

## SURAT TUGAS

Nomor: 651-R/UNTAR/PENELITIAN/II/2022

Rektor Universitas Tarumanagara, dengan ini menugaskan kepada saudara:

1. **ALFRED JONATHAN SUSILO, S.T., M.Eng., Ph.D.**
2. **KENNY ERICK**
3. **ANIEK PRIHATININGSIH, Ir., M.M.**
4. **GREGORIUS SANDJAJA S., Ir., M.T.**

Untuk melaksanakan kegiatan penelitian/publikasi ilmiah dengan data sebagai berikut:

Judul : Analisis Ledakan pada Struktur Basement dengan Dinding Diafragma  
Nama Media : 25rd Annual National Conference on Geotechnical Engineering  
Penerbit : Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia  
Volume/Tahun : 25/9-10 November 2021  
URL Repository : <https://www.pithatti2021.org/>

Demikian Surat Tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan melaporkan hasil penugasan tersebut kepada Rektor Universitas Tarumanagara

12 Februari 2022

**Rektor**



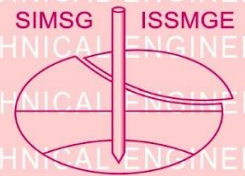
**Prof. Dr. Ir. AGUSTINUS PURNA IRAWAN**

Print Security : 6e66ed9e8122d912559f78d8870591fe

Disclaimer: Surat ini dicetak dari Sistem Layanan Informasi Terpadu Universitas Tarumanagara dan dinyatakan sah secara hukum.



**HIMPUNAN AHLI TEKNIK TANAH INDONESIA**  
INDONESIAN SOCIETY FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING  
MEMBER SOCIETY OF INTERNATIONAL SOCIETY  
FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING  
(INA-ISSMGE)



## CERTIFICATE OF APPRECIATION

This certificate is awarded to

**Alfred Jonathan Susilo, ST. M. Eng. Ph.D**

as

**PRESENTER**

on

**25<sup>th</sup> ANNUAL NATIONAL CONFERENCE  
ON GEOTECHNICAL ENGINEERING**

theme

**"GEOTECHNICAL DIVERSITY: PAST, PRESENT AND FUTURE"**

Zoom Webinar - Jakarta, 9 & 10 November 2021

JAKARTA, 10 November 2021  
ORGANIZING COMMITTEE

INDONESIAN SOCIETY  
FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING

Prof. Ir. Widjojo A. Prakoso, MSc. Ph.D  
President

Dr. Aksan Kawanda ST. MT.  
Chairman



# The ground improvement specialist



- Geosynthetic Application
- Geotechnical Instrumentation
- Soil Preloading
- Vacuum Preloading
- Dynamic Compaction
- Rapid Impact Compaction

PT TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL  
Wisma SIER Building, 1<sup>st</sup> Floor  
Rungkut Industri Raya no. 10, Surabaya 60291  
Tel : 031-8475062 Fax : 031-8475063  
Email : info@geosistem.co.id



Proceedings

25<sup>th</sup> Annual National Conference  
on Geotechnical Engineering



ISBN : 978-602-17201-9-0



HIMPUNAN AHLI TEKNIK TANAH INDONESIA  
INDONESIAN SOCIETY FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING (ISGE)  
MEMBER OF INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS  
AND GEOTECHNICAL ENGINEERING (ISSMGE)



Proceedings  
25<sup>th</sup> Annual National Conference  
on Geotechnical Engineering

“Geotechnical Diversity :  
Past, Present and Future”

Jakarta, 9 - 10 November 2021

Supported by :



ISBN : 978-602-17221-9-0



**HIMPUNAN AHLI TEKNIK TANAH INDONESIA**  
INDONESIAN SOCIETY FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING (ISGE)  
MEMBER OF INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS  
AND GEOTECHNICAL ENGINEERING (ISSMGE)



# *Proceedings*

*25<sup>th</sup> Annual National Conference  
on Geotechnical Engineering*

**“Geotechnical Diversity :  
Past, Present and Future”**

Jakarta, 9 - 10 November 2021

Supported by :



# Proceeding

*25<sup>rd</sup> Annual National Conference on Geotechnical Engineering*  
Jakarta, 9-10 November 2021

Theme :

***“Geotechnical Diversity : Past, Present & Future”***

**HIMPUNAN AHLI TEKNIK TANAH INDONESIA  
INDONESIAN SOCIETY FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING (ISGE)  
GRAHA HATTI, JOR TB Simatupang, Jalan Asmin No. 45  
Jakarta Timur 13750 – INDONESIA**

Reviewer : Prof. Ir. Teuku Faisal Fathani, S.T., M.T., Ph.D., IPU  
Prof. Ir. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.  
Dr. Eng. Ir. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc  
Aswin Lim, S.T., M.T., Ph.D.  
Endra Susila, S.T., M.T., Ph.D.  
Erly Bahsan, S.T., M.Kom.  
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.  
Dr. Yustian Heri Suprpto, S.T., M.Sc  
Dr. James Jatmiko Oetomo S.T., M.T., MSc.  
Anthony Gunawan, Ph.D.

Editor : Yunan Halim, S.T., M.T.  
Stephen G. Handoko, S.T., M.T.  
Dwi Nandya, S.T., M.T.  
Rara Dwi Noviarti, S.T., M.T  
Fathiyah Hakim Sagitaningrum, S.T, M.T.  
Tatag Yufitra Rus, S.T., M.Sc

## WORDS FROM CHAIRMAN

Dear our honorable guest,

Mr. Basuki Hadimuljono – Minister of Public Works and Housing, Mr. Satryo S. Brodjonegoro – Chairman of AIPI, all Speakers, Sponsors, and Participants; Welcome to our 25th Annual National Conference – the silver anniversary ANC. It's an honour to have you all together, not only because your kindness to spare your valuable time, but also for your kindness to share your great experience in geotechnical engineering.

The conference, “Geotechnical Diversity: Past, Present, and Future” as our theme, raise from a thought how geotechnical evolve in this years. From a simple soil mechanics, to a computer modelling and with a less notice, we intersect with so many other major fields, Statistics, Mining, Earthquake, Tunneling, Bio-geotechnical, to legal aspect of Law.

We hope 9 keynote speakers, 1 special lecture, 80 speakers, 700 participants and 150 sponsors could see a new and bright future after this (2) years of pandemic. It's not slowing us down, but instead, it give all of us time to learn more, to understand more, to communicate, research, share more and in a much easier way like today. There is no more country boundary to share, there is only us. Long live Geotechnical Engineering.

Last but not least, allow me to express our gratitude to everyone, not only as speakers or sponsors or participants, but as our friends (.. of course I need to mention our Platinum sponsor Promisco, Geotekindo, FKNK, Daehan, Artha Geo Integritas, Hutama Karya Infrastruktur and Bauer Pratama Indonesia, also all sponsors), we made it together today.

