

Distribusi Stress akibat *VortexInducedVibration (VIV)* di *HelicalStrakesFreespanningOffshorePipeline* pada Berbagai Sudut Kemiringan

Ilafi Ramadhan^{1*}, M. Anis Mustaghfirin², Ekky Nur Budiyan³

¹Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

²Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya60111

³Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: ilafi_ramadhan@yahoo.com

Abstrak

Banyak penelitian yang dilakukan mengenai cara mereduksi *vortex induced vibration (VIV)* dengan menambahkan *vortex suppression devices*. *Vortex suppression devices* mempunyai prinsip kerja dengan cara merusak *boundary layer* atau memodifikasi formasi dari *vortex shedding* sehingga akan merubah baik pola maupun frekuensi *vortex shedding* yang terjadi, yang mana agar menjauhi frekuensi alami struktur. Penelitian ini mengambil bentangan terpanjang dari sebuah pipeline yang sudah terinstal yang beroperasi di daerah Madura offshore. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan *vortex shedding* yang terjadi pada bentangan pipa dengan *suppression devices* jenis *helical strakes* untuk mengurangi gaya hidrodinamis dan respon getaran struktur akibat beban arus pada berbagai variasi sudut, dengan demikian diketahui nilai stress yang terjadi di *free span* pada sudut-sudut tertentu. Pemodelan dilakukan secara numerik dengan metode *finite element computational fluid dynamic (CFD)*. Pemodelan numerik menggunakan dimensi pada aslinya. Pemodelan dibantu dengan software *fluent* dari *Ansys*. Hasil studi yang dilakukan pada metode perhitungan manual, diketahui bahwa nilai *maximum allowable span* paling rendah pada fase *hydrotest* tanpa mitigasi *helical strakes* yaitu 48,558 m. Metode pemodelan software didapatkan hasil bahwa nilai *maximum allowable span* paling rendah pada fase operasi dengan mitigasi *helical strakes*. Seluruh nilai tersebut masih berada diatas nilai *span* yang terjadi pada pipeline.

Keywords: *free span, helical strakes, offshore pipeline, vortex induced vibration, computational fluid dynamic*

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan bagian yang mendasar dari kehidupan manusia, diantaranya adalah energi minyak dan gas bumi. Tingginya permintaan dunia akan energi ini menyebabkan semakin intensifnya usaha dalam pencarian serta eksplorasi minyak dan gas bumi di daerah lepas pantai hingga laut dalam. Sistem pipeline/jalur pipa merupakan akomodasi yang paling murah, aman, serta efisien dalam peyaluran minyak dan gas bumi di daerah lepas pantai hingga laut dalam. Kontruksi pipa bawah laut harus didesain sesuai dengan standar yang berlaku. Jalur pipa bawah laut yang telah didesain kemudian dianalisa agar dapat dipasang dan beroperasi sebagaimana mestinya.

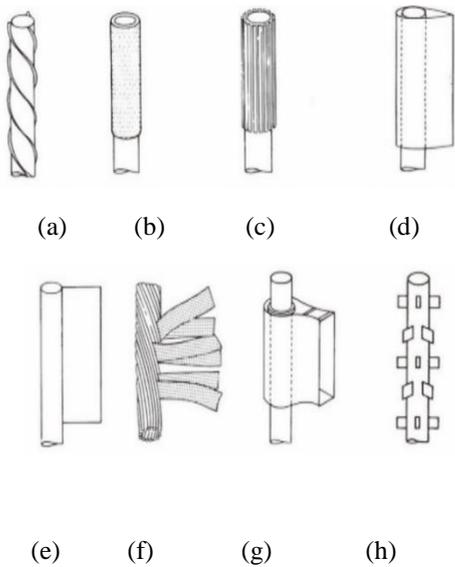
Free span merupakan kontak yang hilang antara pipeline dengan dasar laut. Analisis *freespan* perlu dilakukan karena apabila pipa dibiarkan tidak tertumpu begitu saja akan menyebabkan kegagalan akibat beban statik (*excessiveyielding*) atau beban

