



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISIS RESPON SPEKTRUM PADA  
PERPANJANGAN LENGAN GIRDER  
*SHIP UNLOADER CRANE***

MUHAMMAD ALWI WIDIASTOMO  
NRP. 0211154000085

Dosen Pembimbing  
Achmad Syaifudin, S.T, M.Eng., Ph.D  
NIP. 197909262005011001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**TUGAS AKHIR - TM184835**

**ANALISIS RESPON SPEKTRUM PADA  
PERPANJANGAN LENGAN GIRDER SHIP  
UNLOADER CRANE**

**MUHAMMAD ALWI WIDIASTOMO**  
NRP. 0211154000085

Dosen Pembimbing  
Achmad Syaifudin, S.T, M.Eng., Ph.D  
NIP. 197909262005011001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TM184835**

# **RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS ON SHIP UNLOADER CRANE GIRDER EXTENSION**

**MUHAMMAD ALWI WIDIASTOMO**  
NRP. 0211154000085

Advisor

**Achmad Syaifudin, S.T, M.Eng., Ph.D**  
NIP. 197909262005011001

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS RESPON SPEKTRUM PADA PERPANJANGAN Lengan GIRDER SHIP UNLOADER CRANE

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri ReKayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

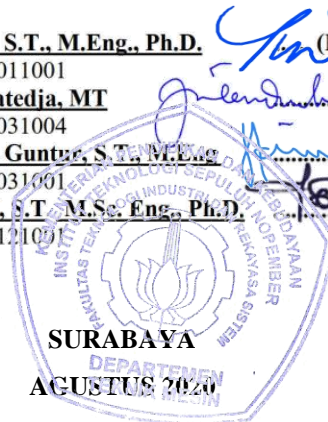
Oleh:

**Muhammad Alwi Widiastomo**

NRP. 0211154000085

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. **Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D.** (Pembimbing)  
NIP. 197909262005011001
2. **Ir. Julendra B. Ariatedja, MT** (Penguji 1)  
NIP. 196807061999031004
3. **Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.** (Penguji 2)  
NIP. 197505111999031001
4. **M. Khoirul Effendi, S.T., M.Sc. Eng., Ph.D.** (Penguji 3)  
NIP. 198204142010121001



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALISIS RESPON SPEKTRUM PADA PERPANJANGAN LENGAN GIRDER *SHIP UNLOADER CRANE***

**Nama Mahasiswa:** Muhammad Alwi Widiastomo  
**NRP:** 0211154000085  
**Departemen:** Teknik Mesin FTIRS - ITS  
**Dosen Pembimbing:** Achmad Syaifudin, S.T, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Permasalahan utama yang terjadi di PLTU Sukabumi adalah terhambatnya pasokan batubara yang dikarenakan muatan yang dapat diangkat oleh kapal tongkang relatif kecil. Pembangkit listrik tenaga uap berencana untuk meningkatkan pengiriman pasokan batubara dengan menggunakan kapal *vessel* kapasitas 40,000 DWT. Kapal *vessel* dengan kapasitas 40,000 DWT memiliki ketahanan terhadap ombak besar jika dibandingkan dengan kapal tongkang dengan kapasitas 12,000 DWT. Kapal *vessel* memiliki lebar yang lebih besar dibandingkan dengan kapal tongkang sehingga *Jetty* perlu diperkuat agar mampu disandari oleh kapal *vessel*. Oleh karena itu *jetty* mengalami pelebaran kearah laut. Penambahan lebar pada *jetty* dan besarnya lebar kapal *vessel* mengakibatkan *ship unloader crane* tidak dapat menjangkau titik pemindahan. *Ship unloader crane* perlu dilakukan peningkatan berupa ekstensi *girder* agar dapat mencapai titik pemindahan. Ekstensi *girder* dapat mempengaruhi performa dari SUC, maka dari itu sangat diperlu dilakukan analisis kekuatan struktur *crane* terhadap beban maksimal operasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan crane pada beban operasi terhadap gempa yang terjadi. Pemodelan 3D dilakukan menggunakan blueprint kondisi existing dan menambah

panjang lengan girder boom crane, terdapat 3 variasi panjang lengan. Panjang lengan 3 meter, 6 meter, dan 9 meter. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Ansys Workbench Respon Spectrum. Analisa Modal dilakukan untuk mendefinisikan goyangan fundamental. Selanjutnya memberikan beban gempa pada simulasi Respon Spectrum.

Kedua metode mampu membuktikan bahwa crane mampu menahan gempa sebesar 2,07 MN setara dengan 5,68 SR pada static ekivalen, dan grafik respon spektrum 2,5g-2,8g dibuktikan dengan tidak adanya gaya reaksi pada tumpuan yang bernilai 0 atau bernilai negatif.

Beban gempa dengan input respon spektrum jenis tanah lunak mempunyai potensi beban tertinggi dilihat dari deformasi dan gaya reaksi yang dihasilkan. Kedua adalah jenis tanah sedang, berikutnya tanah keras, dan yang potensi paling kecil beban gempanya adalah batuan. Besarnya ekstensi yang ditambahkan mengakibatkan berkurangnya ketahanan *SU crane* terhadap gempa. Perlu dilakukan penguatan struktur pada struktur support *boom*, karena pada bagian ini *stress* meningkat secara signifikan.

**Kata kunci: *Ship Unloader Crane*, Respon Spektrum, Statik Ekivalen, Gempa.**

# **RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS ON SHIP UNLOADER CRANE GIRDER EXTENSION**

**Student's Name:** Muhammad Alwi Widiastomo  
**Student's ID:** 0211154000085  
**Department:** Mechanical Engineering  
**Advisory Lecturer:** Achmad Syaifudin, S.T, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

*The steam power plant plans to increase coal supply shipments using vessels with a capacity of 40,000 DWT. A vessel with a capacity of 40,000 DWT has resistance to big waves when compared to a barge with a capacity of 12,000 DWT. A vessel has a larger width than a barge. The jetty needs to be strengthened so that it can be berthed by vessels, therefore the jetty is expanding towards the sea. The increase in the width of the jetty and the width of the vessel resulted in the ship unloader crane being unable to reach the moving point. Ship unloader cranes need to be increased in the form of girder extensions to reach the moving point. Girder extension can affect the performance of SUC; therefore, it is very necessary to analyze the strength of the crane structure against the maximum operating load.*

*This research was conducted to determine the resistance of the crane to the operating load against the earthquake that occurred. 3D modeling is done using a blueprint of the existing conditions and increasing the length of the boom crane girder arm, there are 3 variations of the arm length. Arm length of 3 meters, 6 meters, and 9 meters. The simulation was performed using Ansys Workbench Response Spectrum software. Capital analysis is performed to define fundamental sway. Furthermore, giving earthquake loads in the Response Spectrum simulation.*

*Both methods are able to prove that the crane is able to withstand an earthquake of 2.07 MN which is equivalent to 5.68 SR in the static equivalent, and the response spectrum graph of 2.5g-2.8g is proven by the absence of a reaction force on the pedestal which is 0 or negative.*

*Earthquake loads with the input response spectrum for soft soil types have the highest load potential seen from the deformation and reaction force generated. The second is medium soil type, then hard soil, and the one with the smallest potential for earthquake load is rock. The added size of the extension resulted in reduced earthquake resistance of the SU crane. It is necessary to strengthen the structure of the boom support structure, because in this part the stress increases significantly.*

**Keywords: Ship Unloader Crane, Response Spectrum, Static Equivalent, Earthquake**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya sampaikan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta rizki sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Achmad Baidowi dan Ibu Retnaningsih, serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan do'a yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Achmad Syaifudin, S.T, M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasehat kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T., Bapak Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng, Bapak M. Khoirul Effendi, S.T., M.Sc. Eng., Ph.D, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyusunan tugas akhir.
4. Seluruh Dosen beserta staff karyawan Departemen Teknik Mesin FTIRS - ITS yang telah memberikan bekal berupa ilmu pengetahuan serta sarana dan prasarana selama perkuliahan.
5. Rekan SMA Negeri 1 Bogor dan rekan KM ITS yang telah memberikan banyak pelajaran hidup utamanya jiwa sosial.
6. Ijazurrohman dan rekan penghuni terakhir kos SPR J-1 yang selalu menemani penulis dalam masa pandemi Covid-19.

7. Seluruh rekan saya di ITS khususnya rekan Departemen Teknik Mesin utamanya angkatan M58.

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Dan penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	3
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	7
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	9
<b>BAB I</b> .....	10
1.1 Latar Belakang.....	10
1.2 Rumusan Masalah.....	11
1.3 Tujuan Penelitian .....	12
1.4 Batasan Masalah .....	12
1.5 Manfaat Penelitian .....	12
<b>BAB II</b> .....	13
2.1 Jenis <i>Crane</i> Dermaga.....	13
2.1.1 <i>Container Crane</i> .....	13
2.1.2 <i>Crane Vessel</i> .....	15
2.2 Analisis Gempa.....	18
2.2.1 Gaya Lateral .....	18
2.2.2 <i>Peak Ground Acceleration</i> .....	19
2.2.3 Analisis Beban Ekuivalen .....	21

2.2.4	Analisis Respon Spektrum .....	24
2.3	Analisis Modal.....	26
2.4	Penelitian Terdahulu.....	30
2.4.1	<i>Upgrading Study on Ship Unloader Crane ..</i>	30
2.4.2	<i>Sensitivity Analysis for Ship-to-Shore Container Crane Design .....</i>	32
2.4.3	<i>Static and dynamic simulation in the seismic behavior of a building structure using ANSYS program</i> 36	
2.4.4	Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan Base Share, Displacement, dan Drift Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Hotel di Daerah Karang Anyar) .....	38
<b>BAB III</b>	.....	41
3.1	Prosedur Penelitian .....	41
3.2	Studi Literatur.....	43
3.3	Pengumpulan Data.....	43
3.4	Model Material .....	43
3.5	Model dan Meshing Struktur Crane Kondisi Eksisting dan Ekstensi.....	44
3.6	Menentukan center of gravity .....	45
3.7	Kestabilan Crane.....	48
3.8	Analisis Beban Statik Ekuivalen .....	50
3.9	Analisis Modal pada Struktur Crane.....	52



3.10	Analisis Respon Spektrum .....	54
<b>BAB IV</b>	.....	<b>58</b>
4.1	Analisis Beban Statik Ekuivalen .....	58
4.1.1	Kondisi Eksisting .....	58
4.1.2	Kondisi Ekstensi 3 Meter .....	60
4.1.3	Kondisi Ekstensi 6 Meter .....	62
4.1.4	Kondisi Ekstensi 9 Meter .....	64
4.2	Mode Shape Results .....	66
4.2.1	Kondisi Eksisting .....	67
4.2.2	Kondisi Ekstensi 3 Meter .....	68
4.2.3	Kondisi Ekstensi 6 Meter .....	69
4.2.4	Kondisi Ekstensi 9 Meter .....	70
4.3	Analisis Respon Spektrum.....	71
4.3.1	Kondisi Eksisting .....	72
4.3.2	Kondisi Ekstensi 3 Meter .....	74
4.3.3	Kondisi Ekstensi 6 Meter .....	77
4.3.4	Kondisi Ekstensi 9 Meter .....	79
4.4	Perbandingan Hasil Metode Statik Ekuivalen dan Respon Spektrum Analisis .....	82
<b>BAB V</b>	.....	<b>85</b>
5.1	Keterbatasan .....	85
5.2	Kesimpulan .....	85
5.3	Saran .....	86

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>87</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>90</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>92</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Container Crane</i> .....	14
Gambar 2. 2 <i>Common Crane Vessel</i> .....	16
Gambar 2. 3 <i>Semi-Submersible Crane Vessel</i> .....	17
Gambar 2. 4 <i>Sheerlegs Crane Vessel</i> .....	17
Gambar 2. 5 Peta persebaran gempa .....	19
Gambar 2. 6 Gambar Ilustrasi perhitungan nilai PGA .....	20
Gambar 2. 7 Grafik Respon Spektrum Acceleration .....	25
Gambar 2. 8 Penentuan simpangan antar lantai .....	26
Gambar 2. 9 Modal testing .....	27
Gambar 2. 10 Hubungan nilai FRF dengan natural frekuensi .....	28
Gambar 2. 11 Analisa per individual per-mode dengan FRF .....	29
Gambar 2. 12 Analisa modus getar dengan FRF .....	30
Gambar 2. 13 3D Modelling ANSYS APDL .....	31
Gambar 2. 14 Gaya reaksi tumpuan kondisi existing ketika terjadi gempa .....	31
Gambar 2. 15 Gaya reaksi tumpuan kondisi existing ketika diberikan beban gempa maksimum .....	32
Gambar 2. 16 Dimensi keseluruhan container crane .....	33
Gambar 2. 17 Mode shapes and natural periods 3 mode penting dari crane: (a) Torsi pada boom, (b) Torsi pada frame, (c) Portal bergoyang pada arah gerak troli .....	34
Gambar 2. 18 Analisis sensitivitas untuk (a) drift bagian atas kaki tepi laut, (b) reaksi vertikal kaki tepi laut, dan (c) geser dasar total .....	35
Gambar 2. 19 Model 3D gedung .....	36
Gambar 2. 20 Beams Moment diagram (BSE) on longitudinal frame.....	37
Gambar 2. 21 Beams Moment diagram (Modal Analysis) on longitudinal frame .....	38
Gambar 2. 22 Displacement maksimal Gedung hasil output ETABS .....	39

Gambar 2. 23 Kinerja batas layan gedung.....	39
Gambar 2. 24 Kinerja batas ultimit gedung.....	39
Gambar 3. 1 Mesh Model.....	44
Gambar 3. 2 Posisi CoG struktur SUC.....	47
Gambar 3. 3 Boundary condition crane.....	48
Gambar 3. 4 Free body diagram 2D crane.....	49
Gambar 3. 5 Historis gempa Sukabumi.....	52
Gambar 3. 6 Mode 1 Analisa Modal .....	53
Gambar 3. 7 Mode 2 Analisa Modal .....	54
Gambar 3. 8 Mode 3 Analisa Modal .....	54
Gambar 3. 9 Grafik respon spektrum gempa 0,6g-0,7g .....	55
Gambar 3. 10 Grafik respon spektrum gempa 1,2g-1,5g .....	55
Gambar 3. 11 Grafik respon spektrum gempa 2,5g-2,8g .....	56
Gambar 3. 12 Grafik Respon Spektrum pada Ansys Workbench	57
Gambar 4. 1 Total deformasi pada kondisi eksisting .....	59
Gambar 4. 2 Total deformasi pada kondisi ekstensi 3 meter.....	61
Gambar 4. 3 Total deformasi pada kondisi ekstensi 6 meter.....	63
Gambar 4. 4 Total deformasi pada kondisi ekstensi 9 meter.....	65
Gambar 4. 5 Mode Shape Results Existing Crane.....	68
Gambar 4. 6 Mode Shape Results 3M Crane .....	69
Gambar 4. 7 Mode Shape Results 6M Crane .....	70
Gambar 4. 8 Mode Shape Results 9M Crane .....	71
Gambar 4. 9 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g crane eksisting.....	72
Gambar 4. 10 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g crane 3 meter.....	75
Gambar 4. 11 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g 6 crane 6 meter .....	77
Gambar 4. 12 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g crane 9 meter .....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Material properties .....	44
Tabel 3. 2 Perhitungan CoG crane .....	47
Tabel 3. 3 Perhitungan kesetimbangan benda tegar .....	50
Tabel 3. 4 Data ketiga variasi gempa .....	51
Tabel 4. 1 Gaya reaksi crane existing.....	60
Tabel 4. 2 Gaya reaksi crane ekstensi 3 meter .....	62
Tabel 4. 3 Gaya reaksi crane ekstensi 6 meter .....	64
Tabel 4. 4 Gaya reaksi crane ekstensi 9 meter .....	66
Tabel 4. 5 Total deformasi simulasi respon spektrum crane eksisting.....	73
Tabel 4. 6 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane eksisting .....	74
Tabel 4. 7 Total deformasi simulasi respon spektrum crane ekstensi 3 meter .....	75
Tabel 4. 8 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane ekstensi 3 meter .....	76
Tabel 4. 9 Total deformasi simulasi respon spektrum crane ekstensi 6 meter .....	78
Tabel 4. 10 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane ekstensi 6 meter.....	79
Tabel 4. 11 Total deformasi simulasi respon spektrum crane ekstensi 9 meter .....	81
Tabel 4. 12 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane ekstensi 9 meter .....	81
Tabel 4. 13 Pebandingan gaya reaksi kedua metode .....	83

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Derek dermaga bongkar muat kapal (*crane ship unloader*) adalah penghubung mendasar dalam sistem angkutan barang atau kargo maritim, memungkinkan pelabuhan untuk memenuhi permintaan perdagangan yang meningkat. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) juga menggunakan *crane ship unloader* untuk memindahkan material berupa batu bara dari kapal-kapal tongkang menuju tempat penyimpanan. Pada saat ombak tinggi kapal tongkang dengan kapasitas 12,000 DWT tidak dapat bersandar pada *jetty*, sehingga pasokan batubara untuk PLTU mengalami gangguan. Pasokan batubara tidak boleh mengalami gangguan karena akan mengganggu kinerja PLTU yang harus bekerja 24 jam untuk memasok listrik. Pada kondisi ombak tinggi kapal *vessel* dengan kapasitas 40,000 DWT mampu bertahan terhadap ombak. *Jetty* yang dimiliki oleh PLTU hanya mampu disandari oleh kapal tongkang dengan kapasitas 12,000 DWT. PLTU melakukan ekspansi *jetty* ke arah laut agar dapat mengakomodasi kapal *vessel* dengan kapasitas 40,000 DWT. Kapal *vessel* sendiri memiliki lebar yang lebih besar dari pada kapal tongkang. Penguatan *jetty* dan bertambahnya ukuran kapal diperlukan untuk *upgrading* pada *ship unloader crane*.

Bertambahnya lebar dermaga membuat *crane* yang dimiliki Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tidak mampu mencapai titik pengangkutan batu bara dari kapal *vessel*. Pilihan yang tersedia untuk dapat memindahkan batubara dari kapal tongkang adalah dengan mengganti *crane* yang ada dengan *crane* yang memiliki spesifikasi atau hanya melakukan modifikasi pada bagian girder saja. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) harus mengeluarkan biaya yang lebih besar jika mereka memilih untuk mengganti *crane* yang sudah ada dengan *crane* baru jika dibandingkan untuk melakukan modifikasi pada bagian girder saja

untuk memenuhi spesifikasi ukuran dermaga yang baru, sehingga metode modifikasi bagian dari girder *crane* dianggap cara yang lebih efisien dalam menekan biaya. Bertambahnya panjang pada girder pada *crane* dapat mengubah titik pusat gravitasi struktur *crane* SU, yang akibatnya menimbulkan ketidakstabilan terhadap gempa semakin besar. Oleh karena itu, sangat perlu dilakukan analisis kekuatan struktur *crane* terhadap beban normal maupun fatigue.