I wish the conference a success and everyone can enjoy for the next two days. Thank you.

Jakarta, 9 November 2021

Dr. Aksan Kawanda  
Chairman

## PRESIDENT OF ISGE ADDRESS

Assalamu'alaikum Wr. Wb. Salam Sejahtera bagi kita semua.

The Minister of Public Works and Housing, the Chairman of the Indonesian Academy of Science, Keynote Speakers, Ladies and Gentlemen, the XXV Annual National Conference on Geotechnical Engineering, on behalf of the National Board of Indonesian Society for Geotechnical Engineering (ISGE / HATTI), we would like to welcome you all to this great conference. In particular, to the Minister of Public Works and Housing, we would like to express our sincere gratitude and highest appreciation for your willingness once again to address our conference.

Ladies and Gentlemen, this year conference is a special one as it is our 25<sup>th</sup> Annual National Conference. It is time to remember the great visions of the founding fathers and seniors of ISGE/HATTI. We still have our annual conference online for the second time due to the COVID-19 pandemic, but we are all optimistic that we will survive these challenges soon. In this spirit, we need to ready ourselves to support the economic development of Indonesia.

Dear Indonesian Society members, the theme of this conference is "Geotechnical Diversity: Past, Present, and Future". In this conference, we have a range of different topics from prominent geotechnical experts, as well as a number of technical paper contributors. We are grateful that two reputable journals are willing to publish some of the technical papers presented. We have also a number of interesting technical presentations from the geotechnical engineering companies. In addition, we would like also to report that ISGE/HATTI is establishing a *lembaga sertifikasi profesi*, an important step to ensure a further contribution to good geotechnical engineering practices in Indonesia.

We extend my sincere gratitude to all participants and all sponsors, particularly the Platinum Sponsors: PT. Promisco Sinergi Indonesia, PT. Bauer Pratama Indonesia, PT. Utama Karya Infrastruktur, PT. Artha Geo Integritas, PT. Geotekindo, Daehan IM Co., Ltd., and FKNK Law Firm. We wish you a very enlightening and successful conference. Thank you very much.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.  
Jakarta, 9 November 2021

Prof. Ir. Widjojo A. Prakoso, MSc., Ph.D  
President of ISGE



Theme :

## **“Geotechnical Diversity : Past, Present & Future”**

### ORGANIZING COMMITTEE

Steering Committee	: Prof. Ir. Widjojo Adi Prakoso, MSc, Ph.D Ir. Pintor Tua Simatupang, MT. Dr-Eng
Chairman	: Dr. Aksan Kawanda, S.T., M.T.
Secretary	: Ali Iskandar, S.T., M.T. Dr. Fahmi Aldiamar, S.T., M.T.
Treasurer	: Ir. Idrus M. Alatas. M.Sc. Ph.D
Team Reviewer	: Prof. Ir. Teuku Faisal Fathani, S.T., M.T., Ph.D., IPU Prof. Ir. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. Ir. Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc Aswin Lim, S.T., M.T., Ph.D. Endra Susila, S.T., M.T., Ph.D. Erly Bahsan, S.T., M.Kom. Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T. Dr. Yustian Heri Suprpto, S.T., M.Sc Dr. James Jatmiko Oetomo S.T., M.T., MSc. Anthony Gunawan, Ph.D.
Editing	: Yunan Halim, S.T., M.T. Stephen G. Handoko, S.T., M.T. Dwi Nandya, S.T., M.T. Rara Dwi Novianti, S.T., M.T Fathiyah Hakim Sagitaningrum, S.T, M.T. Tatag Yufitra Rus, S.T., M.Sc
Events	: Edwin Laurencis, S.T., M.T. Ir. Wawan Kuswaya, M.T. Ir. Fauzie Buldan Y. Nadya Ayu Anindita, S.T. (MC)
Sponsorship & equipment	: Marcello Djunaedy, S.T., M.T. Yasin Widodo, S.T., M.T. Sugino
Secretariat	: Sugino Budi Suryanto, S.,T. Sya'bani Wahyu Septiandi

Publisher : Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia  
(*Indonesian Society for Geotechnical Engineering*)

Address : Graha HATTI  
JOR TB Simatupang, Jalan Asmin No. 45  
RT.008 RW. 03 Susukan, Ciracas - Jakarta 13750  
Telp. : 021 - 220900009  
Email : [sekretariat@hatti.or.id](mailto:sekretariat@hatti.or.id); [hattipusat@yahoo.com](mailto:hattipusat@yahoo.com)  
Website : <http://www.hatti.or.id>

ISBN No. : 978-602-17221-9-0

## TABLE OF CONTENTS

Preface Committee Chairman .....	i
Message From President Of Indonesian Society For Geotechnical Engineering (ISGE) .....	ii
Organizing Committee .....	iii
Table of Contents .....	v

### Keynote Speakers :

1. Kok-Kwang Phoon, Jianye Ching - <i>Exploring “Data” in Data-centric Geotechnics</i> .....	1-6
2. Youssef M. A. Hashash - <i>Seismic Interaction Adjacent Tall Buildings with Underground Structures</i> .....	7-8
3. I Wayan Sengara, Rachman Suhandha, Eyrton C. Silaban, Jamaluddin, Imam Sadisun - <i>Geotechnical Aspect on Tunnel Engineering Construction of Jakarta-Bandung High-Speed-Rail</i> .....	9-10
4. Susumu Iai, Masyhur Irsyam - <i>Analysis of void redistribution and delayed flow failure associated with liquefaction during earthquakes</i> .....	11-18
5. Keh-Jian (Albert) Shou - <i>Trenchless Technologies for Urban Development</i> .....	19-20
6. Hendra Jitno - <i>Recent development on the tailings dam design in seismic active regions</i> .....	21-32
7. Ilhan Chang - <i>Biopolymer-based Soil Treatment (BPST) - A Bio-Geotechnical Implementation for Sustainable Development</i> .....	33-34
8. Nick Alexander, Masyhur Irsyam - <i>Promoting Widespread Application of Seismic Ground Motion for Evaluation and Retrofit of Existing Buildings in Indonesia</i> .....	35-40
9. Abdul Hakam, Deni Irda Mazni, Hendri Warman - <i>Desain Tidak Umum Dinding Penahan Tanah</i> .....	41-46
10. Martin Patrick Nagel - <i>Resolution of Construction Legal Matters Due to Covid-19 Pandemic</i> .....	47-54

