapal.karena pada *S Lay* barge ataupun *S Lay Vessel* terdapat *firing line* dimana terdapat *welding station*, *NDT station*, dan juga

Coating Station.^[3] sehingga bisa menyambungkan hingga 2 sampai 3 pipa sekaligus tergantung panjang barge/kapal tersebut. Metode yang paling banyak digunakan dewasa ini adalah *S Lay* karena sumur migas yang ada kebanyakan terletak pada laut dangkal. Dengan range kedalaman 0 – 300 m dibawah permukaan air laut.



Gambar 1 : *S Lay barges* DB17 milik McDermott

2.2 Definisi *Stinger*

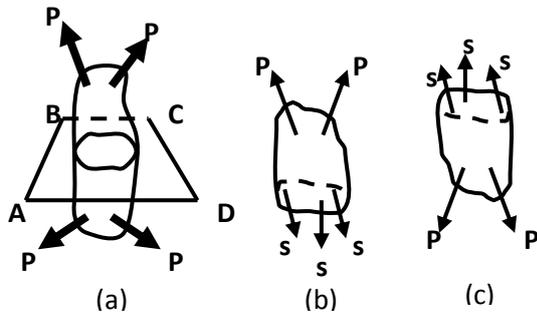
Stinger adalah kontruksi batang bulat berongga yang menjulur panjang dilengkapi dengan struktur – struktur penguat dan juga *roller* untuk mengatur ketinggian pipa diatasnya.^[2] Pada umumnya stinger terbuat dari material baja. Ada dua tipe stinger yang biasa digunakan pada pipelay vessel ataupun barge, yakni *Fix stinger* dan *articulated stinger*. Beda dari kedua stinger itu adalah pada konfigurasi bentuk stinger, pada *fix stinger* kontruksinya kaku dan lurus. Kemiringan diatur dari radius stinger yang disesuaikan oleh operator kapal. Sedangkan untuk *articulated stinger* bentuk *stinger* bisa diatur pada tiap stationnya sehingga memungkinkan untuk stinger membentuk lengkungan.

2.3 Tegangan (*Stress*)

Pada umumnya tegangan adalah gaya yang bekerja pada luasan yang kecil tak

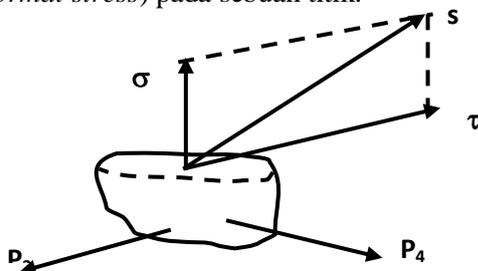
berhingga pada sebuah potongan,^[5] akan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah, seperti yang di perlihatkan secara diagramatis

dalam Gambar 2.2 (b) dan (c). Gaya-gaya dalam ini merupakan vektor dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai.



Gambar 2 : Pengirisan sebuah benda

Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerjapada luasan kecil tak berhingga pada suatu potongan berubah – ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan. Penguraian intensitas ini pada luas kecil tak berhingga diperlihatkan pada gambar 2.2 Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik.



Gambar 3 : Komponen-komponen normal dan geser dari tegangan

2.4 Metode Elemen Hingga

Metode elemen berhingga (*finite element*) bisadipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan (untuk struktur rangka) ke masalah kontinum berdimensi dua dan tiga seperti pelat, struktur selaput (*shell*) dan benda pejal. Dalam metode ini, continuum sebenarnya diganti dengan sebuah struktur ideal ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen unik (*discrete element*). Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersamasama di sejumlah titik simpul.

2.5 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate* (*ultimate load*). Dengan membagi beban ultimate ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan ultimate (*ultimate strength*) atau tegangan ultimate (*ultimate stress*) dari suatu bahan.. Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang.^[7] Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis :

$$FS = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{ijin}}$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Mempelajari sistematika yang akan dikemukakan di dalam Tugas Akhir dari berbagai referensi baik berupa buku, jurnal, dan lain – lain. Metode ini dimaksudkan untuk memperoleh data / informasi dengan mencari dan mempelajari buku-buku dan sumber informasi lain sebagai literatur dan referensi yang berkaitan dengan tema dan mendukung pengerjaan tugas akhir.