Respons bangunan akibat gempa yang terjadi dapat dianalisis secara statik maupun dinamik. Analisa statik yang umum digunakan adalah analisa gaya lateral ekuivalen. Analisa dinamik dapat dibagi atas dua yaitu analisa spektrum respons ragam dan analisa riwayat repons seismik (time-history). Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode *static equivalent* oleh Irfansetya Basith namun berdasarkan SNI 1726-2012, ada banyak batasan yang diberikan dalam prosedur analisis statik ekuivalen. Pembatasan ini dilakukan karena hasil analisis statik ekuivalen kurang presisi untuk berbagai macam struktur yang dibangun. Oleh karena itu diperlukan analisis secara dinamik untuk memperoleh respons bangunan yang lebih mendekati respons struktur yang sebenarnya ketika terjadi gempa agar dapat menjadi pembanding dengan metode static ekuivalen

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana efek gempa terhadap variasi *extension girder boom* dengan metode spektrum respon?
- b. Bagaimana analisis kestabilan *ship unloader crane* terhadap gempa dengan metode spektrum respon?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari penelitian ini adalah untuk Mengetahui pengaruh gempa terhadap penambahan panjang *girder boom* SUC dengan menggunakan metode spektrum respon

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Beban dibawah 1-ton diabaikan, karena data yang kurang
- b. Seluruh pengelasan dianggap baik dan uniform
- c. Beban akibat hembusan angin diabaikan
- d. Berat maksimal container 40 ton

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Sebagai penyelesaian dan solusi dari permasalahan yang terjadi pada PLTU.
- b. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
- c. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang mekanika benda padat.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

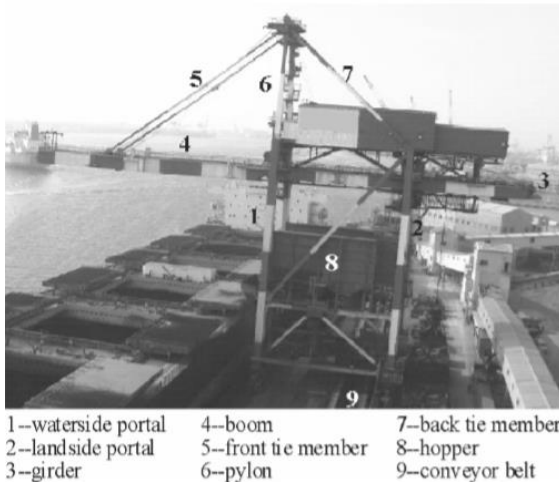
#### **2.1 Jenis Crane Dermaga**

Bongkar muat kapal merupakan mata rantai penting dalam sistem transportasi laut. Struktur ini dikenakan beban bolak-balik karena gerakan horizontal dan vertikal dengan paparan tambahan ke lingkungan yang sangat agresif. Dengan demikian dapat dipahami bahwa crane port mengalami laju penurunan yang cepat dibandingkan dengan struktur yang dilas lainnya. Memang, selain keausan umum, abrasi, kelelahan dan kerusakan yang tidak disengaja, struktur ini mengalami kemunduran yang signifikan dari faktor-faktor dan mekanisme lingkungan seperti korosi, serangan fisik dan kimia dan bio-deteriorasi. Hilangnya ketebalan karena korosi dan retak karena kelelahan dapat diidentifikasi sebagai efek paling kritis. Melchers (2003) membahas model korosi untuk penilaian keandalan struktural baja di lingkungan laut dan kalibrasi mereka dengan data lapangan. Karena dampak operasional yang signifikan dari kemungkinan kegagalan unloader kapal, sangat penting untuk menyelidiki penyebabnya dan dengan demikian, beban yang diterapkan. Konsekuensi yang berasal dari peretasan kelelahan sangat penting, bahkan dalam kasus di mana mereka tidak menyebabkan kegagalan total.

##### **2.1.1 Container Crane**

*Container crane* sering disebut juga *Quayside Crane* atau *Gantry Crane* adalah peralatan bongkar muat yang berfungsi untuk membongkar atau memuat petikemas kontainer dari kapal ke dermaga atau daratan. *Container crane* dinilai sebagai alat bongkar muat petikemas yang cepat dalam melakukan kegiatan bongkar maupun muat, jika dibandingkan dengan alat bongkar muat petikemas yang lain, seperti halnya *Harbour Mobile Crane* (HMC), *Shore Crane* (Derek Darat) dan *Ship Crane* (Derek Kapal),

maka *Container Crane* dinilai kecepatannya dalam melakukan kegiatan bongkar muat petikemas lebih cepat.



Gambar 2. 1 *Container Crane*

Crane ini memiliki dua kaki portal yang dihubungkan oleh platform dan penyangga diagonal. Keempat sudut didukung oleh penyeimbang utama mekanisme perjalanan. Troli berjalan di antara konstruksi *girder* kotak ganda. *Girder track* stasioner disediakan di antara kaki dan memanjang di luar kaki tepi. *Boom* yang dapat ditarik-dihubungkan pin ke *girder* lintasan tetap dan disimpan dalam posisi horizontal oleh anggota ikatan depan yang mengarah ke tiang pada kaki pijakan. Ikatan depan terhubung dengan pin di kedua ujungnya. Selama menaikkan dan menurunkan *boom*, ikatan depan dilipat di pin pusat. Struktur baja utama dibangun dari elemen tipe kotak kecuali bahwa ikatan depan berbentuk-I. Di bawah gravitasi, ikatan depan menekuk di sekitar sumbu *minor cross-sectional* yang sejajar dengan sumbu rasional pin ujung

### 2.1.2 *Crane Vessel*

Seperti namanya, kapal derek adalah jenis kapal pelayaran yang memiliki derek yang melekat padanya. Kapal derek sangat penting dalam hal membangun struktur di laut lepas. Hanya karena kapal semacam itu maka banyak konstruksi penting dilakukan di bagian laut dan samudera yang lebih sulit. Peran dan ruang lingkup kapal crane mirip dengan crane yang digunakan dalam kegiatan bisnis konstruksi dan pengangkutan sehari-hari. Satu-satunya perbedaan adalah fakta bahwa variasi bekas crane digunakan di laut sementara yang terakhir di tanah yang kokoh.

Desain kapal crane telah berubah dalam 800-ratus tahun asalnya. Kapal derek pertama dibuat pada abad ke-14 dan sejak itu teknologi telah membantu generasi ke generasi. Di zaman sekarang, bersama dengan kapal dasar yang membawa derek tunggal yang melekat padanya, ada juga konsep-konsep seperti kapal *semi-submersible* dan *sheerlegs*. Semua kapal derek semacam itu mampu mengangkat tonase berat, tetapi varietas yang berbeda menawarkan fitur dan USP yang berbeda kepada klien mereka. Perbedaan utama dapat dijabarkan sebagai berikut:

- *Common Crane Vessels*: Jenis crane laut ini lebih dikenal di sekitar. Mereka adalah orang-orang yang pertama kali diperkenalkan pada abad ke-14, seperti yang disebutkan di atas. Crane ini dapat digunakan untuk mengangkut dan mengangkat sekitar 2.500 ton. Selain itu, fitur utama lainnya adalah dapat dipindah, yang berarti, derek dapat dipindahkan ke tempat item yang akan diangkat berada, sehingga menawarkan banyak fleksibilitas.



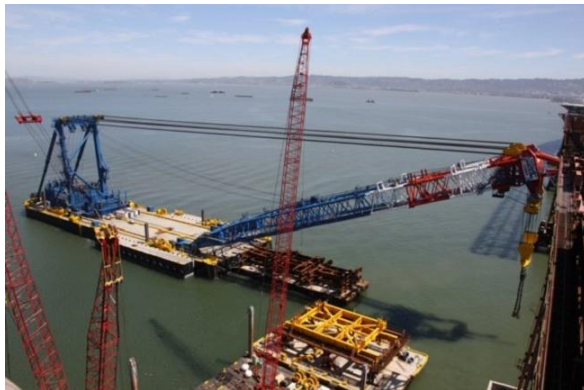
Gambar 2. 2 *Common Crane Vessel*

- **Semi-Submersible:** Jenis crane ini menawarkan banyak stabilitas pada peralatan yang dibawa. Sesuai namanya, crane semi-submersible menenggelamkan sebagian ke dalam air untuk memberikan bobot yang diletakkan di atasnya keseimbangan yang dibutuhkan. Keseimbangan ini disediakan untuk memastikan bahwa barang yang dibawa tidak jatuh ke air dan dengan demikian menyebabkan masalah serius tidak hanya bagi bisnis yang bersangkutan tetapi juga bagi ekosistem laut. Daya dukung berat crane semi-submersible semacam itu bervariasi dari satu kapal angkatan laut ke yang lain. Namun, batas terberat yang dapat ditampung semi-submersible tersebut mencapai sekitar 14.000 ton.



Gambar 2. 3 *Semi-Submersible Crane Vessel*

- *Sheerlegs*: Jenis crane ini tidak bergerak. Dengan kata lain, berat yang harus dimuat pada mereka harus dibawa kepada mereka sehingga mereka dapat diangkat. Daya dukung berat derek tersebut bervariasi dari sekitar 50 ton hingga sekitar 4000 ton.



Gambar 2. 4 *Sheerlegs Crane Vessel*

## 2.2 Analisis Gempa

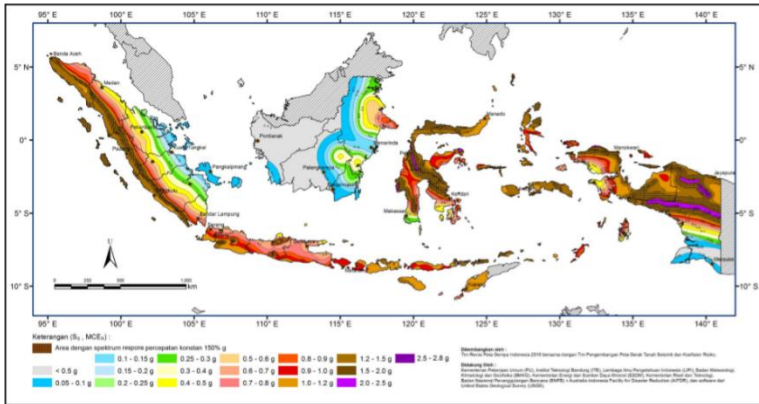
### 2.2.1 Gaya Lateral

Gerakan tanah akibat gempa bumi umumnya hanya beberapa detik dan bersifat sangat random, karena sifat getarannya yang random dan tidak seperti beban statik pada umumnya maka efek beban gempa terhadap respon struktur tidak dapat diketahui dengan mudah. Gempa bumi akan mengakibatkan getaran pada tiga arah yaitu arah X, arah Y dan arah Z, sehingga tanah bergetar dengan acak, ke depan (+) dan ke belakang (-) pada tiap arah (X, Y, Z). Bangunan biasanya dirancang untuk menanggung gaya gravitasi (gravity load) saja, yang besarnya sama dengan massa (m) kali percepatan (g), dengan arah vertikal ke bawah. Oleh karena itu dalam perancangan struktur, harus diperhitungkan gaya horizontal/lateral akibat beban angin dan beban gempa.

Getaran gempa bumi akan menimbulkan gaya lateral pada dasar struktur berupa gaya geser dasar bangunan (base shear, V), dan akan terdistribusi pada tiap lantai bangunan sebagai gaya lateral tingkat (gaya horisontal tingkat, F). Besarnya V dan F dapat ditinjau berdasarkan pembebanan gempa nominal statik ekuivalen maupun dinamik, yang diatur dalam SNI 1726:2012. Struktur bertingkat banyak/tinggi harus dirancang memiliki stabilitas yang memadai dan mampu menahan gaya lateral. Sistem struktur penahan gaya lateral terletak pada kekakuan kolom yang dapat menahan gaya lateral, sehingga deformasi/simpangan yang terjadi tidak melebihi persyaratan yang ditentukan.

Karakter utama getaran akibat gempa bumi dapat dilihat pada rekaman percepatan tanah akibat gempa. Gelombang gempa yang merambat dari sumber gempa sampai pada permukaan tanah akan melewati kondisi tanah/geologi tertentu. Media tanah yang dilewati gelombang gempa akan berfungsi sebagai peredam getaran gelombang. Wilayah Indonesia dibagi dalam beberapa daerah gempa, yang masing-masing menunjukkan besar kecilnya efek gempa terhadap struktur bangunan atas dasar kondisi geologi dan riwayat gempa yang terjadi pada tiap-tiap gempa tersebut.

Pembagian daerah gempa di Indonesia dapat dilihat pada peta gempa berikut:



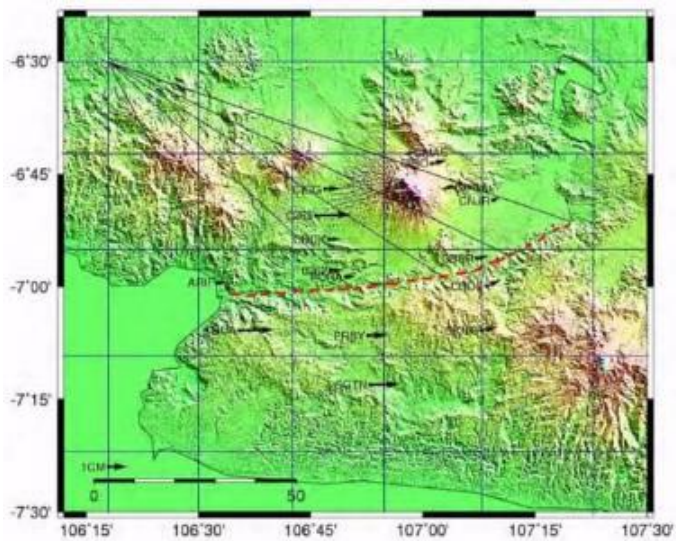
Gambar 2. 5 Peta persebaran gempa

### 2.2.2 Peak Ground Acceleration

*Peak Ground Acceleration* (PGA) atau Percepatan tanah puncak sama dengan percepatan tanah maksimum yang terjadi pada saat gempa di suatu lokasi. PGA sama dengan amplitudo percepatan absolut terbesar yang tercatat pada akselerogram di suatu lokasi selama gempa tertentu. Guncangan gempa umumnya terjadi di ketiga arah. Oleh karena itu, PGA sering kali dipecah menjadi komponen horizontal dan vertikal. PGA horizontal umumnya lebih besar daripada PGA dalam arah vertikal tetapi hal ini tidak selalu benar, terutama di dekat gempa bumi besar. PGA adalah parameter penting (juga dikenal sebagai ukuran intensitas) untuk rekayasa gempa. Gerakan dasar gempa bumi sering didefinisikan dalam istilah PGA. Dalam satu kejadian gempa bumi, nilai PGA bergantung pada sejumlah factor diantaranya panjang patahan, magnitudo, kedalaman gempa, jarak dari pusat gempa, durasi (panjang siklus goyangan), dan geologi tanah (bawah permukaan). Gempa bumi yang berfokus pada dangkal

menghasilkan guncangan (akselerasi) yang lebih kuat daripada gempa menengah dan dalam, karena energinya dilepaskan lebih dekat ke permukaan.

Berbeda dengan skala Richter dan momen, ini bukan ukuran energi total (magnitudo, atau ukuran) gempa bumi, tetapi lebih kepada seberapa keras bumi bergetar pada titik geografis tertentu. Skala intensitas Mercalli menggunakan laporan dan observasi pribadi untuk mengukur intensitas gempa, tetapi PGA diukur dengan instrumen, seperti akselerograf. Ini dapat dikorelasikan dengan intensitas makroseismik pada skala Mercalli tetapi korelasi ini terkait dengan ketidakpastian yang besar.



Gambar 2. 6 Gambar Ilustrasi perhitungan nilai PGA

Informasi mengenai karakteristik PGA akibat gempa, dapat diperoleh melalui rekaman kejadian gempa pada masa yang lalu. Perekaman ground acceleration dimungkinkan untuk



mengekstraksi karakteristik utama dari rekaman ground motion seperti peak ground velocity, peak ground displacement, ground motion duration dan PGA (Villavarde, 2009). Percepatan gempa (ground velocity) dapat dihitung sebagai percepatan di batuan dasar (ground acceleration) maupun percepatan gempa dipermukaan tanah. Nilai PGA dapat dihitung dengan mempergunakan fungsi atenuasi. Fungsi atenuasi adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah setempat ( $a$ ), Magnitude Gempa ( $M$ ), serta jarak dari suatu titik dalam daerah sumber gempa ( $r$ ). Para ahli telah banyak merumuskan fungsi atenuasi dimana fungsi atenuasi yang berlaku di suatu tempat belum tentu berlaku di tempat yang lain, karena fungsi atenuasi sangat tergantung pada kondisi alam di suatu tempat. Pemilihan fungsi atenuasi didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi tersebut dikembangkan (Irsyam et al, 2010).

$$A = 1080 e^{0.5M} / (R + 25)^{1.32}$$

dimana:

A = nilai PGA ( $\text{cm/s}^2$ )

M = magnitudo maksimum (SR)

R = jarak titik ke hiposenter (km)

### 2.2.3 Analisis Beban Ekuivalen

SNI 03-1762-2002 (1) menetapkan untuk bangunan yang beraturan direkomendasikan penggunaan analisis beban gempa statik ekuivalen, yaitu cara analisis statik 3 dimensi (3D) linier pada struktur bangunan yang beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 2 dimensi (2D). Karena keteraturannya maka apabila bangunan digetarkan, pada salah satu sumbu utamanya akan

dominan gerak translasi ragam getar pertama saja sedangkan ragam getar ke-2 akan dominan dalam gerak translasi pada arah sumbu utama yang lain. Dengan demikian struktur 3D pada bangunan yang beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D dalam masing-masing arah sumbu utamanya. Dan karena adanya perbedaan tingkat ragam getar pada kedua arah sumbu maka respon dinamik struktur hanya ditentukan oleh ragam getar pertama dimana bekerja gaya geser dasar gempa terbesar, dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen. Apabila bekerjanya beban geser dasar gempa tidak sejajar salah satu sumbu utama, maka perilaku 3D diantisipasi dengan memasukkan beban gempa dasar penuh pada sumbu yang ditinjau dan 30% pada sumbu yang tegak lurus.

Beban gempa statik ekuivalen adalah beban statik yang dianggap seolah-olah bekerja pada struktur secara aktif, padahal sebenarnya beban tersebut belum ada sebelum digetarkan gempa bumi. Gaya gempa menggeser pondasi dengan percepatan tertentu, dan bangunan merespon getaran tersebut berdasarkan sifat strukturnya. Berat massa mengakibatkan bekerjanya gaya inertiya yang arahnya berlawanan dengan arah datangnya gaya gempa, kekakuan struktur mengakibatkan timbulnya gaya pegas dan kecepatan mengakibatkan terjadi gaya redam. Peredaman adalah mekanisme yang menguntungkan bagi struktur bangunan. “Peredaman elastik” dihasilkan oleh sifat lentur-elastik struktur, sedangkan “peredaman plastis” dihasilkan oleh sifat daktail struktur.

Konsep analisis beban statik ekuivalen didasarkan pada filosofi perencanaan struktur: bangunan tidak rusak sama sekali terhadap getaran gempa kecil, boleh rusak terhadap getaran gempa besar tapi tidak roboh. SNI 03 – 1762 – 2002 menetapkan gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun dan umur bangunan 50 tahun, maka resiko terjadinya gempa rencana adalah 10%. Dengan suatu

tingkat daktilitas tertentu struktur akan melakukan pelelehan (pembentukan sendi plastis) pertama apabila terjadi beban yang melampaui kekuatan elastiknya akibat pengaruh gempa rencana. Menurut tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, SNI 1726:2012, beban geser dasar nominal statik ekuivalen  $V$  yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung dengan persamaan 1 sampai persamaan 4.

$$V = C_s \times W \quad (2.1)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.2)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.3)$$

$$C_s = 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0.01 \quad (2.4)$$

$C_s$  = koefisien respon seismik, yang dihitung dengan persamaan 1, besarnya tidak perlu melebihi  $C_s$  persamaan 2 dan harus tidak kurang dari  $C_s$  persamaan 3.

$W$  = berat seismik efektif, dijelaskan dalam SNI 1726:2012.

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda pendek.

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda 1 detik.

$R$  = faktor modifikasi respons, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2012.

$I_e$  = faktor keutamaan gempa, yang besarnya ditentukan berdasarkan kategori risiko dalam SNI 1726:2012.

Selanjutnya gaya lateral ( $F_x$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan 5.

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \cdot V \quad (2.5)$$

$V$  = gaya lateral disain total atau geser di dasar struktur (kN).

