

Model Dinamika Sistem Untuk Analisis Resiliensi Pelabuhan (Port Resilience) (Studi Kasus: Pelabuhan Pantoloan)

System Dynamics Model For Port Resilience Analysis (Case Study: Pantoloan Port)

Intan Puspa Wangi ^{a,1*}

^a Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

¹ intanpuspawangi@unj.ac.id

*corresponding e-mail: intanpuspawangi@unj.ac.id

ABSTRACT

Sea port is one of the important infrastructures in its role as a gateway of economic activity. Unfortunately, port is exposed to both natural and non-natural disasters. One example is the earthquake and tsunami that hit Palu Sulawesi in 2018 resulting in the Pantoloan Port to be turn off which is the largest port in Central Sulawesi Province. Therefore, it needs to improve awareness of port resilience as an effort to mitigate future disasters. The methodology uses the dynamics system model using VENSIM software. This research begins with damage assessment after disaster, then conducted a secondary survey for recovery carried out to restore port performance. The performance under review is a capacity container that works at the port. Then the scenario test is carried out. The first scenario is robustness, which is increasing the ability to maintain a certain level in the form of a sea wall. The second scenario is rapidity, which means increasing the ability to achieve goals, in accordance with future needs in the form of disaster preparedness at the port. And the third scenario is a combination of robustness+rapidity scenarios. The result of the base case modeling is that the port can return to normal as it was at the 140th post-disaster day with a total loss of 16.856 boxes. This is equivalent to a loss of almost 50% per day. Whereas the robustness+rapidity condition is the best scenario where the port functions normally on the 60th day and the total loss is only 9859 boxes.

Keywords : *Pantoloan Port, disaster, resilience, system dynamics model*

ABSTRAK

Pelabuhan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam perannya sebagai pintu gerbang dalam kegiatan perekonomian. Namun sayangnya, pelabuhan rentan terekspos oleh bencana, baik bencana alam maupun non-alam. Salah satu contohnya adalah bencana gempa bumi dan tsunami yang menghantam Palu Sulawesi pada 2018 mengakibatkan lumpuhnya Pelabuhan Pantoloan yang merupakan pelabuhan terbesar di Provinsi Sulawesi Tengah. Untuk itulah, perlu adanya kesadaran meningkatkan resiliensi pelabuhan sebagai upaya mitigasi bencana di masa depan. Metodologi yang digunakan adalah dengan model dinamika sistem dengan menggunakan software VENSIM. Penelitian ini diawali dengan identifikasi besarnya

kerusakan akibat bencana kemudian dilakukan survei sekunder untuk mengetahui upaya pemulihan yang dilakukan untuk mengembalikan performa pelabuhan. Performa yang ditinjau adalah kapasitas container crane yang bekerja di pelabuhan. Kemudian dilakukan uji skenario. Skenario pertama adalah robustness yaitu meningkatkan kemampuan untuk menahan tingkat kegagalan tertentu dalam bentuk tanggul laut (sea wall). Skenario kedua adalah rapidity yaitu meningkatkan kemampuan untuk mencapai tujuan secara tepat waktu untuk mencegah kerugian di masa depan dalam bentuk kesiapsiagaan bencana di pelabuhan. Dan skenario ketiga adalah penggabungan antara skenario robustness+rapidity. Hasil pada pemodelan base case adalah pelabuhan baru bisa kembali normal seperti sedia kala adalah pada hari ke-140 pascabencana dengan kerugian total sebesar 16.872 box. Angka ini setara kerugian sebesar nyaris 50% per harinya. Sedangkan pada kondisi robustness+rapidity merupakan skenario terbaik dimana pelabuhan berfungsi normal pada hari ke-60 dan total kerugian hanya 9.467 box.

Kata kunci : Maksimal lima kata kunci (Font Times New Roman 12 point, 1 spasi)

A. Pendahuluan

Perkembangan sektor maritim nasional masih sangat terbatas. Pelabuhan sebagai pintu gerbang infrastruktur sektor maritim rentan dari beragam jenis gangguan yang bisa terjadi tanpa prediksi. Dari sejumlah bencana yang terjadi di pelabuhan, hanya terdapat beberapa bencana yang memiliki dampak penurunan performa yang massif. Bencana tersebut adalah tsunami. 28.612 kapal laut, 319 pelabuhan, dan sekitar 1.725 fasilitas laut rusak akibat tsunami, yang membawa kerugian ekonomi sekitar US\$ 12 miliar (Muhari et al., 2015). Indonesia yang berada di wilayah cincin api pasifik (ring of fire) termasuk negara rawan bencana alam geologi patut mewaspadaai akibat buruk yang ditimbulkan dari bencana tsunami terhadap pelabuhan. Perencanaan dan desain pelabuhan umumnya memberikan atensi kepada peningkatan efisiensi tanpa

