

ANALISA DRIFT GEDUNG PERKANTORAN JOMBANG TERHADAP BEBAN LEDAKAN 500 KILOGRAM TRINITROTOLUENE PADA VARIASI JARAK

Tember Mujana¹, Bantot Sutriono², dan Retno Trimurtiningrum³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jl. Semolowaru No 45, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya

^{2,3} Jurusan Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jl. Semolowaru No 45, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya

Email: tember.busnes@gmail.com

ABSTRACT

Office buildings are important infrastructure in supporting the development of an area, including skyscrapers in Jombang. The materials used to build this building are $f'c = 25$ MPa, $f'ys = 240$ MPa, and $f_y = 400$ MPa. Besides the structure required to be able to withstand the existing earthquake load, for preventive measures to reduce disaster risk, the building is subjected to a variable analysis with a distance of 10 meters, 25 meters and 35 meters against the explosion load due to Trinitrotoluene with a weight of 500 kg. The analysis was carried out on the structure using the ETABS v18 application which refers to SNI 1726:2019 which regulates earthquake loads, SNI 1727:2020 which regulates live and dead loads, and SNI 2847:2019 which regulates reinforced concrete requirements. Then the explosion load is defined with reference to TM 5 – 1300 – 1990 with the Pythagorean system to find the value of P_{re} used to be the combined load for the extraordinary incident load (A_k). The applied moment resisting system uses a special moment resisting frame system. Drift is an important aspect of the structure because drift indicates a horizontal shift of the structure which affects the integrity of the joints of each element. The performance of the building structure against the blast load indicates that the blast load tested on the structure exceeds the drift limit, so that the integrity of the joints in the structure decreases and makes the structure brittle. This case study also makes efforts to reduce the collapse of structures due to blast loads by utilizing the drift that has been sought in the form of boundary fences.

Keywords: Jombang office building, Define the blast load on the structure, Drift on structures

ABSTRAK

Gedung perkantoran adalah infrastruktur yang penting dalam menunjang perkembangan dari sebuah daerah, termasuk gedung pencakar langit yang ada di Jombang. Material yang digunakan untuk membangun gedung ini berupa $f'c = 25$ MPa, $f'ys = 240$ MPa, dan $f_y = 400$ MPa. Disamping struktur disyaratkan mampu untuk menahan beban eksisting gempa, untuk tindakan pencegahan mengurangi risiko bencana, gedung dilakukan analisis bervariasi dengan jarak 10 meter, 25 meter, dan 35 meter terhadap beban ledakan akibat Trinitrotoluene dengan berat 500 kg. Analisis yang dilakukan pada struktur menggunakan aplikasi ETABS v18 yang mengacu pada SNI 1726:2019 yang mengatur tentang beban gempa, SNI 1727:2020 yang mengatur tentang beban hidup dan beban mati, dan SNI 2847:2019 yang mengatur tentang persyaratan beton bertulang. Lalu beban ledakan didefinisikan dengan acuan TM 5 – 1300 – 1990 dengan sistem Pythagoras untuk mencari nilai dari P_{re} yang digunakan menjadi beban terkombinasi pada beban kejadian luar biasa (A_k). Sistem pemikul momen yang diaplikasikan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Drift adalah aspek penting pada struktur karena drift mengindikasikan adanya pergeseran horizontal dari struktur yang mempengaruhi integritas dari sambungan masing-masing elemen. Performa dari struktur gedung ditelaah terhadap beban ledakan yang mengindikasikan bahwa beban ledakan yang diujikan pada struktur melampaui batasan drift, sehingga integritas dari sambungan pada struktur menjadi menurun dan membuat struktur menjadi getas. Studi kasus ini juga melakukan upaya untuk mengurangi keruntuhan struktur akibat beban ledakan dengan memanfaatkan drift yang telah dicari berupa pemberian batas berupa pagar.

Kata kunci: Gedung perkantoran Jombang, Mendefinisikan beban ledakan pada struktur, Drift pada struktur

1. PENDAHULUAN

Jatuhnya bom atom di Hiroshima dan Nagasaki pada tanggal 6 dan 9 Agustus 1945 di Jepang, penggunaan bom atau bahan peledak tidak hanya digunakan untuk kepentingan perang, tetapi digunakan untuk kepentingan pribadi atau kelompok secara sewenang-

wenang. Di era modern ini, penggunaan bom atau misil masih sering digunakan yang menyebabkan kematian warga sipil tak berdosa.