$W_i$  ( $W_x$ ) = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau tingkat  $x$

$h_i$  ( $h_x$ ) = tinggi (m) dari dasar sampai tingkat  $i$  atau tingkat  $x$

$k$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur, yang besarnya adalah:

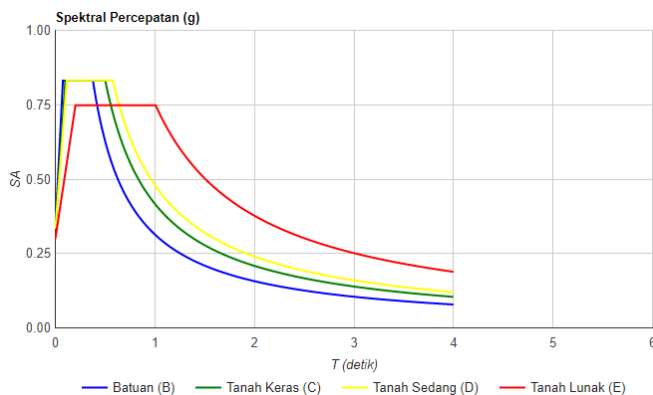
- $k = 1$ , untuk struktur yang mempunyai perioda  $\leq 0,5$  detik.
- $k = 2$ , untuk struktur yang mempunyai perioda  $\geq 2,5$  detik.
- $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik.

#### 2.2.4 Analisis Respon Spektrum

Salah satu cara menyelesaikan problem persamaan diferensial gerakan struktur MDOF adalah dengan memakai respon spektrum. Walaupun memakai prinsip dinamik, tetapi metode ini bukanlah kategori analisis riwayat waktu. Penggunaan metode ini hanya terbatas pada pencarian respon-respon maksimum dengan memakai respon spectrum yang telah disiapkan, maka respon-respon maksimum dapat dicari dengan waktu yang relatif singkat dibanding dengan cara analisis riwayat waktu. Namun demikian penyelesaian problem dengan cara ini hanya bersifat pendekatan artinya respon struktur akan diperoleh dengan asumsi-asumsi tertentu.

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur, lawan respon-

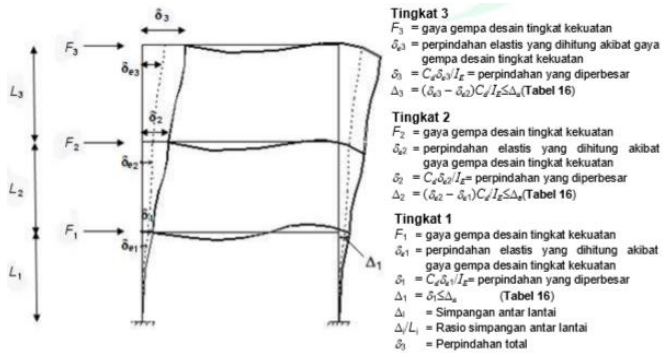
respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (Spektrum displacement, SD) kecepatan maksimum (Spektrum Velocity, SV) atau percepatan maksimum (Spektrum Acceleration, SA)



Gambar 2. 7 Grafik Respon Spektrum Acceleration

Menurut SNI 03-1726-2012 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat, *Square root of Summation of Squares* (SRSS) atau metoda kombinasi kuadrat lengkap, *Complete Quadratic Combination* (CQC), sesuai dengan SNI 1726. Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam dimana ragam berjarak dekat mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.



Gambar 2. 8 Penentuan simpangan antar lantai

### 2.3 Analisis Modal

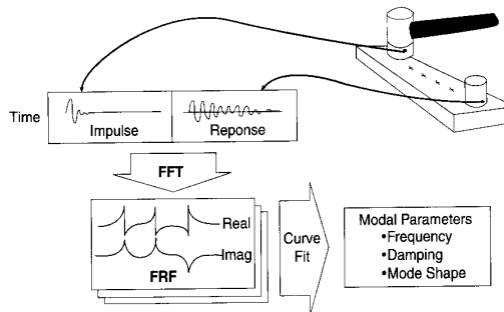
Analisa modal adalah suatu proses yang ditujukan untuk menentukan karakteristik dinamik dari suatu sistem struktur. Dimana karakteristik tersebut adalah:

- Frekuensi natural ( $\omega$ )
- Moda getar ( $\phi$ )
- Rasio redam ( $\xi$ )

Ketiga karakteristik dinamik ini didefinisikan oleh properti fisik serta distribusi spasial dari pada komponen penyusun sistem struktur. Selain menentukannya, analisa modal juga mencakup penggunaan karakteristik - karakteristik tersebut untuk memformulasikan suatu model matematis dari perilaku dinamik suatu sistem struktur yang kita tinjau.

Aplikasi analisa modal juga ditunjang oleh kemajuan teori analisa modal dan teknologi. Kemajuan analisa modal berkembang pesat ketika algoritma transformasi fourier (FFT) ditemukan oleh J.W Cooley dan J.W Turkey pada tahun 1965. Dengan FFT, respon frekuensi dari suatu struktur dapat dihitung melalui pengukuran

seperti pada gambar 2.8. Perlu dijelaskan bahwa dengan analisa modal teoritis, modal data dibentuk oleh properti fisik dari sistem struktur yaitu matriks massa dan matriks kekakuan, sedangkan analisa modal pengukuran atau eksperimental, modal data diketahui melalui pengukuran. Menghubungkan teori dengan pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan suatu fungsi respon frekuensi atau disebut juga dengan FRF (*Frequency Response Function*). Fungsi ini adalah fungsi yang menghubungkan antara respon dinamik dengan beban dinamik yang diberikan. Dimana FRF inilah yang mendefinisikan modal data (frekuensi natural, moda getar, dan rasio redam) dari suatu sistem struktur yang diukur. Modal data ini lah yang digunakan dalam aplikasi - aplikasi analisa modal.



Gambar 2. 9 Modal testing

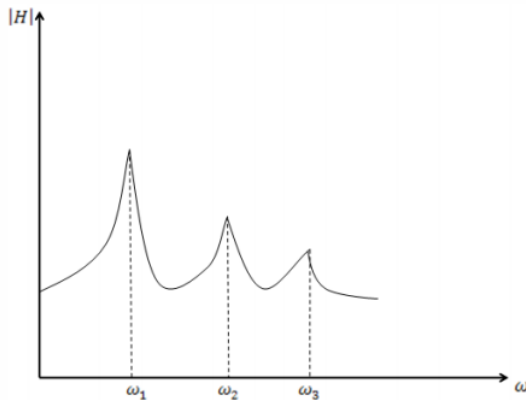
Ketika FRF (fungsi respon frekuensi) telah dianalisa dengan menggunakan hasil pengukuran dan persamaan FRF (pers 2.43), analisa dilanjutkan dengan membentuk suatu parameter - parameter getaran, yaitu properti modal (frekuensi natural, moda getar dan rasio redaman).

$$H_{pi}(\omega) = \sum_{n=1}^N \left[ \frac{\varphi_{pn} \varphi_{in}}{K_n - M_n \omega^2 + j C_n \omega} \right] = \frac{U_p(\omega)}{p_i(\omega)} \quad (2.6)$$

Properti - properti modal diasosiasikan dengan nilai puncak resonansi dari FRF hasil analisa data pengukuran untuk tiap modanya adalah sebagai berikut:

### 1. Frekuensi Natural

Frekuensi natural dapat ditentukan secara langsung dari kurva FRF, dengan mengacu pada nilai puncak. Nilai puncak pertama diasosiasikan dengan frekuensi natural moda pertama dan seterusnya. Tetapi cara ini tidak akurat apabila struktur yang ditinjau memiliki nilai frekuensi natural yang berdekatan atau memiliki nilai frekuensi natural yang berulang.

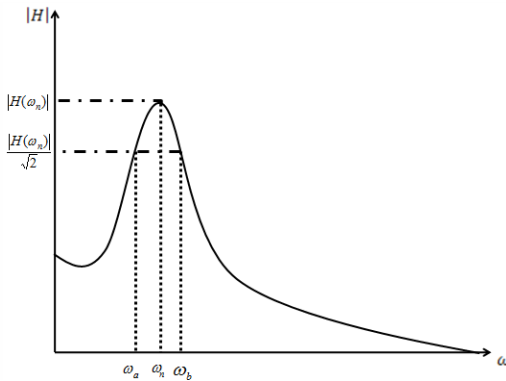


Gambar 2. 10 Hubungan nilai FRF dengan natural frekuensi

### 2. Rasio Redam

Cara termudah untuk mendapatkan nilai rasio redam tiap moda dengan menggunakan hasil pengukuran (FRF) adalah dengan menggunakan metode SDOF. Dimana tiap rasio redam per-moda didapatkan dari analisa individu per-moda dari kurva FRF, baik itu receptance, mobility atau pun accelerance. Untuk lebih jelas lihat gambar dibawah ini dimana dianalisa secara individu 1 moda ke- n:





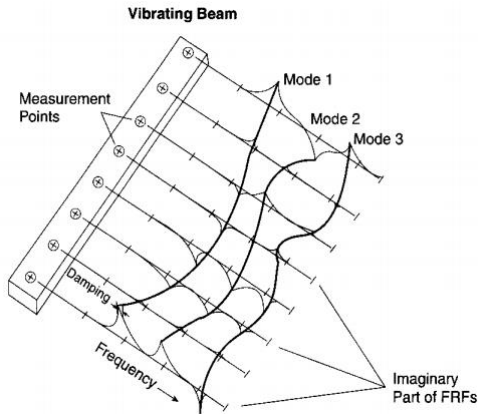
Gambar 2. 11 Analisa per individual per-mode dengan FRF

### 3. Modus getar

Menentukan moda getar dari hasil pengukuran sedikit lebih kompleks dibandingkan dengan properti modal lainnya dan membutuhkan beberapa fungsi transfer (FRF yang menghubungkan antara input gaya pada satu titik dan output respon pada titik lainnya). Dengan asumsi tipe redaman proporsional dan kondisi underdamped, kita merunut kembali kepada pers. (2.43 ). Ketika frekuensi eksitasi mendekati atau sama dengan besar frekuensi natural (asumsi data frekuensi natural dan rasio redaman telah diketahui), maka persamaan tersebut menjadi untuk moda ke - n:

$$|\varphi_{pn}\varphi_{in}| = |2\zeta_n\omega_n^2| |H_{pi}(\omega_n)| \quad (2.7)$$

Dengan persamaan diatas kita mampu mengekstrak moda getar untuk tiap moda. Namun persamaan diatas hanya mendeskripsikan perubahan gerak suatu elemen saja, sehingga untuk mendapatkan moda getar yang akurat diperlukan banyak pengukuran (pada beberapa titik).

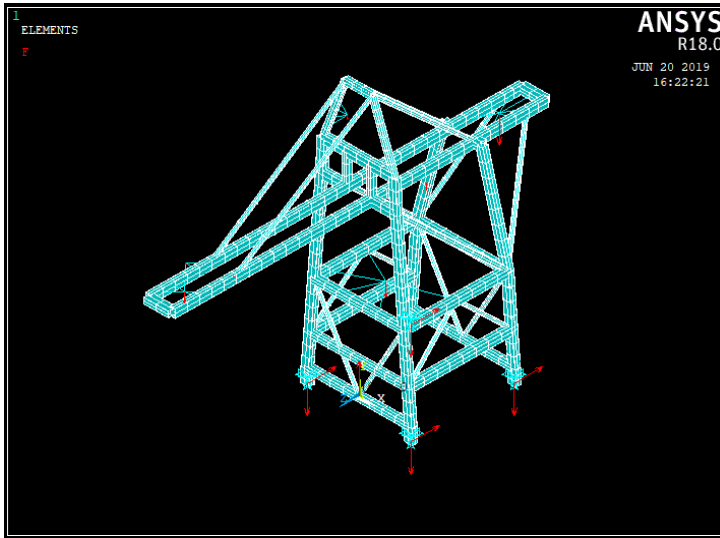


Gambar 2. 12 Analisa modus getar dengan FRF

## 2.4 Penelitian Terdahulu

### 2.4.1 *Upgrading Study on Ship Unloader Crane*

Pada penelitian ini Irfansetya Basith melakukan analisis pengaruh beban gempa menggunakan metode static equivalent terhadap Ship Unloader Crane dengan menggunakan software ANSYS APDL. Penelitian menggunakan variasi berupa penambahan lengan girder sepanjang 3 meter, 6 meter, dan 9 meter. Hasil akhir crane roboh dapat dilihat dari perubahan gaya reaksi pada kaki tumpuan crane.



Gambar 2. 13 3D Modelling ANSYS APDL

```

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****
LOAD STEP=      1  SUBSTEP=   46
TIME=      1.0000  LOAD CASE=    0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM
   NODE      FX          FY          FZ          MX          MY          MZ
   364 -0.11113E+006  0.22224E+007  0.14583E+007
   367  0.11095E+006  0.23248E+007  0.14584E+007
   370 -49253.         0.10595E+007  0.14755E+007
   373  49432.         0.12617E+007  0.14758E+007
TOTAL VALUES
VALUE  0.72760E-011  0.68624E+007  0.58640E+007  0.0000      0.0000      0.0000

```

Gambar 2. 14 Gaya reaksi tumpuan kondisi existing ketika terjadi gempa

```

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****
LOAD STEP=      1  SUBSTEP=   46
TIME=      1.0000  LOAD CASE=    0
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM
   NODE      FX          FY          FZ          MX          MY          MZ
   364 -0.15812E+006  0.34842E+007  0.14850E+008
   367  0.15794E+006  0.35865E+007  0.14850E+008
   370  37141.         -0.20830E+008  0.14881E+008
   373 -36863.          0.33044E-002  0.14881E+008
TOTAL VALUES
VALUE  0.50932E-010  0.68624E+007  0.59461E+008  0.0000      0.0000      0.0000

```

Gambar 2. 15 Gaya reaksi tumpuan kondisi existing ketika diberikan beban gempa maksimum

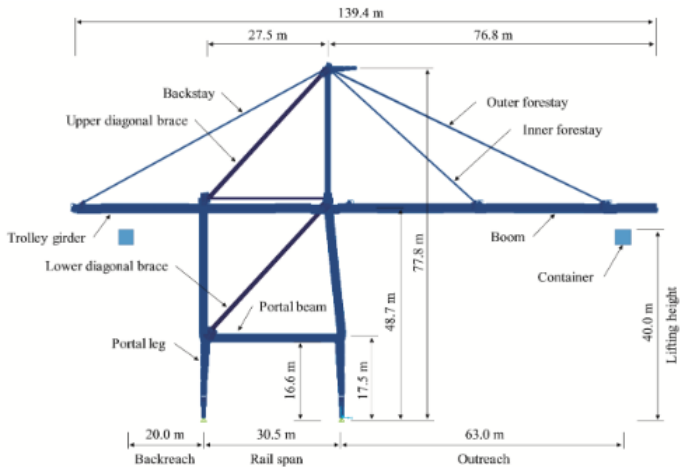
Gaya reaksi pada node 364 dan 367 pada kondisi ini meningkat hingga hampir mencapai nilai 3,6 MN. Meningkatnya gaya reaksi pada node 364 dan 367 disebabkan oleh bertambahnya beban gempa yang terjadi. Gaya reaksi yang terjadi pada node 370 dan 373 bernilai 0 dan lebih kecil dari 0. Gaya reaksi yang terjadi pada node 370 dan 373 menandakan bahwa *crane* sudah roboh kearah depan. Pada kondisi ini *crane* diberi beban gempa sebesar 14,87 MN atau setara dengan *magnitude* gempa sebesar 8,84 SR

*SU Crane* dengan ekstensi *girder* 3 meter, 6 meter dan 9 meter dapat beroperasi dengan normal tanpa menyebabkan *SU crane* roboh. Panjang ekstensi yang ditambahkan menyebabkan meningkatnya kemiringan yang terjadi. *SU crane* kondisi ekstensi 3 meter, 6 meter dan 9 meter mampu bertahan terhadap *magnitude* gempa sebesar 7,6 SR. Semakin besar ekstensi yang ditambahkan akan mengurangi ketahanan *SU crane* terhadap beban gempa. Kondisi ekstensi menyebabkan sambungan antara boom dengan struktur support bagian atas mengalami peningkatan tegangan secara signifikan, sehingga perlu dilakukan penguatan sambungan antara boom dengan struktur support bagian atas.

#### 2.4.2 *Sensitivity Analysis for Ship-to-Shore Container Crane Design*

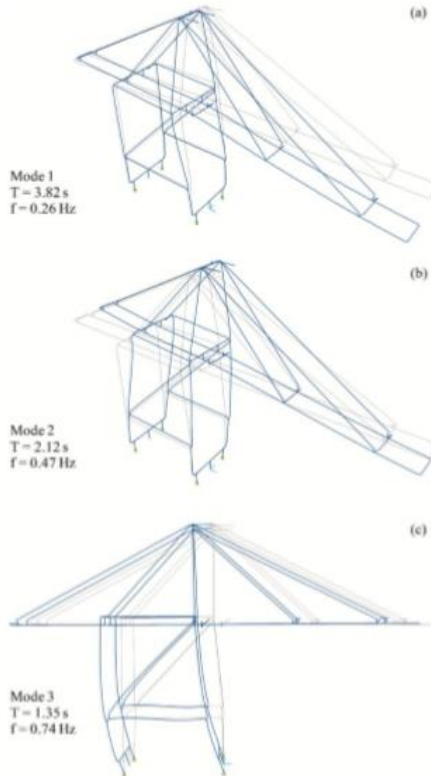
Pada penelitian yang dilakukan Quang Huy Tran, Jungwon Huh, dan Van Bac Nguyen melakukan analisa terhadap *Korean container crane* Intensitas gerakan tanah (mis., Percepatan spektral) adalah parameter input paling signifikan pada respons struktur, sebagaimana diukur dalam hal drift portal, reaksi vertikal kaki portal, dan geser total dasar. Pengaruh paling penting berikutnya adalah massa struktur dan karakteristik setiap gerakan tanah. Secara khusus, massa berkontribusi pengaruhnya terhadap reaksi vertikal (aksial) dan geser dasar total, sedangkan profil gerak

tanah adalah sensitivitas sekunder dalam hal penyimpangan portal crane kontainer.



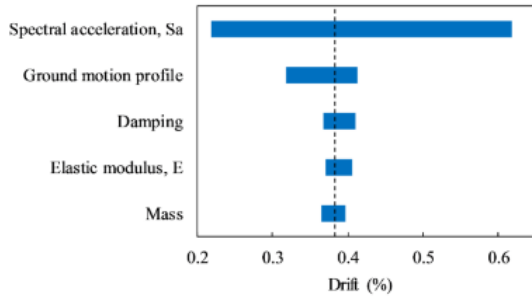
Gambar 2. 16 Dimensi keseluruhan container crane

Dalam penelitian ini, goyangan fundamental yang dipilih diasumsikan sebagai mode 3 dengan periode  $T = 1,35$  dtk. Goyangan dalam arah perjalanan troli juga dikenal sebagai istilah "goyangan portal". Hasil numerik dari penelitian ini juga menunjukkan mode 3 memiliki rasio partisipasi modal lebih dari 90% dalam arah perjalanan troli (arah darat-ke-perairan). Dengan demikian, mode 3 dianggap sebagai mode mendasar dalam penelitian ini.

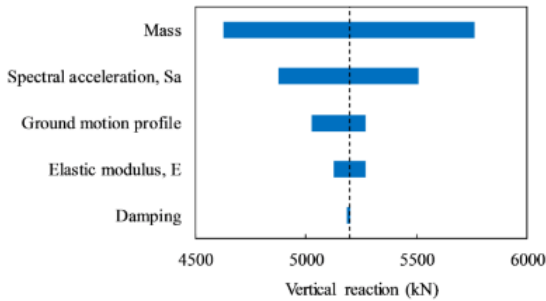


Gambar 2. 17 Mode shapes and natural periods 3 mode penting dari crane: (a) Torsi pada boom, (b) Torsi pada frame, (c) Portal bergoyang pada arah gerak troli

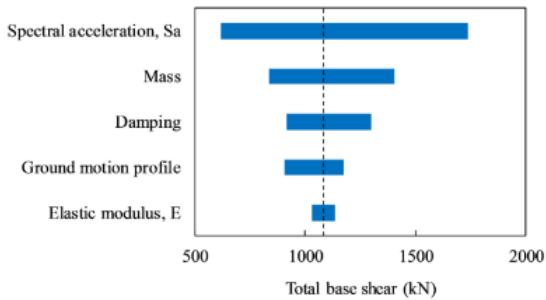
Studi ini menguji analisis sensitivitas crane kontainer STS Korea terhadap beberapa sumber ketidakpastian termasuk intensitas gerakan tanah, profil gerakan tanah, dan karakteristik struktural (mis. Massa, redaman, dan modulus elastis). Model FE tiga dimensi dari kontainer crane menggunakan analisis dinamis diterapkan untuk menganalisis satu set 20 gerakan tanah alami yang diskalakan ke tingkat intensitas gerakan tanah tiga yang diinginkan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. 18 Analisis sensitivitas untuk (a) drift bagian atas kaki tepi laut, (b) reaksi vertikal kaki tepi laut, dan (c) geser dasar total.