dinamik (*fatigue*). Beban statik dipengaruhi oleh tegangan akibat berat pipa itu sendiri sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh arus dan gelombang laut yang dapat menyebabkan vibrasi (*vortexinducedvibration*). Analisa *freespan* merupakan salah satu dari tahap dalam desain *offshorepipeline* yang perlu sangat diperhatikan. Beban dinamik yang mempengaruhi *freespan* diantaranya adalah *vortexinducedvibration (VIV)*. *Vortexinducedvibration (VIV)* merupakan getaran yang diakibatkan oleh fenomena sekunder dari interaksi antara fluida dan struktur pipa. *VIV* dapat didefinisikan dekatnya frekuensi *sheddingvortex* dengan frekuensi alami struktur. Fenomena sekunder tersebut dinamakan fenomena pelepasan *vortex*. *VIV* pada struktur bawah laut, khususnya *pipeline* merupakan faktor penting yang mempengaruhi semua tahap pengembangan *offshorestructure*

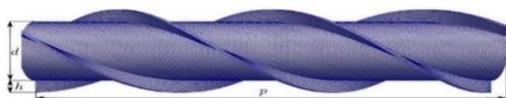
Hingga kini, telah banyak penelitian dilakukan guna mereduksi *vortexinducedvibration (VIV)*

dengan menambahkan *vortexsuppressiondevices* (Zdakovich, 1981). Gambar 1 memperlihatkan beberapa jenis peralatan tersebut yang dewasa ini telah dikembangkan (Blevins, 1990). Prinsip kerja alat tersebut adalah dengan cara merusak *boundarylayer* atau memodifikasi formasi dari *vortexshedding* sehingga akan merubah pola maupun frekuensi *vortexshedding* agar menjauhi frekuensi alami struktur. Dengan demikian getaran *lock-in* yang beramplitudo besar bisa dihindari. Salah satu jenis *vortexsuppressiondevice* yang efektif mereduksi *VIV* adalah jenis *helicalstrakes* (Gambar 2).

Studi kasus dalam penelitian ini adalah sebuah jalur *pipeline* yang berlokasi di selat Madura, jalur pipa ini memiliki kriteria yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pada penelitian ini telah dilakukan analisa mengenai distribusi *stress* yang terjadi pada struktur *pipeline* yang berinteraksi dengan *vortexshedding*. Selain itu, dianalisa pula pengaruh sudut kemiringan yang terjadi pada *pipeline* terhadap nilai *stress* maksimumnya.



Gambar 1. *VortexSuppressionDevice* (Blevins, 1990)



Gambar 2. *HelicalStrakes*

2. METODOLOGI

2.1 Perhitungan Manual

Perhitungan manual dilakukan untuk mencari nilai *maximumallowablespan* pada bentangan *pipeline* tanpa penggunaan *helicalstrakes*. Proses perhitungan dilakukan dengan dasar standar DNV RP F105 *freespanningpipeline*. Analisis terhadap *freespan* pada pipa bawah laut dilakukan terhadap dua kriteria utama, yaitu *FatigueLimitStrength* dan *UltimateLimitStrength*. *Freespan* merupakan bentang bebas pada suatu pipa bawah laut, bentang bebas tersebut terjadi tegangan dengan besar tertentu akibat massa pipa yang tidak tertumpu oleh *seabed*. Bentang bebas yang terlalu panjang dapat menyebabkan tegangan berlebih pada pipa. Dengan asumsi kedua ujung pipa pada bentang bebas tertumpu peletakan sederhana. Panjang bentang statik dapat dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 2.1 dan 2.2 berikut ini.

