

# PEMODELAN RETAKAN TIGA DIMENSI AKIBAT LEDAKAN UNTUK *SERIOUS GAMES*

Anton Siswo R.A.<sup>1)</sup>, M. Hariadi<sup>2)</sup>, Endah W.<sup>n)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Teknik Elektro ITS Surabaya

Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur

<sup>2)</sup> Teknik Sipil ITS Surabaya

Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur

email : [masgandhul@gmail.com](mailto:masgandhul@gmail.com)<sup>1)</sup>, [mochar@ee.its.ac.id](mailto:mochar@ee.its.ac.id)<sup>2)</sup>, [endah@ce.its.ac.id](mailto:endah@ce.its.ac.id)<sup>3)</sup>

## Abstrak

Pada penelitian ini, peneliti melakukan pemodelan retakan akibat ledakan dengan menggunakan validasi data dari lintas bidang keilmuan untuk dimanfaatkan tidak hanya pada pada *Serious game* yang kami kerjakan, tetapi dapat digunakan juga ada bidang lain. Selama ini, banyak penelitian tentang retakan yang menggunakan data fraktal atau retakan yang digenerate berdasarkan arah dan pola tertentu secara grafis dan atau berdasarkan visualisasi kasat mata.

Dari hasil penelitian, didapatkan panjang, lebar dan arah retakan, apabila dilakukan rekonstruksi dari data tersebut, menghasilkan visualisasi secara tiga dimensi.

## Kata kunci :

Pemodelan, retakan, ledakan, *serious games*, visualisasi.

## 1. Pendahuluan

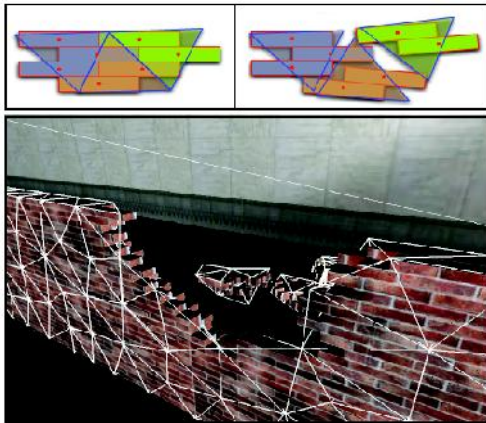
Kunci dalam teknologi permainan [7] adalah *3D Engine*, *Accessible Graphical User Interfaces (GUI)*, *Artificial Intelligence (AI)*, *Persistence*, *Network* dan *Physical Models*. Penelitian ini difokuskan pada *Physical model*. *Physical models* yang diteliti yaitu *collision* [9] akibat ledakan yang menghasilkan retakan. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan model retakan secara tiga dimensi. Pemodelan retakan difokuskan pada struktur dinding bangunan rumah pada saat perang 10 November 1945, dengan acuan kekuatan struktur berdasarkan kekuatan dinding pada zaman Belanda. Parker (2009: 1) [6] melakukan penelitian tentang *Realtime Deformation and Fracture in a Game Environment* menggunakan metode *corotational tetrahedral finite element method*. Penelitian yang dilakukan oleh Parker (2009) untuk melihat proses interaksi antar *mesh* dari *corotational tetrahedral*. Pada penelitian ini, peneliti melakukan pemodelan tiga dimensi dengan memanfaatkan hasil deformasi dan sudut yang terbentuk dari tiap *joint*.

## 2. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang *serious game* masih sangat sedikit. Penelitian yang memiliki kesamaan karakteristik dengan penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Cheng (2010) [1]. Penelitian tersebut menempatkan prinsip desain permainan dengan melakukan integrasi GIS engine dengan game engine dan perpaduan dari *serious game*, memiliki kemampuan untuk query informasi spasial berdasarkan fungsi GIS. Pada penelitian tersebut juga dibahas cara untuk menerapkan data GIS yang sudah ada kedalam *serious game* untuk membuat environment game lebih realistis.