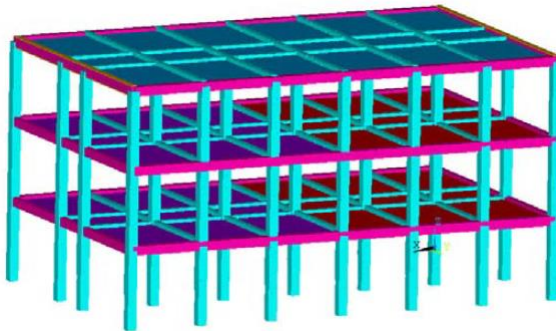
Intensitas gerakan tanah (mis., Akselerasi spektral) adalah parameter input paling signifikan pada respons struktur,

sebagaimana diukur dalam hal drift portal, reaksi vertikal kaki portal, dan geser dasar total. Pengaruh paling menonjol berikutnya adalah massa struktur dan karakteristik setiap gerakan tanah. Secara khusus, massa berkontribusi efeknya pada reaksi vertikal (aksial) dan geser dasar total, sementara profil gerak tanah adalah sensitivitas sekunder dalam hal penyimpanan portal crane kontainer.

Redaman memainkan peran yang relatif penting pada total geser dasar, sementara itu tidak menunjukkan dampak pada reaksi aksial kaki crane. Dari tiga parameter desain rekayasa (drift portal, reaksi vertikal, dan geser total dasar), modulus elastis menunjukkan dampak rendah, tetapi harus dianggap sebagai sumber ketidakpastian dalam analisis seismik.

#### *2.4.3 Static and dynamic simulation in the seismic behavior of a building structure using ANSYS program*

Pada penelitian ini Adriana Ionescu, Madalina Calbureanu dan Mihai Negru melakukan simulasi pada sebuah gedung ketika terjadi gempa. Analisis dilakukan dengan menggunakan 2 metode, yakni metode basic static equivalent earthquake dan modal spectrum analysis. Analisis dilakukan menggunakan aplikasi ANSYS, sedangkan gedung dimodelkan dengan model 3D.

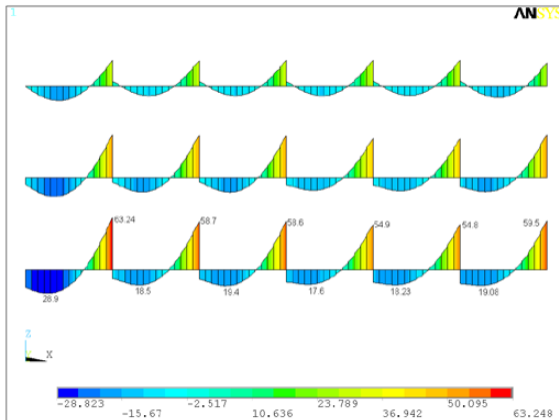


Gambar 2. 19 Model 3D gedung

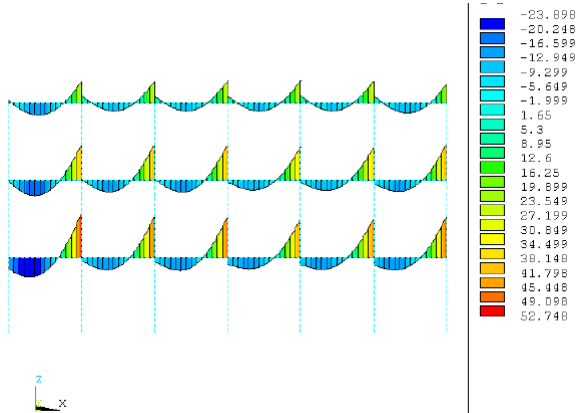


Pada metode basic static equivalent earthquake perlu untuk mencari beban gempa yang bekerja pada gedung terlebih dahulu sebelum mengaplikasikan beban gempa pada model struktur gedung. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode yang paling mudah dan paling tepat untuk mensimulasikan kondisi seismic.

Hasil yang didapatkan dari simulasi ditunjukkan pada gambar



Gambar 2. 20 Beams Moment diagram (BSE) on longitudinal frame



Gambar 2. 21 Beams Moment diagram (Modal Analysis) on longitudinal frame

Hasil menunjukkan adanya perbedaan hasil dari 2 metode yang disimulasikan seperti berikut:

- 14% momen *beam - longitudinal frame*.
- 16% momen kolom – *longitudinal frame*.
- 7 % gaya geser pada *beam – longitudinal frame*.
- 10% momen pada *beam - transversal frame*.
- 14% momen pada kolom – *transversal frame*.
- 10 % gaya geser pada *beam – transversal frame*.

Kesimpulan yang dapat diambil adalah untuk menentukan *seismic* pada aplikasi ANSYS lebih mudah menggunakan metode *modal spectral analysis* dengan rata-rata perbedaan pada hasil sebesar 11,8 %.

#### 2.4.4 Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan Base Share, Displacement, dan Drift Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Hotel di Daerah Karang Anyar)

Pada penelitian ini Donny Baiquny Febbrin, Agus Setiya Budi, Kusno Adi Sambowo melakukan evaluasi kinerja gaya

gempa pada gedung Hotel di daerah Karanganyar. Struktur gedung beton bertulang dengan ketinggian 12 Lantai. Fungsi utama bangunan adalah hotel. Analisis dilakukan dengan software ETABS dan dari program tersebut didapatkan hasil displacement pada bangunan yang diteliti. Selanjutnya dari berbagai kombinasi yang digunakan diambil nilai displacement yang paling besar.

Lantai	h (mm)	Statik Ekuivalen Displacement		Dinamik Respon Spektrum Displacement	
		Arah x (mm)	Arah y (mm)	Arah x (mm)	Arah y (mm)
11	4000	46,190	44,275	47,493	58,682
10	3500	43,413	41,264	44,928	54,965
9	3500	40,462	38,357	42,141	51,393
8	3500	36,905	34,889	38,784	47,191
7	3500	32,790	30,918	34,899	42,382
6	3500	28,269	26,589	30,587	37,068
5	3500	23,430	21,982	25,878	31,286
4	3500	18,393	17,296	20,809	25,080
3	3500	13,322	12,757	15,467	18,553
2	3500	8,359	8,286	9,962	11,856
1	5000	3,872	4,112	4,731	5,538

Gambar 2. 22 Displacement maksimal Gedung hasil output ETABS

Lantai	Syarat batas		$\Delta s$ Statik		Ket.	$\Delta s$ Dinamik		Ket.
	$\Delta s$ antar Lantai (mm)	$\Delta s$ Ekivalen (mm)	Arah X	Arah Y		Respon Spektrum (mm)		
						Arah X	Arah Y	
1	18,75	3,872	4,112	Aman	4,731	5,538	Aman	
2	13,125	4,4877	4,1735	Aman	5,2313	6,3179	Aman	
3	13,125	4,963	4,4713	Aman	5,5049	6,6967	Aman	
4	13,125	5,0708	4,5386	Aman	5,3425	6,5273	Aman	
5	13,125	5,0371	4,6864	Aman	5,0691	6,2058	Aman	
6	13,125	4,8384	4,6074	Aman	4,7086	5,7822	Aman	
7	13,125	4,5214	4,329	Aman	4,312	5,314	Aman	
8	13,125	4,1148	3,9708	Aman	3,8849	4,8093	Aman	
9	13,125	3,5575	3,4682	Aman	3,3575	4,2023	Aman	
10	13,125	2,9512	2,9067	Aman	2,7869	3,5712	Aman	
11	15	2,7762	3,0108	Aman	2,5648	3,717	Aman	

Gambar 2. 23 Kinerja batas layan gedung

Lantai	Syarat batas		Ket.	$\xi$ $\Delta m$ Dinamik Respon Spektrum (mm)		Ket.	
	$\Delta m$ (mm)	$\xi$ $\Delta m$ Statik Ekivalen (mm)					
		Arah X		Arah Y			
1	100	21,680	23,028	Aman	26,491	31,014	Aman
2	70	25,131	23,372	Aman	29,295	35,380	Aman
3	70	27,793	25,039	Aman	30,827	37,502	Aman
4	70	28,396	25,416	Aman	29,918	36,553	Aman
5	70	28,208	26,244	Aman	28,387	34,752	Aman
6	70	27,095	25,801	Aman	26,368	32,380	Aman
7	70	25,320	24,243	Aman	24,147	29,756	Aman
8	70	23,043	22,236	Aman	21,755	26,932	Aman
9	70	19,922	19,422	Aman	18,802	23,533	Aman
10	70	16,527	16,278	Aman	15,607	19,999	Aman
11	80	15,547	16,860	Aman	14,363	20,815	Aman

Gambar 2. 24 Kinerja batas ultimit gedung

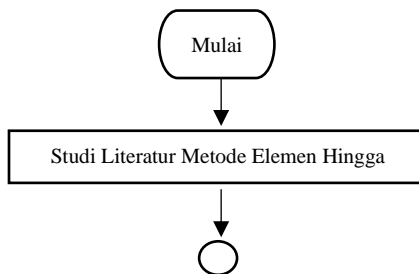
Berdasarkan analisis dinamik respon spektrum pada arah X dan Y menghasilkan  $V_{dinamik}$  lebih besar dari  $0,85 V_{statik}$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012. Berdasarkan nilai displacement pada arah X dan pada arah Y, maka simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana lebih kecil dari  $[(0,03/R)*H]$  sehingga dapat disimpulkan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan sesuai SNI 031726-2002. Berdasarkan nilai displacement pada arah X dan pada arah Y, maka simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi gedung diambang keruntuhan lebih kecil dari  $[0,02xH]$  sehingga dapat disimpulkan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas ultimit sesuai SNI 03-17262002. Berdasarkan hasil analisis dinamik respon spektrum nilai maksimum total drift dan inelastik drift pada arah X dan arah Y yang ditinjau berdasarkan Applied Technology Council 40 (ATC-40) termasuk dalam kategori level Immediate Occupancy yaitu apabila terkena gempa struktur bangunan aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/beroperasi kembali.

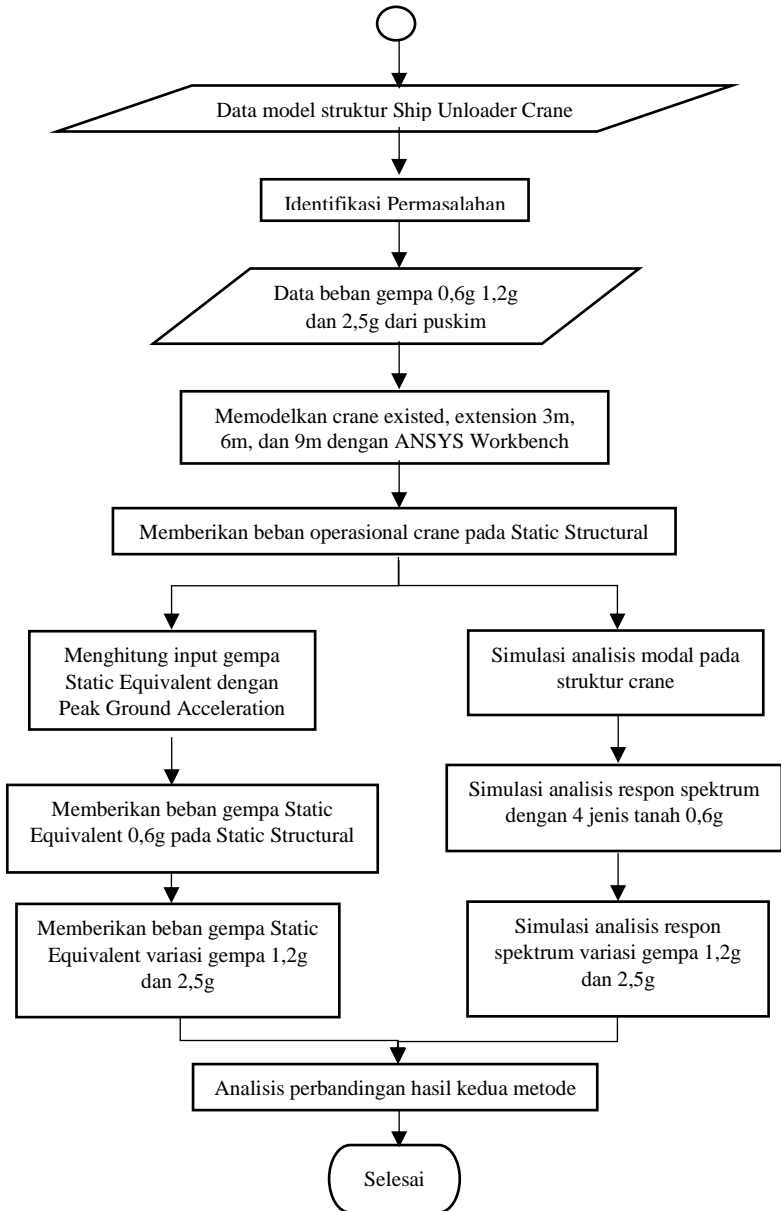
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Prosedur Penelitian

Berdasarkan SNI 1726-2012, ada banyak batasan yang diberikan dalam prosedur analisis statik ekuivalen. Pembatasan ini dilakukan karena hasil analisis statik ekuivalen kurang presisi untuk berbagai macam struktur yang dibangun. Oleh karena itu diperlukan analisis secara dinamik untuk memperoleh respons bangunan yang lebih mendekati respons struktur yang sebenarnya ketika terjadi gempa. Pada penelitian ini dilakukan analisis respon spektrum dengan beberapa tahapan dalam menunjang proses analisis secara keseluruhan Tugas Akhir ini.

Tahap pertama dilakukan studi literatur pada beberapa sumber berupa buku, jurnal, ataupun tugas akhir terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Tahap kedua memodelkan *crane ship unloader* PLTU dengan desain yang didapatkan. Kemudian dilakukan analisis modal pada kondisi eksisting dengan beban operasional maksimum menggunakan *software ANSYS Workbench*. Selanjutnya model diganti dengan ekstensi *girder* sepanjang 3 meter, 6 meter dan 9 meter. Tahap ketiga dilakukan analisis respon spektrum berupa beban gempa terhadap struktur *crane*. Berikut alur simulasi yang hendak dilakukan.





### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan pendalaman materi melalui berbagai buku diktat, jurnal ilmiah, serta laporan penelitian terdahulu yang relevan dengan analisis kekuatan struktur. Salah satu diktat yang digunakan adalah Shigley's Mechanical Engineering Design 9th Edition, Static and dynamic oleh Hibbeler dan Mechanical Vibrations Fifth Edition oleh Rao. S Singiresu. Untuk jurnal ilmiah yang digunakan adalah, "*Upgrading Study on Ship Unloader Crane*" oleh Irfansetya Basith, "*Sensitivity Analysis for Ship-to-Shore Container Crane Design*" oleh Quang Huy Tran, Jungwon Huh, dan Van Bac Nguyen dan "*Static and dynamic simulation in the seismic behavior of a building structure using ANSYS program*" oleh Adriana Ionescu, Madalina Calbureanu dan Mihai Negru.

### 3.3 Pengumpulan Data

Gantry Crane yang menjadi objek utama penelitian Tugas Akhir ini merupakan Gantry Crane milik manajemen PLTU. Berikut data yang didapatkan dari manajemen PLTU:

- a. Blueprint desain dari Gantry Crane
- b. Beban operasional Gantry Crane
- c. Data beban yang terpasang pada crane

### 3.4 Model Material

Data referensi material yang digunakan dalam proses perhitungan dengan metode elemen hingga merujuk pada data yang digunakan oleh PLTU. Material yang digunakan pada seluruh struktur crane adalah ASTM A907-50. Material properties dari ASTM A907-50 ditunjukkan pada tabel 3.1. material yang digunakan ketika kondisi ekstensi sepanjang 3 meter, 6 meter dan 9 meter JIS SS400 pada tabel 3.1.

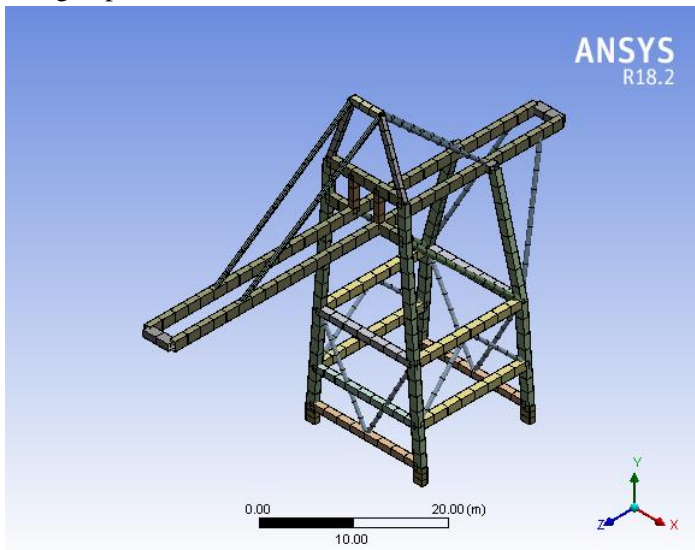
Sifat material	ASTM A907-50	SM490A	JIS SS400
Ultimate tensile strength, min MPa	450	490	400

Yield point, MPa	345	315	245
Elongation, %	21	21	17
Young's modulus, min, GPa		200	
Poisson rasio		0,3	
Density, $ton/m^3$		7,85	

Tabel 3. 1 Material properties

### 3.5 Model dan Meshing Struktur Crane Kondisi Eksisting dan Ekstensi

Data struktur *crane* dimodelkan secara langsung pada aplikasi ANSYS Workbench. Model struktur *crane* menggunakan referensi titik 0,0,0 sumbu X, Y dan Z diantara penyangga bagian depan. Berdasarkan referensi 0,0,0 sumbu X, Y dan Z dipetakan titik-titik sambungan pada struktur *crane*.



Gambar 3. 1 Mesh Model

Setiap garis yang terbentuk akan didefinisikan dengan bentuk dan ukuran dari truss sesuai data (terlampir) yang didapat dari PLTU.



Pelabuhan Ratu. Pada struktur *crane* terdapat 2 bentuk profil dari *ttruss*, yakni *rectangular truss* dan *circular tube*

### 3.6 Menentukan center of gravity

Ketika *crane* beroperasi dan tidak beroperasi letak center of gravity dari *crane* harus tetap pada batas yang aman. Titik dari center of gravity akan menentukan keseimbangan dari *crane* ketika beroperasi maupun ketika tidak beroperasi. Ketika boom *crane* dimodifikasi dengan bertambahnya panjang girder maka beban momen yang ditimbulkan beban operasi akan meningkat. Hal ini menyebabkan center of gravity dari *crane* bisa bergeser. Pada tabel 3.4 (terlampir) terdapat rincian beban dan titik beban bekerja pada *crane*. Selanjutnya digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum x \times W}{\sum W} \quad (3.1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y \times W}{\sum W} \quad (3.2)$$

$$\bar{z} = \frac{\sum z \times W}{\sum W} \quad (3.3)$$

Dengan menggunakan persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3 akan didapatkan center of gravity gabungan dari struktur *crane* dan beban instalasi pada *crane*. Model struktur *crane* menggunakan referensi titik 0,0,0 sumbu X, Y dan Z diantara penyangga bagian depan. Untuk memastikan peningkatan panjang dari girder dapat menggunakan persamaan momen pada tumpuan yang dimiliki *crane*.

