

ANALISIS INSTALASI *EXPORT PIPELINE* DENGAN METODE *S-LAY* DI LAUT JAWA DENGAN ACUAN DNV OS-F101

Pipe Lay Analysis of Export Pipeline at Java Sea with S-Lay Method Based on DnV OS-F101

Pricilia Lumban Toruan¹ dan Krisnaldi Idris²

Program Studi Teknik Kelautan,

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹pricilia.lt@hotmail.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

ABSTRACT

Export pipeline needed as transportation of crude energy from production field to onshore receiving facility. Pipe lay analysis need to be done to find the optimal and safe lay barge configuration. Analysis done at initiation, normal lay, laydown, abandonment and recovery phase of pipe laying. Analysis based on DnV OS F-101 Submarine Pipeline System as standard design. Export pipeline overbend strain, sagbend stress, local buckling, and concrete crush is controlled with analyzing with criteria based on DnV OS F101. Finally, designed 14 inch export pipeline stress and strain did not over limit from criteria and also safe from buckling and concrete crushing and could be installed on Kepodang Field at Java Sea.

Key words/phrase: *pipe lay analysis, S-Lay method, equivalent stress, equivalent strain, local buckling, concrete crush, normal lay, initiation, laydown, abandonment and recovery.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi. Energi didapatkan dari sumber yang berasal dari alam, seperti air, angin, panas bumi, dan sumber energi hidrokarbon. Distribusi energi mentah dari lapangan produksi menuju tempat pengolahan membutuhkan sarana transportasi. Jaringan pipa bawah laut dianggap lebih praktis dan hemat dikarenakan biaya operasional dan perawatan yang rendah

dengan usia operasional yang relatif panjang. *Export pipeline* adalah pipa bawah laut yang mengalirkan minyak dan atau gas dari anjungan produksi lepas pantai menuju ke darat.

Dalam konstruksinya, dibutuhkan perhitungan yang presisi agar pipa bawah laut dapat digelar dengan aman dan beroperasi sesuai kebutuhan. Perhitungan konstruksi pipa bawah laut dijalankan pada fase analisis instalasi. Analisis instalasi dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi lay

barge yang aman untuk penggelaran pipa.

Instalasi pipa bawah laut dibagi dalam tiga tahapan yaitu tahap inisiasi, tahap penggelaran (normal laying) dan tahap penggelaran akhir (laydown). Pada kegiatan instalasi, ada kondisi dimana kegiatan penggelaran diberhentikan untuk sementara, maka pipa bawah laut mencapai tahapan abandon and recovery, dimana pipa dipotong dan diluncurkan ke laut dengan masih terkait dengan winch (proses abandon). Lalu saat kegiatan penggelaran akan dilanjutkan, pipa tersebut ditarik kembali ke lay barge (proses recovery).

Hasil analisis studi pada tugas akhir ini membahas mengenai keamanan instalasi pipa *export pipeline* dengan metode instalasi *S-Lay* di Laut Jawa, tepatnya perairan Kepodang, dengan acuan standar desain DnV OS-F101.

TEORI DAN METODOLOGI

Beban yang bekerja pada pipa bawah laut memberi gaya yang mengakibatkan terjadinya tegangan dan regangan pada struktur pipa. Untuk menjaga integritas pipa bawah laut didesain pada kondisi instalasi, hidrotest, dan operasi, tegangan dan regangan yang bekerja pada pipa bawah laut dikontrol agar tidak melebihi ketentuan ijinnya.

Tegangan yang terjadi pada pipa saat instalasi lepas pantai dinyatakan dengan tegangan ekuivalen yang merupakan kombinasi dari tegangan sirkumferensial (*Hoop Stress*), tegangan longitudinal, dan tegangan geser.

Tegangan sirkumferensial atau pada umumnya disebut *hoop stress* adalah tegangan tangensial maksimum

akibat perbedaan tekanan internal dan tekanan eksternal yang bekerja pada pipa. Tegangan longitudinal merupakan tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu longitudinal atau tegangan aksial yang bekerja pada penampang pipa. Tegangan geser adalah tegangan yang arahnya parallel dengan penampang permukaan pipa, terjadi jika dua atau lebih tegangan normal yang diuraikan di atas bekerja pada satu titik. Tegangan geser pada sistem pipa antara lain akibat gaya dari tumpuan pipa (pipe support) dikombinasikan dengan gaya bending.

Tegangan ekuivalen merupakan seluruh komponen tegangan yang terjadi pada pipa. Perhitungan tegangan ekuivalen pipa menggunakan teori Energi Distorisi (Teori Huber-Von Mises-Hengky).