memberikan perhatian lebih terhadap ketangguhan pelabuhan menghadapi risiko kejadian yang bersifat merusak sistem operasional. Kejadian-kejadian atas malfungsinya pelabuhan saat terjadi bencana terjadi salah satunya akibat sebagian besar investor menginvestasikan sedikit waktu dan sumber daya yang lebih sedikit ke ranah manajemen risiko (Rice & Caniato, 2003);(Zsidisin et al., 2000);(Zsidisin et al., 2004). Selain itu, penanganan bencana di Indonesia masih kurang efektif disebabkan oleh antara lain paradigma penanganan bencana yang parsial, sektoral dan kurang terpadu, yang masih memusatkan tanggapan pada upaya pemerintah, sebatas pemberian bantuan fisik, dan dilakukan hanya pada fase kedaruratan (Peraturan Menteri dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2006, 2006). Padahal, ada bukti kuat bahwa peristiwa

bencana alam dan non-alam akan terjadi lebih sering (Coleman, 2006).Tampaknya kesiapsiagaan bencana yang mengarah ke resiliensi merupakan strategi alternatif untuk mengatasi gangguan rantai suplai (Melnik et al., 2009) di pelabuhan dan untuk mendapatkan keunggulan kompetitif di ranah logistik global. Tema-tema resiliensi kemudian mendapat perhatian lebih dari para peneliti dalam konteks proteksi pelabuhan, namun masih sangat jarang penelitian yang mengangkat tema resiliensi pelabuhan di Indonesia.

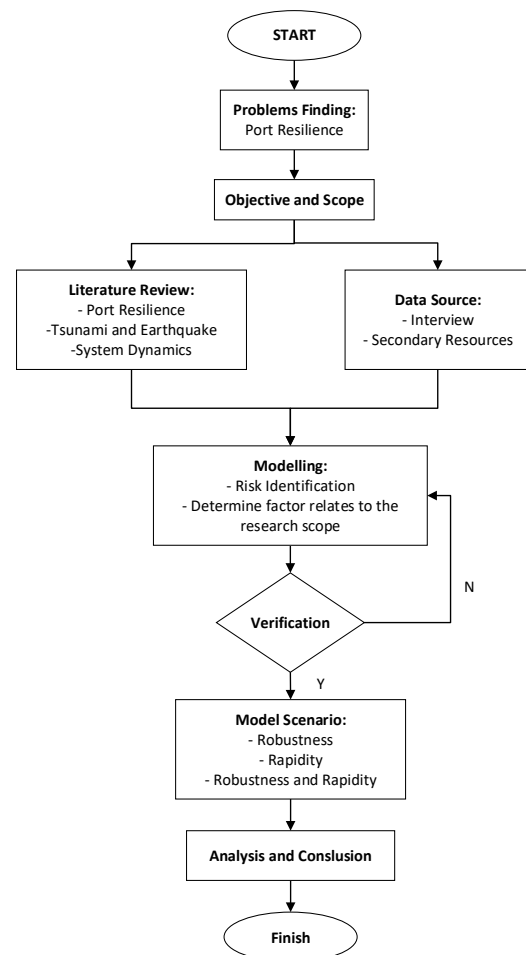
Dalam penelitian ini penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

- Seberapa besar dampak yang ditimbulkan akibat bencana tsunami terhadap performa pelabuhan?
- Bagaimana meningkatkan sistem resiliensi pelabuhan dengan menggunakan model simulasi dinamika sistem?
- Apa saja alternatif dan solusi untuk meningkatkan sistem resiliensi pelabuhan?

Sesuai dengan perumusan masalah yang ada maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memodelkan sistem resiliensi pelabuhan dengan menggunakan model simulasi dinamika sistem. Dimana subbab tujuannya sebagai berikut:

- Identifikasi indikator yang ditimbulkan akibat tsunami pada performa pelabuhan
- Identifikasi faktor-faktor yang terkait dengan resiliensi dan kecepatan pemulihan pelabuhan pascabencana
- Mengevaluasi skenario untuk meningkatkan sistem resiliensi pelabuhan menggunakan model dinamika sistem

B. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Keseluruhan rencana tahapan kegiatan dalam penelitian ini dapat dilihat

pada bagan alir penelitian sebagaimana disajikan dalam Gambar 1.

Tahap Persiapan

Tahap persiapan diawali dengan mengidentifikasi permasalahan transportasi terkait resiliensi pelabuhan, sehingga peneliti dapat memperoleh sejumlah masalah dan dapat menentukan fokus masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini. Selanjutnya, ditentukan tujuan dan ruang lingkup penelitian, serta batasan-batasan yang akan digunakan dalam penelitian.

Tahap Kajian Literatur

Pendekatan penelitian adalah menggunakan pendekatan studi literatur penelitian kepustakaan dengan mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Penelitian kepustakaan (*literature review*) ialah penelitian yang menggunakan cara untuk mendapatkan data informasi dengan menempatkan fasilitas yang ada di perpustakaan, seperti buku, majalah, dokumen, serta hasil temuan dari paper dan jurnal yang terpercaya.