Di Indonesia sering terjadi tindakan egois berupa ledakan atau teror bom yang berakibat fatal bagi berbagai aspek kehidupan, baik itu aspek ekonomi,

kerukunan sosial, bahkan agama. Contoh ledakan gedung karena keegoisan adalah hotel JW Marriot pada tahun 2003 yang mengakibatkan hotel JW Marriott harus melakukan renovasi selama 5 minggu. Selain itu, ada aksi bom yang terjadi di Surabaya dan Sidoarjo pada tahun 2018 yang mengakibatkan 25 orang meninggal dunia, dimana 13 orang di antaranya adalah pelaku bom bunuh diri dan 12 orang lainnya adalah korban masyarakat umum (CNN Indonesia, 2021). Peristiwa pengeboman di Indonesia merupakan keprihatinan nyata bagi masyarakat Indonesia. Dalam peristiwa pengeboman, khususnya pengeboman yang dekat dengan struktur bangunan, runtuhnya struktur merupakan hal yang mempengaruhi jumlah korban yang jatuh. Bom juga sering digunakan pada area penambangan yang masih berpenghuni sehingga berpotensi menimbulkan kerusakan struktur bangunan di area tersebut karena dalam prakteknya, dalam penambangan juga tidak jarang menggunakan bom skala besar untuk menambang lebih dalam atau menghancurkan yang besar. bebatuan. Selain dapat merusak struktur, teknik peledakan di pertambangan juga dapat melukai warga di sekitar pertambangan karena flyrock dapat terlempar akibat ledakan tersebut. 281 kecelakaan terjadi di pertambangan permukaan akibat flyrock serta kurangnya perlindungan di daerah ledakan antara tahun 1978 dan 1998 (Kecojevic & Radomsky, 2005).

Peristiwa pengeboman di Indonesia merupakan keprihatinan nyata bagi masyarakat Indonesia. Dalam peristiwa pengeboman, khususnya pengeboman yang dekat dengan struktur bangunan, runtuhnya struktur merupakan hal yang mempengaruhi jumlah korban yang jatuh.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui simpangan struktural untuk menahan beban ledakan akibat *Trinitrotoluene* (TNT) seberat 500 kg. Variabel peledakan ini adalah jarak horizontal TNT dengan struktur yaitu 10 meter, 25 meter, dan 35 meter. Setelah diketahui nilai drift dari ketiga variabel tersebut, penelitian ini juga akan mencari jarak aman struktur untuk menahan beban ledakan dengan memanfaatkan nilai drift yang telah dicari, sehingga dapat dibuat batas berupa pagar.

2. KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka mencakup teori dari komponen pengujian berupa ledakan permukaan dan *drift*.

Ledakan Permukaan

Sebuah ledakan disebut dengan ledakan permukaan bila pusat ledakannya berada di dekat atau pada permukaan tanah. Gelombang pantul pada ledakan permukaan diakibatkan oleh pantulan awal ledakan dan diperkuat oleh permukaan tanah. Dalam pembentukan gelombang tunggal, gelombang pantul bergabung dengan gelombang insiden pada titik

detonasi yang sama yang bentuk gelombangnya menjadi setengah bola. Gelombang ledakan yang bergerak ke arah struktur diasumsikan berbentuk bidang dengan beban merata. Parameter positif lingkungan ledakan permukaan untuk ledakan TNT setengah bola diberikan pada Gambar 2.5 (TM 5-1300, 1990). Model tekanan ledakan berkorelasi dengan parameter jarak terskala (Z_G) yang dinyatakan oleh TM 5-1300 (1990) dan Nelson et. Al (2004) dalam penelitiannya sebagai:

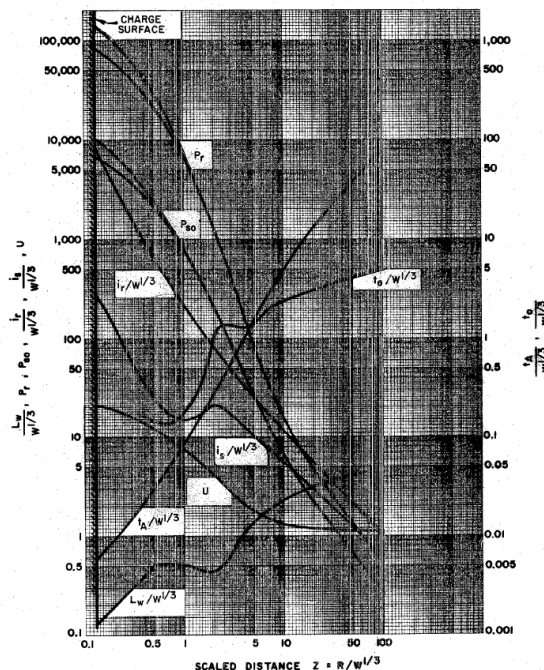
$$Z_G = \frac{R_G}{W^{1/3}}$$

Dimana:

Z_G = Tekanan ledakan dengan parameter jarak (kN/m^2)

R_G = Jarak pusat ledakan terhadap objek (m)

