Technical Assessment Dampak Peledakan pada Bangunan Industri (Studi Kasus Dampak Ledakan Jalan Toll Terhadap Struktur Eksisting)

Indra Komara [1*], Fitri Hardiyanti[2], Fitria Wahyuni[3]

[1]Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
[2]Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
[3]Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: indrakomara@itats.ac.id*, fitrigeoteknik@gmail.com, fitrihardiyanti@ppns.ac.id

DOI: https://doi.org/10.31284/j.jtm.2023.v4i1.4155
Received 6 February 2023; Received in revised 21 February 2023; Accepted 22 February 2023; Available online 23 February 2023
Copyright: ©2023 Indra Komara, Fitri Hardiyanti, Fitria Wahyuni
License URL: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Abstract

This paper illustrates the process of blast loading on the structure that is occurring from the work package of Toll Road Construction. The study provides some illustrations including the example of industrial building that is exposed to this load. The aim is to give a technical assessment of the blast loading on the area of the construction. The study is analytically assessed by a numerical modelling created in SAP2000 compared to evaluation of a pressure time history analysis. The result confirms as the initial evaluation that is considering as the behavior after explosion effect. Three different load categories classified by the charge mass of TNT, 10 kg, 100 kg and 1000kg are illustrated to accommodate findings and give a recommendation, to undatestand the structural behaviours. As a result, the structure is not collapsing even if the source of the explosion is near. The mass of 1000 kg is considered to destroy some structural elements and it needs to be taken caution for the further analysis.

Keywords: *Blast load, pressure-time history, numerical modelling, explosion, SAP2000*

Abstrak

Makalah ini menggambarkan proses pembebanan ledakan pada struktur yang terjadi dari paket pekerjaan Konstruksi Jalan Tol. Studi ini memberikan beberapa ilustrasi termasuk contoh bangunan industri yang terkena beban ledakan. Tujuannya adalah untuk memberikan penilaian teknis terhadap beban ledakan di area konstruksi tersebut. Analisa diinvestigasi secara numerik menggunakan program bantu SAP2000 yang dibandingkan dengan evaluasi analisis riwayat waktu tekanan. Hasilnya ditegaskan sebagai evaluasi awal yang dianggap sebagai perilaku setelah efek ledakan. Tiga kategori beban berbeda yang diklasifikasikan berdasarkan massa muatan TNT, 10 kg, 100 kg, dan 1000kg diilustrasikan untuk mengakomodasi temuan dan memberikan rekomendasi, untuk memahami perilaku struktural. Sebagai hasil, struktur tidak runtuh meski sumber dekat dengan area ledakan. Massa 1000 kg dianggap merusak beberapa elemen struktur dan perlu diwaspadai untuk analisis lebih lanjut.

Kata Kunci*:* *Beban ledakan, pengaruh historis tekanan, permodelan numerik, ledakan, SAP2000*

1. Penduhulan

Perkembangan dunia infrastruktur beberapa tahun belakang menjadi konsen setiap daerah yang mana didukung oleh target pemerintahan, seperti peningkatan APBD dalam infrastruktur sebesar 27% [1]. Selain konsentrasi pemerintahan dalam bidang penanganan Kesehatan yang meningkat cukup drastis, konsentrasi pemutahiran infrastrukturpun meningkat cukup signifikan, yang mana selama 3

tahun sebelumnya banyak terhenti [2]. Pembangunan fasilitas public dan sarana transportasi salah satunya yang dilakukan percepatan. Terbukti lebih dari 20 infrastruktur transportasi dapat difungsikan pada tahun 2023 [3]. PT. Jasa Marga salah satunya sebagai induk perusahaan yang berkonsentrasi dalam pemutahiran infrastruktur transportasi, termasuk pembangunan akses jalan toll baru. Untuk meningkatkan pertumbuhan perkonomian serta pencapaian garis besar strategis yang diharapkan pemerintahan, PT. Jasa Marga merencanakan untuk membuat rute jalan tol Probolinggo – Banyuwangi. Rute tersebut akan dikembangkan dalam waktu dekat menimbang banyak aspek, salah satunya durasi perjalanan serta kesiapan penerapan teknologi infrastruktur. Sebagai kasus investigasi, jalan tol yang direncanakan tersebut berlokasi pada area perbukitan dengan kondisi batuan keras yang terjal, Sehingga untuk melakukan pengkondisian area, peledakan batuan menjadi alternatif yang direkomendasikan. Akan tetapi, di area tersebut terdapat bangunan industri, yaitu berupa gardu induk serta tower pembangkit yang apabila terkena pengaruh getaran atau tekanan berlebih akan memberikan dampak kritis berdasarkan fungsinya. Sebagai tambahan, untuk memastikan keamanan dari bangunan eksisting terhadap beban tersebut, prosedur evaluasi diperlukan dan *initial evaluation* menjadi pertimbangan yang diperlukan.