Pada kondisi eksisting struktur *crane* tidak mengalami perubahan sama sekali. Kondisi eksisting adalah asumsi kondisi *crane* yang digunakan oleh PLTU. Pelabuhan Ratu hingga saat ini. Kondisi eksisting juga akan menjadi patokan sebagai pembanding dengan kondisi *crane* ketika sudah mengalami ekstensi sepanjang 3 meter, 6 meter dan 9 meter. Berikut adalah CoG *metal construction* berdasarkan hasil simulasi dengan memodelkan pada *ansys mechanical apdl* :

\*\*\*\*\* PRECISE MASS SUMMARY \*\*\*\*\*

TOTAL RIGID BODY MASS MATRIX ABOUT ORIGIN

Translational mass			Coupled translational/rotational mass		
0.30644E+06	0.0000	0.0000	0.0000	-0.12832E+07	0.57369E+07
0.0000	0.30644E+06	0.0000	0.12832E+07	0.0000	0.44565E-10
0.0000	0.0000	0.30644E+06	0.57369E+07	-0.44565E-10	0.0000
-----			-----		
Rotational mass (inertia)					
			0.19445E+09	-0.21828E-09	0.0000
			-0.26921E-09	0.55788E+08	0.11878E+08
			0.87311E-10	0.11878E+08	0.1544E+09

TOTAL MASS = **0.30644E+06**

The mass principal axes coincide with the global Cartesian axes

CENTER OF MASS (X,Y,Z)= **0.14543E-15 18.721 -4.1876**

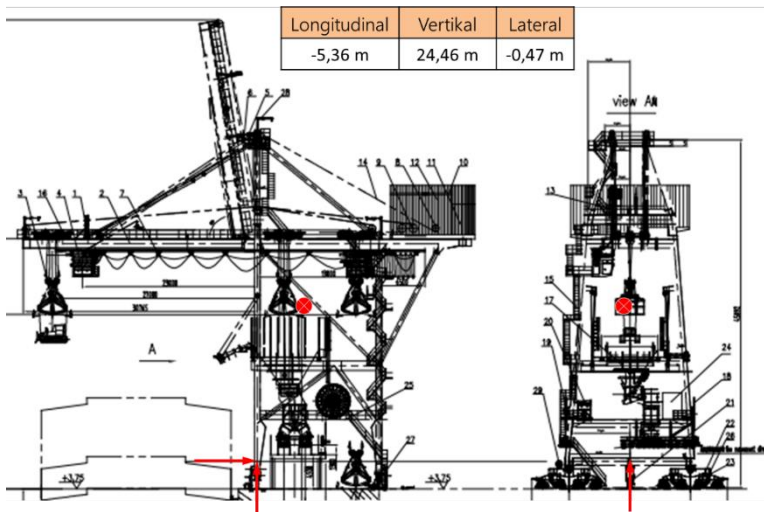
\*\*\*\*\*

Setelah CoG dari *metal construction* diketahui, kemudian dimasukkan pada tabulasi *excel* untuk mengetahui CoG dari seluruh struktur *crane* dan beban yang terkait. Tabulasi perhitungan CoG dapat dilihat pada tabel berikut

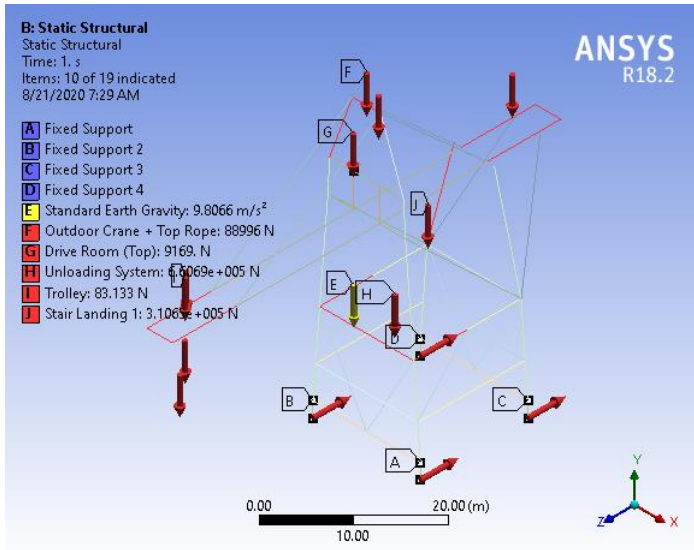
No	Bagian	Jml.	Berat		CoG (m)			Berat*CoG		
			Kg	Newton	Z	Y	X	x	y	z
1	Outdoor crane + top-sheave of rope system	1	9.081	88.996	0,0	46,3	0,0	0	420.460	0
2	Drive room (top)	1	936	9.169	0,0	37,5	-2,0	0	35.085	-1.834
3	Unloading system	1	67.445	660.960	-4,2	15,6	0,0	-284.617	1.048.768	0
4	Trolley	1	8.483	83.133	27,0	33,4	0,0	229.041	283.332	0
5	Stair landing 1	1	31.699	310.648	-16,0	17,8	-6,9	-507.180	564.238	-218.721
6	Stair landing 2	1	19.019	186.389	-1,5	41,0	-3,3	-28.529	779.789	-62.764
7	Machine room	1	141.980	1.391.404	-21,7	35,3	0,0	3.080.947	5.010.981	0
8	Driver control room	1	3.871	37.936	23,0	30,3	-3,8	89.033	117.396	-14.671
9	Grabe + dozer	1	39.300	385.140	27,0	25,3	0,0	1.061.100	994.760	0
10	Front-sheave of rope system	1	5.103	50.007	21,3	27,8	0,0	108.435	141.756	0

11	Metal construction (ANSYS)	1	306.440	3.013.069	-4,2	19,9	0,0	-989.055	6.118.374	0
Total (max. 724.801 kg)			634.372	6.223.194	52	330	-16	3.402.720	15.514.939	-297.990
Titik berat konstruksi		1	724.801	7.103.050	-5,36	24,46	-0,47	Calculated weight	84%	

Tabel 3. 2 Perhitungan CoG crane



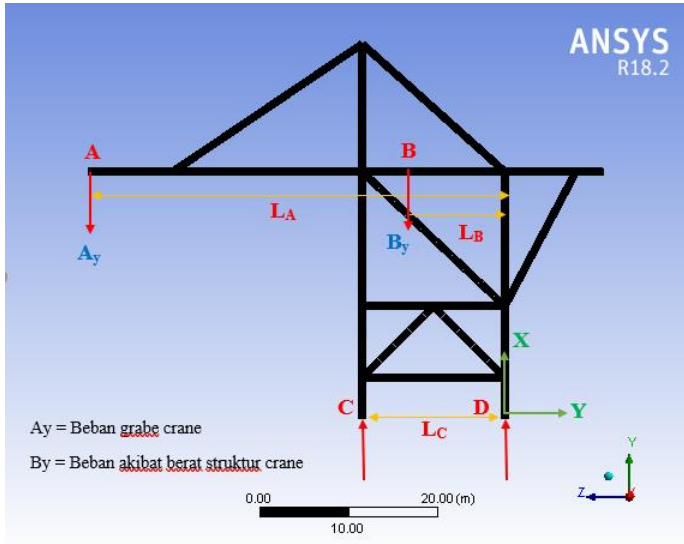
Gambar 3. 2 Posisi CoG struktur SUC



Gambar 3. 3 Boundary condition crane

### 3.7 Kestabilan Crane

Crane dimodelkan menjadi dua dimensi dan dilakukan perhitungan sederhana menggunakan kesetimbangan benda tegar untuk melihat gaya reaksi pada kaki tumpuan yang dihasilkan (titik C dan D). Ketika boom crane dimodifikasi dengan bertambahnya panjang girder maka beban momen yang ditimbulkan beban operasi akan meningkat



Gambar 3. 4 Free body diagram 2D crane

$$\uparrow + \cdot \Sigma F_y = 0$$

$$C_y + D_y - A_y - B_y = 0$$

$$C_y = (A_y + B_y) - D_y$$

$$\curvearrowright + \Sigma M = 0$$

$$M_A + M_B - M_C - M_D = 0$$

$$(A_y \times L_A) + (B_y \times L_B) - (C_y \times L_C) - (D_y \times L_D) = 0$$

$$(A_y \times L_A) + (B_y \times L_B) - ((A_y + B_y) - D_y) \times L_C - (D_y \times 0) = 0$$

$$(A_y \times L_A) + (B_y \times L_B) - ((A_y + B_y) \times L_C) + (D_y \times L_C) = 0$$

$$D_y = \frac{((A_y + B_y) \times L_C) - (A_y \times L_A) - (B_y \times L_B)}{L_C}$$

Ketika boom crane dimodifikasi dengan bertambahnya panjang girder maka beban momen yang ditimbulkan beban operasi akan meningkat. Adanya gempa akan menyebabkan pertambahan beban operasi di titik A bertambah besar sehingga beban momen yang ditimbulkan akan meningkat.

Input Gaya	Cy	Dy
100000	2539981	563237
400000	3402481	827
1100000	5414981	-1311673
1600000	6852481	-2249173
2400000	9152481	-3749173

Tabel 3. 3 Perhitungan kesetimbangan benda tegar

Berat crane sebesar 306 ton tidak divariasikan, namun input beban pada lengan crane divariasikan seiring dengan pertambahan magnitude gempa yang terjadi. Terdapat perubahan tanda dari positif ke negatif pada input gaya 400000 N dan 1100000 N. Perubahan tanda ini menandakan bahwa crane sudah tidak stabil.

### 3.8 Analisis Beban Statik Ekuivalen

Simulasi *static equivalent earthquake* bertujuan untuk melihat kemampuan struktur dari *crane* sesudah mengalami ekstensi sebesar 3 m, 6 m dan 9 m ketika terkena beban berupa gempa. Simulasi ini menggunakan simulasi uji secara statik, dimana beban gempa secara horizontal diberikan pada struktur penyangga *crane*. Pada simulasi ini beban yang diterima oleh *crane* sama dengan ketika uji statik kekuatan *crane* dan ditambah dengan beban gempa.

Beban gempa yang diberikan bersumber dari website milik Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Balitbang Kementerian PUPR Republik Indonesia. Terdapat 3 variasi gempa yang diambil dari peta  $MCE_R$  yaitu 0.6g-0.7g, 1.2g-1.5g, dan 2.5g-2.8g. Data yang didapat dari puskim disajikan pada tabel berikut

PGA (g)	0.326	PGA (g)	0.620	PGA (g)	0.999
$S_S$ (g)	0.664	$S_S$ (g)	1.511	$S_S$ (g)	2.616
$S_1$ (g)	0.251	$S_1$ (g)	0.556	$S_1$ (g)	0.951
$C_{RS}$	0.994	$C_{RS}$	0.963	$C_{RS}$	0.986
$C_{R1}$	0.935	$C_{R1}$	0.933	$C_{R1}$	0.97
$F_{PGA}$	1	$F_{PGA}$	1.000	$F_{PGA}$	0.9
$F_A$	1	$F_A$	1.000	$F_A$	0.9
$F_V$	1	$F_V$	1.000	$F_V$	2.4
PSA (g)	0.326	PSA (g)	0.620	PSA (g)	0.899
$S_{MS}$ (g)	0.664	$S_{MS}$ (g)	1.511	$S_{MS}$ (g)	2.354
$S_{M1}$ (g)	0.251	$S_{M1}$ (g)	0.556	$S_{M1}$ (g)	2.283
$S_{DS}$ (g)	0.443	$S_{DS}$ (g)	1.008	$S_{DS}$ (g)	1.57
$S_{D1}$ (g)	0.167	$S_{D1}$ (g)	0.371	$S_{D1}$ (g)	1.522
$T_0$ (detik)	0.075	$T_0$ (detik)	0.074	$T_0$ (detik)	0.194
$T_S$ (detik)	0.377	$T_S$ (detik)	0.368	$T_S$ (detik)	0.97

Tabel 3. 4 Data ketiga variasi gempa

Setelah didapatkan data pada tabel kemudian perlu untuk menentukan karakteristik tanah yang menjadi tumpuan *crane*. Struktur *crane* bertumpu diatas pondasi *jetty* maka dapat diibaratkan *crane* berada diatas tanah dengan struktur batuan. Kemudian akan didapatkan percepatan maksimal dari struktur tanah batuan yang berada pada ketiga peta lokasi gempa. Selanjutnya besaran gaya gempa dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan rumus 2.1

Gaya gempa yang didapat dari perhitungan statik ekuivalen dapat dikonversikan ke besaran skala richter dengan menggunakan rumus *peak ground acceleration*. Untuk mendapatkan jarak R

maka diperlukan untuk melihat historis gempa pada lokasi terkait di repogempa.bmkg.go.id

The Agency for Meteorology Climatology and Geophysics (BMKG)  
Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS)

-----

Format origin results for:  
Latitude : -8 until -6  
Longitude: 105 until 107  
Depth : 1 until 1000  
Magnitude: 1 until 9.5  
Time : 2020/07/01 until 2020/07/20

-----

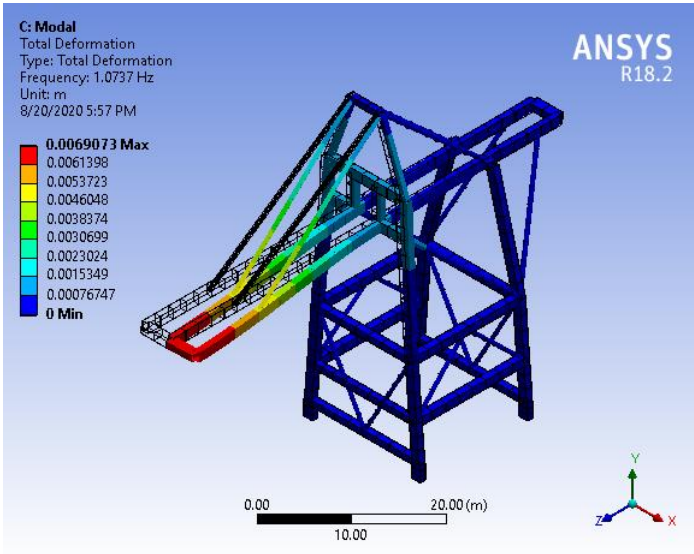
Date	Time	Lat	Lon	Dep M	MT	Region
2020/07/14	05:28:40.155	7.44 S	106.07 E	22 3.4	-	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/14	00:04:34.175	7.00 S	106.06 E	97 5.0	Yes	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/12	17:09:14.183	7.11 S	106.92 E	10 2.7	-	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/10	12:38:01.195	6.22 S	105.64 E	99 3.4	-	<a href="#">Sunda Strait, Indonesia</a>
2020/07/10	04:55:57.317	7.69 S	106.91 E	20 4.6	-	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/08	14:54:46.487	6.10 S	105.67 E	174 4.4	-	<a href="#">Sunda Strait, Indonesia</a>
2020/07/08	02:19:16.522	7.65 S	106.20 E	15 3.0	-	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/07	04:44:14.426	6.72 S	106.14 E	90 5.1	Yes	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/06	10:33:11.753	6.79 S	105.86 E	165 3.7	-	<a href="#">Sunda Strait, Indonesia</a>
2020/07/04	20:09:03.747	6.33 S	106.20 E	107 2.5	-	<a href="#">Java, Indonesia</a>
2020/07/03	20:54:31.848	6.01 S	105.17 E	10 3.0	-	<a href="#">Sunda Strait, Indonesia</a>
2020/07/03	06:12:25.426	6.03 S	105.17 E	10 3.2	-	<a href="#">Sunda Strait, Indonesia</a>
2020/07/02	12:00:44.395	7.69 S	106.91 E	18 4.3	-	<a href="#">Java, Indonesia</a>

Gambar 3. 5 Historis gempa Sukabumi

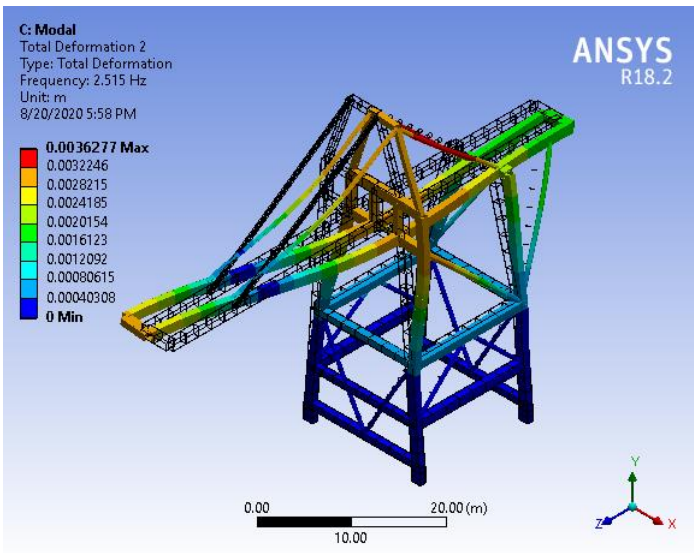
### 3.9 Analisis Modal pada Struktur Crane

Lima puluh bentuk mode gerak dicari dengan jarak frekuensi dari 0 hingga 14 Hz untuk dipertimbangkan dalam analisis. Hanya tiga bentuk modal dengan periode alami dan frekuensi yang diilustrasikan pada Gambar. Menurut kegagalan yang pernah terjadi, mode kegagalan khas selama gempa bumi adalah penarikan kendaraan (pengangkatan), penggelinciran, tekuk, dan terbalik. Sebagian besar mekanisme kegagalan menghasilkan miring dan terbalik dalam arah perjalanan troli. Goyangan dalam arah perjalanan troli juga dikenal sebagai istilah "goyangan portal", seperti yang didefinisikan oleh Jacobs L.D.

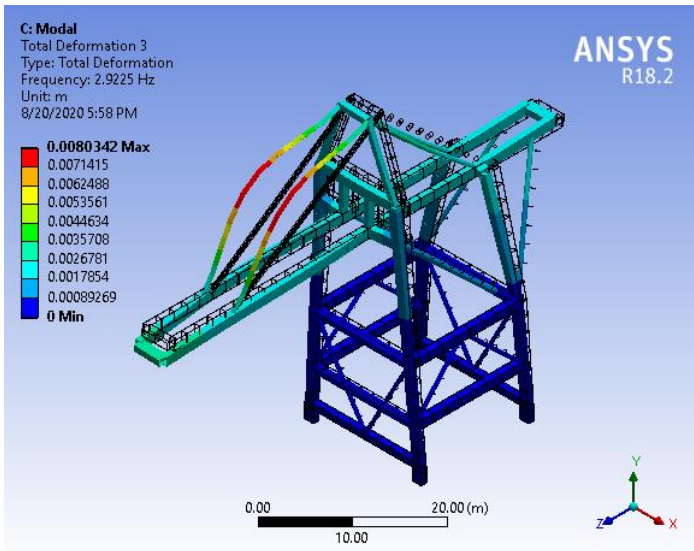




Gambar 3. 6 Mode 1 Analisa Modal



Gambar 3. 7 Mode 2 Analisa Modal

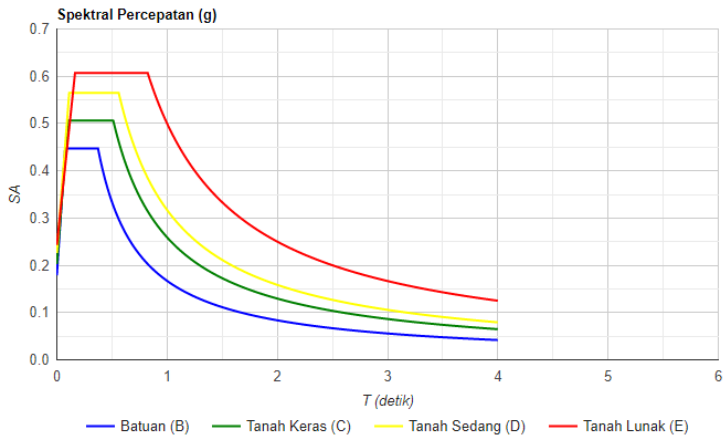


Gambar 3. 8 Mode 3 Analisa Modal

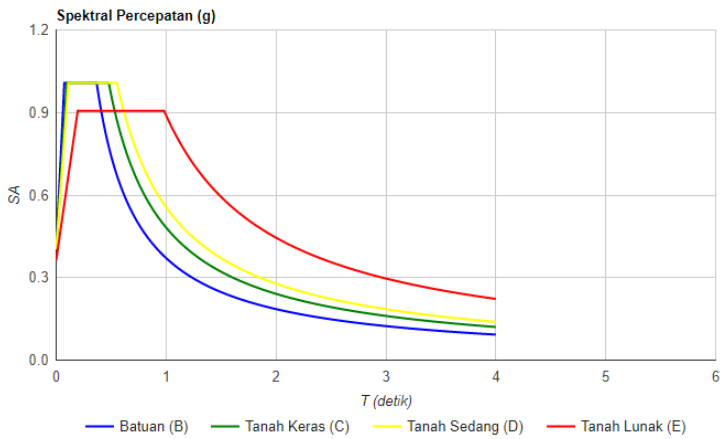
### 3.10 Analisis Respon Spektrum

Simulasi Respon Spektrum bertujuan untuk melihat kemampuan struktur dari *crane* sesudah mengalami ekstensi sebesar 3 m, 6 m dan 9 m ketika terkena beban berupa gempa. Simulasi ini menggunakan grafik spectral percepatan sebagai input beban gempa yang diberikan pada struktur penyangga *crane*. Pada simulasi ini beban yang diterima oleh *crane* adalah beban operasi ditambah dengan beban gempa.