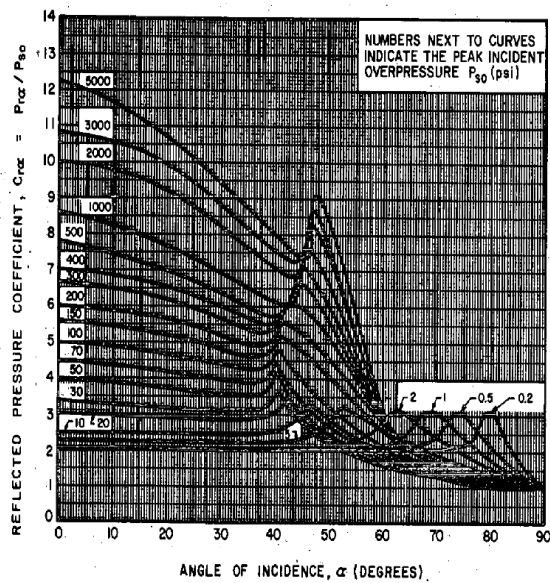
W = Berat bahan peledak (kg)



Gambar 1. Parameter Fase Positif Gelombang Kejut Untuk Sebuah Ledakan TNT Setengah Bola Pada Permukaan Di Atas Ketinggian Permukaan Air Laut

Gelombang ledakan menjadi pengaruh terhadap kerusakan yang terjadi pada bangunan. Struktur parameter gelombang ledakan diawali oleh *ambient pressure*, P_o . Kemudian, kondisi gelombang merambah pada struktur bangunan, hal ini memunculkan gelombang puncak ledakan, P_{s0} . Tekanan akan bertahap turun bersamaan meningkatnya waktu. Pada fase negatif tekanan akan turun melewati batas *ambient pressure*, kemudian tekanan akan kembali pada kondisi P_o . Saat kondisi gelombang ledakan P_{s0} menemukan hambatan tidak sejajar/tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang,

selanjutnya terjadi pantulan terhadap struktur sehingga mengalami peningkatan tekanan, maka gelombang akan menjadi gelombang puncak atau *reflected pressure*, P_r . Parameter yang lainnya akan didapat untuk ledakan setengah bola pada permukaan dengan ketinggian di atas permukaan laut berdasarkan Gambar 1. Salah satu parameter yang dapat ditentukan itu adalah parameter tekanan insiden puncak positif, P_{so} . Jika ledakan menyebabkan sebuah sudut terhadap titik yang dianalisis, maka nilai P_{so} dikalikan dengan koefisien tekanan pantulan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Koefisien Tekanan Pantulan

Drift

Defleksi lateral atau drift struktur beserta deformasi diafragma serta breising system yang disebabkan oleh suatu beban tidak boleh mengurangi kemampuan layan struktur. Drift pada struktur mengindikasikan adanya pergerakan horizontal dari struktur. Pergerakan ini dapat berpengaruh pada integritas dari sambungan masing-masing elemen. Suatu struktur dapat dikatakan daktail jika struktur mampu melendut mengikuti dari beban yang didapatkan. Struktur yang daktail, tidak akan mengalami drift pada strukturnya. Batasan untuk drift (Δ_{drift}) terdapat pada SNI 1727:2020 Pasal CC.2.2 Drift dari dinding dan rangka. Batasan yang terdapat pada SNI 1727:2020 tersebut pada umumnya cukup untuk meminimalkan kerusakan yang terdapat pada dinding dan partisi yang bersifat nonstruktural. Disebutkan bahwa batas untuk drift adalah sebagai berikut:

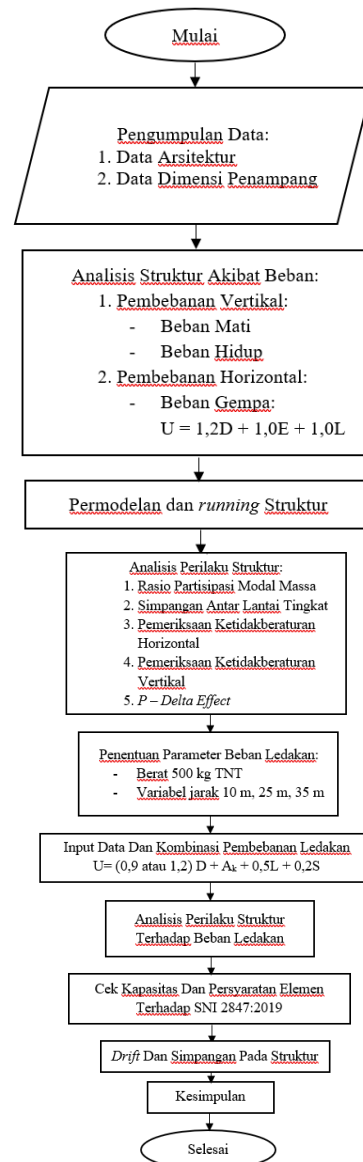
$$\Delta_{drift} = \left(\frac{1}{600} \text{ atau } \frac{1}{400} \right) \times h_{total}$$

Dimana:

h_{total} = Ketinggian gedung dari muka tanah

3. METODE PENELITIAN

Riset analisis kekuatan struktur terhadap beban ledakan 500 kg TNT diujikan pada gedung perkantoran Jombang.