Penelitian sebelumnya tentang *fracture* dilakukan oleh Parker (2009) tentang *Realtime Deformation and Fracture in a Game Environment*. Algoritma yang digunakan adalah *corotational tetrahedral finite element method*. Agar diperoleh tampilan permukaan, dilakukan pembagian pada *embedded geometry* pada banyak potongan yang berukuran lebih kecil daripada elemen tetrahedral yang disebut sebagai *splinters*. *Splinter* dirender sebagai *embedded surfaces* dan dihubungkan antara tiap *splinter* dan *single tetrahedron* yang memiliki *splinter's centroid*. Pada saat terjadi *fracture*, dibuatkan *boundary faces* baru pada mesh dari *fracture surfaces* dan dilakukan pengujian untuk melihat adakah bagian dari *splinter vertices* di bagian tetrahedron yang tidak terhubung dengan tetrahedron tetapi memiliki *splinter's centroid*. Jika kondisi ini terjadi, peneliti menghilangkan hubungan verteks dari tetrahedron yang tidak terkoneksi dan menghubungkan verteks tersebut dengan tetrahedron yang paling dekat ( gambar 1).

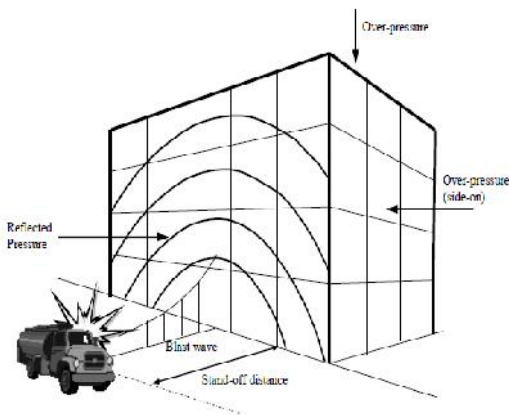
Ngo (2007:1) [5] memberikan ulasan yang lengkap tentang blast loading dan blast effect terhadap struktur secara umum. Pada penelitian tersebut, diberikan sebuah contoh simulasi ledakan kendaraan yang mengenai gedung pada jarak tertentu seperti pada gambar 22. Penelitian ini ditekankan pada simulasi ledakan yang hampir sama, hanya berbeda skala, struktur, dan model ledakan.



Gambar 1. Detail geometri pada coarse tetrahedral finite element (Parker, 2009:161)

Karakteristik dari blast profile secara umum ditunjukkan gambar 3. Pada saat pertama kali mengenai struktur pada waktu  $t_A$ , tekanan pada kondisi tersebut secara mendadak bertambah hingga mencapai titik tertinggi sebesar  $P_{so}$ , melebihi tekanan sekitar,  $P_o$ . Tekanan tersebut kemudian berkurang sampai sama dengan tekanan sekitar saat  $t_d$ , kemudian berkurang kembali sampai dibawah tekanan  $P_{so}$  (menciptakan sebagian area hampa) sebelum kembali seperti kondisi sekitar pada saat  $t_d+t_d^-$ .

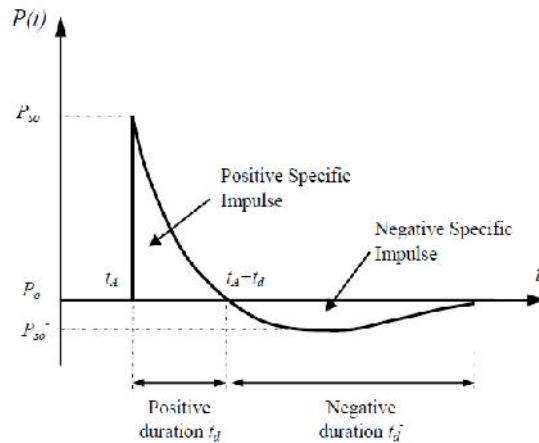
Pada gambar 3, ada dua fase utama yang dapat dilihat, bagian atas dari  $P_o$  disebut dengan fase positif pada durasi waktu  $t_d$ , sedangkan di bawah dari  $P_o$  disebut dengan fase negatif pada durasi waktu  $t_d^-$ . Fase negatif memiliki durasi yang lama dan intensitas lebih rendah daripada durasi positif. Saat jarak antara pusat ledakan dengan struktur semakin dekat, durasi fase positif dari blast wave bertambah, menjadikan amplitudo lebih kecil, durasi gelombang kejut bertambah. Jika sumber ledakan sangat dekat, dapat berakibat terjadinya *highly impulsive, high intensity pressure load* melewati area tertentu dari struktur. Jika sumber ledakan jauh, menghasilkan *lower-intensity, longer-duration uniform pressure distribution* dari keseluruhan struktur.