Sebagai informasi, proses peledakan akan menghasilkan gelombang kejut yang kemudian dapat merambat sebagai getaran yang tidak direncanakan pada bangunan. Getaran ini dapat mempengaruhi kemananan operasional di bangunan industri yang berdampak pada gagalnya fungsi bangunan. Assessment dilakukan berdasarkan kajian dampak yang mana meliputi evaluasi kondisi ledakan sesuai SNI 7571-2010 [4] dan EN 1991-1-7 [5]. Sedangkan evaluasi beban sesimik dengan parameter kondisi tanah yang diasumsikan merujuk pada SNI 1726-2019 [6]. Parameter beban serta analisa lain sesuai rujukan yang berlaku [2]. Berdasarkan Batasan-batasan sesuai dengan rujukan pada setiap standar, elaborasi analisa dilakukan untuk melihat phenomena beban ledakan terhadap struktur eksisting. Phenomena ini akan lebih dipahami apabila kajian kapasitas elemen struktur serta respon terhadap gempa diketahui, yang mana dibatasi pada studi yang dilakukan. Selanjutnya, sebagai dasar assesmen yang dilakukan, beberapa tahapan analisa ditentukan, yakni: (1) evaluasi tingkat resiko, (2) menentukan komputasi beban yang diestimasikan sesuai tingkat resiko, (3) memilih sistem struktur yang dipergunakan sebagai tinjauan, (4) evaluasi perilaku struktur.

Sebagai tinjauan studi, beberapa penelitian terdahulu dijadikan parameter evaluasi, yang menjelaskan beberapa kasus permasalahan terhadap mitigasi resiko serta pengaruhnya. Penelitian-penelitian tersebut menjelaskan bahwa pendekatan model dapat dijadikan dasar evaluasi sebelum dilakukan analisa lanjutan seperti penentuan titik ledakan, evaluasi ketidakstabilan tanah/lereng dan perbaikan struktur. Sesuai beberapa penelitian terdahulu, analisa beban ledakan tidak disampaikan secara detail pada standar sehingga simulasi dan permodelan dapat dipergunakan sebagai *preliminary assessment* dalam pemberian rekomendasi desain [7]–[12].

1.1. Beban Ledakan

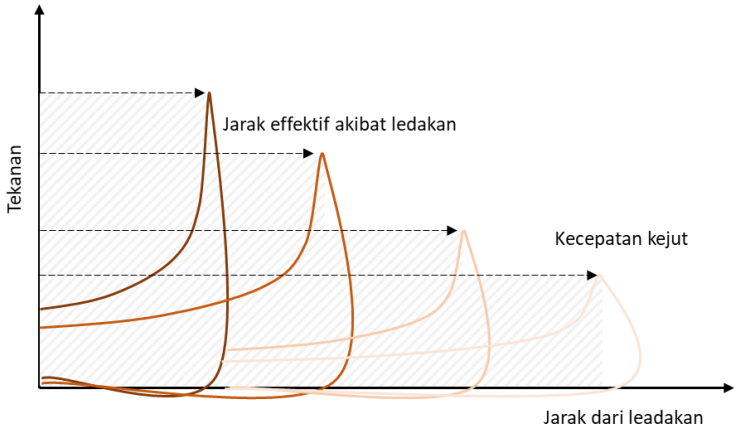
Seperti yang diketahui metode peledakan masih sangat dipergunakan sebagai opsi pembebasan lahan sebelum dimulai pelaksanaan konstruksi, khususnya di negara yang memiliki topograpi lereng/pegunungan. Metode tersebut masih dipergunakan karena dari segi target capaian serta efisiensi waktu dapat terpenuhi, yang artinya jumlah batuan yang terbongkar dibandingkan dengan waktu serta berat bahan peledak masih sangat besar. Akan tetapi dari hal tersebut, harus diperhatikan tingkat kestabilan serta fragmantasi hasil serta pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar. Dalam hal ini pengaruhnya terhadap bangunan eksisting. Sebagai pertimbangan proses peledakan adalah proses pelepasan energi yang nilainya didapatkan dari berat bahan peledak yang dipengaruhi oleh jenisnya. Bahan peledak tersebut ditentukan berdasarkan target ledakan serta besarnya dampak yang diinginkan. Berikut estimasi dari berat bahan peledak pada beberapa kendaraan berdasarkan JRC technical report [13] yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk dapat menghasilkan target ledakan, kondisi bahan peledak harus dapat disesuaikan sebagaimana mestinya. Dalam hal ini harus stabil, terkontrol secara temperature dan tertutup. Karena penomena ledakan tidak terjadi secara spontan akan tetapi reaksi kimia yang dipicu. Ketika bahan

peledak itu bereaksi atau meledak, akan menhasilkan energi yang berupa gas panas dengan tekanan dan getaran yang tinggi. Sekitar 1/3 dari bahan peledak dilepaskan menjadi energi dari ledakan berupa tekanan dan 2/3 nya berupa energi ledakan yang dilepaskan secara perlahan yang disertai dengan proses pembakaran [13]. Efek ledakan diilustrasikan dalam gelombang intensitas tinggi yang menyebar keluar dari sumber ke udara sekitar. Saat gelombang merambat, ia berkurang kekuatan dan kecepatan. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Estimasi Berat Bahan Peledak Berdasarkan Berat

