

## Simulasi Numerik *Impact* Jangkar-Pipeline : Validasi Model

Pipit Setiawati<sup>1\*</sup>, Muh. Anis Mustaghfirin<sup>2</sup>, Burniadi Moballa<sup>3</sup>

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi D-III Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [pipitsetia09@gmail.com](mailto:pipitsetia09@gmail.com)<sup>1\*</sup>; [mustaghfirin@ppns.ac.id](mailto:mustaghfirin@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [burniadi@ppns.ac.id](mailto:burniadi@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>;

**Abstract** - Failures of subsea pipeline can be caused by external loads such as an impact from free-falling anchor. This paper discusses numerical study of the effect of anchor impact. The deformation calculated using explicit dynamic model. The pipe is modeled by Cowper Symonds Strength. The anchor is assumed as a rigid body. The seabed is also assumed as rigid body those provide fix support to the pipe. The present prediction is compared to corresponding experimental study by Yu et al in 2016 [1]. The comparison shows that the present model predict dent depth in a good accuracy.

**Keywords** : cowper symonds strength, dent depth, explicit dynamic, impact drop anchor and pipeline.

### Nomenclature

<b>A</b>	yield stress
<b>B</b>	koefisien strain hardening
<b>D dan q</b>	strain rate hardening coefficient
<b>dt</b>	waktu penambahan
<b>M</b>	massa matrik pipa
<b>ma</b>	massa jangkar
<b>n</b>	strain hardening exponent
<b>t</b>	time step
$\vec{d}\vec{u}_a^t$	penambahan displacement jangkar
$\vec{F}^t$	gaya internal
$\vec{F}_a$	gaya kontak antara pipa dan jangkar
$\vec{F}_a^t$	gaya yang dipaksa pada pipa
$\vec{f}_c$	contact force degree
$\vec{Q}_a$	gaya gravitasi
$\vec{Q}_a^{t+dt} = \vec{Q}^{t+dt}$	gaya eksternal
$\vec{u}_a$	displacement jangkar
$\vec{u}_a^t$	aselerasi

### 1. PENDAHULUAN

Kerusakan pada jaringan *pipeline* yang berada di perairan dapat terjadi. Penyebab kerusakan pada jaringan *pipeline* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain penurunan jangkar kapal (*anchor drop*), penarikan jangkar (*anchor drag*), kapal kandas (*grounding*), kapal tenggelam (*sinking*), jaring atau pukat (*trawl*), dan faktor lainnya. Salah satu akibat dari kerusakan yaitu berupa pipa penyok yang mengakibatkan kebocoran. Adanya kebocoran pada pipa akan

menyebabkan bencana lingkungan dan kerugian ekonomi yang besar. Kebocoran dalam pipa akan menyebabkan gas didalam saluran pipa akan keluar ke permukaan laut. Apabila pada permukaan laut terdapat gas akibat kebocoran pipeline maka manusia dan ekosistem disekitar akan terkena dampaknya. Kebocoran pipa akibat jangkar juga terjadi di Indonesia, kebocoran pipa akibat jangkar terjadi di Balikpapan pada bulan april 2018 dan di Banten pada bulan Juli 2018. Hal ini menunjukkan bahwa peristiwa kebocoran pipa akibat jangkar bisa terjadi.

Model numerik mengenai *impact* benda terhadap pipa bawah laut perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pipa. Dengan melakukan model numerik dapat diketahui kekuatan pipa akibat tumbukan benda khususnya jangkar yang dapat digunakan untuk memprediksi kondisi pipa setelah tertumbuk oleh jangkar. Sehingga para engineer bisa melakukan design yang aman jika terjadi *impact* jangkar. Penelitian mengenai *impact* benda terhadap pipa bawah laut telah banyak dilakukan. Yu dkk pada tahun 2016 [1] telah melakukan studi terhadap deformasi pipa akibat *impact transversal* dari jangkar jatuh menggunakan metode *a three-dimensional numerical* melalui LS-DYNA. Posisi jangkar diasumsikan sebagai *bottom impact* dan *fluke impact*. Sedangkan kondisi pipa terhadap tanah telah divariasi yaitu pipa diatas *concrete ground*, pipa diatas *concrete ground* dengan tertutup dengan *sandy soil*, dan pipa tertutup