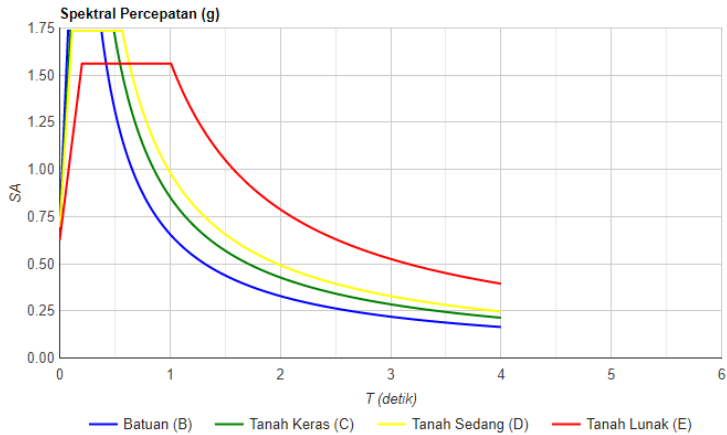
Beban gempa yang diberikan bersumber dari website milik Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Balitbang Kementerian PUPR Republik Indonesia yang berlokasi di kabupaten sukabumi. Terdapat 3 variasi gempa yang diambil dari peta  $MCE_R$  yaitu 0.6g-0.7g, 1.2g-1.5g, dan 2.5g-2.8g. Data yang didapat dari puskim disajikan dengan grafik spectral percepatan dengan perioda.



Gambar 3. 9 Grafik respon spektrum gempa 0,6g-0,7g

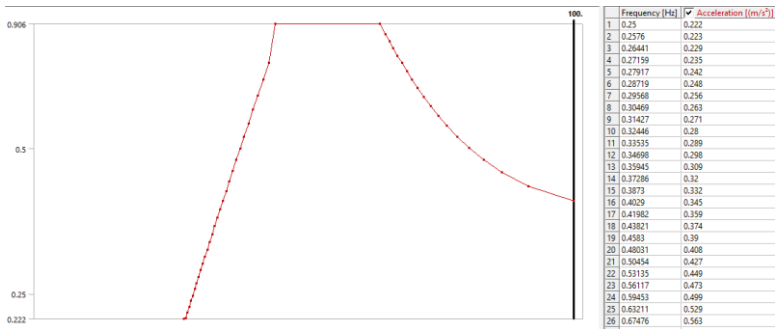


Gambar 3. 10 Grafik respon spektrum gempa 1,2g-1,5g



Gambar 3. 11 Grafik respon spektrum gempa 2,5g-2,8g

Gempa terjadi diasumsikan ketika *SU crane* sedang melakukan proses bongkar muat, sehingga pada kondisi ini *boogie wheel* dikunci. Kondisi ketika *boogie wheel* dikunci *SU crane* tidak dapat bergerak secara translasi. Untuk gerak pada arah sumbu X dan Y dikunci, karena *SU crane* hanya dapat bergerak diatas rel (pada arah sumbu X). Untuk gerakan rotasi dibebaskan, karena ketika gempa terjadi *SU crane* bisa roboh (rotasi) terhadap sumbu X dan Z. Grafik respon spektrum yang didapat dari puskim masih berupa percepatan dan perioda, sehingga perlu mengkonversi perioda menjadi frekuensi sebagai input respon spektrum pada Ansys Workbench.



Gambar 3. 12 Grafik Respon Spektrum pada Ansys Workbench

## **BAB IV**

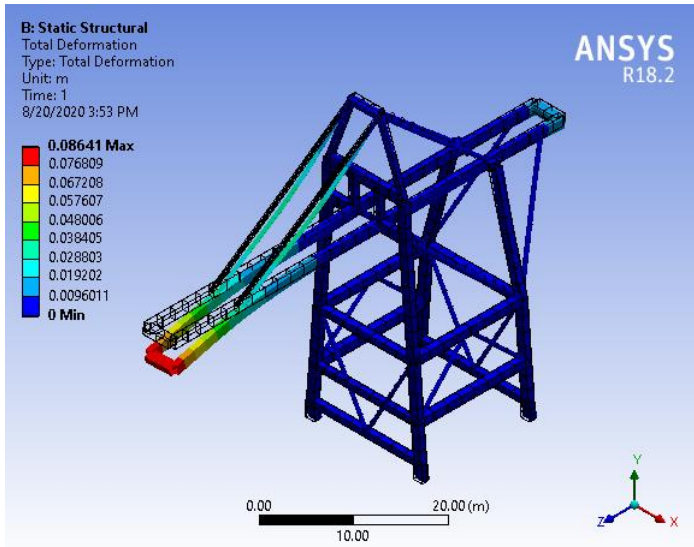
### **PEMBAHASAN**

#### 4.1 Analisis Beban Statik Ekuivalen

Ketahanan *crane* terhadap gempa perlu untuk dievaluasi ketika mengalami ekstensi 3 m, ekstensi 6 m dan ekstensi 9 m. Simulasi ketahanan terhadap gempa dilakukan untuk memperkirakan ketahanan *crane* ketika *crane* mengalami beban gempa. selanjutnya akan dibahas ketahanan *crane* terhadap gempa pada kondisi eksisting, ekstensi 3 m , ekstensi 6 m dan ekstensi 9 m.

##### 4.1.1 Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting struktur *crane* tidak mengalami perubahan sama sekali. Kondisi eksisting adalah asumsi kondisi *crane* yang digunakan oleh PLTU. Pelabuhan Ratu hingga saat ini. Kondisi eksisting juga akan menjadi patokan sebagai pembanding dengan kondisi *crane* ketika sudah mengalami ekstensi sepanjang 3 meter, 6 meter dan 9 meter. Pada kondisi ini *crane* mula mula diberikan beban gempa sebesar 706444.4306 N atau setara dengan 3,86 Skala Richter. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar



Gambar 4. 1 Total deformasi pada kondisi eksisting

Beban gempa kemudian dinaikkan ke variasi beban 1,17 MN yang setara dengan gempa 4,72 Skala Richter dan variasi beban 2,02 MN yang setara dengan gempa 5,68 Skala Richter. Beban maksimal diketahui dengan melihat deformasi total dan gaya reaksi yang terjadi pada crane. Gaya reaksi kondisi eksisting adalah reaksi yang timbul untuk melawan beban operasi yang bekerja pada struktur *crane*. Gaya reaksi berfungsi untuk menjaga *crane* tetap seimbang, sehingga *crane* tidak berpindah posisi dari posisi semula. Gaya reaksi eksisting akan menjadi acuan dari hasil simulasi *crane* yang mengalami ekstensi. Perubahan gaya reaksi karena penambahan beban gempa adalah sebagai berikut

Tanpa Beban Gempa			
X	Y	Z	Total
77954	1341000	25441	1343500

Beban Gempa 3,86 SR			
77954	1341000	731880	1529700
Beban Gempa 4,72 SR			
77954	1341000	1197400	1799500
Beban Gempa 5,68 SR			
77954	1341000	2055200	2455200

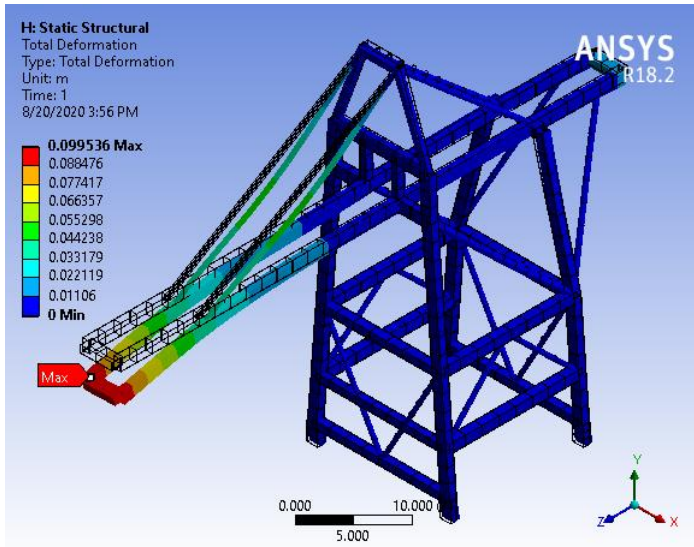
Tabel 4. 1 Gaya reaksi crane existing

Bertambahnya beban gempa yang diberikan maka akan semakin besar gaya reaksi yang timbul pada tumpuan crane. Pemberian gaya secara horizontal pada tumpuan kaki fixed support tidak memberikan perubahan deformasi yang terjadi pada crane, deformasi maksimum tetap pada ujung lengan girder sebesar 0,08641 meter. Gaya reaksi arah horizontal Z bertambah dikarenakan input beban gempa yang juga bertambah, namun gaya reaksi ke arah X dan Y nilainya tetap. Naiknya gaya reaksi adalah pengaruh dari beban yang timbul disebabkan beban gempa bertambah.

#### 4.1.2 Kondisi Ekstensi 3 Meter

Pada kondisi eksisting *crane* mula mula diberikan beban gempa sebesar 711519.2 N atau setara dengan 3,86 Skala Richter. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar





Gambar 4. 2 Total deformasi pada kondisi ekstensi 3 meter

Beban gempa kemudian dinaikkan ke variasi beban 1,18 MN yang setara dengan gempa 4,72 Skala Richter dan variasi beban 2,04 MN yang setara dengan gempa 5,68 Skala Richter. Beban maksimal diketahui dengan melihat deformasi total dan gaya reaksi yang terjadi pada crane. Gaya reaksi kondisi ekstensi 3 meter adalah reaksi yang timbul untuk melawan beban operasi yang bekerja pada struktur *crane*. Gaya reaksi berfungsi untuk menjaga *crane* tetap seimbang, sehingga *crane* tidak berpindah posisi dari posisi semula.

Tanpa Beban Gempa			
X	Y	Z	Total
64597	1251200	25320	1253100
Beban Gempa 3,86 SR			
64597	1251200	736840	1453500

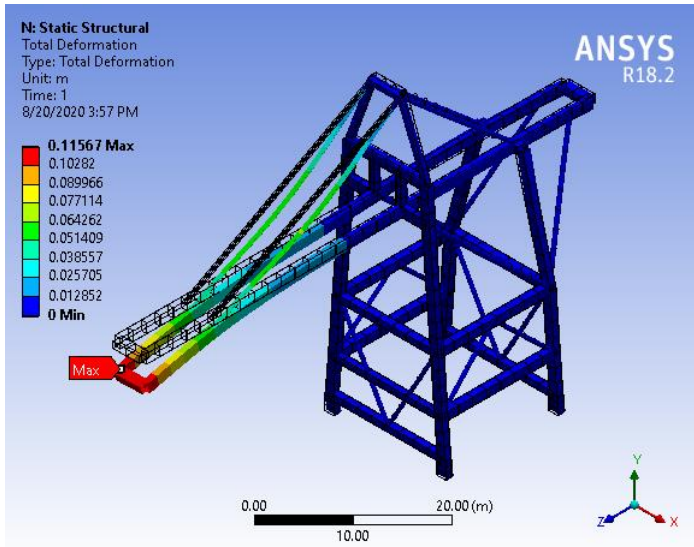
Beban Gempa 4,72 SR			
64597	1251200	1205700	1738800
Beban Gempa 5,68 SR			
64597	1251200	2069600	2419300

Tabel 4. 2 Gaya reaksi crane ekstensi 3 meter

Bertambahnya beban gempa yang diberikan maka akan semakin besar gaya reaksi yang timbul pada tumpuan crane. Pemberian gaya secara horizontal pada tumpuan kaki fixed support tidak memberikan perubahan deformasi yang terjadi pada crane, deformasi maksimum tetap pada ujung lengan girder sebesar 0,099536 meter. Gaya reaksi arah horizontal Z bertambah dikarenakan input beban gempa yang juga bertambah, namun gaya reaksi ke arah X dan Y nilainya tetap. Naiknya gaya reaksi adalah pengaruh dari beban yang timbul disebabkan berat material ekstensi *girder* sepanjang 3 meter dan beban gempa. Bertambahnya jangkauan dari *grab* dan *trolley* menimbulkan efek momen yang lebih besar terhadap struktur penyangga. Pada kondisi ekstensi 3 m gaya reaksi pada fix support 4 tidak bernilai 0, sehingga diketahui bahwa kondisi ekstensi 3 m tidak membuat crane roboh. Gaya reaksi tidak boleh melebihi 3,6 MPa, jika gaya reaksi melebihi nilai 3,6 MPa dapat dikatakan bahwa boogie mengalami kerusakan. Naik dan turunnya nilai gaya reaksi pada struktur penyangga perlu diperhatikan ketika melakukan ekstensi pada girder, agar crane tidak berubah roboh ketika sedang beroperasi.

#### 4.1.3 Kondisi Ekstensi 6 Meter

Pada kondisi eksisting *crane* mula mula diberikan beban gempa sebesar 716627.6 N atau setara dengan 3,86 Skala Richter. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar



Gambar 4. 3 Total deformasi pada kondisi ekstensi 6 meter

Beban gempa kemudian dinaikkan ke variasi beban 1,18 MN yang setara dengan gempa 4,72 Skala Richter dan variasi beban 2,05 MN yang setara dengan gempa 5,68 Skala Richter. Beban maksimal diketahui dengan melihat deformasi total dan gaya reaksi yang terjadi pada crane. Gaya reaksi kondisi ekstensi 6 meter adalah reaksi yang timbul untuk melawan beban operasi yang bekerja pada struktur *crane*. Gaya reaksi berfungsi untuk menjaga *crane* tetap seimbang, sehingga *crane* tidak berpindah posisi dari posisi semula.

Tanpa Beban Gempa			
X	Y	Z	Total
50617	1157000	25192	1158400
Beban Gempa 3,86 SR			
50617	1157000	741820	1375300

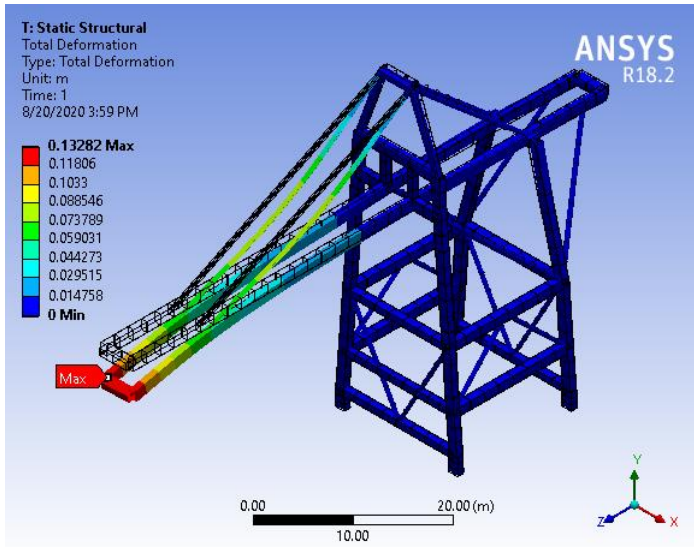
Beban Gempa 4,72 SR			
50617	1157000	1214100	1677800
Beban Gempa 5,68 SR			
50617	1157000	2084200	2384300

Tabel 4. 3 Gaya reaksi crane ekstensi 6 meter

Bertambahnya beban gempa yang diberikan maka akan semakin besar gaya reaksi yang timbul pada tumpuan crane. Pemberian gaya secara horizontal pada tumpuan kaki fixed support tidak memberikan perubahan deformasi yang terjadi pada crane, deformasi maksimum tetap pada ujung lengan girder sebesar 0,11567 meter. Gaya reaksi arah horizontal Z bertambah dikarenakan input beban gempa yang juga bertambah, namun gaya reaksi ke arah X dan Y nilainya tetap. Naiknya gaya reaksi adalah pengaruh dari beban yang timbul disebabkan berat material ekstensi *girder* sepanjang 6 meter dan beban gempa. Bertambahnya jangkauan dari *grab* dan *trolley* menimbulkan efek momen yang lebih besar terhadap struktur penyangga. Pada kondisi ekstensi 6 m gaya reaksi pada fix support 4 tidak bernilai 0, sehingga diketahui bahwa kondisi ekstensi 6 m tidak membuat crane roboh. Gaya reaksi tidak boleh melebihi 3,6 MN, jika gaya reaksi melebihi nilai 3,6 MN dapat dikatakan bahwa boogie mengalami kerusakan. Naik dan turunnya nilai gaya reaksi pada struktur penyangga perlu diperhatikan ketika melakukan ekstensi pada girder, agar crane tidak berubah roboh ketika sedang beroperasi.

#### 4.1.4 Kondisi Ekstensi 9 Meter

Pada kondisi eksisting *crane* mula mula diberikan beban gempa sebesar 722081.7 N atau setara dengan 3,86 Skala Richter. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar



Gambar 4. 4 Total deformasi pada kondisi ekstensi 9 meter

Beban gempa kemudian dinaikkan ke variasi beban 1,18 MN yang setara dengan gempa 4,72 Skala Richter dan variasi beban 2,05 MN yang setara dengan gempa 5,68 Skala Richter. Beban maksimal diketahui dengan melihat deformasi total dan gaya reaksi yang terjadi pada crane. Gaya reaksi kondisi ekstensi 9 meter adalah reaksi yang timbul untuk melawan beban operasi yang bekerja pada struktur *crane*. Gaya reaksi berfungsi untuk menjaga *crane* tetap seimbang, sehingga *crane* tidak berpindah posisi dari posisi semula.

Tanpa Beban Gempa			
X	Y	Z	Total
36019	1058800	25441	1343500
Beban Gempa 3,86 SR			
36019	1058800	747160	1296300

Beban Gempa 4,72 SR			
36019	1058800	1223000	1618000
Beban Gempa 5,68 SR			
36019	1058800	2099700	2351800

Tabel 4. 4 Gaya reaksi crane ekstensi 9 meter

Bertambahnya beban gempa yang diberikan maka akan semakin besar gaya reaksi yang timbul pada tumpuan crane. Pemberian gaya secara horizontal pada tumpuan kaki fixed support tidak memberikan perubahan deformasi yang terjadi pada crane, deformasi maksimum tetap pada ujung lengan girder sebesar 0,13282 meter. Gaya reaksi arah horizontal Z bertambah dikarenakan input beban gempa yang juga bertambah, namun gaya reaksi ke arah X dan Y nilainya tetap. Naiknya gaya reaksi adalah pengaruh dari beban yang timbul disebabkan berat material ekstensi *girder* sepanjang 9 meter dan beban gempa. Bertambahnya jangkauan dari *grab* dan *trolley* menimbulkan efek momen yang lebih besar terhadap struktur penyangga. Pada kondisi ekstensi 9 m gaya reaksi pada fix support 4 tidak bernilai 0, sehingga diketahui bahwa kondisi ekstensi 9 m tidak membuat crane roboh. Gaya reaksi tidak boleh melebihi 3,6 MN, jika gaya reaksi melebihi nilai 3,6 MN dapat dikatakan bahwa boogie mengalami kerusakan. Naik dan turunnya nilai gaya reaksi pada struktur penyangga perlu diperhatikan ketika melakukan ekstensi pada girder, agar crane tidak berubah roboh ketika sedang beroperasi.