Jenis Kendaraan	Berat peledak (kg)
Koper	10
Mobil ukuran medium	200
Mobil ukuran besar	300
Mobil Pick - up	1400
Van	3000
Truck	5000
Truck dengan trailer	10000



Gambar 1. Pengaruh Tekanan Ledakan Berdasarkan Jarak

1.2. Parameter Beban Ledakan

Kriteria keamanan berdasarkan SNI 7571-2010 [4], [14], baku tingkat getaran pad tambang terbuka terhadap bangunan adalah sesuai Tabel 2. Nilai tersebut dipergunakan sebagai ambang batas kecepatan getaran tanah yang aman untuk bangunan eksisting akibat peledakan.

Selanjutnya pemilihan parameter bahan peledak adalah karakterisasi lanjutan untuk mengetahui seberapa besar cakupan ledakan. Nilai tersebut biasanya dipergunakan berdasarkan nilai TNT (trinitrotoluene) sebagai kajian untuk perhitungan skala jarak pengaruh, *z*. Sehingga setelah mengetahui secara kuantitatif desain kebutuhan bahan peledak dalam satuan berat, nilai tersebut di konversikan pada nilai TNT. Tabel 3 mempresentasikan nilai konversi peledakan sesuai dengan jenis bahan peledak. Tabel 3 tersebut diambil berdasarkan rujukan penelitian terdahulu. Kemudian, evaluasi gelombang ledakan dianalisa menggunakan persamaan (1) - (2), untuk mengetahui tekanan maksimum scara dinamik, dimana p_s adalah nilai tekanan berlebih statik puncak gelombang depan (bar), p_0 adalah tekanan udara sekitar (tekanan normal dalam bar) dan a_0 adalah kecepatan suara di udara (m/s).

Tabel 2. Kritera Kecepatan Getaran Tanah Yang Aman Untuk Berbagai Kelas Bangunan [13]

Kelas	Jenis bangunan	*Peak vector sum* (mm/detik)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang – undang cagar budaya (UU no. 6 tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk	7 – 20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan rangka baja	12 – 40

$$U_s = a_0\sqrt{\frac{6p_s + 7p_0}{7p_0}} \quad (1) \qquad q_s = \frac{5p_s^2}{2(p_s + 7p_0)} \quad (2)$$

$$p_s = \frac{6.7}{Z^3} + 1, bar;\ p_s > 10\ bar \quad (3) \qquad p_s = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019, bar \quad (4)$$

$$0.1 < p_s < 10\ bar,$$

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (5)$$

Selain itu, ada beberapa rekomendasi perhitungan beban ledakan, seperti yang disampaikan oleh Brode (2010), yang mana merekomendasikan nilai tekanan statik puncak yang disesuaikan dari nilai p_s, dimana ketika letak ledakan cukup dekat nilai p_s akan bernilai lebih besar dari 10-bar dan ketika letak ledakan berjarak cukup jauh, nilai *ps* diambil kisaran antara 0.1 – 10-bar. Rekomendasi nilai tersebut sesuai dengan persamaan (3) dan (4). Dimana nilai *Z* adalah skala jarak yang mencangkup nilai *R*, sebagai jarak dari pusat muatan sperikal (lihat Gambar 1) dan *W* adalah muatan berat dalam TNT dengan satuan berat.

Tabel 3. Faktor Koreksi Bahan Peledak [13]

Bahan peledak	Spesifik energi (kJ/kg)	TNT (Q_{TNT})
Compound B (60% RDX, 40% TNT)	5190	1.143
RDX (Ciklonit)	5360	1.185
HMX	5680	1.256
Nitroglycerin (liquid)	6700	1.481
TNT	4520	1.000
Explosive gelatin (91% nitroglycerin, 7.9% nitrocellulose, 0.9% antracid, 0.2% water)	4520	1.000
60% Nitroglucerin dynamite	2710	0.600
Semtex	5660	1.250
C4	6057	1.340