*sandy soil* secara penuh sehingga terdapat gap antara *concrete ground* dan pipa. Arabzadeh dan Zeinodini pada tahun 2011 [2] telah melakukan studi respon dinamik pipa bertekanan bawah laut terhadap beban *impact lateral* menggunakan simulasi *three dimensional finite element*. Pada penelitian ini mempertimbangkan deformasi inelastis selama efek lateral. Tekanan fluida, gelombang, kecepatan benda, kedalaman *embedment* pipa, dan sifat tanah juga dipertimbangkan dalam penelitian ini. Dou pada tahun 2013 [3] telah melakukan studi komputasi respon *crash* dan mekanisme *collapse* pada pipa akibat *impact lateral* menggunakan *finite element analysis* melalui LS-DYNA. Pengaruh tekanan internal, kondisi *impact*, dimensi pipa dan lokasi *impact* menjadi perhatian dalam penelitian ini. Dou dan Liu pada tahun 2015 [4] telah melakukan studi komputasi untuk menguji perilaku *impact lateral* pipa bertekanan dan menentukan pengaruh tekanan internal pipa terhadap *impact* yang terjadi pada pipa menggunakan *finite element analysis* melalui LS-DYNA. Pada penelitian ini menghasilkan pengaruh tekanan internal, posisi *impact*, dan diameter luar pada *impact lateral* pada pipa. DNV-RP-F107 [5] telah memberikan persamaan empiris untuk memperkirakan penyok pada *pipeline* akibat *impact* dari benda jatuh.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi numerik *impact* jangkar ke pipa menggunakan *explicit dynamic*. Hasil dari penelitian digunakan untuk membandingkan hasil tersebut dengan hasil *experiment* yang telah dilakukan oleh Yu dkk pada tahun 2016 [1]. Penelitian menggunakan persamaan *cowpers symond strength*. Dengan melakukan penelitian ini dapat diketahui bahwa *explicit dynamic* bisa digunakan untuk menganalisa *impact* jangkar terhadap *pipeline*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Persamaan Dasar Dan Metode Numerik

Menurut Allouti dkk pada penelitiannya tahun 2012 [6] mendefinisikan bahwa *dent* pada *pipeline* adalah sebuah deformasi plastis yang permanen pada bagian melintang melingkar pipa. Sebuah *dent* disebabkan karena lokal stress, konsentrasi regangan, dan reduksi lokal pada diameter pipa. Fenomena terjadinya *dent* pada pipa bisa disebabkan karena *impact* benda tumpul pada pipa. Mekanismenya bisa terjadi akibat benda tumpul yang menumpuk pipa seperti jangkar jatuh.

Simulasi *impact* pada jangkar pipa bisa dilakukan dengan menggunakan software *finite element method* dengan kemampuan analisa *explicit dynamic*. *Explicit dynamics* merupakan

program analisis yang berfungsi untuk menganalisa transient explicit dynamics yang digunakan untuk simulasi pada bidang rekayasa. Analisa *explicit dynamics* dapat digunakan untuk menentukan respon stuktur dinamik akibat propogasi gelombang tegangan, benturan atau beban waktu yang berubah dengan cepat, pembebanan jangka pendek, deformasi material maupun kegagalan material. Perubahan momentum antara benda dan gaya inersia merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan.