Gambar 3. Diagram Alir

Setelah analisis beban ledakan telah diujikan pada struktur gedung perkantoran Jombang, dari hasil analisis tersebut akan dicari nilai *drift*. *Drift* pada struktur dianalisis sesuai dengan SNI 1727:2020 Pasal CC.2.2 yang mengutamakan batasan dari *drift* yang harus dipenuhi oleh struktur. Dengan diketahuinya nilai drift tersebut, akan dicari jarak aman antara struktur dengan batasan berupa pagar agar struktur mampu untuk menahan beban ledakan 500 kg TNT. Setelah nilai dari *drift* dari masing-masing variabel jarak didapatkan, nilai tersebut akan digunakan untuk mencari jarak aman struktur yang paling optimum dan

kemudian akan dilakukan tindakan pencegahan berupa pembangunan pagar dengan jarak dari pagar tersebut sejauh jarak aman tersebut terhadap struktur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan dengan mengacu pada peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2020 (Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain) dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983. Kombinasi pembebanan yang digunakan pada studi kasus ini adalah sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L

Untuk kombinasi beban ledakan, didapatkan dari SNI 1727:2020 Pasal 2.5.2.1 untuk kejadian luar biasa adalah sebagai berikut:

$$(0,9 \text{ atau } 1,2)D + A_k + 0,5L$$

Dimana:

A_k = beban kejadian luar biasa

Penentuan Parameter Beban Ledakan

Dalam studi kasus ini, bahan yang digunakan sebagai peledak adalah TNT (Trinitrotoluene) dengan massa 500 kg. Adapun variabel yang terdapat pada studi kasus ini berupa jarak horizontal peledakan bom, yaitu pada jarak 10 m, 25 m, 35 m. Ledakan dilakukan pada arah pintu masuk gedung seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Lokasi dan Arah Ledakan Terhadap Struktur

Langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung beban ledakan yang akan diinputkan pada permodelan sesuai dengan TM 5 – 1300 – 1990 adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan nilai jarak ledakan dengan titik pada struktur yang dianalisa, R
- 2) Menentukan tekanan ledakan dengan parameter jarak berskala, Z_G
- 3) Menentukan sudut antara ledakan dengan titik pada struktur yang dianalisa, α
- 4) Menentukan gelombang puncak ledakan, P_{so}
- 5) Menentukan nilai koefisien tekanan pantulan, C_{ra}
- 6) Menentukan tekanan maksimal, P_{ra}
- 7) Menentukan tekanan input, P_{ri}

Tabel 1. Rekapitulasi Gelombang P_{so} dan P_{ri} Tertinjau untuk Jarak Ledakan 10 Meter

Story	Joint	Z_G	P_{so}	C_{ra}	P_{ra}	A	P_{ri}
			kN/m ²		kN/m ²		m ²
1	47	4,1	517,1	4,6	2378,7	8,5	20218,9
	49	3,2	1034,2	5,5	5688,2	17,0	96699,0
	51	4,1	517,1	4,6	2378,7	8,5	20218,9
2	46	4,3	379,2	4,0	1516,8	16,5	25028,0
	48	3,5	689,5	4,6	3171,6	33,0	104662,5
	50	4,3	379,2	4,0	1516,8	16,5	25028,0
3	61	4,8	289,6	2,9	839,8	16,5	13856,4
	62	4,1	344,7	4,0	1379,0	33,0	45505,4
	63	4,8	289,6	2,9	839,8	16,5	13856,4
4	14	5,6	193,1	1,9	366,8	16,5	6052,2
	6	5,0	241,3	2,6	627,4	33,0	20705,0
	13	5,6	193,1	1,9	366,8	16,5	6052,2
5	17	6,6	151,7	1,5	227,5	16,5	3754,2
	24	6,1	227,5	1,6	364,0	33,0	12013,4
	18	6,6	151,7	1,5	227,5	16,5	3754,2
6	74	7,6	124,1	1,3	161,3	16,5	2662,1
	68	7,2	186,2	1,4	260,6	33,0	8600,5
	73	7,6	124,1	1,3	161,3	16,5	2662,1
7	85	8,7	68,9	1,5	103,4	16,5	1706,5
	82	8,3	96,5	1,2	115,8	33,0	3822,5
	86	8,7	68,9	1,5	103,4	16,5	1706,5
atap	396	9,9	41,4	1,6	66,2	3,2	208,5
	397	9,6	48,3	1,6	77,2	3,2	243,2
	399	9,6	48,3	1,6	77,2	3,2	243,2

Tabel 2. Rekapitulasi Gelombang P_{so} dan P_{ri} Tertinjau untuk Jarak Ledakan 25 Meter