Tahap Pengumpulan Data

Dari seluruh gambaran mengenai kerusakan pada pelabuhan dan menyesuaikan batasan masalah pada penelitian yang hanya fokus pada aktivitas bongkar muat barang, maka data *berth*

throughput (BTP) pelabuhan selama proses pemulihan hingga pelabuhan berfungsi normal kembali harus didapatkan. Namun dikarenakan keterbatasan peneliti serta keterbatasan data dalam menangkap kondisi real di lapangan, maka penelitian ini akan fokus pada kinerja container crane sebagai tolok ukur performa yang akan diukur. Kinerja dan performa kapasitas *container crane* diasumsikan paling mendekati data BTP pelabuhan pascabencana yang relatif sulit didapatkan.

Data sekunder yang dikumpulkan untuk penelitian ini yaitu terdiri dari dua jenis:

1. Data Input

- a) *Time Frame*. Pada pemodelan harus ditetapkan initial time dan final time simulasi yang ditetapkan berdasarkan kondisi yang ingin diteliti.
- b) *Magnitude*. Besarnya magnitudo gempa saat bencana terjadi
- c) *Operation Time* dan *Down Time*. Waktu operasi adalah waktu efektif proses bongkar muat di Pelabuhan Pantoloan. Sedangkan *down time* adalah waktu yang digunakan untuk perbaikan elemen CC yang rusak sehingga tidak bisa dipergunakan dalam jangka waktu tertentu.

d) *Initial capacity* adalah performa normal kegiatan bongkar muat di pelabuhan.

2. Data Validasi

a) *Tsunami Height*. Pada penelitian ini, yang dimaksud tsunami height adalah *inundation height* (IH)

b) *Crane Capacity* yaitu data kapasitas *container crane* pada Pelabuhan Pantoloan per jam.

c) *Crane Capacity per Day* yaitu data kapasitas *container crane* pada Pelabuhan Pantoloan per hari.

Tahap Pemodelan Sistem

Pada tahapan ini, model mulai dibangun dengan penetapan variabel-variabel dengan menggunakan dinamika sistem. Pemodelan akan menggunakan software Vensim PLE.

Pada tahap pemodelan, terdapat dua tahap yang harus dilakukan antara lain:

1. *Causal-Loop Diagram (CLD)*

a) Tahap identifikasi kerusakan

Tahapannya antara lain:

- Mendapatkan data magnitudo gempa
- Menggunakan rumus untuk memprediksi ketinggian tsunami akibat terpicu oleh getaran gempa. Rumus yang digunakan didapatkan dari penelitian

Suppasri dkk. (Suppasri et al., 2013)

$$M = 1,81911 \log H + 6,3458 \quad (1)$$

dimana:

M: magnitudo gempa bumi

H: maksimum tinggi tsunami

- Membandingkan antara ketinggian tsunami dengan ketinggian *sea wall*.
- b) Tahap penentuan faktor yang berhubungan dengan *port resilience* khususnya pada segi *robustness* dan *rapidity* disesuaikan dengan batasan masalah pada penelitian ini antara lain:
 - Ketersediaan *crane* pada pelabuhan (*crane availability*)
 - Aktivitas pemulihan (*recovery activity*) fungsi pelabuhan oleh BNPB dan Pelindo IV.

2. *Stock-Flow Diagram (SFD)*

Tahap selanjutnya dilakukan dengan menginput persamaan matematika dari tiap-tiap variabel untuk membantu membentuk model simulasi yang lengkap.

Tahapan pembuatan SFD menggunakan Vensim adalah sebagai berikut:

- a. Setelah model CLD terbangun, input model persamaan matematika antar variabel, level dan rate. Tahap ini merupakan inti dari pembangunan model dimana persamaan-persamaan matematika yang diinput akan

menentukan output model yang akan ditampilkan dalam grafik atau tabel.

- b. Tahap selanjutnya adalah running model yang sudah dibangun.
- c. Jika proses simulasi sudah selesai, maka output simulasi dapat ditampilkan dalam bentuk grafik atau tabel.

Tahap Skenario Model

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini maka model yang telah dibangun tersebut akan dibuat suatu skenario dengan cara untuk meningkatkan resiliensi pelabuhan. Skenario yang hendak dibangun dalam pemodelan ini adalah:

- a. *Base Scenario*, yaitu pemodelan berdasarkan kondisi sebenarnya di lapangan
- b. Skenario *Robustness*. Pemodelan yang ditingkatkan pada aspek robustness yaitu menginput tinggi *sea wall* agar meningkatkan fitur *robustness*
- c. Skenario *Rapidity*. Pemodelan yang ditingkatkan pada aspek *rapidity* yaitu menginput penambahan level kesiapsiagaan bencana agar meningkatkan fitur *rapidity*
- d. Skenario *Robustness-Rapidity*. Pemodelan ini menginput tinggi *sea wall* dan penambahan level manajemen pascabencana agar meningkatkan kedua fitur (*robustness* dan *rapidity*).