$$L_{st} = \sqrt{\frac{2.C.I.\sigma_e}{W_t.D_{tot}}} \dots\dots\dots(1)$$

$$W_t = \sqrt{W_{sub}^2 + (F_D + F_I)^2} \dots\dots\dots(2)$$

Panjang bentang dinamik dapat dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 2.3 dan 2.4 berikut ini.

$$f_{n_{IL}}(L_{dyn_{IL}}) = C_1 \cdot \sqrt{1 + CSF} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{M_{eff} \cdot L_{dyn_{IL}}^4} \left[1 + \frac{S_{eff}}{P_{cr_{IL}}(L_{dyn_{IL}})} + C_3 \cdot \left(\frac{\delta_{IL}}{D} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots(3)$$

$$(L_{dyn_{IL}}) = \frac{f_{n_{IL}}(L_{dyn_{IL}})}{\gamma_{IL}} = \frac{u_{r100}}{V_{R_{on_{IL}}} \cdot D} \cdot \left(1 - \frac{\left(\frac{L_{dyn_{IL}}}{D} \right)}{250} \right) \cdot \frac{1}{\alpha_{fc}} \dots\dots\dots(4)$$

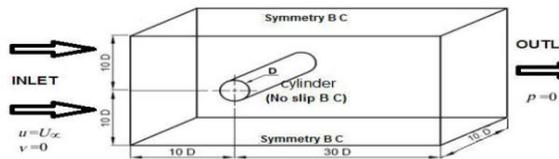
2.2 Pemodelan Software

Pada penelitian ini digunakan 2 metode pemodelan menggunakan *software*. Hal ini disebabkan tidak adanya standar yang mengakomodasikan untuk dilakukan perhitungan maupun analisa manual pada kasus yang akan diteliti. Sehingga untuk menyelesaikan rumusan masalah dalam penelitian ini harus menggunakan metode lain di luar *scope* dari standar. Metode yang digunakan adalah *computationalfluiddynamic* dengan menggunakan *softwareFluent Ansys*. Penggunaan metode ini mengacu pada jurnal-jurnal internasional

yang telah dipublikasikan. Metode pemodelan dalam jurnal-jurnal tersebut tidak seluruhnya sesuai dengan penelitian ini, oleh karena itu peneliti mengembangkan metode pemodelan baru berdasarkan jurnal-jurnal tersebut.

1. Geometri

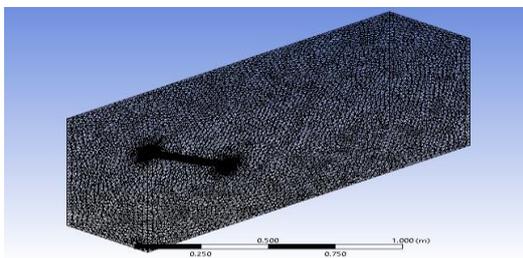
Model bentangan bebas pipa disederhanakan menggunakan *software SpaceClaim* bawaan *Ansys*. Tipe file ini adalah (*.scdoc), file ini kemudian di-impor ke *software fluent Ansys* untuk selanjutnya di-mesh. Geometri tersebut perlu ditentukan dahulu daerah aliran fluida, bagian padat, dan nama batasan permukaan. Dimensi geometri pada pemodelan ini disesuaikan dengan penelitian terdahulu oleh Ranjith E.R. pada tahun 2015. Gambaran geometri tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Geometri Pemodelan (Ranjith E. R. 2015)

2. Validasi Meshing

Sebelum dilakukan tahap validasi antara hasil model numerik terhadap hasil eksperimen *Constantinides et al.*, (2006), terlebih dahulu dilakukan analisis sensitivitas *meshing* (*meshing sensitivity analysis*). Tujuannya untuk mendapatkan ukuran *meshing* yang tepat sehingga output yang dihasilkan menjadi relatif stabil/stasioner, tidak lagi fluktuatif dengan berubahnya ukuran/jumlah *meshing*.