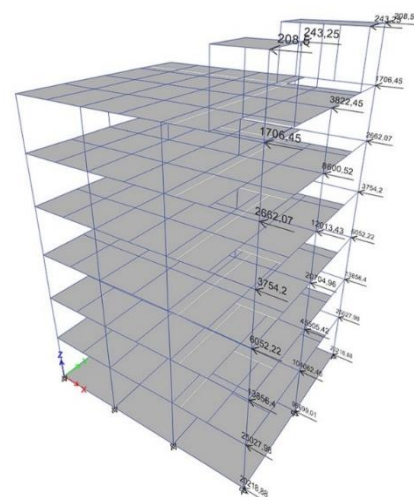
Story	Joint	Z_G	P_{so} kN/m ²	C_{ra}	P_{ra} kN/m ²	A m ²	P_{ri} kN
1	47	8,3	58,6	2,5	146,5	8,5	1245,4
	49	7,9	103,4	3,0	310,3	17,0	5274,5
	51	8,3	58,6	2,5	146,5	8,5	1245,4
2	46	8,4	57,9	2,5	144,8	16,5	2389,0
	48	8,1	68,9	2,5	172,4	33,0	5688,2
	50	8,4	57,9	2,5	144,8	16,5	2389,0
3	61	8,7	57,2	2,5	143,1	16,5	2360,6
	62	8,4	58,6	2,5	146,5	33,0	4835,0
	63	8,7	57,2	2,5	143,1	16,5	2360,6
4	14	9,2	53,1	2,5	132,7	16,5	2189,9
	6	8,8	56,9	2,5	142,2	33,0	4692,7
	13	9,2	53,1	2,5	132,7	16,5	2189,9
5	17	9,8	49,6	2,5	124,1	16,5	2047,7
	24	9,5	51,7	2,5	129,3	33,0	4266,1
	18	9,8	49,6	2,5	124,1	16,5	2047,7
6	74	10,5	44,8	2,6	116,5	16,5	1922,6
	68	10,2	48,3	2,5	120,7	33,0	3981,7
	73	10,5	44,8	2,6	116,5	16,5	1922,6
7	85	11,4	39,3	2,8	110,0	16,5	1815,7
	82	11,1	41,4	2,7	111,7	33,0	3685,9
	86	11,4	39,3	2,8	110,0	16,5	1815,7
atap	396	12,2	33,1	2,5	82,7	3,2	260,6
atap	397	12,1	34,5	2,4	82,7	3,2	260,6
atap	399	12,1	34,5	2,4	82,7	3,2	260,6

Tabel 3. Rekapitulasi Gelombang P_{so} dan P_{ri} Tertinjau untuk Jarak Ledakan 35 meter (Lanjutan)

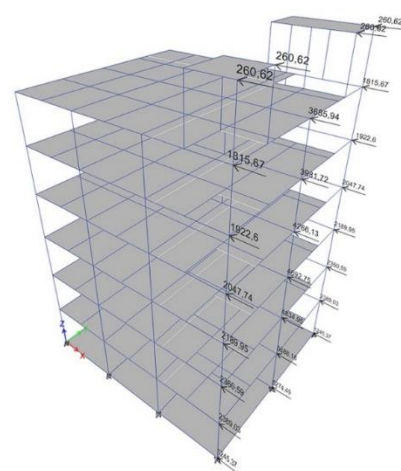
5	17	12,5	33,8	2,3	77,7	16,5	1282,1
	24	12,3	34,5	2,5	86,2	33,0	2844,1
	18	12,5	33,8	2,3	77,7	16,5	1282,1
6	74	13,1	32,4	2,3	74,5	16,5	1229,8
	68	12,8	33,1	2,3	76,1	33,0	2511,9
	73	13,1	32,4	2,3	74,5	16,5	1229,8
7	85	13,8	29,6	2,3	68,2	16,5	1125,1
	82	13,5	31,0	2,3	71,4	33,0	2354,9
	86	13,8	29,6	2,3	68,2	16,5	1125,1
atap	396	14,5	27,6	2,3	63,4	3,2	199,8
	397	14,4	28,3	2,3	65,0	3,2	204,8
	399	14,4	28,3	2,3	65,0	3,2	204,8

Tabel 3. Rekapitulasi Gelombang P_{so} dan P_{ri} Tertinjau untuk Jarak Ledakan 35 Meter

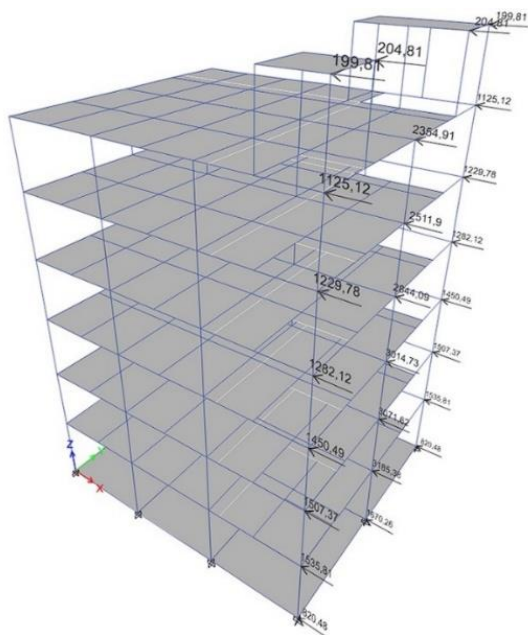
Story	Joint	Z_G	P_{so} kN/m ²	C_{ra}	P_{ra} kN/m ²	A m ²	P_{ri} kN
1	47	11,4	38,6	2,5	96,5	8,5	820,5
	49	11,1	39,3	2,5	98,3	17,0	1670,3
	51	11,4	38,6	2,5	96,5	8,5	820,5
2	46	11,5	37,2	2,5	93,1	16,5	1535,8
	48	11,2	38,6	2,5	96,5	33,0	3185,4
	50	11,5	37,2	2,5	93,1	16,5	1535,8
3	61	11,7	36,5	2,5	91,4	16,5	1507,4
	62	11,4	37,2	2,5	93,1	33,0	3071,6
	63	11,7	36,5	2,5	91,4	16,5	1507,4
4	14	12,0	35,2	2,5	87,9	16,5	1450,5
	6	11,8	36,5	2,5	91,4	33,0	3014,7
	13	12,0	35,2	2,5	87,9	16,5	1450,5