	Regency, South Kalimantan Province ( <i>Muhammad Tobiby Pratama Pohan, Bektı Djatmiko, Nur Khoirullah</i> ) .....	
69.	Pengaruh Getaran Akibat Proses Pemancangan Pada Tanah Terhadap Bangunan Sekitar ( <i>Mochammad Rahadian Yunush, Aksan Kawanda</i> ) .....	457-462
70.	Perancangan Secant Pile Dengan Perkuatan Ground Anchor ( <i>Farhan Azfiansyah Yazid, Aksan Kawanda</i> ) .....	463-468
71.	Embankment Dam Design And Parametric Study Based On Static And Dynamic Analysis Using Operating Basis And Maximum Design Earthquake ( <i>Alvin Tjahjadi, Wirman Hidayat, Jevania Simanjuntak</i> ) .....	469-478
72.	Laboratory Study Of Compressibility Characteristics Of Compacted Volcanic Soils (AMM) ( <i>Charles Maxwellliem, Stefanus Diaz Alvi, Paulus P. Rahardjo</i> ) .....	479-486
73.	Studi Numerik Distribusi Beban Dan Penurunan Pada Fondasi Tiang-Rakit (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Apartemen Di Fatmawati, Jakarta Selatan) ( <i>Angela Dewi Maharani Susiyanti, Ignatius Tommy Pratama, Aswin Lim</i> ) .....	487-492
74.	The Geological and Geotechnical Studies for Road Construction Site Planning by Spatial Analysis and Slope Stability Modeling (Case Study: Penggaron-Mluweh Road, Semarang Regency, Central Java) ( <i>M. Hajjrol Dava, Lia Suryani</i> ) .....	493-498
75.	Studi Parametrik Kondisi Batas Melalui Simulasi Numerik Uji Pembebanan Tiang Tunggal ( <i>Kyrie Eleisia, Ignatius Tommy Pratama, Aswin Lim</i> ) .....	499-506
Session XII : R.F2		
76.	Analisis Efektivitas Penggunaan Geotekstil Untuk Perkerasan Lentur Jalan Pada Tanah Lempung Lunak ( <i>Rangga Wishnu Wardhana, Aksan Kawanda</i> ) .....	507-514
77.	Upaya Stabilisasi Tanah Berpotensi Likuifaksi Menggunakan Stone Column ( <i>Mardianti Alvionita, Aksan Kawanda</i> ) .....	515-522
78.	Shear Strength Characteristics Of Volcanic Soils Mixed With Cement (AMM) ( <i>Richo Brian, Stefanus Diaz Alvi, Paulus P. Rahardjo</i> ) .....	523-528
79.	Raft Pile Foundation Application For A 20-Story Building On Dense Sand Soil ( <i>Alvin Tjahjadi, Jeffry Arnold Panggabean, Rangga Adiprima Sudisman, Arif Salman Dabigi</i> ) .....	529-534

80.	Korelasi Hasil Uji Lapangan Dengan Parameter Kuat Geser Undrained Pada Tanah Lunak Kendal ( <i>Salma Aulia Andari, Nastiti Tiasundari</i> ) .....	535-540
81.	The Use Of Jack Bean As A Biocatalyst In Enzyme Mediated Calcite Precipitation For Soil Improvement Technique ( <i>Alfaris Baqir Arrazzaq, Zayyaan Nabiila Khairunnisa, Heriansyah Putra</i> ) .....	541-546
82.	Analisis Ledakan Pada Struktur Basement Dengan Dinding Diafragma ( <i>Kenny Erick, Alfred Jonathan Susilo, Aniek Prihatiningsih, Gregorius Sandjaja Sentosa</i> ) .....	547-556

# Analisis Ledakan pada Struktur Basement dengan Dinding Diafragma

Kenny Erick

Universitas Tarumanagara

Alfred Jonathan Susilo

Universitas Tarumanagara

Aniek Prihatiningsih

Universitas Tarumanagara

Gregorius Sandjaja Sentosa

Universitas Tarumanagara

**ABSTRAK:** Sebagai salah satu beban dinamik yang dapat terjadi pada struktur *basement*, beban ledakan memiliki periode beban yang sangat singkat. Akibatnya, beban ledakan memberikan respons struktur *basement* yang berbeda jika dibandingkan dengan beban dinamik lainnya seperti beban gempa. Salah satu bentuk respons dari *basement* akibat beban ledakan adalah peningkatan deformasi dari dinding penahan tanah. Pada penelitian ini akan dianalisis apakah deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah akibat beban ledakan tetap memenuhi deformasi izin. Penelitian ini akan dilakukan dengan bantuan program Midas GTS NX dalam memodelkan struktur *basement* bangunan dan tanah disekitarnya dengan metode elemen hingga. Struktur *basement* yang dianalisa terdiri dari pelat tipe *flat slab*, dinding diafragma, *king post*, *raft*, dan fondasi tiang. Beban ledakan dianalisa dengan metode riwayat waktu dan merupakan beban ledakan permukaan yang terjadi di luar *basement*.

**Kata Kunci:** basement, dinding diafragma, beban ledakan, beban dinamik, riwayat waktu

**ABSTRACT:** As one of the dynamic loads that can occur in basement structures, blast loads have very short load period. As the result, the explosion load gives different response to the basement structure when compared to other dynamic loads such as earthquakes load. One form of response from the basement due to blast load is the increased deformation of the retaining wall. In this study, it will be analyzed whether the deformation that occurs in the retaining wall due to blast load still satisfies the allowable deformation. This research will be using Midas GTS NX program in modelling the basement structure of the building and the surrounding soil with the finite element method. Analyzed basement structure consists of flat slab, diaphragm wall, king post, raft, and pile foundation. The blast load analyzed is the surface blast load that occurs outside the basement by time history method.

**Keywords:** basement, diaphragm wall, blast loading, dynamic loading, time history

## 1 PENDAHULUAN

Ledakan terhadap struktur bangunan dapat terjadi akibat beberapa kejadian, misalnya serangan bom teroris, ledakan pom bensin, ledakan akibat kegiatan pertambangan, dan lain sebagainya. Salah satu kejadian ledakan terbaru di Indonesia adalah ledakan tangki minyak PT Pertamina (Persero) RU VI Balongan Indramayu yang terjadi pada 29 Maret 2021. Ledakan merupakan proses peningkatan tekanan dan pelepasan energi secara tiba-tiba

yang bersifat destruktif akibat reaksi kimia dan umumnya mengeluarkan gas dan suhu panas.

Ledakan dapat sangat bersifat merusak jika ledakannya berada dekat dengan sebuah bangunan, karena tekanan yang dihasilkan sangat besar. Pada ledakan di permukaan tanah, sebagian energi dilepaskan sebagai energi panas, sedangkan sebagian lainnya dilepaskan ke udara sebagai ledakan udara dan ke dalam tanah sebagai gelombang kejut. Penggambaran ukuran besar kecilnya ledakan dapat menggunakan satuan setara TNT (Trinitrotoluene). Beban ledakan adalah beban

dinamis yang memiliki periode pendek. Dengan demikian, respons struktur akibat beban ledakan bisa berbeda dengan respons struktur terhadap beban dinamik lain seperti gempa.