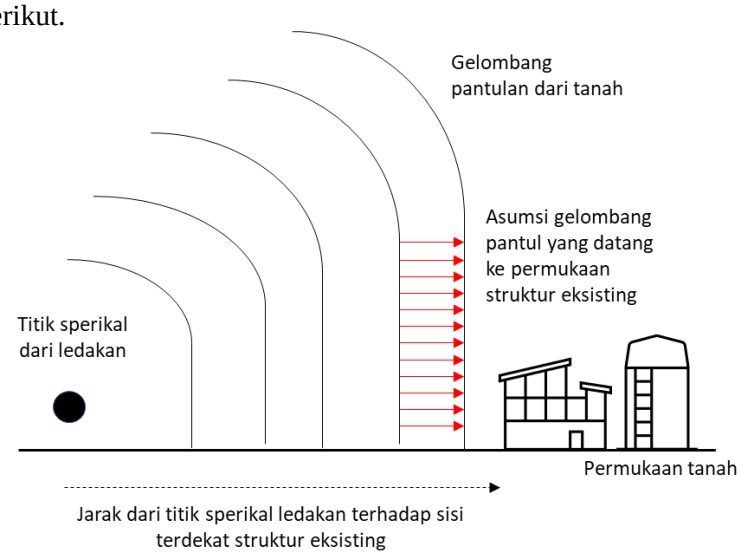
2. Metode Analisa dan Kategori Evaluasi

Analisa dampak peledakan dilakukan menggunakan estimasi perhitungan empiris yang disertai permodelan numerik menggunakan program bantu SAP2000. Tahapan pertama adalah menentukan kategori beban ledakan yang mana dikategorikan sebagai beban ledakan terkekang dan

beban ledakan tidak terkekang. Beban ledakan terkekang adalah beban ledakan yang terjadi didalam Gedung atau bangunan atau sangat dekat dengan bangunan eksisting yang mana nilai tekanan puncak sangat dipengaruhi oleh pantulan gelombang dan nilainya sangat tinggi. Sebaliknya, beban ledakan tidak terkekang adalah beban ledakan yang terjadi diarea terbuka atau jauh dari pusat ledakan, sehingga memiliki nilai gelombang puncak yang kecil dan tidak dipengaruhi oleh nilai pantulan gelombang dari permukaan bangunan. Tahapan kedua adalah menentukan interaksi dari ledakan terhadap struktur. Nilai interaksi ini untuk mengetahui pengaruh ledakan terhadap semua sisi permukaan struktur. Distribusi besarnya interaksi tergantung pada (1) karakterisasi ledakan sesuai jenis material, besarnya energi (ukuran cakupan ledakan) dan berat dari bahan peledak, (2) lokasi/jarak peledakan terhadap struktur, (3) intensitas dan perbesaran tekanan yang terjadi pada tanah dan atau terhadap struktur eksisting. Nilai setiap kondisi ini berbeda dengan parameter beban gempa, yang mana dievaluasi secara terpisah.

2.1. Ledakan di Udara dan Ledakan di Dekat Tanah

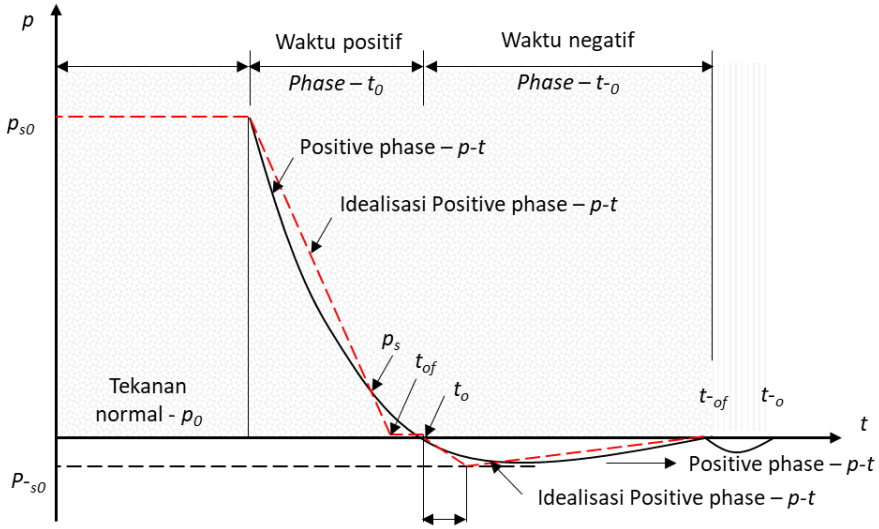
Ledakan di udara adalah phenomena yang terjadi akibat pengaruh ledakan dibagian atas tanah. Ledakan pada umumnya ditempatkan dibawah tanah, secara normal akan teredam oleh tekanan dibawah tanah, akan tetapi apabila posisi ledakan tidak terlalu dalam, pengaruh ledakan di udara akan cukup besar. Pada jarak tertentu nilai ini dapat diabaikan. Akan tetapi apabila bangunan yang dianalisa memiliki luasan area yang cukup luas dan memiliki tinggi bangunan yang cukup tinggi, maka beban ledakan yang dibiaskan tidak bisa diabaikan, karena tekanan yang diberikan pada struktur akan berpengaruh cukup besar. Ilustrasi pantulan beban dari permukaan tanah yang terjadi dari titik ledakan sesuai Gambar 2 berikut.