Ketika menggunakan simulasi numerik dengan *explicit dynamic* seperti *impact*, biasanya menerapkan model material yang mempertimbangkan *strain rate* dari kurva *plastic material*. Ada beberapa model yang dapat menimbulkan efek yang berbeda pada material. Salah satu model yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Cowper Symonds Strength*. Hal ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Yu dkk pada tahun 2016 [1], Dou dan Liu pada tahun 2015 [4], dan Dou pada tahun 2013 [3]. *Cowper Symonds Strength* merupakan suatu model kekuatan yang memungkinkan untuk menentukan *yield strength* dari pengerasan. Persamaan *yield surface* dideskripsikan pada Persamaan 1 berikut.

$$Y = (A + B\varepsilon_{pl}^n)(1 + \left(\frac{\varepsilon_{pl}}{D}\right)^q) \quad (1)$$

Berikut adalah Tabel 1 yang menunjukkan nilai *Cowper Symonds Strength* untuk material *carbon steel* yang digunakan dalam simulasi *impact*.

**Tabel 2.** *Cowper Symonds Strength value for Carbon Steel*

Parameter	Unit	Value
Strain Rate Correction	-	First Order
Initial Yield Stress A	-	256.5
Hardening Constant B	MPa	257
Parameter	Unit	Value
Hardening Exponent n	MPa	0.23
Strain Rate Constant D	-	424
Strain Rate Constant q	-	4.73

Pada simulasi *impact* jangkar ke pipa digunakan metode perhitungan numerik tiga dimensi yang dikenal dengan metode *Local Galerkin Discretization*. Metode ini digunakan untuk memperkirakan kedalaman *dent* pipa. Yu dkk pada tahun 2016 [1] telah melakukan penelitian mengenai deformasi pipa akibat beban *impact transversal* dari jangkar jatuh menggunakan metode ini. Berikut persamaan 2 sampai 7 yang mendeskripsikan *numerical method* tiga dimensi *impact* jangkar ke pipa oleh Yu dkk [1] :

Persamaan gerak jangkar :

$$m_a \vec{u}_a^t = \vec{Q}_a^{t+dt} + \vec{F}_a^t \quad (2)$$

Persamaan *explicit dynamical* pada pipa :

$$M \left( \frac{\vec{u}^{t+dt} - 2\vec{u}^t + \vec{u}^{t-dt}}{dt^2} \right) = \vec{Q}^{t+dt} - \vec{F}^t dt \quad (3)$$

Persamaan asumsi jangkar mengenai pipa :

$$\begin{bmatrix} M & \alpha T \\ \alpha & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\vec{u}^t \\ \vec{f}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dt^2(\vec{Q}^{t+dt} - \vec{F}^t) + M d\vec{u}^{t+dt} \\ d\vec{u}_a^t \end{bmatrix} \quad (4)$$

Persamaan gaya *impact* pada pipa :

$$\vec{F}_a^t = -\vec{F}^c \quad (5)$$

Persamaan kecepatan jangkar :

$$\vec{u}_a^{t+dt} = \vec{u}_a^t + \vec{u}_a dt \text{ dimana } \vec{u}_a = \frac{\vec{Q}_a + \vec{F}_a}{m_a} \quad (6)$$

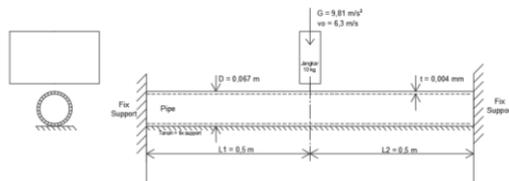
Persamaan peningkatan *displacement* jangkar :

$$d\vec{u}_a^{t+dt} = \vec{u}_a^{t+dt} dt \quad (7)$$

## 2.2 Boundary Condition

Pada simulasi *impact* kondisi pipa menempel dengan tanah. Tanah diasumsikan sebagai benda tegar dan *fix support* untuk pipa. Material pipa Q235B dengan *elastis modulus* 200 GPa, *yield stress* 256,5 MPa, *ultimate stress* 442,66 MPa, *ultimate strain* 22,03 % dan *bulk modulus*  $1.6667 \times 10^{11}$ . Ujung pipa diasumsikan sebagai *both end fix*. *Impact* jangkar berada pada posisi tengah pipa dengan arah tegak lurus terhadap sumbu pipa. *Body* jangkar diasumsikan berbentuk balok dengan luas penampang 0,0848 m x 0,0617 m. Jangkar memiliki massa jenis sebesar 7850 m/s dengan massa 10 kg. Kecepatan jangkar 6,3 m/s dengan mempertimbangkan gaya gravitasi.