Meskipun terletak di bawah tanah, *basement* tidak terlepas dari kemungkinan rusak akibat adanya beban dinamis seperti ledakan. Oleh karena itu perlu dianalisis respons struktur *basement* tersebut akibat beban yang terjadi. Struktur *basement* yang dianalisis terdiri dari dinding penahan tanah, pelat, *king post*, *raft*, dan fondasi. Dinding penahan tanah berfungsi untuk menahan beban lateral dari galian *basement*, sedangkan *king post* berfungsi sebagai kolom sementara untuk menahan beban dari struktur atas dan pelat dapat berfungsi sebagai *strut*. Penelitian ini akan berfokus pada analisa deformasi dinding diafragma tanpa dan dengan beban ledakan permukaan yang terjadi di luar *basement*, sehingga dapat diketahui apakah deformasi dinding diafragma tetap memenuhi deformasi izin jika dikenai ledakan. Selain itu, penelitian ini juga melihat respons struktur *basement* akibat beban ledakan yang terjadi.

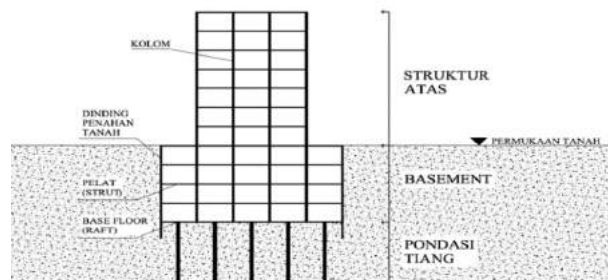
## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Basement

*Basement* merupakan bagian dari komponen struktur bangunan yang terletak di bawah tanah. *Basement* adalah bagian dari sarana sebuah gedung bertingkat tinggi. Adanya *basement* tentunya akan ada penggalian tanah. Bagian ini yang biasa terjadi dan merupakan langkah awal berdirinya sebuah gedung tinggi, Mistra (2012).

Menurut Mistra (2012), lantai *basement* biasanya dimanfaatkan untuk:

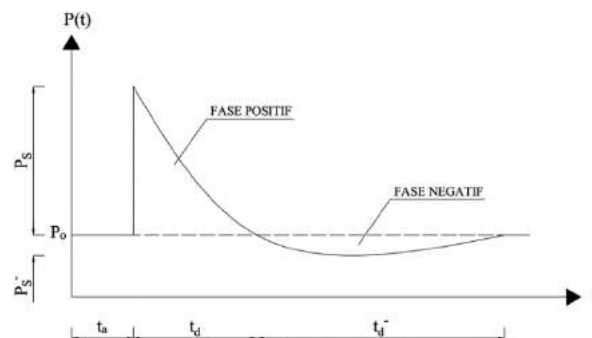
1. *Balancing* gedung di atasnya,
2. Ruang parkir kendaraan,
3. Ruang pengelola,
4. Pendukung utilitas gedung seperti penempatan ruang panel, reservoir, dan kebutuhan lain.



Gbr. 1. Gambaran Struktur Bangunan dengan *Basement*.

### 2.2 Gelombang Ledakan

Karakteristik dari detonasi sebuah ledakan diawali dengan peningkatan tekanan atmosfer secara instan ke tekanan puncaknya yang biasa disebut dengan *peak incident pressure*. Setelah gelombang kejut tersebut menyebar, tekanannya berkurang hingga mencapai tekanan awal di sekelilingnya. Secara teoritis, tekanan tersebut menurun secara eksponensial. Fase dari tekanan tersebut naik hingga turun ke tekanan atmosfer disebut dengan fase positif. Setelah tekanan mencapai tekanan ambien, tekanan tersebut berubah menjadi tekanan hisap yang dinamakan fase negatif seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 2. Selama fase negatif akan terjadi gaya hisap seperti vakum. Hal ini juga disertai dengan angin hisap yang kuat dan membawa puing-puing (*debris*) jauh dari sumber ledakan. Fase negatif memiliki durasi yang lebih lama dibandingkan dengan fase positif, Figuli; Kavický; Boc; Vidriková & Jangl (2008).

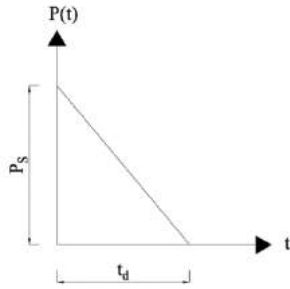


Gbr. 2. Fase Ledakan.

Persamaan tekanan yang dihasilkan akibat ledakan tersebut dapat diformulasikan dengan:

$$P(t) = P_0 - P_s^- \left( \frac{t}{t_d^-} \right) \left( 1 - \frac{t}{t_d^-} \right) e^{-4 \frac{t}{t_d^-}} \quad (1)$$

Untuk memudahkan perhitungan, fase negatif biasanya diabaikan dalam desain struktur dan tekanan dapat diasumsikan menurun secara linier seperti pada Gbr. 3.



Gbr. 3. Simplifikasi Perhitungan Beban Ledakan.

Persamaan beban ledakan yang lebih sederhana dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P(t) = P_0 + P_s \left(1 - \frac{t}{t_d}\right) \quad (2)$$

Keterangan:

- $P_0$  = Tekanan ambien (MPa)
- $P_s$  = Tekanan puncak (MPa)
- $t$  = Waktu setelah gelombang datang (s)
- $t_d$  = Durasi tekanan pada fase positif (s)
- $t_d^-$  = Durasi tekanan pada fase negatif (s)
- $\beta$  = Koefisien parameter penurunan/decay

### 2.3 Tipe Ledakan

Ledakan eksternal dapat dibedakan menjadi 3 tipe dasar berdasarkan posisi relatif sumber ledakan terhadap struktur bangunan, Karlos & Solomos (2013) yaitu:

#### 1. Free-air bursts

Ledakan terjadi di udara, gelombang ledakan merambat secara *spherical* dan langsung mengenai struktur tanpa berinteraksi dengan hambatan seperti tanah.

#### 2. Air bursts

Ledakan terjadi di udara, gelombang ledakan merambat secara *spherical* dan mengenai struktur setelah mengalami interaksi dengan hambatan misalnya dengan tanah.

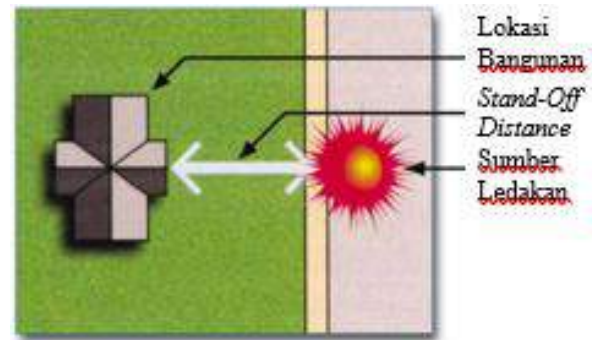
#### 3. Surface bursts

Ledakan terjadi di permukaan tanah, gelombang ledakan langsung berinteraksi dengan tanah dan selanjutnya menyebar secara *hemispherical* dan mengenai struktur.