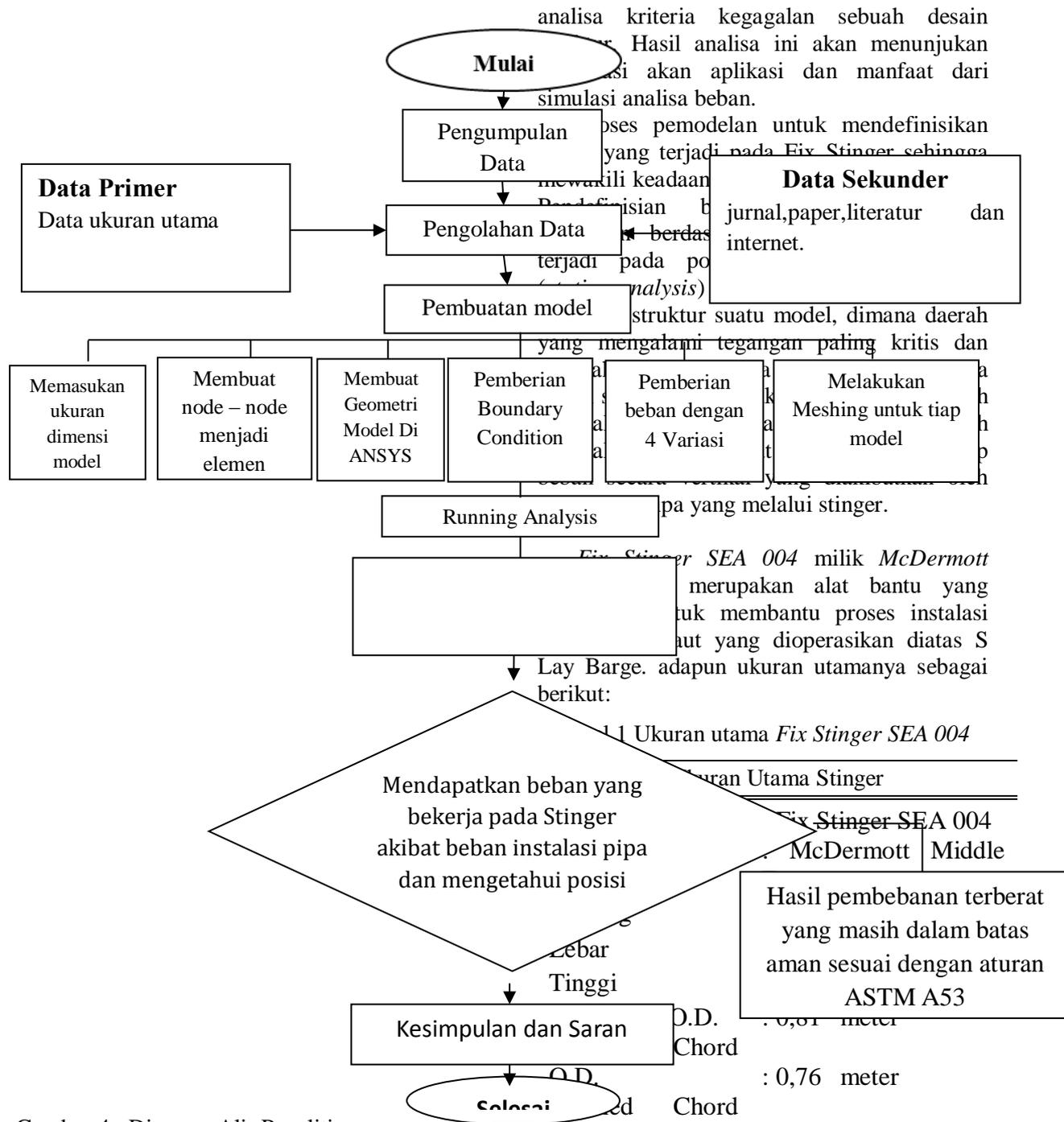
3.2 Pembuatan Model

Dari data awal yang telah diambil, kemudian dilakukan pembuatan model dengan menggunakan program ANSYS^[1] :

- *Problem Specifications*
- *Define Materials*
- *Problem Descriptions*
- *Build Geometry*
- *Generate Mesh*
- *Attribute Mesh to model*
- *Obtains Solutions*
- *Review Result*

3.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian



Gambar 4 : Diagram Alir Penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Permodelan Fix Stinger SEA 004