Pada simulasi ini ukuran mesh divariasikan. Variasi mesh terletak pada area pipa dan alas jangkar. Terdapat tiga variasi, yaitu kondisi A berjumlah 207961 kondisi B berjumlah 253200 kondisi C berjumlah 296288. Berikut adalah gambar skematik dari *problem domain* yang ditunjukkan pada Gambar 1.

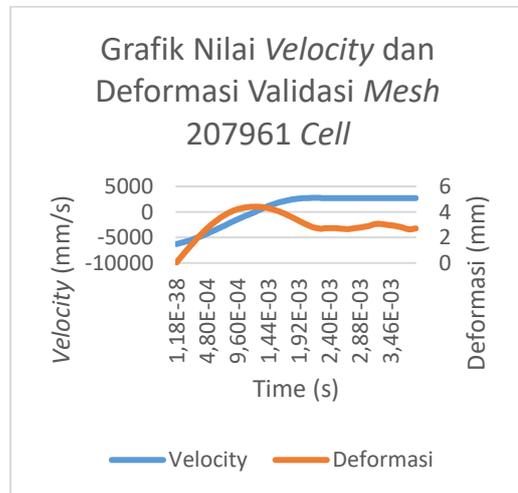


Gambar 1. Skematik dari Problem Domain

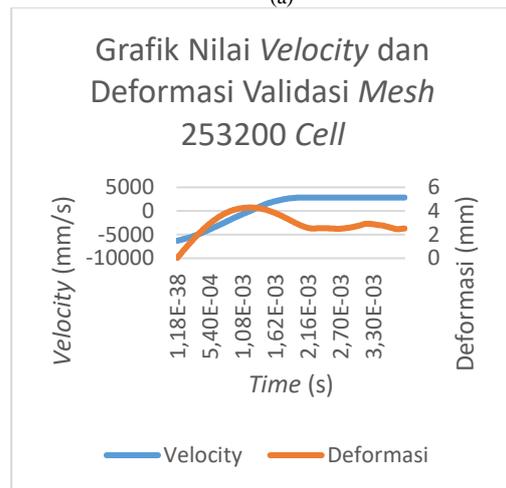
## 3. HASIL & PEMBAHASAN

Hasil dari simulasi dari *explicit dynamic* adalah berupa grafik dan tabel. Nilai deformasi harus mencapai nilai *velocity* 0 m/s atau negatif. Hal ini bermaksud bahwa jangkar sudah kembali ke keadaan semula (tidak menumbuk

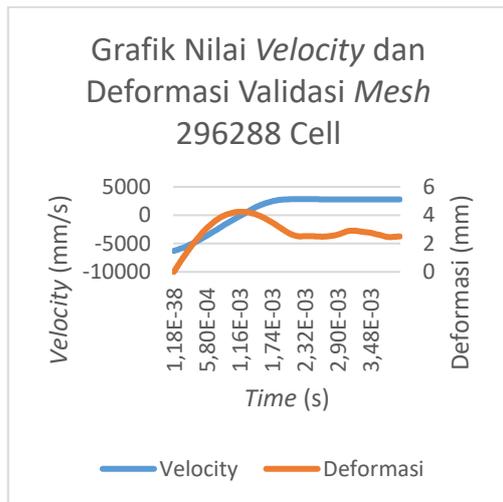
lagi). Pada grafik nilai deformasi terdapat tiga tahapan yaitu tahap pertama ketika benda terdeformasi saat *velocity* jangkar masih negatif atau kurang dari 0 (jangkar masih menumbuk benda). Biasanya ditandai dengan grafik deformasi naik. Tahap kedua benda terdeformasi ketika *velocity* jangkar positif atau lebih dari 0. Artinya benda sudah kembali ke keadaan semula (sudah tidak menumbuk benda). Biasanya ditandai dengan grafik deformasi turun. Yang terakhir ketika benda terdeformasi plastik. Hal ini ditandai dengan nilai *velocity* jangkar konstan dan grafik deformasi mulai datar. Pada tahap ketiga itulah nilai deformasi digunakan. Berikut adalah grafik nilai *velocity* dan deformasi validasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.