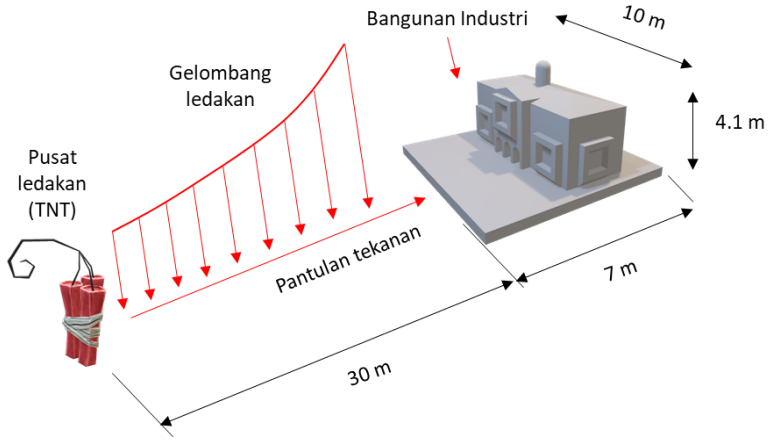
Gambar 2. Gelombang Pantulan Dari Permukaan Tanah Berdasarkan Titik Sperikal Ledakan

2.2. Tekanan pada Permukaan Struktur Eksisting

Untuk mengetahui pengaruh dari beban ledakan, maka perlu dilakukan analisa perhitungan beban struktur awal yang sudah memenuhi kaidah fungsi serta kapasitasnya. Kemudian melakukan evaluasi analisa beban awal tereduksi serta beban tekanan dimasin dari ledakan. Nilai ini diambil dari hasil rekaman peledakan dan juga penentuan nilai getaran puncak. Fase gelombang ledakan dapat dilihat pada Gambar 3, yang mana di karakterisasikan berdasarkan peningkatan tekanan hingga titik puncak, penurunan pada tekanan atmosfir atau kondisi normal dikategorikan sebagai fase positif dan waktu ketika tekanan akibat ledakan turun dibawah tekanan atmosif dikategorikan sebagai fase negative. Setiap fase ini akan memberikan ilustrasi nilai gaya yang mempengaruhi permukaan struktur eksisting yang dapat menyebabkan kegagalan.



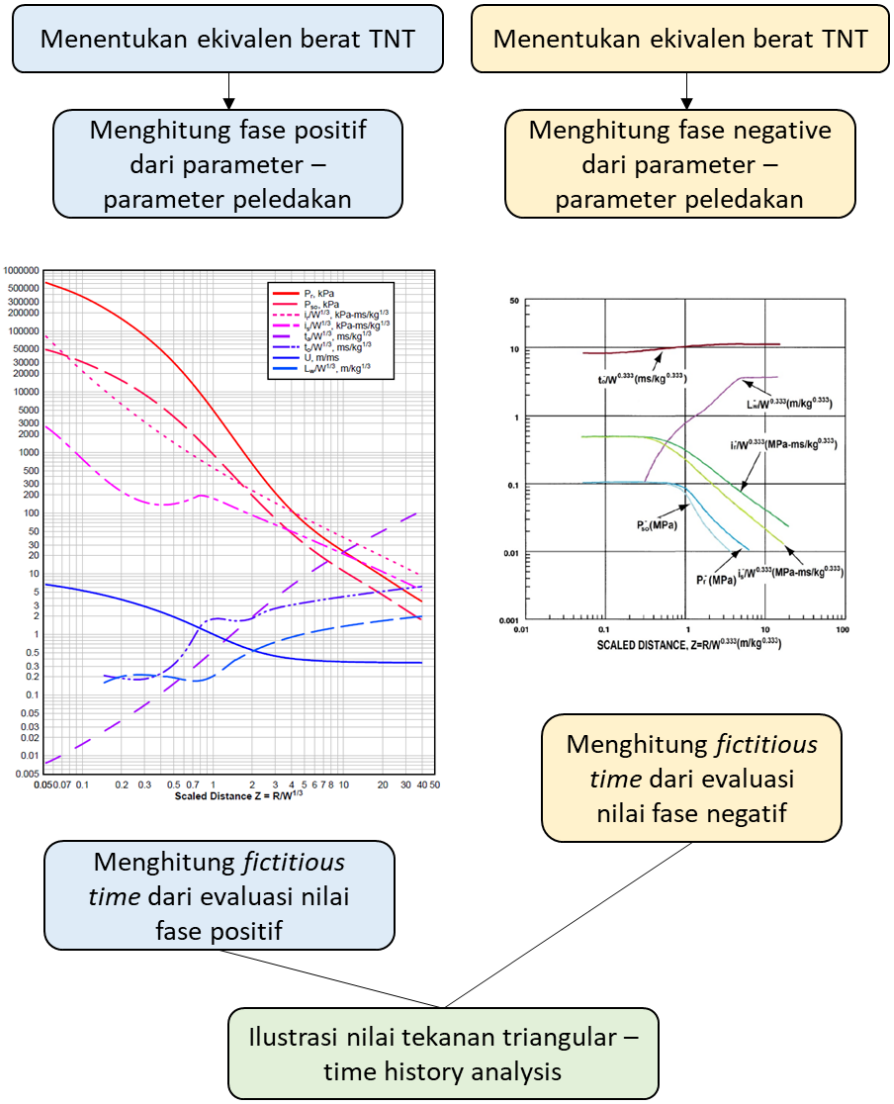
Gambar 3. Fase Histori Waktu Tekan Akibat Beban Ledakan