Penentuan kekuatan optimal struktur akibat tegangan pipa yang diinstal adalah tujuan utama pada bab ini, dengan memvariasikan pembebanan untuk mendapatkan diameter maksimal pipa yang diinstal dan kedalaman laut maksimal. Output dari rangkaian simulasi analisa statis ini adalah nilai tegangan pada sistem serta bentuk deformasi struktur pada Fix Stinger SEA 004 yang akan digunakan sebagai parameter

analisa kriteria kegagalan sebuah desain. Hasil analisa ini akan menunjukkan aplikasi akan aplikasi dan manfaat dari simulasi analisa beban.

proses pemodelan untuk mendefinisikan yang terjadi pada Fix Stinger sehingga mewakili keadaan. Berdasarkan jurnal, paper, literatur dan internet.

struktur suatu model, dimana daerah yang mengalami tegangan paling kritis dan

pa yang melalui stinger.

Lay Barge. adapun ukuran utamanya sebagai berikut:

Ukuran utama Fix Stinger SEA 004

Ukuran Utama Stinger

Fix Stinger SEA 004

McDermott Middle

Hasil pembebanan terberat yang masih dalam batas aman sesuai dengan aturan ASTM A53

4.2. Beban Stinger

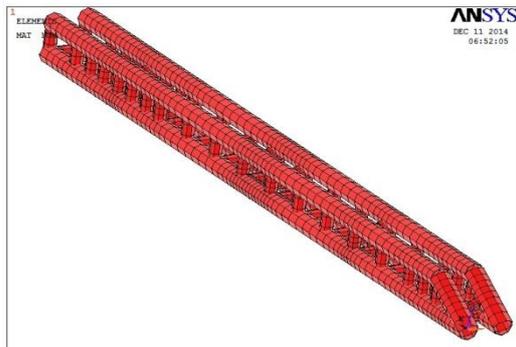
Selain beban yang di dapat dari berat pipa yang di install, Perhitungan berat total perlu menambahkan beban dari stinger. Adapun berat stinger didapatkan dari perhitungan

komponen detail *stinger*. Penulis akan memaparkan rincian *scantling stinger* pada lampiran.^[4] Namun secara keseluruhan berat dari Stinger adalah sebesar 155,951 MT, Lalu kita perlu mengkonversikan berat Stinger menjadi Kilo Newton :

$$\begin{aligned} \text{Beban stinger} &= MT * g \\ \text{Beban stinger} &= 155 * 9,81 \\ \text{Beban stinger} &= 1528,32 \text{ KN} \end{aligned}$$

4.3. Geometri Model

Pemodelan dalam *software* ANSYS akan mendapatkan model seperti berikut :



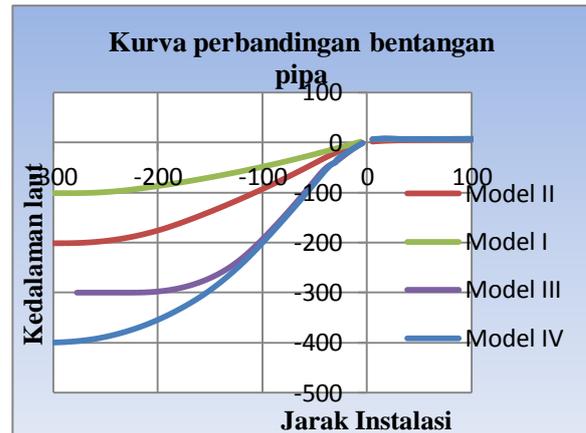
Gambar 5 : Model ANSYS

4.4. Output Data

Output data akan menampilkan hasil dari keempat variabel pembebanan yang telah diselesaikan pada *software* ANSYS dengan output Deformasi Stuktur dan tegangan kearah sumbu Y. Dikarenakan stinger menerima beban secara vertikal maka deformasi ataupun tegangan yang diperhitungkan adalah yang searah sumbu Y yang digunakan untuk menghitung kriteria kegagalan dari kekuatan material pada suatu sistem struktur. Adapun hasil pembebanan terhadap Stinger adalah sebagai berikut :

4.5. Pendefinisian beban

Tiap model akan dimodelkan pada *Software* OFFPIPE untuk mendapatkan panjang dan berat pipa. Berikut ini adalah grafik hasil instalasi pipa :



Grafik 6 : Grafik perbandingan bentangan pipa berbagai model saat instalasi.