Gambar 2. Simulasi ledakan kendaraan terhadap gedung (Ngo, 2007:77)

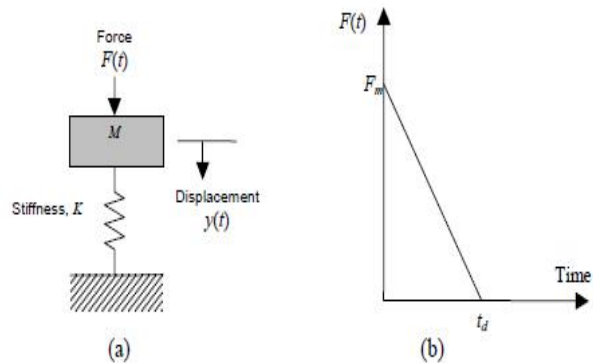
Kompleksitas dalam melakukan analisis respon dinamis dari *blast-loaded structures* mempengaruhi efek *high*

*strain rates, non-linear inelastic material behaviour, ketidakpastian perhitungan beban ledakan dan time-dependent deformation.* Untuk mempermudah analisis, sejumlah asumsi yang berhubungan dengan respon struktur dan beban telah ada dan diterima oleh berbagai pihak. Untuk melakukan prinsip dengan analisis ini, struktur disamakan sebagai sistem *single degree of freedom (SDOF)* dan terdapat hubungan antara durasi positif beban ledakan dan periode alami getaran dari struktur.



Gambar 3. Blast wave propagation (Ngo, 2007:76)

Struktur yang sebenarnya dapat digantikan oleh sistem setara dengan satu *concentrated mass* dan satu *weightless spring* yang mewakili perlawanan dari struktur terhadap deformasi. Sistem tersebut diilustrasikan dengan gambar 4.



Gambar 4. (a) Sistem SDOF (b) Beban Ledakan (Blast Load) (Ngo,2007:79)

Massa struktur  $M$ , terkena efek gaya dari luar sebesar  $F(t)$  dan ketahanan struktur sebagai  $R$ , diasumsikan sebagai *vertical displacement*,  $y$ , dan konstanta pegas  $K$ . Beban ledakan juga dapat disederhanakan sebagai *pulse segitiga* yang memiliki gaya puncak sebesar  $F_m$  dan durasi fase positif  $t_d$  (lihat gambar 4). Sehingga diperoleh persamaan umum untuk displacement pada persamaan 1.

$$y(t) = \frac{F_m}{K} (1 - \cos \omega t) + \frac{F_m}{K t_d} \left( \frac{\sin \omega t}{\omega} - t \right) \dots\dots(1)$$

Apabila tidak didapatkan sumber data yang valid, maka dikukan asumsi-asumsi terhadap beberapa parameter yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

### 3. Metode Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### 1. Kekuatan ledakan

Berdasarkan dari hasil standardisasi, didapatkan nilai kekuatan ledakan dari sebuah granat adalah 4.148 J/gram, akan tetapi berdasarkan hasil pengukuran akurat dari banyak eksperimen[1], TNT memiliki kekuatan sebesar 4.686 J/gram, dan dari hasil perhitungan teoritis didapatkan nilai sebesar 4.853J/gram. Granat dengan tipe *time-fused* berjenis MK II [3] memiliki berat 595 gram dengan panjang 111mm dan lebar 59mm dan berisikan hulu ledak TNT sebesar dua oz atau sekitar 56.699 gram TNT. dilakukan juga pengujian pada hulu ledak TNT sebesar 2 Ton TNT. Pengujian inihanya menghitung kekuatan ledakan yang murni terjadi dengan mengeliminasi kekuatan lain di luar ledakan.

#### 2. Waktu terjadi ledakan

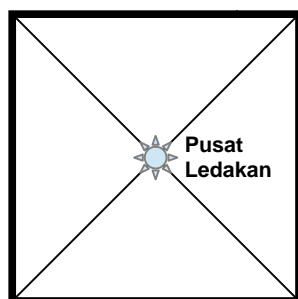
Pada penelitian ini, lama waktu terjadi ledakan dan proses terjadinya resonansi pada dinding akibat ledakan sampai selesai secara keseluruhan dari efek ledakan tersebut diasumsikan dengan menggunakan acuan waktu tertentu ( $t_d$ ), misalkan antara 1–3 detik.