Gambar 4. Geometri Lokasi Ledakan

3. Analisa Perhitungan Beban Ledakan

Sesuai ilustrasi distribusi fase ledakan yang disampaikan pada Gambar 3, evaluasi empiris untuk mengetahui perilaku struktur dapat ditentukan dengan mengklasifikasikan beberapa kategori terlebih dahulu, seperti penentuan lokasi, kondisi tanah serta fungsi dasar struktur yang terkena pengaruh ledakan yang merefresentasikan kategori desain seismik dan tingkat kinerja struktur (lihat Gambar 4). Kategori desain seismik struktur berada di kondisi tanah keras (batuan) dengan nilai modulus serta ketahanan yang baik, yang mana area peledakan berada diareah perbukitan berbatu. Struktur eksisting didominasi oleh bangunan beton bertulang dengan kombinasi struktur baja. Tinggi bangunan eksisting paling tinggi adalah 4.1 m, yang mana difungsikan sebagai bangunan penyimpanan. Tahapan selanjutnya dilakukan tahapan-tahapan analalisa sebagai berikut:

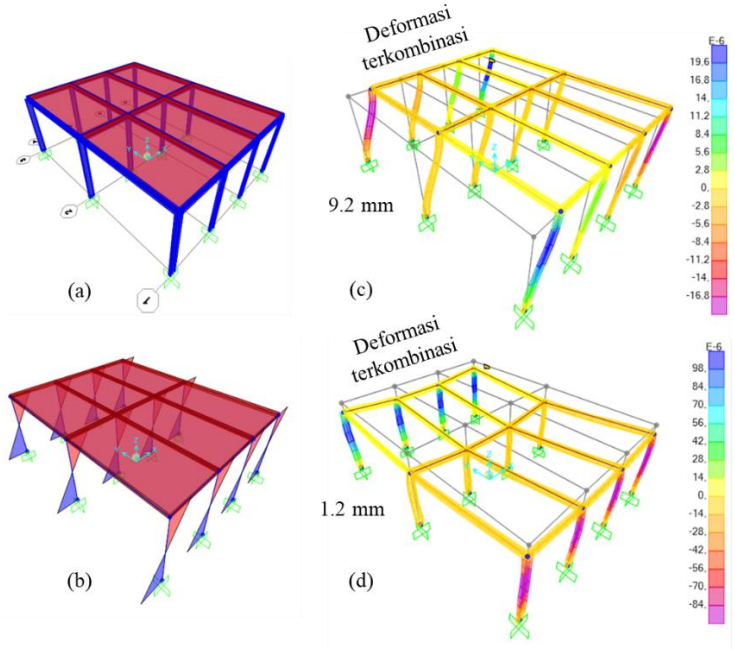


Gambar 5. Diagram Ilustrasi Variasi Pengaruh Tekanan Positif dan Negative Pada Permukaan Struktur

1. Menentukan berat muatan dari bahan peledak, *W*, Jarak ledakan dari struktur, R_G, tinggi muatan, H_c, yang mana pengaruh dari ledakan di udara serta dimensi struktur eksisting yang terkena pengaruh.
2. Menentukan faktor kemananan, sesuai dengan rujukan, diambil nilai angka keamanan sebesar 20%.
3. Menentukan titik yang terkena pengaruh signifikan pada struktur, seperti bagian depan, atap, sisi bangunan dan bagian belakang, serta menentukan parameter untuk setiap titik – titik tersebut. Pada bagian ini maka, ditentukan pengaruhnya dari tanah:
   (a) Menentukan skala jarak muatan, sesuai dengan persamaan (5)
   (b) Menentukan parameter – parameter ledakan menggunakan Tabel konfigurasi sesuai dengan standar acuan, berdasarkan nilai *Z.* Nilai – nilai tersebut antara lain, *peak initial positive overpressure, ps0,* kecepatan gelombang depan, *U,* nilai fase positif dan negatif.