Tahap Analisis dan Kesimpulan

Data hasil simulasi skenario kemudian akan dianalisis untuk penentuan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan pada hasil yang diinginkan, tahapan ini dapat diputuskan kebijakan yang terbaik terhadap peningkatan resiliensi pelabuhan dari bencana tsunami akibat gempa bumi.

C. Hasil dan Pembahasan

Penyajian Data

Ada empat jenis data input seperti yang sudah dijelaskan:

- a) *Time Frame*. Dalam pemodelan penelitian ini, total waktu (*Final Time*) adalah 150 hari dihitung sejak gempa dan tsunami datang pada 28 September 2018.
- b) *Magnitude*. Besaran magnitudo gempa bumi di Palu pada 28 September 2018 adalah sebesar 7.4 M. Gempa bumi ini memicu longsor di bawah permukaan laut yang membangkitkan tsunami di pesisir pantai barat Sulawesi Tengah.
- c) *Operation Time* dan *Down Time*. Tabel waktu operasi bongkar muat pelabuhan terdapat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Waktu operasi bongkar muat Pelabuhan Pantoloan

TANGGAL	WAKTU OPERASI
---------	---------------

		JENIS CRANE	TANGGAL	KAPASITAS TERPASANG
28 Sept 2018	13 jam			
29 Sept 2018	0 jam (tidak beroperasi)	1 Container Crane	28 Sept 2018	20 box/CC/jam
30 Sept 2018-12 Oktober 2018	8 jam	-	29 Sept 2018	0 box/CC/jam
13 Oktober 2018-14 Februari 2019	13 jam	2 Mobile Crane	30 Sept 2018	14 box/jam
15 Februari 2019	13 jam	1 Container Crane	28 Januari 2019	20 box/CC/jam

d) *Initial Capacity*. *Initial capacity* pelabuhan sebelum kejadian gempa bumi dan tsunami adalah sebesar 260 box/cc/hari dikarenakan belum adanya fasilitas yang terganggu saat keadaan pelabuhan dalam keadaan normal.

Sedangkan untuk data validasi didapatkan data sebagai berikut:

a) *Tsunami Height*. Pada survei Imamura, dkk (2018), didapatkan inundation height pada Pelabuhan Pantoloan adalah setinggi 4,9 m sedangkan inundation depth setinggi 2,6 m (Imamura et al., 2018).

b) *Crane Capacity*. Sebelum gempa bumi dan tsunami, Pelabuhan Pantoloan memiliki satu buah container crane dengan kapasitas bongkar muat sebesar 20 box/CC/jam (DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT SK DJPL Nomor UM. 002/38/13/18/DJPL-11, n.d.) Berikut adalah kapasitas crane di pelabuhan per jamnya:

Tabel 2. Kapasitas crane yang terpasang di Pelabuhan Pantoloan

c) *Crane Capacity per Day*

Berikut adalah kapasitas crane di pelabuhan per harinya:

Tabel 3. *Crane Capacity per Day*

JENIS CRANE	TANGGAL	KAPASITAS TERPASANG
1 Container Crane	28 Sept 2018	260 box/cc/hari
-	29 Sept 2018	0
2 Mobile Crane	30 Sept 2018-13 Oktober 2018	112 box/hari
2 Mobile Crane	14 Oktober 2018-14 Februari 2019	182 box/hari
Container Crane	15 Februari 2019	260 box/cc/hari

Pemodelan Dinamika Sistem

Pada tahap pemodelan, terdapat dua tahap yang harus dilakukan antara lain:

1. *Causal-Loop Diagram (CLD)*

Terdiri atas dua subsistem yaitu subsistem *Destruction* dan subsistem *Recovery Activity*. Setelah dijabarkan pemodelan CLD per subsistem, maka dua subsistem digabungkan agar menjadi *causal loop diagram* yang lengkap. Gambar 2 adalah final CLD yang akan digunakan dalam pemodelan dinamika sistem.

2. *Stock-Flow Diagram (SFD)*

Pada pemodelan dalam penelitian ini akan digunakan beberapa fungsi atau *equation* yang terdapat pada software

Vensim. Pembangunan skenario pemodelan penelitian ini hanya membangun skenario dari dua fitur yaitu fitur *robustness* dan *rapidity*.

a. Fitur *robustness* yang berarti menurunkan vulnerabilitas atau kerentanan diwakilkan dengan variabel *Height of Sea Wall* dimana diasumsikan dengan adanya *sea wall* (tanggul laut) dapat menurunkan *damage impact* pada lokasi yang terkena hantaman tsunami (Nateghi et al., 2016) selama tanggul tersebut tidak runtuh atau ketinggiannya lebih tinggi dibandingkan tinggi tsunami.

b. Fitur *rapidity* yang berarti mempercepat *recovery time* atau pemulihan pascabencana dengan meningkatkan sistem manajemen dan pengetahuan kebencanaan oleh birokrasi terkait diwakilkan dengan variabel *Disaster Preparedness*. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa ada hubungan yang jelas antara standar pengambilan keputusan manajemen pascabencana baik dalam kecepatan dan kualitas pemulihan (Platt, 2018)

c. Dalam penelitian ini metode kualifikasinya adalah jika persiapan bencana yang dilakukan memiliki kualitas yang baik maka rasionya

semakin mendekati 4 sedangkan semakin buruk akan mendekati 0.