#### 3. Batas lendutan maksimum sebelum terjadi retakan

Dokumen SNI 03 – 2847 – 2002 (2002: 159) [8] tentang “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)” menyatakan bahwa lendutan maksimum s akibat beban layan, termasuk pengaruh P , tidak melebihi  $l_c/150$ , dengan  $l_c$  adalah jarak vertikal antara dua tumpuan dalam satuan milimeter. Pada struktur ini, batas lendutan maksimum adalah 3000/150 atau 20 mm.

#### 4. Posisi ledakan pada dinding

Posisi ledakan yang terjadi terhadap struktur dinding adalah posisi ledakan terjadi tepat di bagian tengah dari dinding seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Posisi ledakan pada dinding

#### 5. Menentukan model dinding

Untuk mempermudah proses analisis, peneliti membagi model struktur dinding ke dalam empat buah *mesh*

berukuran 75 cm x 75 cm. Ukuran dinding 3 m x 3 m dengan ketebalan 15 cm. Data lengkap dinding dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Tabel kekuatan beton dan bata

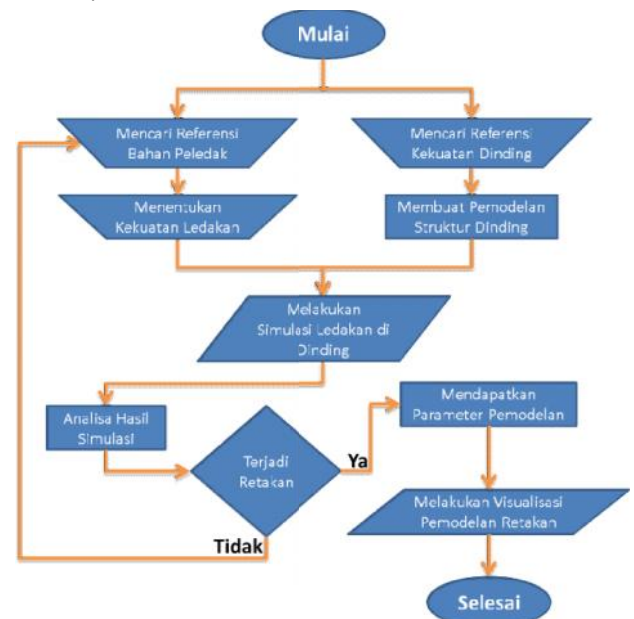
Properties	BETON	BATA
W	2.4 t/m <sup>3</sup>	1.5 t/m <sup>3</sup>
E	814063.9 t/m <sup>2</sup>	220000 t/m <sup>2</sup>
f'c	300 kg/cm <sup>2</sup>	15 N/mm <sup>2</sup>

Tabel .2. Tabel dimensi kolom, balok dan dinding

	Kolom	Balok	Dinding	Balok Bawah
Dimensi (m)	0.5 x 0.5	0.25 x 0.5	0.15 (tebal)	0.15 x 0.3

#### 6. Pergerakan retakan

Area yang mengalami retakan harus diperoleh terlebih dahulu agar dapat diprediksi arah pergerakan retakannya. Area yang mengalami retakan akan diberi perlakuan berupa pemodelan akibat deformasi yang terjadi pada dinding berdasarkan dari letak titik retakan dan arah pergerakan dari *joint* yang mengalami retakan pada sumbu y .



Gambar 6. Diagram alir penelitian

### 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pemodelan ledakan dan dinding yang telah dilakukan menggunakan kekuatan ledakan granat secara teoritis, tidak didapatkan retakan, karena lendutan akibat ledakan granat jauh dari batas maksimum (Tabel 4.1). Hal ini diakibatkan kecilnya daya ledak sebuah granat. Simulasi dilanjutkan dengan peledak sebesar 2 Ton TNT.

Pada saat dilakukan simulasi ledakan dengan menggunakan kekuatan 2 Ton TNT dengan tipe dinding yang sama, didapatkan hasil simulasi retakan pada

struktur dinding (Tabel 3). Data retakan didapatkan dengan membandingkan lendutan yang terjadi pada tiap titik dengan batas maksimum lendutan. Apabila nilai lendutan lebih besar daripada nilai lendutan maksimum, maka akan terjadi retakan sebesar nilai lendutan yang terjadi pada titik tersebut. Dari data tersebut, juga didapatkan besar sudut untuk menentukan lebar retakan yang terjadi.