Gambar 5. Ilustari Input Beban Ledakan pada Model Jarak Ledakan 10 Meter



Gambar 6. Ilustari Input Beban Ledakan pada Model Jarak Ledakan 25 Meter



Gambar 7. Ilustari Input Beban Ledakan pada Model Jarak Ledakan 35 Meter

Drift Pada Struktur

Dalam studi kasus ini akan digunakan batas *drift* yaitu:

$$\Delta_{drift} = \frac{1}{600} \times h_{total}$$

$$\Delta_{drift} = \frac{1}{600} \times 28,25$$

$$\Delta_{drift} = 0,047$$

Tabel 4. Syarat *Drift* untuk Beban Ledakan Jarak 10 Meter

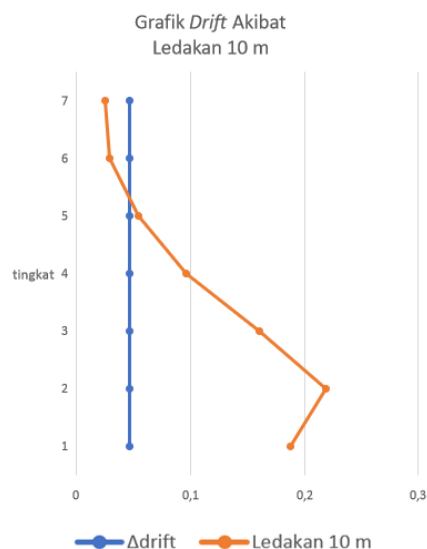
Story	Elevation m	X-Dir	Δ_{drift}	Description
7	28,25	0,025289	0,047	OK
6	24,25	0,029446	0,047	OK
5	20,25	0,054703	0,047	TIDAK OK
4	16,25	0,096051	0,047	TIDAK OK
3	12,25	0,160115	0,047	TIDAK OK
2	8,25	0,218617	0,047	TIDAK OK
1	4,25	0,188045	0,047	TIDAK OK

Tabel 5. Syarat *Drift* untuk Beban Ledakan Jarak 25 Meter

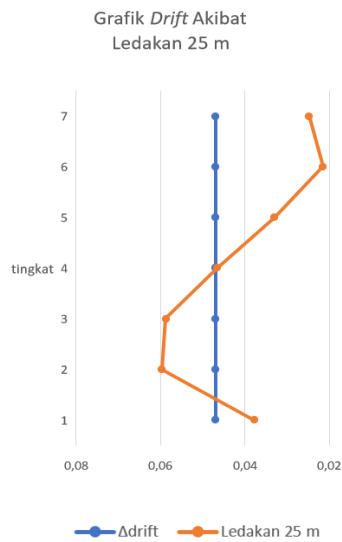
Story	Elevation m	X-Dir	Δ_{drift}	Description
7	28,25	0,024786	0,047	OK
6	24,25	0,021566	0,047	OK
5	20,25	0,033009	0,047	OK
4	16,25	0,046553	0,047	OK
3	12,25	0,058724	0,047	NOT OK
2	8,25	0,059673	0,047	NOT OK
1	4,25	0,037812	0,047	OK

Tabel 6. Syarat *Drift* untuk Beban Ledakan Jarak 35 Meter

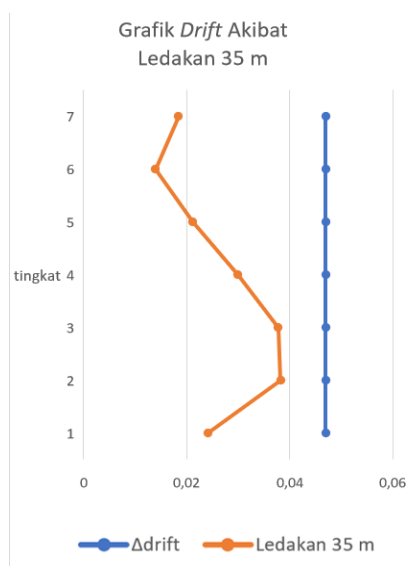
Story	Elevation m	X-Dir	Δ_{drift}	Description
7	28,25	0,018446	0,047	OK
6	24,25	0,013967	0,047	OK
5	20,25	0,021247	0,047	OK
4	16,25	0,029968	0,047	OK
3	12,25	0,037813	0,047	OK
2	8,25	0,038291	0,047	OK
1	4,25	0,024062	0,047	OK