Skenario yang dibangun dalam pemodelan ini adalah:

Tabel 4. Skenario Model Pada Penelitian

VARIABEL	MAGNITUDE	HEIGHT OF SEA WALL	DISASTER PREPAREDNESS
Base Case	7.4 M	0 m (tidak ada sea wall)	0.5
Skenario 1 (Robustness)	7.4 M	2 m (dari muka level air laut)	2
Skenario 2 (Rapidity)	7.4 M	0 m (tidak ada sea wall)	3
Skenario 3 (Robustness-Rapidity)	7.4 M	2 m (dari muka level air laut)	3

Hasil Pemodelan

1. Variabel *Crane Capacity per Day*

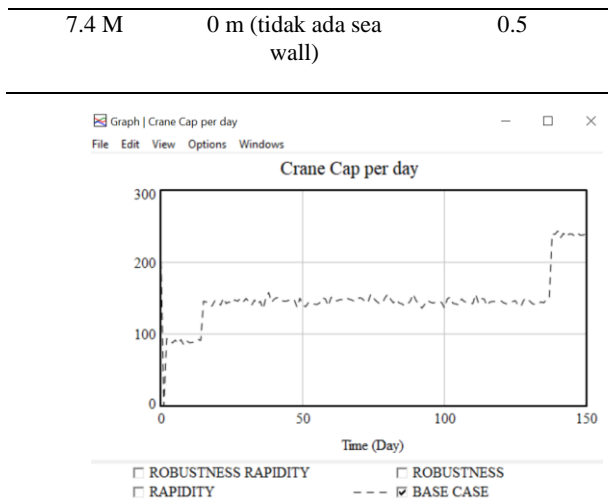
Pada penelitian ini pelabuhan dikatakan kembali beraktivitas normal adalah saat kapasitas *crane* kembali normal sebesar 20 box/cc/jam. Meskipun pada kondisi normalnya kapasitas tersebut tidak tercapai sepenuhnya dikarenakan faktor *human error*, namun dengan kembalinya *crane* dengan kapasitas yang sama seperti sebelum bencana adalah penanda bahwa pelabuhan sudah kembali normal.

a) *Base Case*

Nilai yang diinput pada variabel simulasi adalah nilai pada kondisi *real* yaitu dengan data sbb:

Tabel 5. Input nilai pada kondisi *Base Case*

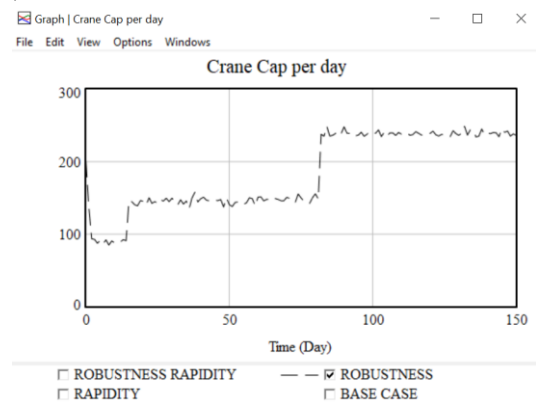
MAGNITUDE	HEIGHT OF SEA WALL	DISASTER PREPAREDNESS
-----------	--------------------	-----------------------



Gambar 2. Grafik hasil simulasi Crane Capacity per Day kondisi Base Case

Pada grafik di Gambar 2 terlihat grafik tersebut memiliki garis fluktuatif naik dan turun. Kefluktuatifan ini diakibatkan oleh adanya variabel *Human Factor* yang memiliki rumus *Random Normal*. Hal ini didasari oleh pada prakteknya di lapangan, kapasitas *crane* berubah-ubah akibat adanya *human error* seperti tingkat produktivitas operator, kondisi manajemen yang tidak stabil, tingkat pemahaman akan pengoperasian alat yang berbeda-beda tiap operator, dan lain-lain. Dikarenakan kerandoman pola *human error* tersebut, maka digunakanlah rumus *Random Normal*.

b) Skenario Robustness



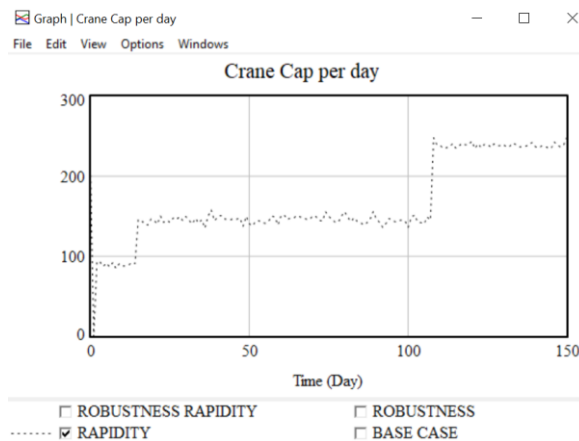
Gambar 3. Grafik hasil simulasi Crane Cap per Day skenario Robustness