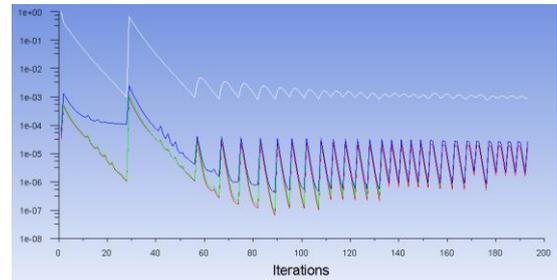


Gambar 4 Hasil Meshing

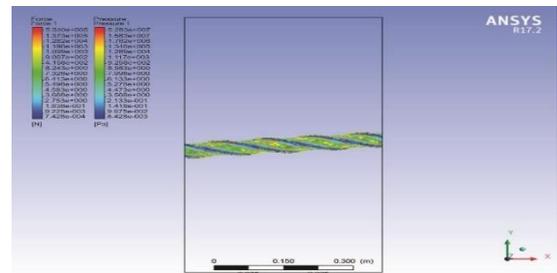
3. Setup dan PostModeling

Pada tahapan ini, didefinisikan kondisi fisik dari simulasi yang merupakan masukan pada proses komputasi. Tahapan dasar dalam mendefinisikan kondisi fisik Mendefinisikan jenis aliran pada

simulasi, Mendesain tipe domain, Mendefinisikan kondisi batas (*boundary condition*), Menentukan parameter solusi kontrol



(a)



(b)

Gambar 5 (a) Iterasi (b) Hasil PostModeling

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai Stress pada FreeSpan tanpa Metode Mitigasi Helical Strakes

Perhitungan manual dilakukan untuk tiga fase, yaitu fase instalasi, fase *hydrotest* dan fase operasi. Proses perhitungan manual berdasarkan standar DNV RP F105 *FreeSpanning Pipeline*. Hasil perhitungan manual digunakan sebagai pembandingan dengan hasil dari pemodelan *software*. Hasil perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Maximum Allowable Span Kondisi tanpa Helical Strakes

Cases	Condition	MaximumSpan
1	Installation	75.329 m
2	Hydrotest	48.558 m
3	Operation	69.489 m

Tabel 2 Hasil Perhitungan Maximum Allowable Span Kondisi dengan Helical Strakes

Cases	Condition	MaximumIn-lineVIVSpan	MaximumCross-flowVIVSpan
1	Installation	17.266 m	23.417 m
2	Hydrotest	17.356 m	17.949 m
3	Operation	17.071 m	17.862 m

3.2 Nilai Stress pada FreeSpan tanpa metode Mitigasi HelicalStrakes

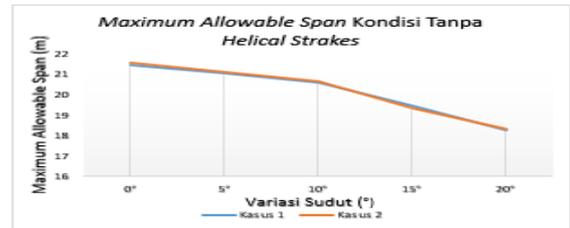
Dalam pemodelan ini perlu dilakukan analisa dan pengolahan hasil pemodelan untuk mendapatkan jenis hasil yang diharapkan. Hasil pasca pemodelan tersebut ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Maximum Allowable Span berdasarkan Pemodelan Software

No	Kedalaman	Kondisi	Variasi Sudut	Tegangan (Mpa)	Force (N)	Max. Span (m)	Max. Span (m)
1	55 meter	Dinamis tanpa Helical Strakes	0°	188.223848	1965135.53	21.472	21,564
2			5°	195.716144	2050570.41	21.057	2.11
3			10°	204.674986	2140042.35	20.591	20.664
4			15°	229.086808	2435018.32	19.463	19.372
5			20°	260.608815	2719139.3	18.248	18.332
6	55 Meter	Dinamis dengan Helical Strakes	0°	51.5661624	541041.917	41.023	41.097
7			5°	52.8334902	554014.347	40.528	40.613
8			10°	56.1040016	591170.155	39.329	39.316
9			15°	59.6471847	627497.009	38.143	38.161
10			20°	65.948482	693562.752	36.275	36.298