Langkah selanjutnya adalah menghitung berat pipa, adapun perhitungan yang perlu dilakukan :

Tabel.2 Perhitungan untuk mengetahui berat pipa

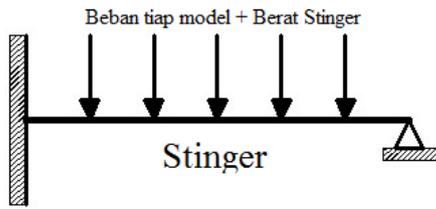
No	Perhitungan	Rumus
1	Panjang Total :	$l \text{ Seabed} - l \text{ Barge}$
2	Luas penampang:	$A = \frac{\pi}{4} (Do^2 - Di^2)$
3	Volume Pipa :	$\text{Panjang Total} * A$
4	Berat Pipa :	$\text{Vol.} * \rho \text{ baja} * g$

Berikut ini adalah hasil rangkuman perhitungan berat dari keempat model :

Tabel 4.3 Rangkuman hasil perhitungan tiap model

Variasi beban	A (m ²)	Panjang (m)	Vol. (m ³)	Gaya Total = (KN)	Gaya tiap support = Gt / 5 (KN)
Model I	0,02	388,75	6,17	4755,27	951
Model II	0,81	366,65	296,98	228699,84	45739
Model III	1,84	399,79	735,61	566482,23	113296,45
Model IV	3,26	540,36	1761,57	1356561,41	271312,28

Setelah kita mendapatkan berat total lalu berat diasumsikan dibagi ke lima titik support di stinger, lalu beban diinputkan ke *software* ANSYS. Adapun diagram pembebanan sebagai berikut :

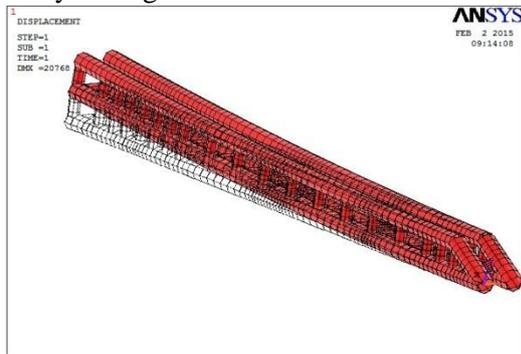


Gambar 7: *Freebody Diagram* pembebanan Model I – Model IV

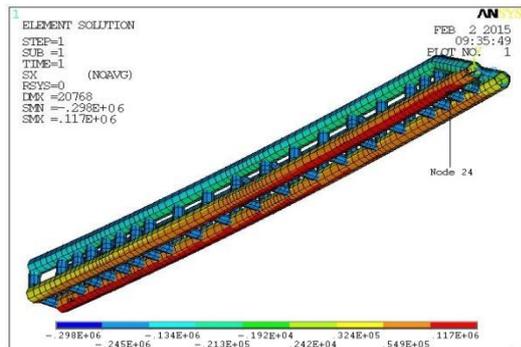
Setelah melakukan tahapan – tahapan pengerjaan pada software ANSYS hasilnya sebagai berikut :

4.5.1. Variasi beban Model I

Model I mempunyai diameter pipa sebesar 0,75 meter dan kedalaman instalasi 100 meter. Beban untuk masing – masing support adalah 2479,37 KN. Ditambah beban stinger sendiri sebesar 1528,32 KN. Dan hasilnya sebagai berikut :



Gambar 8 : Stinger Model I mengalami Deformasi sebesar 20768 mm

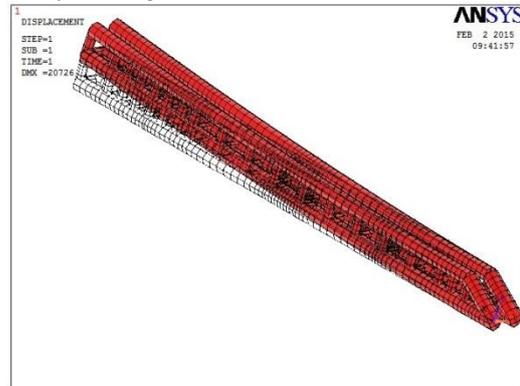


Gambar 9 : Stinger Model I mendapat tekanan terbesar 117 N/mm²

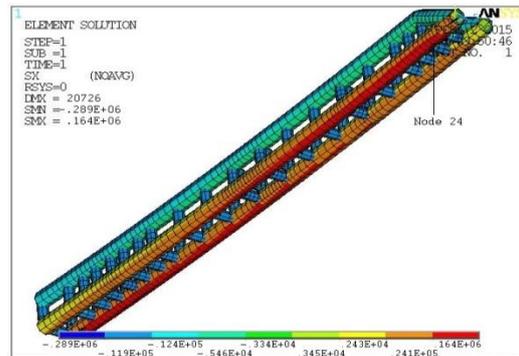
Hasil tegangan terbesar pada sumbu X untuk variasi beban Model I = 117E+06 KN/m² atau 117 N/mm². Terletak pada node 24.