Pada *base case*, tidak ada tanggul laut sehingga diinput 0 m. Namun pada skenario *robustness*, disimulasikan dengan pengadaan tanggul laut setinggi 2 m dan variabel *Disaster Preparedness* memiliki poin 2 dikarenakan pengadaan tanggul laut sendiri sudah termasuk bagian kesiapsiagaan bencana alam yang lebih baik.

Pada skenario *robustness*, pada hari ke-1 pascabencana, pelabuhan mampu mempertahankan kapasitas *crane* dari yang semula lumpuh total menjadi separuhnya yaitu 52% setelah diintervensi oleh tanggul laut setinggi 2 m sehingga memiliki kapasitas sebesar 137 box/hari. Dikarenakan pelabuhan tidak mengalami kelumpuhan tersebut, maka proses pemulihanpun ikut berdampak sehingga pemulihan lebih cepat dibandingkan pada kondisi *base case*. Selain itu diasumsikan bahwa pada skenario *robustness*

dikarenakan CC tidak roboh, maka tidak didatangkan CC baru namun hanya perbaikan yang dilakukan. Imbasnya, pada skenario inipun tidak ada *down time* saat pengadaan CC baru. CC yang selesai diperbaiki disimulasikan berfungsi kembali pada hari ke-82 yaitu pada 19 Desember 2018, lebih cepat 58 hari dibandingkan pada kondisi *base case*.

c) Skenario *Rapidity*



Gambar 4. Grafik hasil simulasi *Crane Cap per Day* skenario *Rapidity*

Skenario *rapidity* berarti mempercepat *recovery time* atau pemulihan pascabencana dengan meningkatkan sistem manajemen dan pengetahuan kebencanaan oleh birokrasi terkait diwakilkan dengan variabel *Disaster Preparedness*.

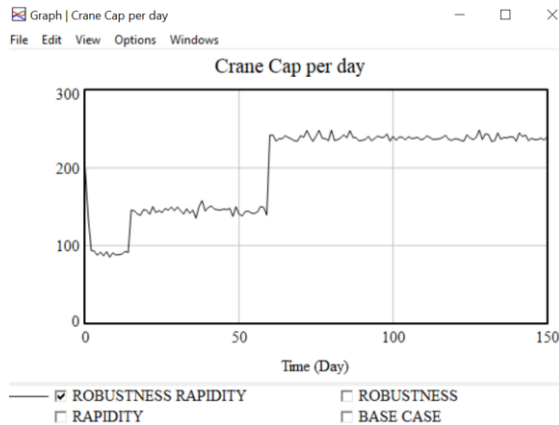
Pada skenario *rapidity*, pada hari ke-1 pascabencana, pelabuhan tetap lumpuh total 100% dikarenakan tidak ada penahan arus tsunami berupa tanggul laut atau *sea wall*. Namun, pada kondisi ini pelabuhan

memiliki kesiapsiagaan bencana yang lebih baik, meningkat poinnya dari semula 0,5 menjadi 3. Poin ini mengartikan pelabuhan mampu dan memiliki rencana mitigasi bencana sehingga berdampak semakin baiknya proses koordinasi untuk pengadaan CC yang baru. Dikarenakan hal tersebut, maka proses pemulihanpun ikut berdampak sehingga pemulihan lebih cepat. CC berfungsi kembali pada hari ke-108 yaitu pada 14 Januari 2019, lebih cepat 32 hari dibandingkan pada kondisi *base case*.

d) Skenario *Robustness+Rapidity*

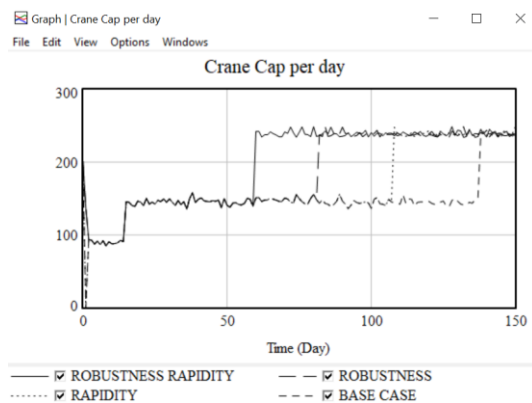
Pada skenario *robustness+rapidity* akan mengintervensi dua variabel yaitu variabel *Height of Sea Wall* dan variabel *Disaster Preparedness* yang merupakan representasi ketangguhan sekaligus kesiapsiagaan pelabuhan terhadap bencana termasuk ancaman tsunami.