Persamaan tegangan ekuivalen dirumuskan sebagai tegangan von mises sebagai berikut:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - (\sigma_h \sigma_l) + 3\tau^2}$$

(1)

Dimana:

σ_e = tegangan ekuivalen von mises

σ_h = *hoop stress*

σ_l = *longitudinal stress*

τ = tegangan geser tangensial

Penekukan (buckling) pada pipa dapat didefinisikan sebagai perubahan atau deformasi (*ovaling*) pada penampang pipa yang terjadi pada satu atau seluruh bagian pipa. *Buckling* pada pipa dapat diartikan sebagai pemipihan atau ovalisasi dari potongan melintang pipa. *Buckling* dapat berupa kering yaitu

ketika pipa tidak retak atau basah ketika pipa retak dan retakannya diisi oleh air.

Perhitungan *local buckling* pada pipa semasa instalasi sesuai kriteria tekanan eksternal berlebih (*external overpressure*). Pada kondisi ini kekuatan pipa diperiksa berdasarkan kekuatan eksternal yang terjadi.

Pipa bawah laut selama instalasi rentan mengalami *bending* yang berlebih yang dapat mengakibatkan terjadinya *buckling* pada pipa.

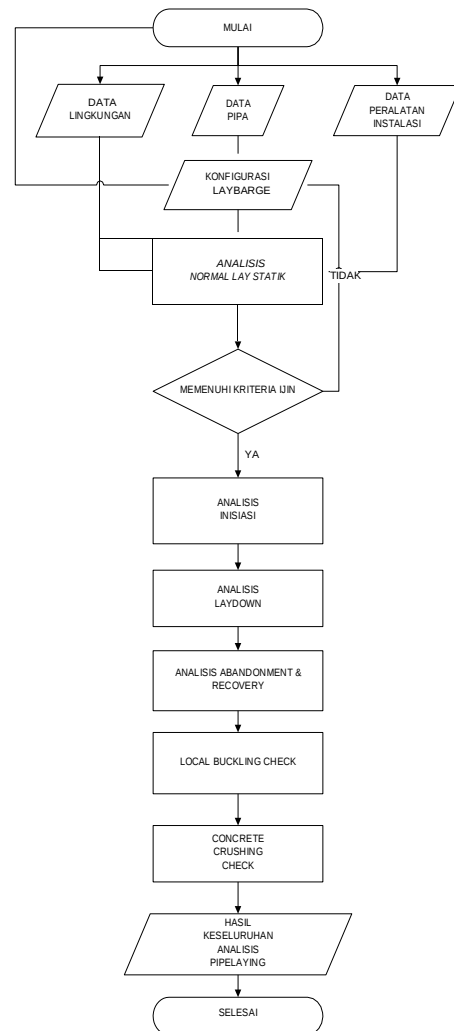
Pada metode *S-Lay*, saat instalasi pipa mengalami dua jenis *bending*, yaitu *bending* yang terjadi di daerah *lift-off point* akibat penggunaan *stinger* dan *bending* yang terjadi di daerah *touchdown point* yaitu titik pertemuan antara pipa dengan dasar laut.



Gambar 1 – Ilustrasi Daerah Overbend dan Sagbend pada Metode S-Lay

(Sumber: Offshore Pipelines, Boyun Guo et al)

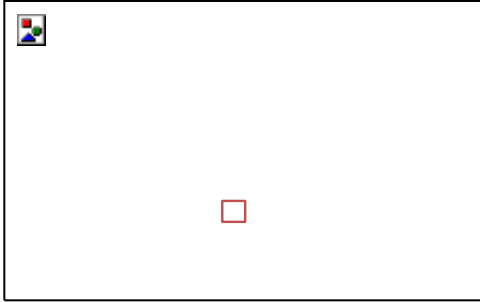
Tekuk pipa bawah laut pada daerah *overbend* dan *sagbend* selama instalasi diatur agar tidak melebihi batas tegangan pipa tersebut. Pengaturan tekuk dilakukan dengan menganalisis momen tekuk pada pipa per tahapan instalasi dan melakukan pengecekan apakah akan terjadi *local buckling* atau *concrete crushing* pada pipa tersebut. Metodologi studi dapat dilihat pada **Bagan 1**.



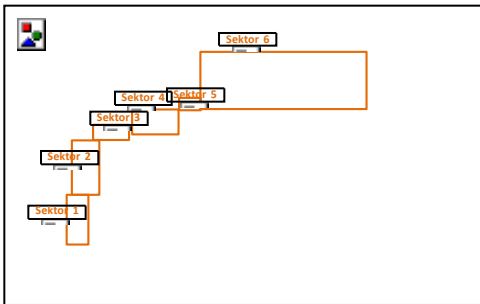
Bagan 1 – Metodologi Studi

HASIL DAN ANALISIS

Studi dilakukan di Laut Jawa, tepatnya daerah Kepodang, arah timur laut kota Semarang. Daerah lokasi studi dapat dilihat pada **Gambar 2** di bawah. Dalam analisis, rute instalasi *export pipeline* dibagi menjadi 6 sektor sesuai dengan kedalaman perairan dan pembagian zona lokasi pipa bawah laut berdasarkan DnV OS F-101. Pembagian wilayah lokasi studi dapat dilihat pada **Gambar 3** di bawah.