### 2.4 Jarak Ledakan

Jarak ledakan merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan besarnya

gelombang ledakan yang timbul akibat suatu ledakan. Jarak tersebut dinamakan jarak antara atau *stand-off distance*. Energi yang dihasilkan dari ledakan akan berkurang apabila jarak sumber ledakan ke struktur bangunan semakin jauh. Dengan demikian, jarak ledakan yang semakin jauh membuat struktur menerima tekanan yang lebih kecil.



Gbr. 4. Jarak Ledakan/Stand-Off Distance (FEMA 420).

## 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Data Tanah

Data tanah pada penelitian ini diperoleh dari data pengujian laboratorium dan data dari pengujian SPT (*Standard Penetration Test*). Dari data tersebut, nilai parameter tanah yang akan digunakan diperoleh dari hasil rata-rata nilai parameter tanah pada tiap kedalaman tertentu. Parameter tanah yang tidak tersedia pada data uji lab maupun data SPT diperoleh dengan cara menggunakan korelasi parameter tanah. Nilai parameter tanah yang digunakan untuk pemodelan tanah pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter Tanah yang Digunakan.

Lapisan	Elevasi (m)	Jenis	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{wet}$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	0-12	Silt	16	13
2	12-20	Silt	16	16
3	20-40	Clay	17	16
4	40-52	Clay	18	17
5	52-68	Clay	18	17
6	68-80	Clay	17	16
7	80-92	Clay	18	17
8	92-112	Clay	18	17
9	112-132	Clay	18	17
10	132-144	Silt	18.5	18
11	144-150	Silt	16	15



Lapisan	N-SPT	e0	$\phi'$ (°)	c' (kPa)
1	6	2	22	20
2	26	2	22	20
3	18	1.5	15	50
4	24	1.1	8	130
5	26	1.1	6	130
6	22	1.3	6	90
7	26	1.2	6	120
8	26	1.1	6	110
9	28	1.2	4	140
10	30	0.75	4	140
11	50	1.4	4	170

Lapisan	OCR	E (kPa)	E <sub>oed</sub> (kPa)	E <sub>urref</sub> (kPa)
1	2	10000	8000	30000
2	3	30000	24000	90000
3	0.5	20000	16000	60000
4	0.2	30000	24000	90000
5	0.2	30000	24000	90000
6	0.18	26000	20800	78000
7	0.18	26000	20800	78000
8	0.15	24000	19200	72000
9	0.15	22000	17600	66000
10	0.15	30000	24000	90000
11	0.15	30000	24000	90000

Lapisan	k (cm/s)	Poisson Ratio	n
1	0,000001	0,35	0,67
2	0,000001	0,3	0,67
3	0,000001	0,3	0,6
4	0,000001	0,3	0,52
5	0,000001	0,3	0,52
6	0,000001	0,3	0,57
7	0,000001	0,3	0,57
8	0,000001	0,3	0,52
9	0,000001	0,3	0,55
10	0,000001	0,3	0,43
11	0,000001	0,25	0,58

### 3.2 Pemodelan Basement

Struktur *basement* yang dianalisis adalah *basement* 5 lantai dengan tinggi antar lantai 3m. *Basement* memikul berat dari struktur atas setinggi 32 lantai. Sistem bangunan diasumsikan *flat plate*. Sistem pelat *basement* adalah *flat slab* dengan tebal 0,25 m dan dinding penahan tanah yang dianalisis adalah tipe dinding diafragma dengan tebal 1,2 m. Ukuran *drop panel* yang digunakan adalah 1,8 m x 1,8 m dan tebal *drop panel* adalah 100 mm. Sistem fondasi pada *basement* adalah *raft-pile foundation* dengan tebal *raft* 2 m dan fondasi yang digunakan adalah fondasi tiang bor lingkaran dengan diameter 1,8 m. *King post*

menggunakan profil baja H 406 x 403 x 26,5 x 42,9.

Tabel 2. Properti Material Beton.

Elemen Struktur	f <sub>c</sub> (MPa)	Poisson ratio, $\mu$
<i>Flat Slab</i>	25	0,18
Dinding Diafragma	25	0,18
<i>Raft</i>	25	0,18
Tiang Bor	25	0,18

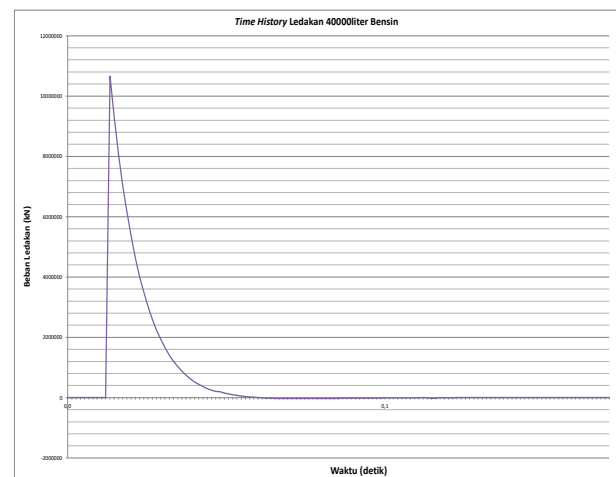
Tabel 3. Properti Material Baja.

Elemen Struktur	E (MPa)	Poisson ratio, $\mu$
<i>King Post</i>	200000	0,3

### 3.3 Beban Ledakan

Beban ledakan yang dianalisis adalah ledakan permukaan yang diasumsikan berasal dari ledakan tangki bensin dari pom bensin yang berada di seberang bangunan. Tangki bensin diasumsikan memiliki volume 40000 liter. Titik ledakan diasumsikan berjarak 30 m. *Basement* diasumsikan tidak terdampak efek fragmentasi dari ledakan.

*Time history* dari ledakan 40000 liter bensin terhadap *basement* ditunjukkan pada Gbr. 5.



Gbr. 5. Riwayat Waktu Beban Ledakan.

### 3.4 Beban Mati

Besar beban mati yang bekerja didasarkan pada SNI 1727:2020. Beban mati per lantai dari struktur atas yang dimasukkan ke dalam program Midas GTS NX ditunjukkan pada

Tabel 4.

Tabel 4. Beban Mati yang Dimasukkan.