4.5.2. Variasi beban Model II

Model I mempunyai diameter pipa sebesar 0,75 meter dan kedalaman instalasi 100 meter. Beban untuk masing – masing support adalah 2479,37 KN. Ditambah beban stinger sendiri sebesar 1528,32 KN. Dan hasilnya sebagai berikut :



Gambar 10 : Stinger Model II mengalami deformasi sebesar 20726mm

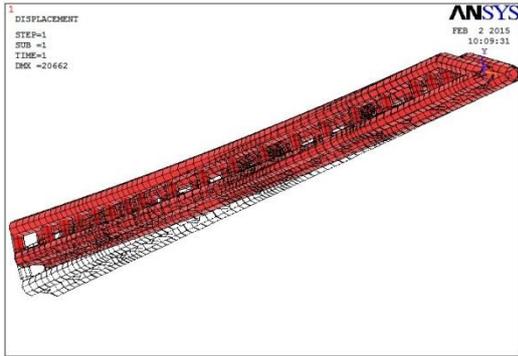


Gambar 11 : Stinger Model II mendapat tekanan terbesar 164N/mm²

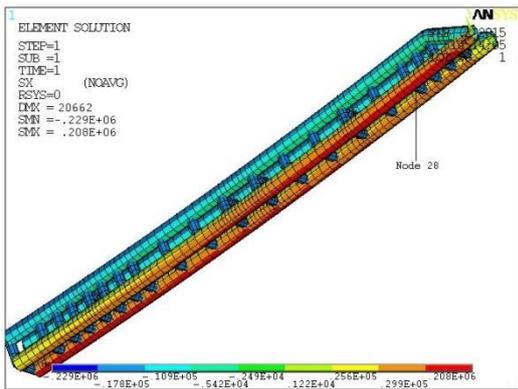
Hasil tegangan terbesar pada sumbu X untuk variasi beban Model II = 164E+06 KN/m² atau 164 N/mm². Terletak pada node 24.

4.5.3. Variasi beban Model III

Model III mempunyai diameter pipa sebesar 2,25 meter dan kedalaman instalasi 300 meter. Beban untuk masing – masing support adalah 113296,45 KN. Ditambah beban stinger sendiri sebesar 1528,32 KN. Dan hasilnya sebagai berikut



Gambar 12 : Stinger Model III mengalami Deformasi sebesar 20662 mm

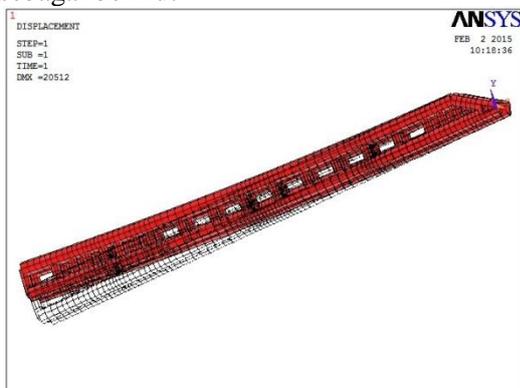


Gambar 13: Stinger Model III mendapat tekanan terbesar 208 N/mm²

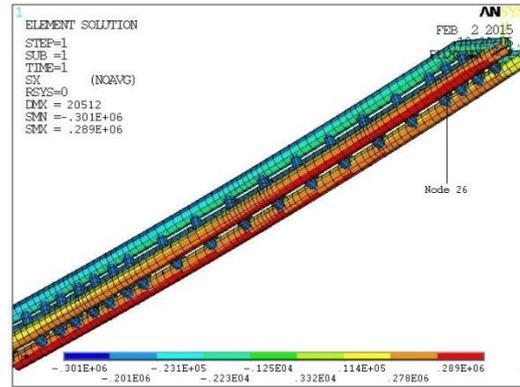
Hasil tegangan terbesar pada sumbu X untuk variasi beban Model III = 208E+06 KN/m² atau 208 N/mm². Terletak pada node 28.