Gambar 2 – Lokasi Studi



Gambar 3 – Pembagian Wilayah Studi

Tabel 1 – Properti *export pipeline*

--

Analisis instalasi dilakukan untuk tahapan inisiasi, *normal lay*, *laydown*, *abandonment*, dan *recovery*. Analisis instalasi *export pipeline* diawali dengan perhitungan konfigurasi statik untuk mendapatkan nilai *tension* yang akan diaplikasikan ke *tensioner*. Perhitungan konfigurasi statik dengan menggunakan bantuan program bantu statik.

Hasil dari analisis statik adalah nilai *tension* seperti dapat dilihat pada **Tabel 2** untuk tahap inisiasi, **Tabel 3** untuk tahap *normal lay*, **Tabel 4** untuk tahap *laydown*, dan **Tabel 5** untuk tahap *abandonment* dan *recovery*.

Tabel 2 Nilai *Tension* pada Tahap Inisiasi

Kasus	Posisi Pullhead	Tension
		(kN)
1	Di atas Stinger	27.83
2	Di Sagbend	76.87
3	Mendekati Seabed	96.14
4	Di atas Seabed	97

Tabel 3 Nilai *Tension* pada Tahap *Normal Lay*

Kasus	Kedalaman Perairan	Tension
	(m)	(kN)
1	16.64	219.55
2	38.64	321.97
3	46.24	335
4	50.35	340
5	57.35	350
6	61.3	350
7	68.75	370
8	68.75	377.71

Tabel 4 Nilai *Tension* pada Tahap *Laydown*

Kasus	Posisi Pullhead	Tension
		(kN)
1	Di Overbend	370
2	Di Sagbend	200

3	Mendekati Seabed	190
---	------------------	-----

Tabel 5 Nilai *Tension* pada Tahap *Abandonment* dan *Recovery*

Kasus	Posisi Pullhead	Tension
		(kN)
1	Di Overbend	300
2	Di Sagbend	200
3	Mendekati Seabed	75

Setelah nilai *tension* didapatkan, dilakukan analisis untuk mendapatkan tegangan dan regangan pipa di tiap kedalaman perairan dan tahapan. Analisis dilakukan dengan menggunakan program bantu simulasi. Hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 6** ntuk tahap inisiasi, **Tabel 7** untuk tahap *normal lay*, **Tabel 8** untuk tahap *laydown*, dan **Tabel 9** untuk tahap *abandonment* dan *recovery*.

Tabel 6 Tegangan dan Regangan pada Tahap Inisiasi

Kasus	Tegangan Ekuivalen Maksimum	Regangan Ekuivalen Maksimum
	(Mpa)	(%)
1	0	0.000
2	33.12	0.000
3	203.79	0.001
4	296.7445	0.001

Tabel 7 Tegangan dan Regangan pada Tahap *Normal Lay*

Kasus	Tegangan Ekuivalen Maksimum	Regangan Ekuivalen Maksimum
-------	-----------------------------	-----------------------------

	(Mpa)	(%)
1	247.25	0.10%
2	275.01	0.12%
3	167.37	0.10%
4	166.85	0.10%
5	129.27	0.10%
6	97.59	0.09%
7	95.54	0.10%
8	100.27	0.09%

Tabel 8 Tegangan dan Regangan pada Tahap *Laydown*

Kasus	Tegangan Ekuivalen Maksimum	Regangan Ekuivalen Maksimum
	(Mpa)	(%)
1	100.11	0.08%
2	141.88	0.00%
3	129.57	0.00%

Tabel 9 Tegangan dan Regangan pada Tahap *Abandonment* dan *Recovery*

Kasus	Tegangan Ekuivalen Maksimum	Regangan Ekuivalen Maksimum
	(Mpa)	(%)
1	105.84	0.08%
2	129.92	0.00%
3	49.01	0.00%

Hasil analisis menunjukkan pipa tidak mengalami regangan yang melebihi kriteria izin yaitu 0.250% diameter pipa. Pipa juga tidak mengalami tegangan yang melebihi kriteria izin daerah *sagbend* yaitu 375,84 MPa.