#### 4.2 Mode Shape Results

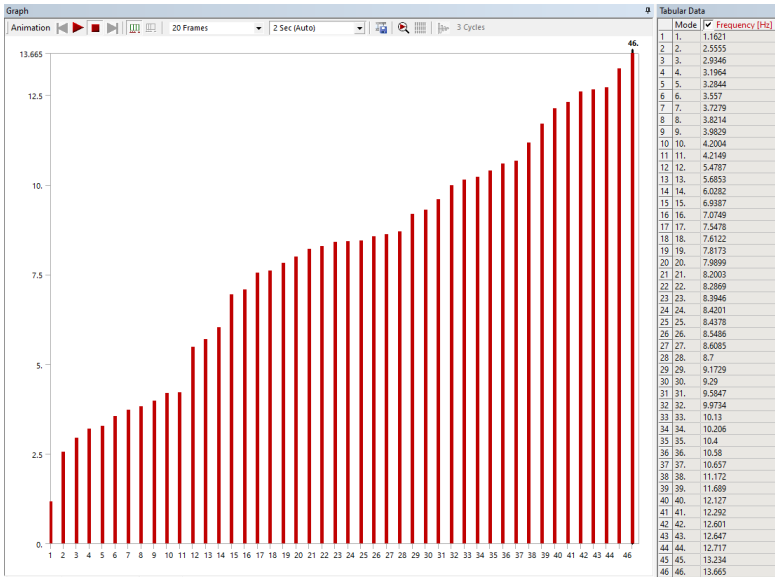
Pada analisa modal bentuk getaran struktur terhadap frekuensi natural sangat perlu diperhatikan, agar mendapat mode shape struktur crane maka aplikasi *Ansys Workbench* akan mensimulasikan dengan menggunakan *Block Lanczos Iteration*.

Setelah melakukan simulasi maka didapatkan data data penting seperti frekuensi natural, deformasi, dan goyangan fundamental struktur.

Pada analisa modal ini frekuensi range akan dibatasi menjadi 0 Hz – 14 Hz untuk mendapatkan frekuensi yang dapat bereksitasi dengan data respon spektrum yang ada. Dengan mengatur pencarian mode ke 50 maka hasil *ratio effective mass to total mass* akan mampu mencapai angka 80%.

#### 4.2.1 Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting struktur *crane* tidak mengalami perubahan sama sekali. Kondisi eksisting adalah asumsi kondisi *crane* yang digunakan oleh PLTU Pelabuhan Ratu hingga saat ini. Kondisi eksisting juga akan menjadi patokan sebagai pembanding dengan kondisi *crane* ketika sudah mengalami ekstensi sepanjang 3 meter, 6 meter dan 9 meter. Pada kondisi eksisting didapatkan 46 mode shape dan juga frekuensinya berikut adalah hasilnya:



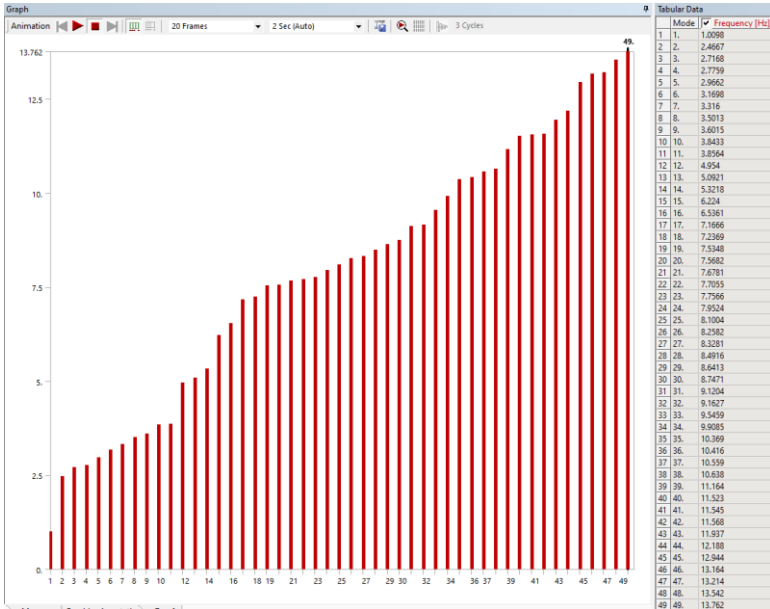
Gambar 4. 5 Mode Shape Results Existing Crane

Pada kondisi eksisting didapatkan 46 dari 50 mode shape yang diatur dengan parameter Ratio eff. Mass to total mass  $x = 85.94\%$ ,  $y = 25.28\%$ ,  $z = 90.43\%$ ,  $rotx = 87.43\%$ ,  $roty = 89.30\%$ , dan  $rotz = 93.39\%$ .

#### 4.2.2 Kondisi Ekstensi 3 Meter

Pada kondisi ekstensi sepanjang 3 meter, *crane* mengalami penambahan panjang sebesar 3 meter. Pada kondisi kondisis ini *girder* mengalami ekstensi sebesar 3 meter dengan harapan *grab* mampu menjangkau kapal *vessel* dengan kapasitas 5000 DWT. Pada kondisi ini titik jangkauan maksimum dari *grab* bertambah dan struktur *support* untuk *boom* bergeser sebesar 3 meter. Pergeseran ini akan mempengaruhi iterasi frekuensi pada analisa modal. Berikut adalah hasil simulasi pada Ansys Workbench:



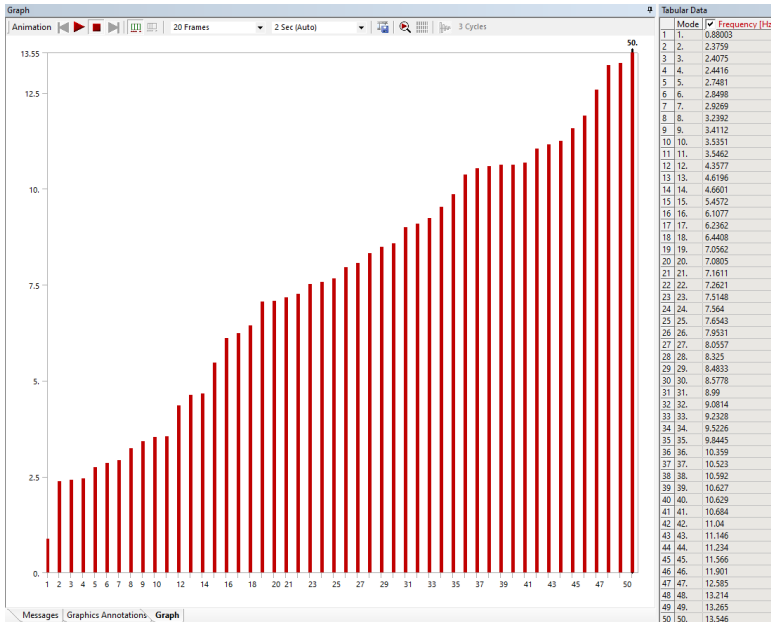


Gambar 4. 6 Mode Shape Results 3M Crane

Pada kondisi eksisting didapatkan 49 dari 50 mode shape yang diatur dengan parameter Ratio eff. Mass to total mass  $x = 86.09\%$ ,  $y = 27.03\%$ ,  $z = 90.63\%$ ,  $rot_x = 87.96\%$ ,  $rot_y = 90.26\%$ ,  $rot_z = 93.56\%$ .

#### 4.2.3 Kondisi Ekstensi 6 Meter

Pada kondisi ekstensi sepanjang 6 meter, *crane* mengalami penambahan panjang sebesar 6 meter. Pada kondisi kondisi ini *girder* mengalami ekstensi sebesar 6 meter dengan harapan *grab* mampu menjangkau kapal *vessel* dengan kapasitas 5000 DWT. Pada kondisi ini titik jangkauan maksimum dari *grab* bertambah dan struktur *support* untuk *boom* bergeser sebesar 6 meter. Pergeseran ini akan mempengaruhi iterasi frekuensi pada analisa modal. Berikut adalah hasil simulasi pada Ansys Workbench:



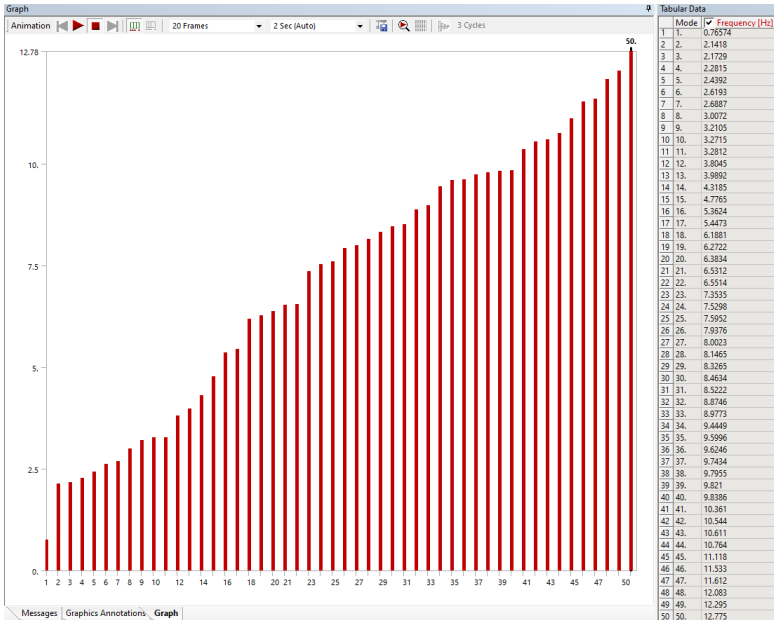
Gambar 4. 7 Mode Shape Results 6M Crane

Pada kondisi eksisting didapatkan 50 dari 50 mode shape yang diatur dengan parameter Ratio eff. Mass to total mass  $x = 86.32\%$ ,  $y = 27.26\%$ ,  $z = 90.62\%$ ,  $rotx = 88.49\%$ ,  $roty = 91.11\%$ ,  $rotz = 93.71\%$

#### 4.2.4 Kondisi Ekstensi 9 Meter

Pada kondisi ekstensi sepanjang 9 meter, *crane* mengalami penambahan panjang sebesar 9 meter. Pada kondisi kondisi ini *girder* mengalami ekstensi sebesar 9 meter dengan harapan *grab* mampu menjangkau kapal *vessel* dengan kapasitas 5000 DWT. Pada kondisi ini titik jangkauan maksimum dari *grab* bertambah dan struktur *support* untuk *boom* bergeser sebesar 9 meter. Pergeseran ini akan mempengaruhi nilai iterasi frekuensi pada

analisa modal. Berikut adalah hasil simulasi pada Ansys Workbench:



Gambar 4. 8 Mode Shape Results 9M Crane

Pada kondisi eksisting didapatkan 50 dari 50 mode shape yang diatur dengan parameter Ratio eff. Mass to total mass  $x = 86.42\%$ ,  $y = 27.83\%$ ,  $z = 90.51\%$ ,  $rotx = 89.01\%$ ,  $roty = 91.82\%$ ,  $rotz = 93.56\%$

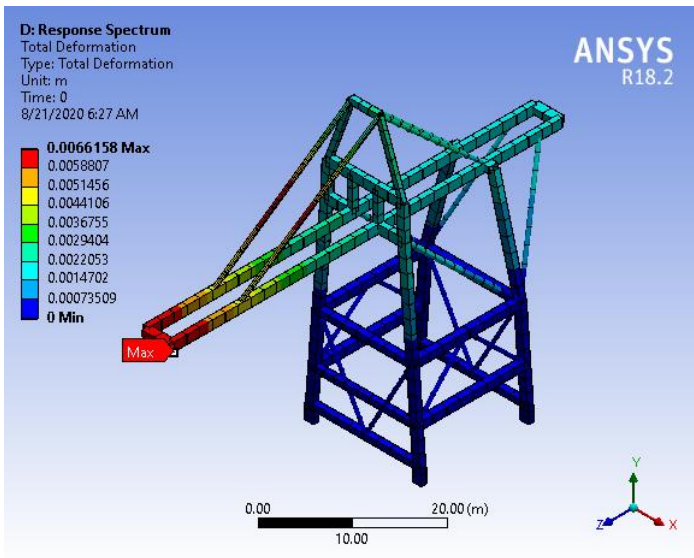
### 4.3 Analisis Respon Spektrum

Ketahanan *crane* terhadap gempa perlu untuk dievaluasi ketika mengalami ekstensi 3 m, ekstensi 6 m dan ekstensi 9 m. Simulasi ketahanan terhadap gempa dilakukan untuk memperkirakan ketahanan *crane* ketika *crane* mengalami beban gempa.

selanjutnya akan dibahas ketahanan *crane* terhadap gempa pada kondisi eksisting, ekstensi 3 m, ekstensi 6 m dan ekstensi 9 m.

#### 4.3.1 Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting mula-mula *crane* diberikan beban gempa respon spektrum 0,6g-0,7g dengan 4 jenis tanah yaitu batuan, tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak dengan arah x, y, dan z. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar 4.9



Gambar 4. 9 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g crane eksisting

Berdasarkan gambar 4.9 dapat dilihat bahwa *rope girder* mengalami deformasi yang lebih besar dibandingkan deformasi pada struktur yang lainnya yaitu sebesar 0,014078 meter. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan untuk

memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Total Deformation Eksisting (Meter)				
	Batuan	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
0.6g	0.0066158	0.0099127	0.012048	0.018606
1.2g	0.014706	0.018603	0.021159	0.034438
2.5g	0.025186	0.03186	0.036235	0.059678

Tabel 4. 5 Total deformasi simulasi respon spektrum crane eksisting

Deformasi terbesar disebabkan oleh input grafik respon spektrum jenis tanah lunak dengan nilai 0,018 meter pada gempa 0,6g lalu 0,034 meter pada gempa 1,2g dan sebesar 0,059 meter pada gempa 2,5g. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan untuk memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Gaya Reaksi Eksisting (N)					
Gempa	Tanah	X	Y	Z	Total
0,6g	Batuan	12170	70056	20327	73954
	Keras	14619	82635	23696	87200
	Sedang	16261	93278	26824	98411
	Lunak	17152	106240	31055	112010
1,2g	Batuan	26970	157810	46128	166610
	Keras	29375	164790	47150	173910
	Sedang	29190	166780	47932	175970
	Lunak	25388	166820	49488	175850
2,5g	Batuan	46171	272190	79823	287390

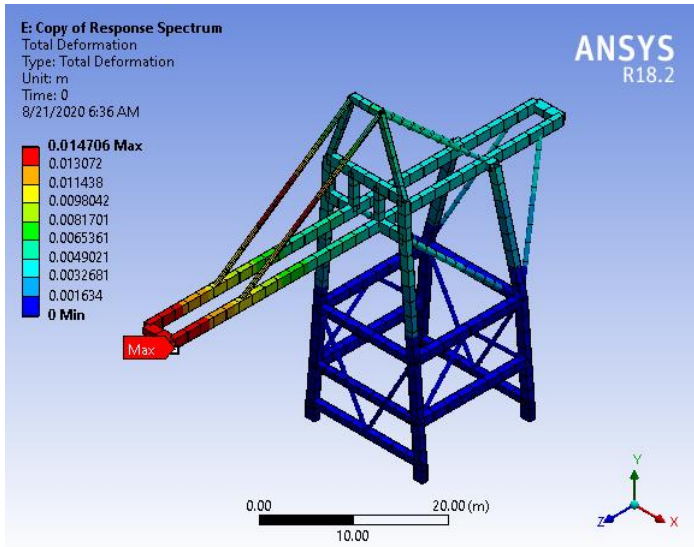
	Keras	50876	285140	81553	300910
	Sedang	50591	288510	82885	304410
	Lunak	44016	289090	85765	304740

Tabel 4. 6 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane eksisting

Gaya reaksi pada *fix support* pada kondisi ini masih aman, karena bernilai kurang dari 3,6 MN. Pada kondisi ini keempat tumpuan masih aman, karena bernilai lebih besar dari nol. Meningkatnya gaya reaksi pada *fix support* disebabkan oleh bertambahnya beban gempa yang terjadi. Crane dinilai masih stabil karena tidak adanya perubahan tanda yang terjadi.

#### 4.3.2 Kondisi Ekstensi 3 Meter

Pada kondisi ekstensi 3 meter mula-mula *crane* diberikan beban gempa respon spektrum empat jenis tanah yaitu batuan, tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak dengan arah x, y, dan z. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar 4.10



Gambar 4. 10 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g crane 3 meter

Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat bahwa *rope girder* mengalami deformasi yang lebih besar dibandingkan deformasi pada struktur yang lainnya yaitu sebesar 0,016755 meter. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan untuk memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Total Deformation Ekstensi 3M (Meter)				
	Batuan	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
0.6g	0.007455	0.011105	0.013472	0.020761
1.2g	0.016748	0.020857	0.023691	0.036914
2.5g	0.028759	0.035723	0.040597	0.062714

Tabel 4. 7 Total deformasi simulasi respon spektrum crane ekstensi 3 meter

Deformasi terbesar disebabkan oleh input grafik respon spektrum jenis tanah lunak dengan nilai 0,02 meter pada gempa 0,6g lalu 0,036 meter pada gempa 1,2g dan sebesar 0,062 meter pada gempa 2,5g. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan untuk memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Gaya Reaksi Ekstensi 3 Meter (N)					
Gempa	Tanah	X	Y	Z	Total
0,6g	Batuan	11430	65324	17386	68557
	Keras	14171	78216	20397	82065
	Sedang	15747	88241	23146	92575
	Lunak	16589	100280	27201	105220
1,2g	Batuan	25384	146910	39369	154190
	Keras	28459	156030	40506	163690
	Sedang	28274	157810	41340	165570
	Lunak	24552	155540	43172	163280
2,5g	Batuan	43488	253050	68000	265610
	Keras	49289	269980	70041	283240
	Sedang	49010	273030	71467	286450
	Lunak	42566	268220	74235	281540

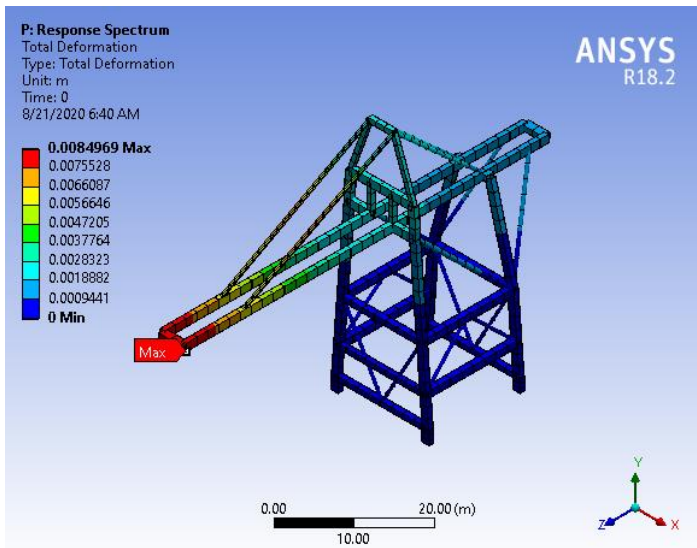
Tabel 4. 8 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane ekstensi 3 meter

Gaya reaksi pada *fix support* pada kondisi ini masih aman, karena bernilai kurang dari 3,6 MN. Pada kondisi ini keempat tumpuan masih aman, karena bernilai lebih besar dari nol. Meningkatnya gaya reaksi pada *fix support* disebabkan oleh bertambahnya beban gempa yang terjadi. Crane dinilai masih stabil karena tidak adanya perubahan tanda yang terjadi.