Nilai stress yang digunakan sebagai dasar analisa adalah hasil dari pemodelan software. Pada rumusan masalah ini dilakukan pemodelan dengan bantuan software untuk mendapatkan nilai stress yang terjadi pada pipeline pada berbagai sudut kemiringan. Variasi sudut tersebut adalah 0°, 5°, 10°, 15°, 20°. Output softwarefluentansys berupa nilai tegangan, nilai tersebut dikonversi menjadi nilai stress

menggunakan persamaan yang terdapat pada standar DNV RP F105. Analisa stress yang terjadi pada setiap variasi sudut kemiringan freespan tanpa metode mitigasi helicalstrakes dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 6 Grafik Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Nilai Stress

Grafik di atas menunjukkan pengaruh variasi sudut terhadap nilai stress yang terjadi pada freespan. Kedua kasus tersebut terjadi pada kondisi dimana pipeline tidak dimitigasi dengan suppressiondevice model helicalstrakes. Grafik di atas menunjukkan pipeline pada fase operasi. Nilai maximumallowablesan tertinggi terjadi pada sudut 0 derajat yaitu sepanjang 21.564 m. Nilai maximumallowablesan terendah terjadi pada sudut 20 derajat yaitu sepanjang 18.248 m. Terjadi kecenderungan yang mana bertambahnya nilai sudut akan meningkatkan nilai stress. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa peningkatan nilai sudut akan berdampak pada peningkatan nilai stress.

3.3 Korelasi Nilai Stress dengan Sudut Kemiringan

Korelasi Sederhana merupakan suatu teknik statistik yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan 2 variabel dan juga untuk dapat mengetahui bentuk hubungan antara 2 variabel tersebut dengan hasil yang sifatnya kuantitatif. Perhitungan nilai korelasi dilakukan dengan bantuan software pemrograman komputer.

Correlation: Sudut Kemiringan; Maximum Allowable Span Kasus 1

Pearson correlation of Sudut Kemiringan and Maximum Allowable Span Kasus 1 = 0,147

P-Value = 0,685

Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa korelasi tekanan darah dan umur sebesar 0,147. Dengan memperhatikan nilai P-Value sebesar 0,685 yang lebih besar dari 0,05. Dengan demikian, kita dapat mengatakan bahwa dari data tersebut, terdapat korelasi antara antara sudut kemiringan dan besaran nilai *stress*. Korelasi yang terjadi bersifat “LEMAH”

Paired T-Test and CI: Tanpa Helical Strakes; Dengan Helical Strakes

Paired T for Tanpa Helical Strakes - Dengan Helical Strakes

	N	Mean	StDev	SE Mean
Tanpa Helical Strakes	5	20,166	1,309	0,585
Dengan Helical Strakes	5	39,060	1,916	0,857
Difference	5	-18,893	0,630	0,282

95% CI for mean difference: (-19,675; -18,111)

T-Test of mean difference = 0 (vs \neq 0): T-Value = -67,08 P-Value = 0,0032

P-value dari uji-t berpasangan di atas adalah 0.0032, yaitu lebih kecil dari 0.05. Dengan demikian kesimpulan statistika yang diambil adalah menolak H_0 , artinya pernyataan bahwa selisih rata-rata antara sebelum dan sesudah penggunaan metode mitigasi *helicalstrakes* pada *freespan* berbeda atau tidak sama dengan nol. Atau dapat dikatakan terdapat pengaruh/ efektifitas penggunaan metode mitigasi *helicalstrakes*.