Gambar 8. Grafik *Drift* Akibat Beban Ledakan pada Jarak 10 Meter



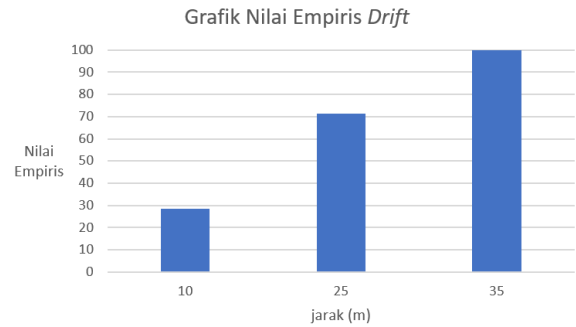
Gambar 9. Grafik *Drift* Akibat Beban Ledakan pada Jarak 25 Meter



Gambar 10. Grafik *Drift* Akibat Beban Ledakan pada Jarak 35 Meter

Pada Gambar 8 ditemukan nilai drift akibat ledakan dengan jarak 10 meter tidak memenuhi syarat dari batasan drift yang telah ditentukan. Nilai drift terbesar dari ledakan dengan jarak 10 meter adalah 0,218617 terdapat pada lantai 2 yang nilainya lebih besar dari Δ drift yaitu 0,047. Sedangkan untuk nilai drift akibat ledakan dengan jarak 25 meter, pada Gambar 9 ditemukan nilai drift terbesar adalah 0,059673 terdapat pada lantai 6 yang nilainya lebih besar dari Δ drift yaitu 0,047. Untuk Gambar 10 yang menampilkan grafik drift akibat ledakan dengan jarak 35 meter, nilai drift terbesar adalah 0,038291 terdapat pada lantai 2 yang nilainya lebih kecil dari Δ drift yaitu 0,047.

Menentukan Jarak Optimal



Gambar 11. Grafik Nilai Empiris *Drift*

Dari grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai drift untuk jarak struktur terhadap ledakan yang sempurna adalah pada jarak 35 meter, karena pada ledakan jarak 35 meter, untuk drift seluruh lantai dinyatakan aman. Untuk selanjutnya dicari nilai 100 pertama untuk nilai empiris dengan cara *trial and error*, sehingga didapat jarak aman yang optimal. Hal ini dilakukan guna menjadi tindakan pencegahan agar berkurangnya risiko keruntuhan akibat ledakan dimasa mendatang. *Trial and error* dilakukan 1/3 dari jarak antara jarak ledakan 35 meter dan 25 meter. Sehingga *trial and error* pertama dilakukan dengan $d = 35 - (1/3 \times 10) = 31,67$ meter.

Proses yang dilakukan adalah sama dengan yang terjadi pada bab penentuan parameter beban ledakan sebelumnya. Dicari nilai Z_G terlebih dahulu agar mendapatkan nilai P_{so} . Kemudian dicari nilai C_{ra} yang merupakan pengali yang diakibatkan oleh sudut yang terbentuk antara titik struktur yang ditinjau dengan ledakan. Kemudian nilai tersebut dikalikan dengan luas penampang sehingga menjadi nilai P_{ri} yang akan diinputkan ke permodelan yang telah dibuat.

Tabel 7. Rekapitulasi Gelombang P_{so} dan P_{ri} Tertinjau untuk Jarak Ledakan 31,67 Meter

Story	Joint	Z_G	$\frac{P_{so}}{\text{kN/m}^2}$	C_{ra}	$\frac{P_{ra}}{\text{kN/m}^2}$	A	$\frac{P_{ri}}{\text{kN}}$
1	47	10,4	46,9	2,5	117,2	8,5	996,3
	49	10,1	48,3	2,5	120,7	17,0	2051,2
	51	10,4	46,9	2,5	117,2	8,5	996,3
2	46	10,5	42,7	2,5	106,9	16,5	1763,3
	48	10,1	44,1	2,5	110,3	33,0	3640,4
	50	10,5	42,7	2,5	106,9	16,5	1763,3
3	61	10,7	40,0	2,5	100,0	16,5	1649,6
	62	10,4	41,4	2,5	103,4	33,0	3412,9
	63	10,7	40,0	2,5	100,0	16,5	1649,6
4	14	11,1	37,2	2,5	93,1	16,5	1535,8
	6	10,8	38,6	2,5	96,5	33,0	3185,4
	13	11,1	37,2	2,5	93,1	16,5	1535,8

Tabel 7. Rekapitulasi Gelombang P_{so} dan P_{ri} Tertinjau untuk Jarak Ledakan 31,67 Meter (Lanjutan)