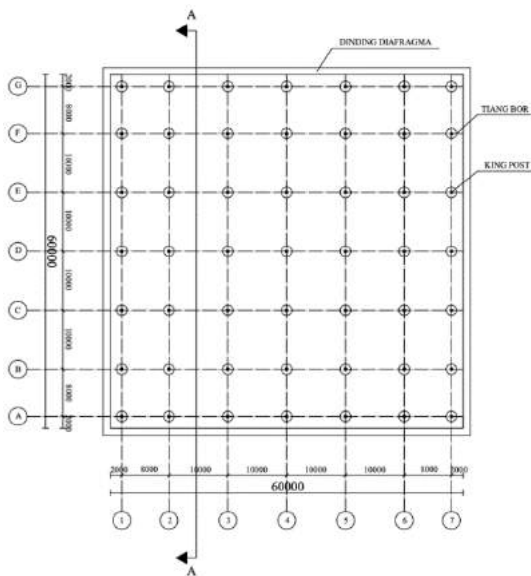
Beban Mati	Beban (kN/m <sup>2</sup> )
Pelat	6
Keramik dan spesi	1,1
Dinding	2,3
Plafon dan Peggantung	0,15
ME	0,19
<b>Total</b>	<b>9,74</b>

### 3.5 Beban Hidup

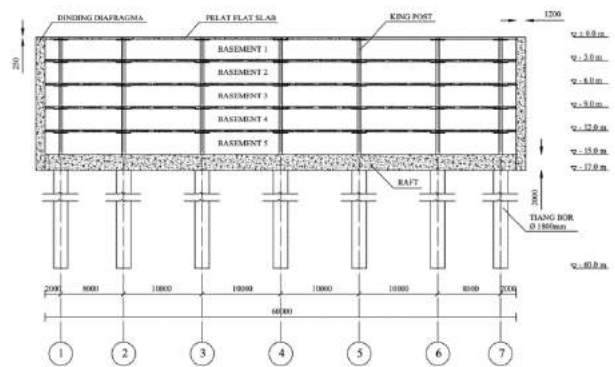
Basement diasumsikan sebagai lahan parkir, sehingga beban hidup yang bekerja pada pelat basement adalah 4 kN/m<sup>2</sup> sesuai dengan SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

### 3.6 Layout Bangunan

Denah dan potongan basement yang akan dianalisa ditunjukkan pada Gbr. 6. dan Gbr. 7.



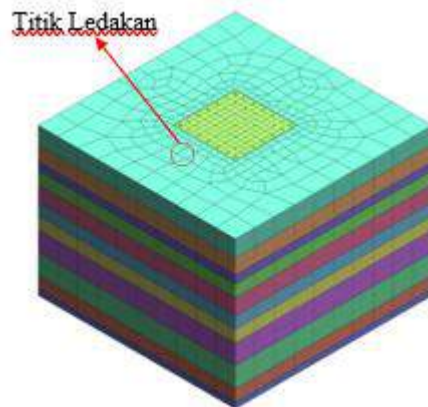
Gbr. 6. Denah Basement dan Fondasi.



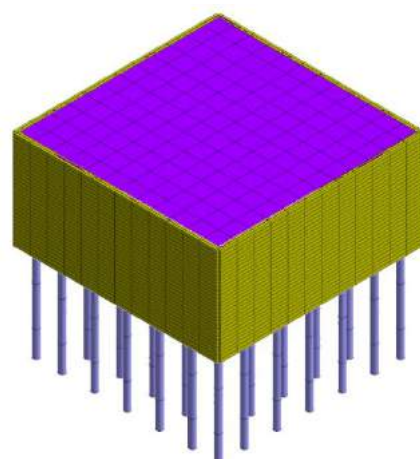
Gbr. 7. Potongan A-A.

### 3.7 Pemodelan

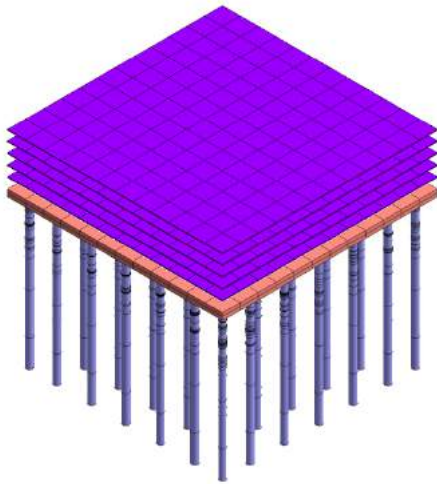
Pemodelan basement pada Midas GTS NX ditunjukkan pada Gbr. 8. sampai dengan Gbr. 10.



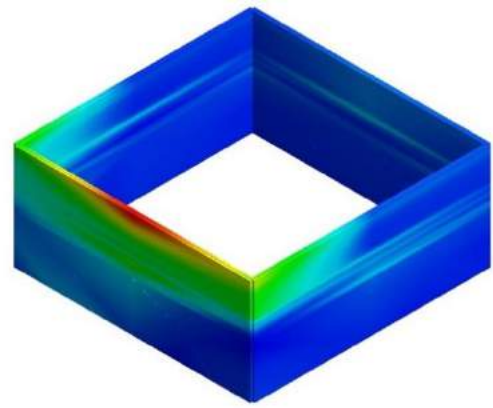
Gbr. 8. Pemodelan Basement dengan Tanah.



Gbr. 9. Pemodelan Basement dengan Dinding Diafragma.



Gbr. 10. Pemodelan *Flat Slab Basement*.

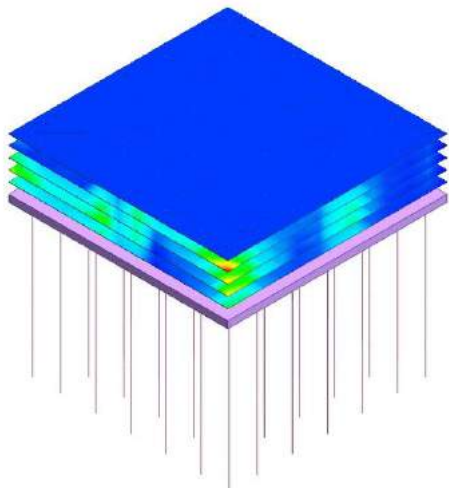


Gbr. 12. Tegangan pada Dinding Diafragma.

## 4 ANALISIS DAN HASIL

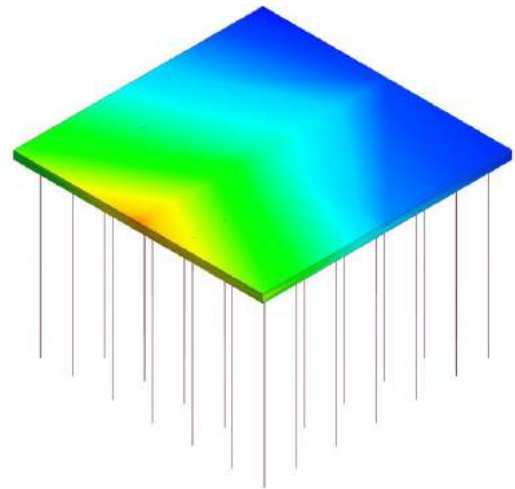
### 4.1 *Tegangan pada basement akibat beban ledakan*

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, tegangan maksimum yang terjadi pada dinding diafragma adalah sebesar  $7,179 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$ .