4.5.4. Variasi beban Model IV

Model IV mempunyai diameter pipa sebesar 3 meter dan kedalaman instalasi 400 meter. Beban untuk masing – masing support adalah 271312,28 KN. Ditambah beban stinger sendiri sebesar 1528,32 KN. Dan hasilnya sebagai berikut



Gambar 14 : Stinger Model IV mengalami Deformasi sebesar 20512 mm



Gambar 15 : Stinger Model IV mendapat tekanan terbesar 301 N/mm²

Hasil tegangan terbesar pada sumbu X untuk variasi beban Model IV = 301E+06 KN/m² atau 301 N/mm². Terletak pada node 26.

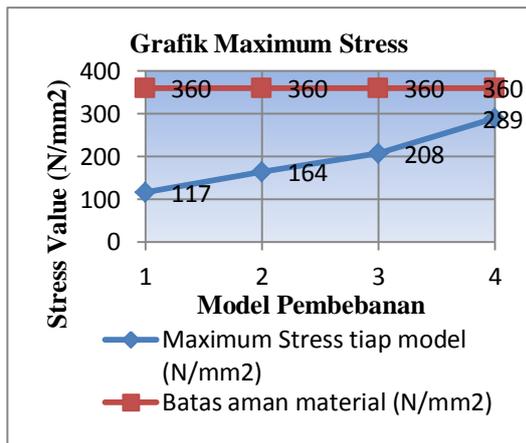
4.5 Perhitungan faktor keamanan kontruksi

Setelah melakukan pembebanan pada masing - masing model, lalu *maximum stress* pada tiap model akan dibandingkan dengan *material yield* baja STPG 410 grade B.

Tabel 4.4 Validasi *Maximum Stress* dengan batas aman material

Model	Maximum Stress	Material Yield	Keterangan
I	117 N/mm ²	360 N/mm ²	Memenuhi
II	164 N/mm ²	360 N/mm ²	Memenuhi
III	208 N/mm ²	360 N/mm ²	Memenuhi
IV	289 N/mm ²	360 N/mm ²	Memenuhi

Dan adapun grafik perbandingan *maximum stress* tiap model dengan *material yield* baja STPG 410 grade B, seperti berikut ini :



Grafik 4.2 Grafik Perbandingan hasil tegangan tiap model dengan batas aman material

4.6 Tegangan Ijin Berdasarkan Kemampuan Material

Syarat *factor safety* yang disyaratkan oleh BKI Vol. 5 untuk struktur nilainya harus lebih dari 1.^[6] Nilai *factor safety* (FS) dapat dihitung dengan rumus :

$$FS = (\sigma_{ultimate} / \sigma_{max})$$

FS = *factor safety*

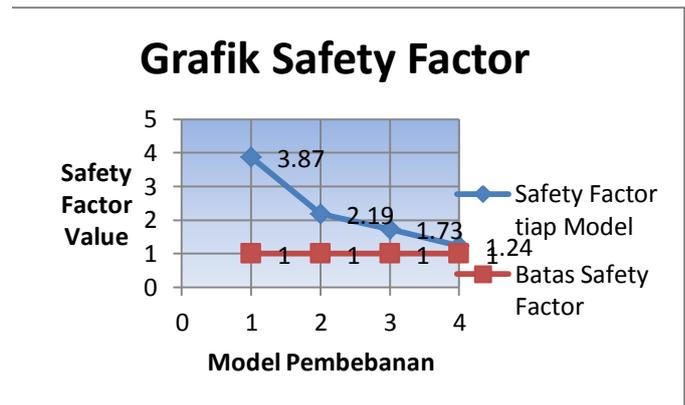
σ_{max} = tegangan maksimum yang terjadi

$\sigma_{ultimate}$ = kemampuan kekuatan *ultimate* material

Kriteria faktor keamanan pada kekuatan konstruksi dihitung berdasarkan hasil perhitungan tegangan ijin menurut ketentuan ASTM A53 (*American Society Testing Materials*) untuk material dasar Fix Stinger, STPG 410 *grade* B. Memiliki kriteria sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= 360 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Tensile Strength} &= 412 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dan dari rumus FS diatas kita akan melakukan validasi untuk tiap beban yang diterima oleh stinger, jika nilai FS diatas 1 maka struktur masih tergolong aman menurut BKI. Adapun hasil perbandingan pada tiap modelnya sebagai berikut :