### 4.3.3 Kondisi Ekstensi 6 Meter

Pada kondisi ekstensi 6 meter mula-mula *crane* diberikan beban gempa respon spektrum empat jenis tanah yaitu batuan, tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak dengan arah x, y, dan z. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar 4.11



Gambar 4. 11 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g 6 crane 6 meter

Berdasarkan gambar 4.11 dapat dilihat bahwa sejak awal pembebanan gempa dengan input respon spektrum jenis tanah batuan deformasi maksimal sudah berada pada ujung lengan *girder* sebesar 0,017635 meter berbeda dengan analisa pada kondisi eksisting dan ekstensi 3 meter dimana deformasi maksimal berada pada *rope girder*. Hal ini dikarenakan penambahan panjang yang menyebabkan kecenderungan untuk terdeformasi pada lengan *girder*. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan

untuk memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Total Deformation Ekstensi 6M (Meter)				
	Batuan	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
0.6g	0.008497	0.012595	0.015234	0.023339
1.2g	0.018934	0.023689	0.026778	0.041116
2.5g	0.032473	0.040591	0.045919	0.070377

Tabel 4. 9 Total deformasi simulasi respon spektrum crane ekstensi 6 meter

Deformasi terbesar disebabkan oleh input grafik respon spektrum jenis tanah lunak dengan nilai 0,023 meter pada gempa 0,6g lalu 0,041 meter pada gempa 1,2g dan sebesar 0,070 meter pada gempa 2,5g. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan untuk memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Gaya Reaksi Ekstensi 6 Meter (N)					
Gempa	Tanah	X	Y	Z	Total
0,6g	Batuan	11857	66907	17284	70114
	Keras	14647	80223	20280	84033
	Sedang	16211	90383	22998	94661
	Lunak	16844	101940	26934	106780
1,2g	Batuan	26533	150920	39192	158170
	Keras	29425	160160	40291	167750
	Sedang	29141	161680	41074	169340
	Lunak	24816	157060	42521	164590
2,5g	Batuan	45667	260400	67783	272920
	Keras	50962	277170	69674	290300

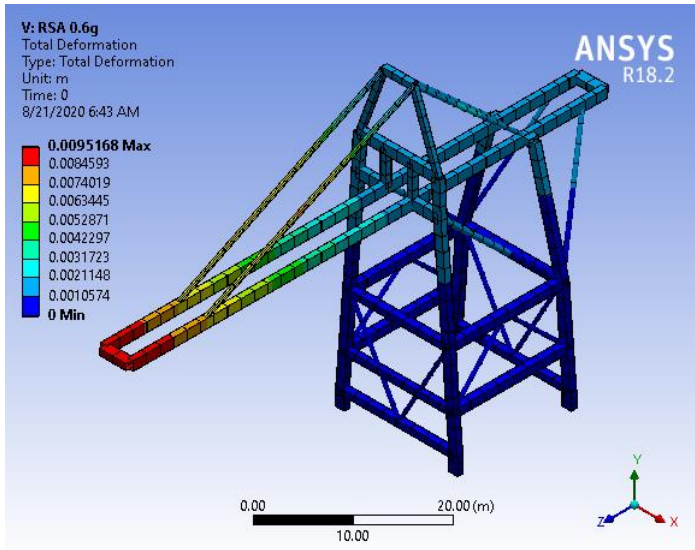
	Sedang	50534	279780	71014	305460
	Lunak	43035	271440	73343	284450

Tabel 4. 10 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane ekstensi 6 meter

Gaya reaksi pada *fix support* pada kondisi ini masih aman, karena bernilai kurang dari 3,6 MN. Pada kondisi ini keempat tumpuan masih aman, karena bernilai lebih besar dari nol. Meningkatnya gaya reaksi pada *fix support* disebabkan oleh bertambahnya beban gempa yang terjadi. Crane dinilai masih stabil karena tidak adanya perubahan tanda yang terjadi.

#### 4.3.4 Kondisi Ekstensi 9 Meter

Pada kondisi eksisting mula-mula *crane* diberikan beban gempa respon spektrum empat jenis tanah yaitu batuan, tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak dengan arah x, y, dan z. Pada kondisi ini diamati total deformasi dan gaya reaksi yang terjadi pada *crane*. Total deformasi yang terjadi dapat diamati pada gambar 4.12



Gambar 4. 12 Total deformasi respon spektrum batuan 0,6g crane 9 meter

Berdasarkan gambar 4.12 dapat dilihat bahwa sejak awal pembebanan gempa dengan input respon spektrum jenis tanah batuan deformasi maksimal sudah berada pada ujung lengan girder sebesar 0,020019 meter berbeda dengan analisa pada kondisi eksisting dan ekstensi 3 meter dimana deformasi maksimal berada pada rope girder. Hal ini dikarenakan pertambahan panjang yang menyebabkan kecenderungan untuk terdeformasi pada lengan girder. Berikut deformasi yang dihasilkan oleh variasi gempa sebagai input gaya

Total Deformation Ekstensi 9M (Meter)				
	Batuan	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
0.6g	0.009517	0.014101	0.017094	0.026148
1.2g	0.020019	0.024943	0.028135	0.04297

2.5g	0.034218	0.042743	0.048233	0.073532
------	----------	----------	----------	----------

Tabel 4. 11 Total deformasi simulasi respon spektrum crane ekstensi 9 meter

Deformasi terbesar disebabkan oleh input grafik respon spektrum jenis tanah lunak dengan nilai 0,026 meter pada gempa 0,6g lalu 0,0429 meter pada gempa 1,2g dan sebesar 0,073 meter pada gempa 2,5g. Gaya reaksi yang terjadi pada *crane* perlu di perhatikan untuk memastikan bahwa *crane* tidak roboh dan tidak rusak. Gaya reaksi simulasi didapatkan sebagai berikut:

Gaya Reaksi Ekstensi 9 Meter (N)					
Gempa	Tanah	X	Y	Z	Total
0,6g	Batuan	10255	61706	17468	64946
	Keras	12788	74429	20453	78240
	Sedang	14155	83913	23181	88199
	Lunak	14705	94916	27028	99779
1,2g	Batuan	21776	138720	43081	146880
	Keras	24554	149730	44530	158130
	Sedang	24362	151660	45383	160170
	Lunak	20903	150820	46939	159340
2,5g	Batuan	37268	236300	74053	250420
	Keras	42525	259060	77006	273590
	Sedang	42238	262340	78460	277060
	Lunak	36246	260450	80957	275140

Tabel 4. 12 Gaya reaksi simulasi respon spektrum crane ekstensi 9 meter

Gaya reaksi pada *fix support* pada kondisi ini masih aman, karena bernilai kurang dari 3,6 MN. Pada kondisi ini keempat tumpuan masih aman, karena bernilai lebih besar dari nol. Meningkatnya gaya reaksi pada *fix support* disebabkan oleh bertambahnya beban

gempa yang terjadi. Crane dinilai masih stabil karena tidak adanya perubahan tanda yang terjadi.

#### 4.4 Perbandingan Hasil Metode Statik Ekuivalen dan Respon Spektrum Analisis

Gempa merupakan suatu kejadian yang dinilai jarang terjadi dalam skala besar. Namun tentu tetap harus dilakukan analisis perencanaan ketahanan gempa pada struktur dengan metode analisis yang sudah ada. Berikut merupakan uraian perbandingan metode static ekuivalen dan respon spektrum analisis pada kondisi crane ekstensi 9 meter

Tanpa Beban Gempa			
X	Y	Z	Total
36019	1058800	25441	1343500
Beban Gempa 3,86 SR			
36019	1058800	747160	1296300
Beban Gempa 4,72 SR			
36019	1058800	1223000	1618000
Beban Gempa 5,68 SR			
36019	1058800	2099700	2351800

Ekstensi 9M					
0,6g	Batuan	10255	61706	17468	64946
	TK	12788	74429	20453	78240
	TS	14155	83913	23181	88199
	TL	14705	94916	27028	99779
1,2g	Batuan	21776	138720	43081	146880
	TK	24554	149730	44530	158130
	TS	24362	151660	45383	160170

	TL	20903	150820	46939	159340
2,5g	Batuan	37268	236300	74053	250420
	TK	42525	259060	77006	273590
	TS	42238	262340	78460	277060
	TL	36246	260450	80957	275140

Tabel 4. 13 Pebandingan gaya reaksi kedua metode

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa kedua metode memberikan gaya reaksi yang berbeda signifikan. Metode static ekivalen dengan input gaya maksimal sebesar 2,07 MN mampu menghasilkan gaya reaksi pada tumpuan sebesar 2,35 MN. Sedangkan metode respon spektrum dengan input grafik percepatan spectra mampu menghasilkan gaya reaksi maksimal sebesar 277060 N. Sesuai dengan kesetimbangan benda tegar, benda akan tidak stabil ketika gaya reaksi yang ditimbulkan mempunyai nilai negatif di salah satu tumpuannya. Pada penelitian kali ini kedua metode mampu membuktikan bahwa crane dengan ekstensi 9 meter dapat menahan gempa berkekuatan hingga 2,07 MN setara dengan 5,68 SR berjarak 128 kilometer dari titik pusat gempa.

Setelah melakukan simulasi respon spektrum dapat diketahui bahwa tanah lunak mempunyai potensi beban gempa paling besar lalu kedua yaitu tanah sedang, berikutnya tanah keras, dan paling kecil adalah tanah batuan. Hal ini dapat dilihat dari kecenderungan kenaikan gaya reaksi tumpuan dan juga deformasi yang dihasilkan. Namun gaya reaksi pada ekstensi 6 meter dan 9 meter yang diakibatkan oleh beban gempa tanah sedang mampu melebihi gaya reaksi beban tanah lunak hal ini diakibatkan oleh perbedaan iterasi frekuensi pada analisa modal dan input respon spektrum yang berbeda sehingga terjadi perbedaan gaya eksitasi yang dihasilkan. Visualisasi total deformasi mengindikasikan bahwa *crane*

cenderung terjadi kegagalan ketika menerima beban gempa pada ujung lengan girder dan pada sambungan antara struktur support dan *boom (rope girder)*.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### 5.1 Keterbatasan

Keterbatasan yang muncul dari situasi yang berkaitan dengan penulis baik kesalahan langsung individu atau tidak harus ditangani dan dicari solusi untuk mengurangi batasan ini - baik secara hipotetis dalam penelitian atau dalam penelitian di masa mendatang. Poin keterbatasan yang dapat penulis berikan sebagai berikut:

1. Cakupan topik penelitian yang relevan dengan tesis terbatas. Mengutip dan mereferensikan studi penelitian sebelumnya merupakan dasar dari tinjauan literatur untuk tesis atau studi, studi sebelumnya ini memberikan landasan teoritis untuk pertanyaan penelitian dilakukan.
2. Penulis menyadari bahwa cara mengumpulkan data atau metode yang kurang tepat telah membatasi kemampuan penulis untuk melakukan analisis menyeluruh terhadap hasil. Dalam penelitian ini, Penulis kurang mampu untuk memodelkan crane secara menyeluruh, tidak mengetahui redaman dan respon spektrum yang terjadi pada pelabuhan dimana crane bersandar.
3. Penulis menyadari bahwa waktu yang tersedia untuk mempelajari masalah penelitian dibatasi oleh tenggat waktu yang ada.

#### 5.2 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian *analisis respon spektrum pada perpanjangan lengan girder ship unloader crane* sebagai berikut:

1. Beban gempa dengan input respon spektrum jenis tanah lunak mempunyai potensi beban tertinggi dilihat dari deformasi dan gaya reaksi yang dihasilkan. Kedua adalah jenis tanah sedang, berikutnya tanah keras, dan yang potensi paling kecil beban gempanya adalah batuan.
2. Kedua metode mampu membuktikan bahwa crane mampu menahan gempa sebesar 2,07 MN setara dengan 5,68 SR pada static ekivalen, dan grafik respon spektrum 2,5g-2,8g dibuktikan dengan tidak adanya gaya reaksi pada tumpuan yang bernilai 0 atau bernilai negatif.

### 5.3 Saran

Saran yang dapat penulis berikan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal pada simulasi *SU crane* dengan metode elemen hingga sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan studi berkelanjutan di masa depan dengan topik terkait untuk menjawab masalah penelitian ini.
2. Perlu dilakukan konversi respon spektrum tanah menjadi respon spektrum pada Pelabuhan dimana crane bertumpu.
3. Perlunya peneliti selanjutnya untuk merevisi metode khusus untuk mengumpulkan data yang kurang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basith, I. (2019). *Upgrading Study on Ship Unloader Crane*. Surabaya.
- Chang, Y.-F. (2010). Fatigue Life Evaluation of a Grab Ship Unloader. *China Steel Technical Report*.
- Donny Baiquny Febrian, A. S. (2014). Evaluasi Kinerja Gaya Gempa pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Berdasarkan Base Share, Displacement, dan Drift Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Hotel di Daerah Karang Anyar). *Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- Faizah, R. (2015). Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*.
- Giulia Milana, K. B. (2016). Sources of structural failure in ship unloaders. *26th European Safety and Reliability Conference*.
- Hibbeler, R. (2008). *STATICS AND DYNAMICS*. Chicago: Pearson.
- Islahuddin. (2015). *Kajian Eksperimental Parameter Modal Bangunan Dua Lantai dengan Metode Modal Analisis*. Padang.
- Jannah, A. N. (2018). *Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum*. Yogyakarta.

- Marthin D. J. Sumajouw, S. O. (2016). Respon Dinamis Struktur Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Dengan Kolom Berbentuk Pipih. *Jurnal Sipil Statik*.
- Quang Huy Tran, J. H.-H.-J. (2018). Sensitivity Analysis for Ship-to-Shore Container Crane Design. *MDPI*.
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibrations Fifth Edition*. Prentice Hall.
- Revie Orchidentus Francies Wantalangie, J. D. (2016). Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat. *Jurnal Sipil Statik*.
- Rifki, M. (2011). *Analisis Periode Getar dan Redaman Struktur Jembatan Teksas Berdasarkan Data Pengukuran Vibrasi*. Depok.
- SNI1726. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Yanto, D. (2010). *Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode Spektrum Kapasitas*. Surakarta.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Muhammad Alwi Widiastomo merupakan anak pertama dari pasangan Achmad Baidowi dan (Alm. Kurniastuti Diah Ekowati). Lahir pada 14 November di Bogor. Menempuh pendidikan dari SDN Sasana Wiyata 1, SMPN 2 Cibinong, SMAN 1 Bogor, dan pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh

Nopember, Surabaya. Selama masa perkuliahan di ITS, penulis aktif di kegiatan maupun organisasi. Pada tahun kedua, penulis menjadi staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM ITS 2017/2018. Pada tahun yang sama menjabat menjadi Ketua Himpunan Mahasiswa Mesin. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik bagian divisi rencana pengendalian dan operasi di PT. Pembangunan Jaya Ancol dimana penulis mengevaluasi kinerja dan merencanakan perawatan roda gigi pada wahana Tornado. Penulis menjadi finalis pada lomba nasional *Young Renewable Energy 8th INDOEBTKE ConEx* dengan karya inovasi berupa Green Elecology.

Mengenai saran dan kritik terkait tugas akhir, dapat menghubungi penulis melalui:

Email : [alwidias@yahoo.co.id](mailto:alwidias@yahoo.co.id)

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# LAMPIRAN

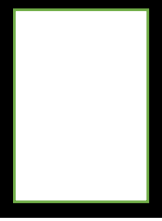

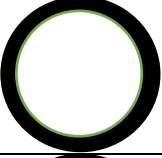
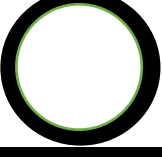

Lampiran 1: Data beban kerja *Ship Unloader Crane*

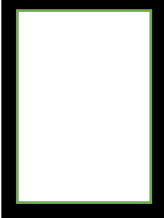
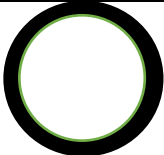
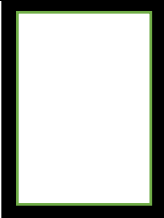

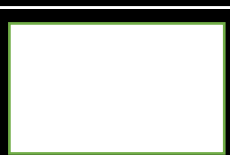
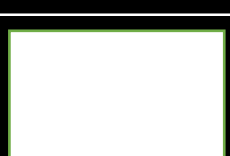
## 技术参数 PARTICULARS

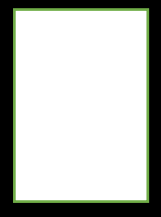



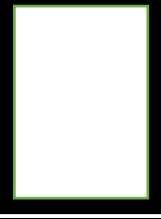
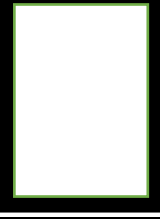
额定生产率	Roted Capacity	1000t/h (30t)	
最大生产率	max.Roted Capacity	1250t/h (30t)	
速度 Speed	起升 Lifting	满载 Loaded	120 m/min
	下降 Lowing	空载 Unloaded	150 m/min
	小车 Trolley	180 m/min	
	大车 gantry	2~25 m/min	
	臂伸 Boom Hoisting	7 min (0~80°)	
	司机室 Cab	20 m/min	
物料特性 Cargo	物料 Materiel	煤 coal	
	容重 Density	0.85t/m <sup>3</sup>	
	粒度 Granularity	0~300mm	
外伸距	Outreach	27m ( from seaside rail )	
起升高度 Lift Height	总起升高度 Total of Lift Height	36 m	
	轨上(闭命) Above rail top	23 m	
	轨下(打开) Below rail top	13 m	
轨距	Span	16m	
基距	Base span	16 m	
轨距型号	Railway type	QU100	
供电电压	Power	6.3KV, 3Phases, 50Hz	
装机容量	Total	~1250kW	
最大轮压 Max. Wheel load		海侧 Seaside	陆侧 Landside
	工作状态 Operating	<450KN	<450KN
	非工作状态 Non Operating	<450KN	<450KN

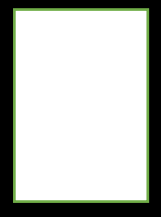


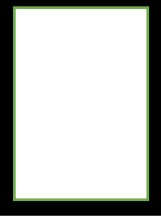


Lampiran 2: Identifikasi profil pada struktur crane SU

ID	Line	Profile Rangka	Lebar/Radius dalam (m)	Tinggi/Radius luar (m)	Thickne ss (m)
1	L35-L39, L41-L45		0,7658	1,2998	0,01905
2	L52, L54		0,71263	0,55437	0,01905
3	L55-L56		0,29554	0,30824	0,0127
4	L57, L58		0,55515	0,56785	0,0127
5	L5-L12, L50, L51, L60, L62-L64.		1,12101	0,85004	0,01905

6	L1, L2		0,85004	0,90026	0,01905
7	L65, L66		0,58766	0,60036	0,0127
8	L3, L4		0,85004	0,99498	0,01905
9	L13-L15,		0,85004	0,78817	0,01905
10	L20-L21		1,12101	1,00445	0,01905
11	L22-L23, L26-L27		1,12101	0,97957	0,01905

12	L32-L33		0,85004	1,00103	0,01905
13	L48-L49		1,29742	0,85004	0,01905
14	L67, L68, L71		1,29783	0,85004	0,01905
15	L53		1,19884	0,55437	0,01905
16	L34		0,9033	1,2998	0,01905
17	L46-L47		0,85316	1,2998	0,01905

18	L40		0,9405	1,2998	0,01905
19	L16-L19, L24-L25, L28-L31.		0,54585	0,55855	0,0127
20	L59, L61		0,49521	0,50791	0,0127
21	L69, L70		0,71721	0,85004	0,01905