	17	11,6	35,2	2,3	80,9	16,5	1334,4
5	24	11,3	36,5	2,5	91,4	33,0	3014,7
	18	11,6	35,2	2,3	80,9	16,5	1334,4
	74	12,2	33,1	2,3	76,1	16,5	1255,9
6	68	11,9	34,5	2,3	79,3	33,0	2616,6
	73	12,2	33,1	2,3	76,1	16,5	1255,9
	85	12,9	30,3	2,3	69,8	16,5	1151,3
7	82	12,7	31,7	2,3	72,9	33,0	2407,2
	86	12,9	30,3	2,3	69,8	16,5	1151,3
	396	13,7	29,6	2,3	68,2	3,2	214,8
atap	397	13,6	29,0	2,3	66,6	3,2	209,8
	399	13,6	29,0	2,3	66,6	3,2	209,8

Tabel 8. Syarat *Drift* untuk Beban Ledakan Jarak 31,67 Meter

Story	Elevation	X-Dir	Δ_{drift}	Description
	m			
7	28,25	0,019426	0,047	OK
6	24,25	0,014381	0,047	OK
5	20,25	0,022005	0,047	OK
4	16,25	0,031204	0,047	OK
3	12,25	0,039607	0,047	OK
2	8,25	0,040493	0,047	OK
1	4,25	0,025627	0,047	OK

Pada Tabel 8 terlihat bahwa nilai *drift* struktur akibat beban ledakan pada jarak 31,67 meter dianggap aman. Proses *trial and error* tidak perlu dilanjutkan menuju $d = 35 - (2/3 \times 10) = 28,33$ meter, karena pada Story 2 nilai $X - dir$ mendekati angka $\Delta_{drift} = 0,047$. Dengan demikian, jarak optimum untuk memberikan batas berupa pagar yang mampu menahan beban ledak 500 kg TNT pada studi kasus ini adalah 31,67 meter.



5. KESIMPULAN

Drift pada struktur gedung perkantoran Jombang menyatakan bahwa beban ledakan pada jarak 10 m dan 25 m menyebabkan struktur melebihi batas *drift* yang ditentukan dalam SNI 1727:2020 Pasal CC.2.2. Pada Gambar 10 terlihat bahwa nilai *drift* terbesar adalah 0.038291 dan nilai ini dibawah Δ_{drift} yaitu 0.047,

sehingga jarak 35 meter memenuhi syarat *drift* akibat beban ledakan Trinitrotoluene 500 kg. Untuk proses pencegahan, dicari jarak aman yang optimal, sehingga bisa dibuatkan pembatas berupa pagar. Metode *trial and error* digunakan dalam mencari jarak aman, dan diperoleh jarak aman optimum yaitu 31,67 meter dengan nilai $X - dir$ terbesar 0,040493.

DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

- (BSN), B. S. N. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). Standar Nasional Indonesia (SNI), 8, 653–659.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Sni 1726:2019, 8, 254.
- Lestari, R. A., & Oginawati, K. (2016). Analisis Potensi Ledakan dan Kebakaran Primary Reformer sebagai Unit Proses Produksi Amonia di PT. X. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(2), 72. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5049>
- Marpahiko, G., & Sutandar, E. (2020). Kalkulasi Analisis Struktur Desain Beban Gempa Dan Performanya Terhadap Beban Ledakan Pada Gedung Bri Cabang Pontianak. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/49058%0A>
- Mukhlis, A., Afifuddin, M., Studi, P., Teknik, M., Kuala, U. S., Unsyiah, F. T., Sipil, J. T., Kuala, U. S., Sipil, J. T., Kuala, U. S., Indonesia, D., & Bali, B. (2010). Simulasi analitis pengaruh beban ledakan terhadap struktur gedung. 4(4), 2–3.
- Ramadhan, G., Sasmita, A., & Andrio, D. (2016). Analisis Beban Ledakan Dan Pengaruhnya Terhadap Struktur Portal Baja. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3(2), 1–7.
- Simbolon, A. A. M., Irzaman, & Yani, M. (2015). Dampak Kegiatan Peledakan Pertambangan Andesit Terhadap Lingkungan Pemukiman Di Gunung Sudamanik Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan (Journal of People and Environment)*, 22(Vol 22, No 2 (2015)), 135–141. <http://jpeces.ugm.ac.id/ojs/index.php/JML/article/view/487>

-
- Sipil, R., Susanto, E., Alisjahbana, S. W., Teknik, M., Universitas, S., & Bakrie, U. (2020). Terhadap Pelat Lantai Atap Bangunan Tinggi. 9(2), 33–42.
- SNI 1727, 2020. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain 1727:2020. Badan Standarisasi Nasional 1727:2020, 8, 1–336.
- To, T. S., Of, F., & Environment, B. (2010). Vulnerability and Damage Analysis of Reinforced Concrete Framed Buildings Subjected To Near Field Blast Events. November.
- Windah, R. S. (2011). Penggunaan Dinding Geser Sebagai Elemen Penahan Gempa Pada Bangunan Bertingkat 10 Lantai. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1(2), 151–155.