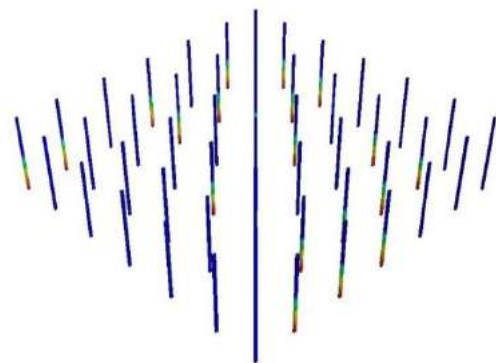
Gbr. 11. Tegangan pada Pelat *Flat Slab*.

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, tegangan maksimum yang terjadi pada pelat *basement* adalah sebesar  $4,8992 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$ .



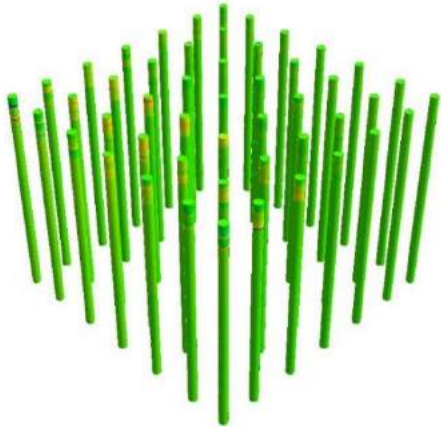
Gbr. 13. Tegangan pada *Raft*.

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, tegangan maksimum yang terjadi pada *raft* adalah sebesar  $2,022 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$ .



Gbr. 14. Tegangan pada King Post.

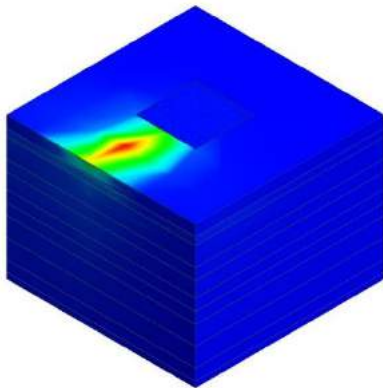
Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, tegangan maksimum yang terjadi pada *king post* adalah sebesar  $1,575 \times 10^{-12}$  kN/m<sup>2</sup>.



Gbr. 15. Tegangan pada Tiang Bor.

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, tegangan maksimum yang terjadi pada tiang bor adalah sebesar  $4,518 \times 10^{-2}$  kN/m<sup>2</sup>.

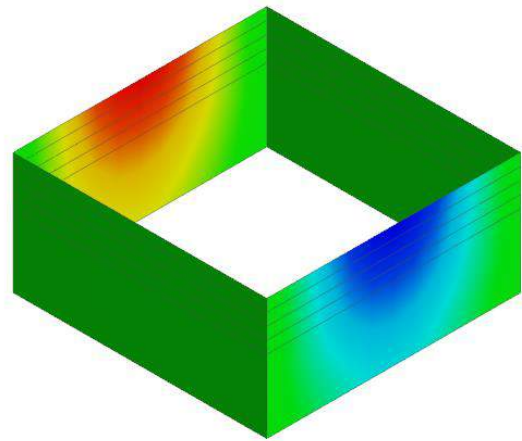
#### 4.2 Tegangan pada tanah akibat beban ledakan



Gbr. 16. Tegangan pada Tanah.

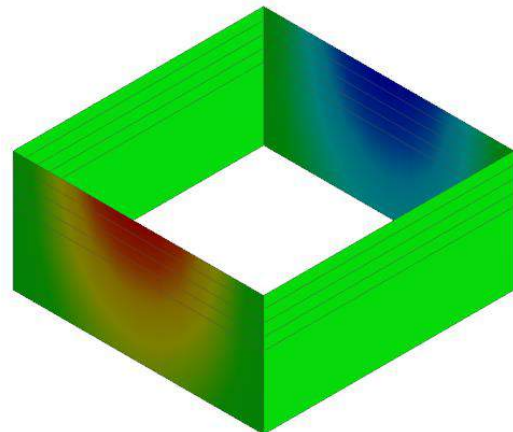
Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, tegangan maksimum yang terjadi pada tanah pada titik ledakan berdetonasi adalah sebesar  $2,85 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>.

#### 4.3 Deformasi dinding diafragma tanpa beban ledakan



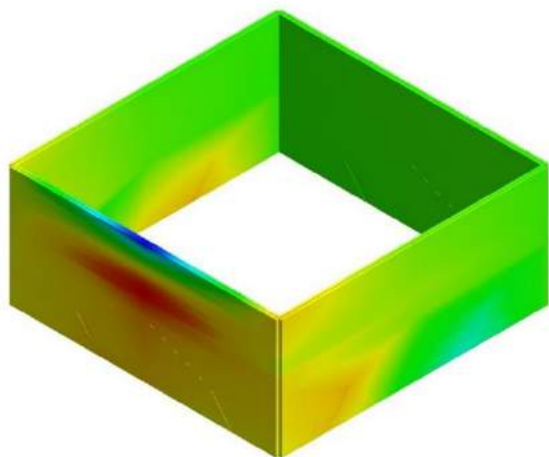
Gbr. 17. Deformasi Dinding Diafragma Arah X Tanpa Beban Ledakan.

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, deformasi maksimum arah X tanpa beban ledakan yang terjadi pada dinding diafragma adalah sebesar  $1,595 \times 10^{-2}$  m.



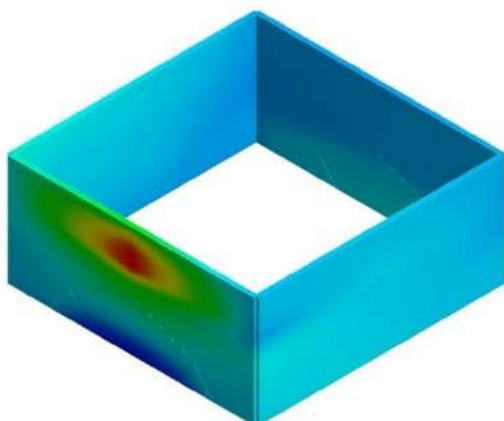
Gbr. 18. Deformasi Dinding Diafragma Arah Y tanpa Beban Ledakan.

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, deformasi maksimum arah Y yang terjadi tanpa beban ledakan pada dinding diafragma adalah sebesar  $1,597 \times 10^{-2}$  m. Deformasi dinding diafragma akibat beban ledakan



Gbr. 19. Deformasi Dinding Diafragma Arah X Akibat Beban Ledakan.