Analisa beban TNT yang dipergunakan menggunakan 3 variasi pembanding beban ledakan, yaitu 10 kg, 100 kg dan 1000 kg. Lokasi bangunan dengan bangunan sekitar adalah kurang dari 10 m. sehingga muatan beban akan mempengarhui bangunan terdekatnya. Contoh bangunan industri yang dianalisa

memiliki bentang dengan panjang 10 m dan lebar 7 m dengan tinggi 4.1 m. Beban vertikal didominasi oleh beton bertulang dan didukung oleh rangka yang terbuat dari struktur baja. Struktur dimodelkan menggunakan SAP2000 v.14 sebagai bangunan 3D dengan balok serta kolom sebagai sistem struktur penyangga utamanya. Non-linearity material menggunakan pendekatan dari Takeda-hysteris type. Evaluasi kapasitas struktur dan beban mengadopsi sesuai rujukan SNI 2847-2020 [15]–[19], sedangkan beban gempa sesuai SNI 1726-2019 [2]. Parameter perhitungan lain terkait beban gempa sesuai rujukan dari JRC *Technical reports – blast simulation technology development* [13]. Hasil evaluasi dapat dilihat pada Gambar 6, yang mana detail ilustrasi kapasitas penampang, diambil nilai maksimal dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai tersebut diambil dari evaluasi perilaku struktur yang ditinjau dari nilai deformasi; rotasi, θ, dan daktilitas, μ.



Gambar 6. Permodelan menggunakan SAP2000; (a) Tampak 3D bangunan, (b) Distribusi momen akibat beban ledakan, (c) Deformasi terkombinasi akibat beban gempa, (D) Deformasi terkombinasi akibat beban ledakan

Tabel 3. Perilaku Struktur Berdasarkan Kondisi Pembebanan

Elemen struktur	Kategori perilaku struktur					
	Kondisi 1		Kondisi 2		Kondisi 3	
	θ	μ	θ	μ	θ	μ
Balok beton bertulang dan slab	0.2°	-	2.1°	-	8°	-
Rangka struktur baja dan pelat	0.3°	1.4	2.7°	4.9	17°	11.5

Deformasi pada elemen beton bertulang ditentukan dari rotasi perletakan atau pengekang sedangkan nilai daktilitas diambil dari nilai kapasitas rangka struktur baja. Sesuai dengan Tabel 3, kondisi 1 dan kondisi memenuhi parameter dan Batasan perilaku sesuai rujukan, yang mana rotasi dibawah 5° dan nilai daktilitas dibawah 10%. Kedua beban tersebut secara berurutan adalah 10 dan 100 kg TNT. Akan tetapi, ketika beban pada kondisi 3 ditingkatkan, dengan parameter jarak yang sama, yaitu 1000 kg TNT, perilaku struktur melebihi batas limit, dengan nilai rotasi 17° dan daktilitas 11.5. Hal ini membuat kasus pada kondisi 3 direkomendasikan untuk meninjau kembali elemen struktur, baik dilakukan pembesaran dimensi, pergantian properti penampang atau perencanaan perbaikan kembali.

Sebagai hasil, indikasi dari permodelan numerik menggunakan SAP2000 yang disesuaikan dengan perhitungan empiris, maka walaupun beban ledakan tersebut cukup dekat dengan bangunan eksisting, struktur tidak akan runtuh, hanya beberapa penampang kolom dan balok mengalami kegagalan. Analisa yang dilakukan tidak melakukan peninjauan lebih jauh terhadap kegagalan yang terjadi akibat ketidakstabilan kondisi tanah serta akibat ketidakkakuan struktur yang dikarenakan ketidaksegaraman parameter tanah.

4. Kesimpulan

Ledakan didalam atau didekat struktur eksisting dapat menyebabkan kerusakan secara tiba – tiba pada struktur yang meliputi banyak hal, baik kerusakan secara minor (terjadi pada elemen non structural) atau kerusakan mayor (terjadi pada elemen structural). Lainnya dapat mengakibatkan kerusakan hingga korban jiwa. *Technical assessment* yang dilakukan mengkaji beberapa kondisi beban ledakan yang dapat dipertimbangkan, khususnya pada struktur atas eksisting. Evaluasi ini dapat dijadikan rujukan teknis dalam pengelolaan dampak serta evaluasi struktur eksisting yang terkena dampak beban ledakan. Secara garis beban analisa numerik struktur eksisting dilakukan menggunakan metode empiris berdasarkan informasi beban ledakan disertai dengan penentuan jarak capai muatan terhadap struktur eksisting. Dari simulasi dan pendekatan model dengan 3 kondisi, diketahui bahwa struktur eksisting tidak terkena pengaruh signifikan apabila beban ledakan yang diberikan berada di nilai 10 – 100 kg TNT dengan nilai rotasi dibawah 5° dan nilai daktilitas dibawah 5. Namun ketika beban ledakan ditingkatkan hingga 1000 kg TNT, kegagalan beberapa elemen struktur, seperti kolom dan balok terjadi. Yang mana harus dilakukan perbaikan struktur berupa pergantian atau perbesaran dimensi. Selebihnya, pendekatan model dapat dipakai sebagai pertimbangan dalam penentuan analisa lanjutan yang secara pendekatan harus diinvestigasi phenomena lebih detail termasuk kemungkinan terdapatnya *flying rocks* dan parameter lainnya.