Analisis *local buckling* dilakukan untuk memastikan *export pipeline* tidak mengalami *buckling* pada tahap inisiasi, *normal lay*, *laydown*, *abandonment*, dan

recovery. Analisa dilakukan berdasarkan kriteria *external overpressure*. Hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 10** sampai **Tabel 13** berikut.

Tabel 10 Utility Ratio *Local buckling* pada Tahap Inisiasi



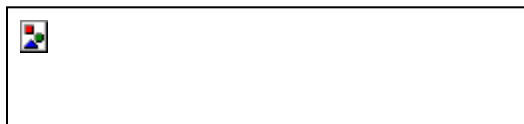
Tabel 11 Utility Ratio *Local buckling* pada Tahap Normal Lay



Tabel 12 Utility Ratio *Local buckling* pada Tahap Laydown



Tabel 13 Utility Ratio *Local buckling* pada Tahap Abandonment dan Recovery



Hasil analisis *local buckling* seperti menunjukkan kombinasi pembebanan pada pipa akibat gaya aksial dan momen lentur tidak melebihi *utility ratio*, yaitu 1. Hal ini menunjukkan bahwa *export pipeline* tidak mengalami *buckling* selama tahapan instalasi.

Analisis *concrete crushing* dilakukan untuk memastikan tidak terjadi kehancuran pada lapisan beton pemberat. Perhitungan kriteria berdasarkan DnV OS F101 Section 13 H300 yaitu regangan rata-rata pipa pada daerah *overbend* dikalikan dengan *safety factor* harus lebih dari sama dengan regangan rata-rata izin. Analisis dilakukan pada tahapan dimana regangan ekuivalen *export pipeline* mencapai nilai tertinggi, yaitu pada tahap *normal lay* di kedalaman 38.64 m. Hasil analisis *export pipeline* menunjukkan regangan rata-rata *export pipeline* pada daerah *overbend* maksimum tidak mencapai nilai regangan rata-rata izin yang berarti lapisan beton pemberat *export pipeline* tidak mengalami hancur.

KESIMPULAN

1. Instalasi *export pipeline* desain di Laut Jawa dapat menggunakan metode S-Lay, dikarenakan kedalaman perairan yang dangkal
2. Analisis instalasi *normal lay* pada *export pipeline* dilakukan secara bertahap sesuai kedalaman perairan dan perbedaan properti pipa pada tahap *normal lay*.
3. Inisiasi instalasi *export pipeline* di Laut Jawa dapat menggunakan *deadman anchor*. Pada pipa dengan properti seperti pada desain Tugas Akhir, inisiasi dapat menggunakan Delta Flipper dengan kapasitas 10 MT.
4. Tahap *abandonment* pipa bawah laut saat instalasi memiliki prinsip yang

sama dengan tahap *laydown* di akhir instalasi pipa bawah laut. Sedangkan analisis *recovery* merupakan kebalikan tahap *laydown* dan *abandonment*.

5. Analisis instalasi statik *export pipeline* di Laut Jawa menghasilkan konfigurasi *lay barge* (*draft* dan posisi *roller* pada *stinger*) dan besar gaya tension yang dikenakan pada pipa memenuhi kriteria ijin.
6. Hasil dari pemodelan statik instalasi *export pipeline* di Laut Jawa yaitu tegangan ekuivalen dan regangan ekuivalen yang bekerja pada pipa bawah laut tidak melebihi kriteria izin yang ditetapkan DnV OS F101.
7. Dalam instalasinya, *export pipeline* desain di Laut Jawa tidak mengalami *local buckling* dan *concrete crushing*.

SARAN

1. Analisis instalasi *export pipeline* di Laut Jawa pada Tugas Akhir ini terbatas sampai kondisi statik. Agar lebih optimal, sebaiknya dilakukan analisis pada kondisi dinamik.
2. Analisis instalasi *export pipeline* di Laut Jawa pada Tugas Akhir ini mengacu pada satu standar saja, yaitu DnV OS F101. Sebaiknya dilakukan pengecekan terhadap standar desain lain sebagai pembandingan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih optimal.
3. Sebaiknya dilakukan analisis inisiasi dengan membandingkan pengaruh metode inisiasi selain *deadman anchor* terhadap instalasi pipa bawah laut.

4. Sebaiknya dilakukan analisis *laydown*, *abandonment*, dan *recovery* pada berbagai kedalaman untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2007. Specification for Line Pipe. Washington DC: American Petroleum Institute.
- Bai, Yong. 2001. Pipeline and Risers. United Kingdom: Elsevier.
- Det Norske Veritas. 2013. DNV OS F101 Submarine Pipeline Systems. Norway: Det Norske Veritas.
- Tawekal, R. L. 2012. Bangunan Lepas Pantai II : Desain Pipa Bawah Laut. Bandung : Penerbit ITB