Dengan ketidaklumpuhan CC akibat adanya tanggul laut setinggi 2 m dan kesiapsiagaan bencana yang lebih baik dengan nilai *Disaster Preparedness* sebesar 3, maka mampu mempercepat pemulihan pelabuhan agar kembali normal. Pada akhirnya, pelabuhan kembali normal di hari ke-60 pada tanggal 27 November 2018, lebih cepat 80 hari dibandingkan skenario *base case*.



Gambar 5. Grafik hasil simulasi Crane Cap per Day skenario Robustness dan Rapidity

Grafik simulasi pada *base case* serta tiga skenario *do something* (*robustness*, *rapidity*, *robustness+rapidity*) terangkum pada Gambar 8. Dapat dilihat bahwa pada kondisi *base case*, pelabuhan kembali normal dalam waktu yang paling lama sedangkan skenario *robustness+rapidity* pelabuhan kembali normal pada waktu yang paling cepat.



Gambar 6. Grafik hasil simulasi Crane Capacity per Day kondisi Do Something

2. Variabel *Cumulative Total Loss in 150 days*

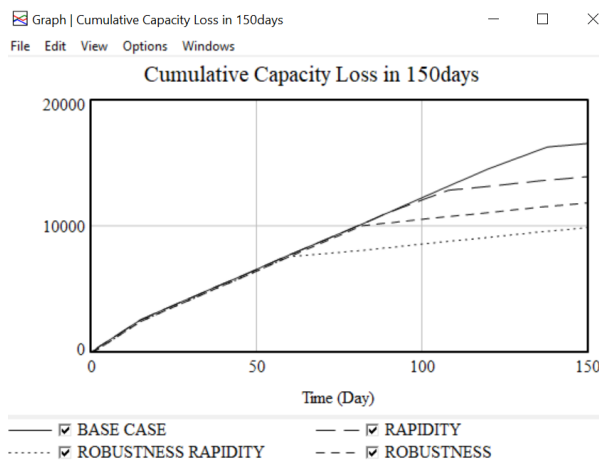
Persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 & \text{Cumulative Capacity Loss} \\
 &= \sum_{n=1}^{150} (\text{Initial Capacity} - \text{Daily Capacity Loss})
 \end{aligned}$$

Kerugian pada variabel ini diasumsikan dengan besarnya jumlah box yang tidak terangkut apabila terjadi kerusakan *crane* pascabencana. Pada 15 hari pertama pascabencana, angkutan barang yang diproses merupakan bagian dari bantuan kemanusiaan dan umumnya tidak ditarik biaya, namun pada hari ke-15 dan seterusnya pelabuhan telah beroperasi dengan jam operasi normal meskipun belum terpasang *container crane*. Hal ini merupakan kerugian yang diterima oleh pelabuhan jika kapasitas bongkar muat tidak segera kembali normal. Hasil simulasi pada keempat skenario terdapat pada Gambar 8.

Hasil pada grafik tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi *base case*, kerugian total yang dialami oleh pelabuhan selama 150 hari dihitung sejak 28 September 2018 adalah sebesar 16.872 box. Kerugian ini setara 110 box per hari. Padahal kapasitas maksimum yang dapat ditampung oleh pelabuhan adalah 260 box per hari. Hal ini mengindikasikan bahwa

pelabuhan mengalami kerugian dalam proses bongkar muat nyaris separuh dari performa dan kapasitas bongkar muat jika dibandingkan pada hari normal atau kerugian sebesar 42% per hari. Padahal, Pelabuhan Pantoloan merupakan pelabuhan terbesar dan tersibuk di Provinsi Sulawesi Tengah dan juga sebagai pusat perdagangan menuju kawasan Indonesia bagian timur. Maka dengan lumpuhnya separuh operasional bongkar muat pelabuhan, akan berdampak signifikan bagi wilayah *hinterland* pelabuhan.



Gambar 7. Grafik hasil simulasi Cumulative Capacity Loss in 150 days skenario Base Case dan tiga skenario do something

Tabel 6. Total kerugian kumulatif pada Base Case dan tiga skenario Do Something

NO	SKENARIO	TOTAL KERUGIAN (BOX)
1	Base Case	16.872
2	Robustness	11.461

3	Rapidity	14.076
4	Robustness dan Rapidity	9.467

Meskipun hasil pada analisis menunjukkan bahwa skenario *robustness* lebih unggul, namun perlu dipertimbangkan besarnya gap antara *base case* dengan skenario *robustness*. Pada skenario *base case*, poin variabel *Disaster Preparedness* adalah 0,5 atau termasuk kategori sangat buruk. Sedangkan pada kondisi skenario *Rapidity*, poinnya sebesar 2 atau tergolong kategori cukup baik. Untuk meningkatkan poin hingga level 2, dibutuhkan waktu yang relatif lama untuk membangun kesadaran kesiapsiagaan bencana di negeri ini yang masih minim. Hal ini dikarenakan dalam membangun kebijakan, diperlukan sinergitas antara banyak lembaga. Selain itu perlu ditinjau pula pada besarnya biaya yang diperlukan untuk membangun *sea wall* yang tentu tidak murah. Sehingga meskipun skenario *robustness* memiliki kerugian yang minim, namun usaha yang diperlukan akan memakan waktu dan energi yang tidak sedikit.