Referensi

[1] Indonesia Kementrian pekerjaan umum dan perumahan raykat Republik, ‘Improvement of Solid Waste Management to Support Regional and Metropolitan Cities’, no. April, 2019, p. 131.
[2] M. M. M. Teo and M. Loosemore, ‘A theory of waste behaviour in the construction industry A theory of waste behaviour in the construction industry’, no. September 2013, pp. 37–41, 2010, doi: 10.1080/01446190110067037.
[3] I. P. A. Sanjaya, ‘Perkembangan Infrastruktur di Indonesia’, in *17 Oktober 2018*, 2018, pp. 1–19.
[4] Standar Nasional Indonesia, ‘Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan’, in *Standar Nasional Indonesia*, 2010, p. 25.
[5] European standard, ‘Actions on Structures Part 1 - 7 General Actions - Accidental Actions’, in *EN 1991 - 1 - 1 -1*, vol. 7, no. 2006, 2011, p. 69.
[6] Badan Standardisasi Indonesia, ‘Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung SNI 1726:2019’, 2019.
[7] A. Arrangement, D. Activity, B. Simulation, and T. Development, *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*. 2013.
[8] B. Jung, J. H. Kim, and J. K. Seo, ‘Investigation of the Structural Strength of Existing Blast Walls in Well-Test Areas on Drillships’, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/jmse8080583.
[9] W. Sun, Y. Jiang, and W. He, ‘An Overview on the Blast Loading and Blast Effects on the RC Structures’, vol. i, pp. 77–80, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.94-96.77.
[10] D. Lange, ‘A review of blast loading and explosions in the context of multifunctional buildings’, 2013.
[11] B. Erkmen, ‘Comparison of blast analysis methods for modular steel structures’, *Tek. Dergi/Technical J. Turkish Chamb. Civ. Eng.*, vol. 29, no. 2, pp. 8253–8277, 2018, doi: 10.18400/tekderg.389954.
[12] D. Makovička, ‘Blast Load of Building Structure’, *Eng. Mech.*, vol. 21, no. 1, pp. 11–18, 2014.
[13] Y. Chen, P. Wang, J. Chen, M. Zhou, H. Yang, and J. Li, ‘Calculation of blast hole charge amount based on three - dimensional solid model of blasting rock mass’, *Sci. Rep.*, pp. 1–13,

2022, doi: 10.1038/s41598-021-04615-8.
[14] S. K. Choi, R. A. Canfield, and R. V. Grandhi, *Reliability-based structural design*. 2007.
[15] I. Y. Basuki and I. Komara, 'Evaluasi Kapasitas Struktur: Sistem Struktur Pelat dengan balok dan alternative struktur Flat Slab dengan Drop Panel', *J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 59–68, 2020, doi: 10.31284/j.jts.2020.v1i1.936.
[16] I. Komara, E. Wahyuni, and P. Suprobo, 'Studi Numerik Perilaku Sambungan Baut dan Adhesive Pada Struktur Rangka Atap Baja Ringan', in *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS)*, 2016, pp. 1–9.
[17] A. S. Kartiko, I. Komara, Y. Septiarsilia, D. K. Fitria, H. Istiono, and D. Pertiwi, 'Analisis Geometri Bangunan Terhadap Kinerja Seismik Menggunakan Direct Displacement Based Design Method', vol. 04, no. September, 2021.
[18] Y. Andriyani *et al.*, 'Analisa sistem rangka pemikul momen menengah terhadap karakterisasi kelas situs batuan keras (SA), batuan (SB) dan Batuan Lunak (SC) berbasis respon spectrum', 2017, pp. 188–198.
[19] M. R. Arista, I. Komara, J. Propika, E. Susanti, and J. T. Sipil, 'Analisa empiris distribusi korosi tulangan balok beton bertulang berdasarkan kuat tekan dan selimut beton', pp. 177–187, 2003.

How to cite this article:
Komara I, Hardiyanti F, Wahyuni Technical Assessment Dampak Peledakan pada Bangunan Industri (Studi Kasus Dampak Ledakan Jalan Toll Terhadap Struktur Eksisting). Jurnal Teknologi dan Manajemen. 2023 Februari; 4(1):6-12. DOI: 10.31284/j.jtm.2023.v4i1.4155