4. KESIMPULAN

Dari Analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- *Vortexshedding* memiliki pengaruh yang signifikan. Pada *pipelinespan* dalam kondisi statis(tanpa pengaruh *vortexshedding*), nilai *maximumallowables*pan-nya mencapai 69.489 m. Sedangkan pada *pipelinespan* dalam kondisi dinamis (dipengaruhi *vortexshedding*), nilai *maximumallowables*pan-nya hanya mencapai 17.862 m.
- Perubahan sudut pada *pipeline* span memiliki pengaruh terhadap nilai *maximumallowables*pan. Hal ini dibuktikan dengan hasil dari perhitungan manual dan pemodelan dengan *software*. Apabila terjadi kenaikan nilai sudut maka berdampak pada penurunan nilai nilai *maximumallowables*pan.
- Berdasarkan metode statistika, pengaruh sudut kemiringan terhadap nilai *stress* pada bentangan

3.4 Nilai Keefektifan Penggunaan *HelicalStrakes*

Kalkulasi nilai keefektifan penggunaan *helicalstrakes* menggunakan metode statistika. Pada penelitian ini digunakan statistik uji-t berpasangan (*PairedT-Test*). Uji-t berpasangan adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan tidak bebas (berpasangan).

bebas *pipeline* didapatkan hasil bahwa terdapat hubungan/korelasi dari kedua variabel tersebut. Korelasi kedua variabel tersebut bersifat LEMAH LINIER POSITIF.

- Berdasarkan metode statistika, penggunaan metode mitigasi *helicalstrakes* memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Hal ini dapat diketahui dari nilai *maximumallowables*pan pada kondisi tanpa *helicalstrakes* dan dengan *helicalstrakes*. Nilai *maximumallowables*pan pada kondisi dengan menggunakan *helicalstrakes* bisa mencapai dua kali lipat dari kondisi tanpa *helicalstrakes*. Hasil analisa statistika menunjukkan hasil bahwa terdapat nilai efektifitas penggunaan *helicalstrakes*.

5. DAFTAR NOTASI

L_{st}	: Panjang <i>freespan</i> statik yang diijinkan
C	: Konstanta ujung peletakan
I	: Momen inersia penampang pipa
σ_e	: Tegangan ekuivalen
W_l	: Berat pipa terdistribusi merata per satuan panjang
D_{tot}	: Diameter total terluar pipa
L_{dyn}	: <i>Critical natural frequencies</i>
$fn (L_{dyn})$: <i>Fundamental natural frequency</i>
γ	: <i>Safety factor for screening criteria</i>
u_{r100}	: <i>Seabed currenet velocity</i>
VR_{on}	: <i>Onset value reduced velocity</i>
α_{fc}	: <i>Minimal value for curent flow ratio</i>

6. PUSTAKA

- [1] ANSYS, Inc. 2007. “ANSYSCFXManual, Release 11.0” <http://www.ansys.com>.

- [2] Bai, Yong. 2001. *“PipelinesandRisers”*. Amsterdam: *ElsevierScience*.
- [3] Callister, W.D. *MaterialsScienceandEngineering*. New York: John Wiley & Sons Inc. 1994.
- [4] Dalrymple,Dean. 1991. *“WaterWaveMechanicsForEngineersandScientist”*. New Jersey; *WorldScientific*.
- [5] Guo, Boyun. 2005. *“OffshorePipelines”*. Massachussets: Elsevier Inc.
- [6] Mouselli, A.H. 1985 *“OffshorePipelinesDesign, AnalysisandMethod”*. Oklahoma: *PennWellBooks*.
- [7] R Development Core Team. 2008. R Datasets.
- [8] *VeritasOffshoreTechnologyandServices* A/S. Maret 2002 “DNV RP F105 *FreeSpanningPipelines”*. Norway: DNV *Publisher*.

Walpole, R.E. dan R.H. Myers. 1995. Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan. Edisi keempat. Penerbit ITB. Bandung