D. Simpulan

- a) Akibat yang ditimbulkan oleh bencana tsunami (*damage impact*) memiliki dampak yang signifikan pada performa pelabuhan. Dalam model dihasilkan bahwa performa pelabuhan menurun total sebesar 100% dimana pelabuhan

tidak berfungsi selama 1 hari diakibatkan oleh gempa berkekuatan 7,4 M dan pelabuhan dihantam tsunami setinggi 3,79 meter.

- b) Skenario yang dievaluasi adalah skenario dalam aspek meningkatkan fitur *robustness* dan *rapidity*.
- c) Hasil *running* permodelan adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Total kerugian kumulatif pada *Base Case* dan tiga skenario *Do Something*

ASPEK	URUTAN
Performa terbaik dalam segi waktu pemulihan	1. Skenario 3: 60 hari
	2. Skenario 1: 82 hari
	3. Skenario 2: 108 hari
	4. <i>Base Case</i> : 140 hari
Performa terbaik dalam segi total kerugian	1. Skenario 3: 9.859 box
	2. Skenario 1: 11.830 box
	3. Skenario 2: 13.924 box
	4. <i>Base Case</i> : 16.586 box

- d) Alternatif kebijakan untuk meningkatkan ketahanan pelabuhan:

- Membangun *sea wall* pada wilayah pantai yang rawan gempa dan tsunami.
- Memperbaiki sistem kesiapsiagaan bencana yang bertanggung jawab dalam upaya pemulihan pelabuhan pascabencana.

- Jika aspek *robustness* dan *rapidity* dilakukan secara bersama maka menghasilkan performa yang paling baik.
- Skenario *robustness* adalah lebih baik dibandingkan kondisi meningkatkan kesiapsiagaan bencana. Hal ini dikarenakan pada skenario *robustness* secara tidak langsung sudah termasuk adanya persiapan kesiapsiagaan bencana yang lebih baik bila dibandingkan dengan kondisi *base case*. Adanya tanggul laut adalah sebuah indikasi bahwa *stakeholder* telah mengetahui urgensi kesiapsiagaan bencana pada wilayah yang rawan gempa dan tsunami sehingga didirikanlah tanggul laut pada wilayah tersebut.

E. Daftar Pustaka

Coleman, L. (2006). Frequency of Man-Made Disasters in the 20th Century. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 14(1), 3–11. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2006.00476.x>

DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT SK DJPL Nomor UM. 002/38/13/18/DJPL-11. (n.d.). *Standar Kinerja Pelayanan Operasional Pelabuhan*.

- Imamura, F., Muhari, A., & Management, M. S. (2018). *Field survey of Palu Tsunami, 20180928*.
- Melnyk, S. A., Rodrigues, A., & Ragatz, G. L. (2009). *Chapter 7: Using Simulation to Investigate Supply Chain Disruptions*.
- Muhari, A., Charvet, I., Tsuyoshi, F., Suppasri, A., & Imamura, F. (2015). Assessment of tsunami hazards in ports and their impact on marine vessels derived from tsunami models and the observed damage data. *Natural Hazards*, 78(2), 1309–1328. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1772-0>
- Nateghi, R., Bricker, J. D., Guikema, S. D., & Bessho, A. (2016). Statistical analysis of the effectiveness of seawalls and coastal forests in mitigating tsunami impacts in iwate and miyagi prefectures. *PLoS ONE*, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158375>
- Peraturan Menteri dalam Negeri Nomor 33 Tahun 2006. (2006). *Pedoman Umum Mitigasi Bencana*.
- Platt, S. (2018). Factors affecting the speed and quality of post-disaster recovery and resilience. In *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering* (Vol. 44, pp. 369–403). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62099-2_19
- Rice, J. B., & Caniato, F. (2003). *Building a secure and resilient supply network*. www.scmr.com
- Suppasri, A., Fukutani, Y., Abe, Y., & Imamura, F. (2013). Relationship between earthquake magnitude and tsunami height along the Tohoku coast based on historical tsunami trace database and the 2011 Great East Japan Tsunami. *Report of Tsunami Engineering*, 30, 37–49.
- Zsidisin, G. A., Ellram, L. M., Carter, J. R., & Cavinato, J. L. (2004). An analysis of supply risk assessment techniques. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 34(5), 397–413. <https://doi.org/10.1108/09600030410545445>
- Zsidisin, G. A., Panelli, A., & Upton, R. (2000). *Purchasing organization involvement in risk assessments, contingency plans, and risk management: an exploratory study*. <http://www.emerald-library.com>