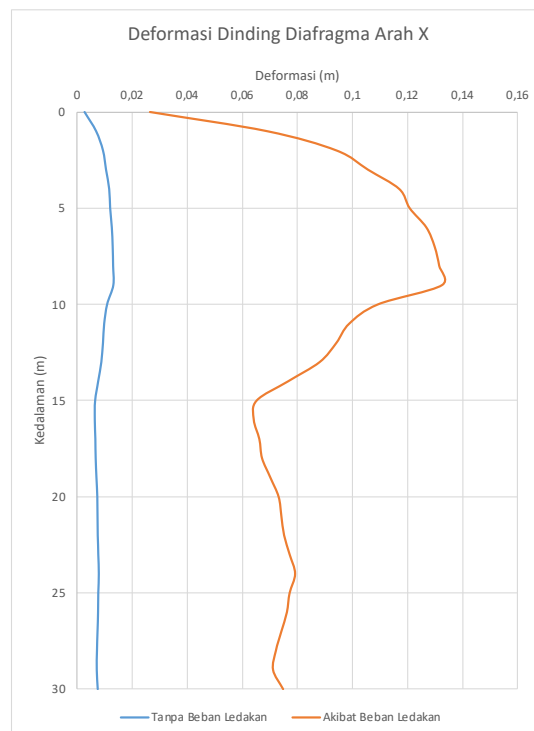
Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, deformasi maksimum arah X yang terjadi akibat beban ledakan pada dinding diafragma adalah sebesar 0,1325 m.



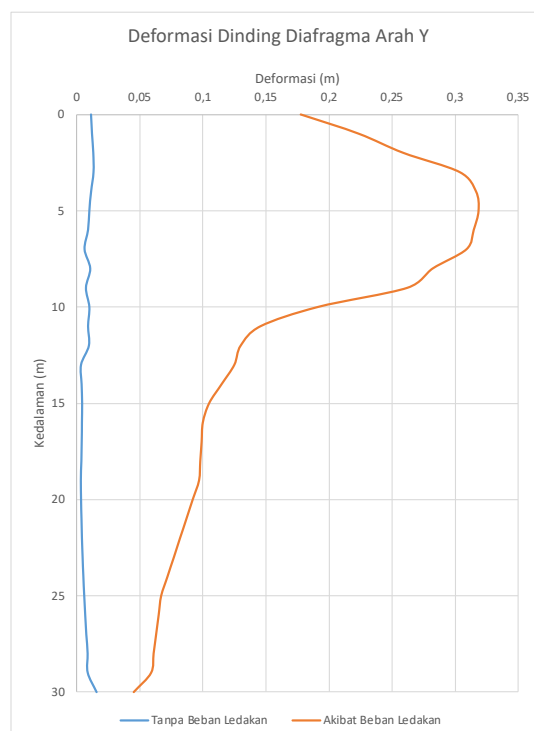
Gbr. 20. Deformasi Dinding Diafragma Arah Y Akibat Beban Ledakan.

Dari hasil analisis dari Midas GTS NX, deformasi maksimum arah Y yang terjadi akibat beban ledakan pada dinding diafragma adalah sebesar 0,3185 m.

#### 4.4 Perbandingan deformasi dinding diafragma tanpa dan dengan beban ledakan



Gbr. 21. Perbandingan Deformasi Dinding Diafragma Arah X tanpa dan dengan Beban Ledakan.



Gbr. 22. Perbandingan Deformasi Dinding Diafragma Arah X tanpa dan dengan Beban Ledakan.

#### 4.5 Deformasi izin

Deformasi izin ditetapkan dalam SNI Goteknik sesuai dengan Tabel 2.14. Diasumsikan bahwa  $x/H < 1$ , sehingga batas maksimum deformasi sebesar  $0,5\%H$  yaitu 75 mm. Deformasi dinding diafragma tanpa beban ledakan memenuhi syarat SNI. Namun, deformasi dinding diafragma dengan beban ledakan tidak memenuhi syarat SNI.

### 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada model yang dianalisa, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Deformasi maksimum pada dinding diafragma tanpa beban ledakan adalah sebesar  $1,595 \times 10^{-2}$  m untuk arah X dan  $1,597 \times 10^{-2}$  m untuk arah Y.
2. Deformasi maksimum pada dinding diafragma akibat beban ledakan adalah sebesar 0,1325m untuk arah X dan 0,3185 m untuk arah Y.
3. Deformasi maksimum dinding diafragma akibat tanpa beban ledakan memenuhi syarat SNI. Namun, deformasi maksimum dinding diafragma akibat beban ledakan tidak memenuhi syarat SNI.
4. Dinding diafragma pada sebuah basement dapat mengalami kemungkinan deformasi yang melewati batas izin jika terdapat force major atau kejadian luar biasa yang tidak terduga seperti beban ledakan, walaupun deformasi dinding diafragma tersebut sudah memenuhi deformasi izin untuk deformasi akibat beban desain *basement* tersebut.

### 6 SARAN

Beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat diteliti efektivitas berbagai macam solusi yang dapat dilakukan untuk mereduksi deformasi dari dinding diafragma akibat beban ledakan, seperti meningkatkan ketebalan dinding diafragma, meningkatkan ketebalan pelat *basement*, dan lain sebagainya.
2. Analisis respons basement akibat ledakan dapat menggunakan berbagai variasi nilai besar ledakan dan jarak ledakan untuk mengetahui perilaku *basement* akibat ledakan tersebut.

### DAFTAR PUSTAKA

- Raynaldi, & Susilo, A. J. 2021. Perbandingan Deformasi Dinding pada Basement Metode Top-Down dengan Analisis Construction Stage dan Analisis Konvensional. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*: 591-606.
- Figuli, L., Kavický, V., Boc, K., Vidriková, D., & Jangl, Š. 2008. *Analysis of Blast Loaded Structures. ICSMESP*. Prague: Willenberg Foundation.
- Karlos, V., & Solomos, G. 2013. *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Mistra, H. 2012. *Struktur Dan Konstruksi Bangunan Tinggi Sistem Top and Down*. Jakarta: Griya Kreasi.
- Federal Emergency Management Agent. 2003. *FEMA 426: Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings*. Washington D.C.: United States Department of Homeland Security.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
- Susilo, A. J. 2016. *Enhancing the Strength Properties of Fly Ash by Adding Waster Products*. Lexington: University of Kentucky.
- Budhu, M. 2011. *Soil Mechanics and Foundations*. John Wiley & Sons, Inc.
- Zhang, R., & Phillips, B. 2015. Numerical Study on the Benefits of Base Isolation for Blast Loading. *6<sup>th</sup> International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*. Urbana-Champaign: University of Illinois.
- Nur, O. F., & Hakam, A. 2010. Analisa Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) Akibat Beban Dinamis dengan Simulasi Numerik. *Jurnal Rekayasa Sipil*: 41-54.