Grafik 4.3 Grafik Safety Factor tiap model

Berdasarkan tabel nilai Stress pada sumbu X yang bekerja pada Material Stinger didapatkan kondisi maksimal adalah dalam Model IV, yakni pada saat beban dimodelkan dengan pipa berdiameter 3 meter dimana Fabrikator hanya merekomendasikan bahwasannya Stinger SEA 004 hanya mampu menampung pipa berdiameter 1,52 meter. Dan Kedalaman instalasi mencapai 400 meter yang mana umumnya batas kedalaman S Lay barge generasi peratama hanya mencapai 300 meter. Dari hasil simulasi didapatkan bahwasannya tegangan vertikal atau aksial maksimal adalah 309 N/mm². Sedangkan batas tegangan ijin untuk baja material STPG 410 *grade* B adalah 412 N/mm². sehingga dapat dikatakan struktur tersebut dinyatakan dalam kondisi aman secara *Mechanical Properties* bahan pembuat Stinger. Akan tetapi jika melihat secara material sendiri struktur masih dikatakan aman dari empat kondisi pembebanan.

5. PENUTUP

Kesimpulan

Dari analisa struktur Fix Stinger SEA 004 dengan menggunakan program Ansys APDL dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan dan software maka tegangan pada Stinger Model I sebesar 143 N/mm² terletak pada node 1, Model II sebesar 195 N/mm² terletak pada node 4, Model III sebesar 245 N/mm² terletak pada node 1, Model IV sebesar 309 N/mm² terletak pada node 1. Tegangan terbesar terjadi di variasi pembebanan Model IV. Tegangan terbesar pada node 1 dengan nilai yakni 309 N/mm². Nilai yang di hasilkan ini masih di bawah tegangan ijin dan tegangan kriteria bahan

menurut *Mechanical Properties* baja STPG 410 Grade B yakni 412 N/mm².

2. Deformasi pada model I sebesar 0,04 mm, deformasi pada model II sebesar 1,35 mm, deformasi pada model III sebesar 110,21 mm, deformasi pada model IV sebesar 261,87 mm.
3. Safety Factor pada kondisi pembebanan terberat yang terjadi pada Model IV di node 1 sebesar 1,37 dimana masih sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (SF>1)

Saran

1. Penulis dapat memberikan rekomendasi bahwasannya Stinger SEA 004 belum pada kapasitas maksimalnya. Karena dari hasil perhitungan dan software didapatkan sekiranya Stinger masih mampu menginstal pipa berdiameter OD = 3 meter, lebih besar daripada batas yang ditentukan Fabrikator yang hanya mencapai 1,52 meter. Serta kondisi kedalaman laut hingga 400 meter yang lebih besar dari batas Instalasi normal S Lay yang mencapai 300 meter.
2. Untuk mencapai ketelitian yang maksimal dalam analisa dengan menggunakan program ANSYS, dapat dilakukan dengan membuat model dengan geometri yang baik. Kesalahan dalam membuat geometri model akan mempengaruhi keakuratan perhitungan.
3. Penggunaan *software ANSYS* sangat baik untuk analisa struktur *rigid* baik berupa

bangunan kapal, pipa, beam, ataupun plat yang membentuk suatu konstruksi. diharapkan diadakan penelitian lebih lanjut seperti menganalisa kelelahan Struktur Fix Stinger SEA 004.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANSYS, Inc.(2005) *Structural Analysis Guide*,ANSYS Release 11.0 Documentation.
- [2] Hafar Samudera Sejahtera. 1986. *Hafar Neptune pipelay barge spesification*.
- [3] Jauhari, Jona. 2014.*Subsea Pipeline Engineers training. Offshore oil and gas training*, Jakarta.
- [4] McDermott Middle East. 2011. *Truss stinger SEA 004,new built construction to accomodate Kepodang Gas Project*. Batam
- [5] Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material, 2nd edition, Prentice-Hall, Inc.*, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- [6] BKI. 2006. *Rules for the Clasification and Construction of Seagoing Steel Ship Vol 2 Section 5 for longitudinal strength*.
- [7] Saputra, Hadi. 2011. *Mekanika kekuatan bahan 2nd & 3rd session*.Hadi saputra mengajar; Jakarta.