(a)



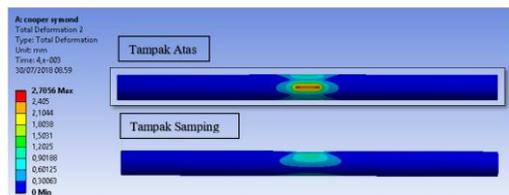
(b)



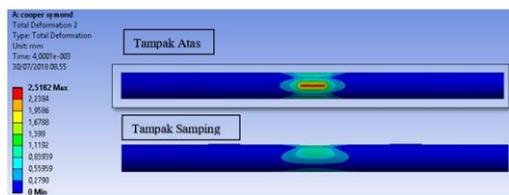
(c)

Gambar 2. Grafik Nilai Velocity dan Deformasi Validasi, (a) Kondisi A, (b) Kondisi B, (c) Kondisi C

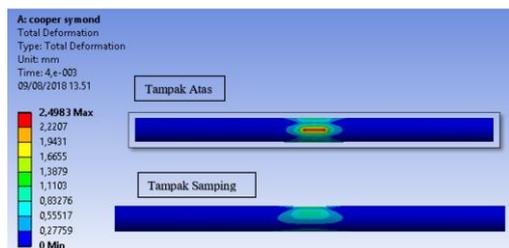
Berikut adalah kontur hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Kontur Deformasi pipa (a) kondisi A, (b) kondisi B, (c) kondisi C

Berikut adalah nilai kecepatan dan dent depth hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kecepatan dan Dent Depth Hasil Simulasi

No.	Kondisi Model	Jumlah Mesh	Dent Depth Pipa	Dent Depth Eksperimen oleh Yu dkk [1]	Error (%)
1	Kondisi A	207961	2,7056 mm	2,61 mm	3,66
2	Kondisi B	253200	2,5182 mm		-3,52
3	Kondisi C	296288	2,4723 mm		-5,28

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa metode *explicit dynamic* model *cowper symonds* strength dapat digunakan untuk studi numerik *impact* benda terhadap pipa. Hal ini berdasar kepada hasil komparasi dari hasil studi numerik dengan eksperimen yang telah dilakukan oleh Yu dkk pada tahun 2016 [1] yang menunjukkan bahwa nilai eror kurang dari 6%.

#### 5. PUSTAKA

- [1] Yu J X, Zhao Y Y, Li T Y and Yu Y (2016) A three-dimensional numerical method to study pipeline deformations due to transverse impacts from dropped anchors *Thin-Walled Struct.* **103** 22–32
- [2] Arabzadeh H and Zeinoddini M (2011) Dynamic response of pressurized submarine pipelines subjected to transverse impact loads *Procedia Engineering* vol 14 pp 648–55
- [3] Dou Y. (2013) Imece2013-62971 Computational Study of Lateral Impact Behavior of Pressurized 15–21
- [4] Dou Y and Liu Y (2015) Computational investigation of lateral impact behavior of pressurized pipelines and influence of internal pressure *Thin-Walled Struct.* **95** 40–7
- [5] DNV 2010 DNV-RP-F107: Risk Assessment of Pipeline Protection *Mater. Technol.* 1–45
- [6] Allouti M, Schmitt C, Pluvinage G, Gilgert J and Hariri S (2012) Study of the influence of dent depth on the critical pressure of pipeline *Eng. Fail. Anal.* **21** 40–51