Tabel 3. Tabel displacement ledakan akibat granat pada dinding

Joint Displacements		
Joint	U2 mm	R3 Derajat
1	0.000	0
2	0.000	0
3	6.288	0.000
4	6.288	0.048
5	0.101	0.012
6	1.513	0.043
7	0.883	0.044
8	3.233	0.052
9	2.520	0.054
10	5.018	0.040
11	4.389	0.052
12	6.820	0.031
13	0.208	0.000
14	1.817	0.000
15	3.661	0.000
16	5.303	0.000
17	7.032	0.000
18	0.101	0.000
19	1.513	0.000
20	3.233	0.000
21	5.018	0.000
22	6.820	0.000
23	0.883	0.000
24	2.520	0.000
25	4.389	0.000

R3 pada tabel 3 menunjukkan terjadinya sudut displacement pada sumbu z dari arah acuan (sumbu y). Dapat diketahui pula bahwa tidak terjadi retakan pada dinding, karena nilai lendutan pada titik yang ada tidak melewati batas maksimum lendutan sebesar 20 mm. Lendutan maksimum yang dialami dinding akibat ledakan granat terjadi pada nomor 17, dengan besar lendutan sebesar 7,302 mm.

Oleh karena itu, dilakukan pengujian kedua dengan kekuatan ledakan sebesar 2 Ton TNT. Tampilan konfigurasi joint dari tiap titik yang ada pada pemodelan struktur dinding, dapat dilihat pada gambar 7.

Tabel 4. Tabel displacement akibat ledakan 2 Ton TNT

TABLE: Joint Displacements			
Joint	U2 (mm)	R1 (Derajat)	R3 (Derajat)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	18.657	0.174	0.027
4	18.657	0.174	0.114
5	0.324	0.092	0.033
6	4.009	0.107	0.100
7	2.502	0.098	0.105
8	8.936	0.145	0.117
9	7.272	0.145	0.129
10	14.342	0.168	0.092
11	12.870	0.167	0.123
12	19.943	0.175	0.074
13	0.579	0.095	0.000
14	4.710	0.112	0.000
15	9.888	0.142	0.000
16	14.998	0.167	0.000
17	20.454	0.175	0.000
18	0.324	0.092	0.015
19	4.009	0.107	0.021
20	8.936	0.145	0.021
21	14.342	0.168	0.019
22	19.943	0.175	0.019
23	2.502	0.098	0.024
24	7.272	0.145	0.029
25	12.870	0.167	0.028

Tabel 5. Tabel persatuan waktu lendutan maksimum penyebab retakan akibat ledakan 2 Ton TNT

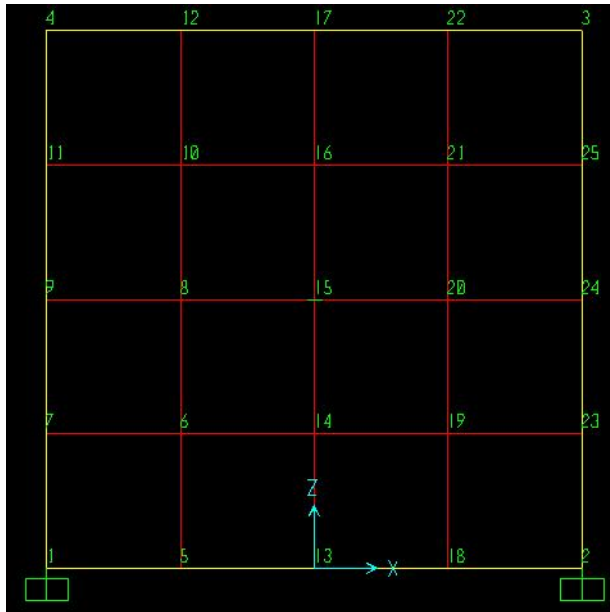
TABLE: Joint Displacements			
Joint	StepType	StepNum (s)	U2 (m)
17	Time	0	0
17	Time	0.05	0.009832
<b>17</b>	<b>Time</b>	<b>0.1</b>	<b>0.020454</b>
17	Time	0.15	0.010431
17	Time	0.2	0.008592

Ketika dilakukan perhitungan fungsi waktu untuk rentang waktu selama 10 detik dengan kenaikan 0,05 detik, proses terjadinya retakan berada pada 0,1 detik setelah ledakan (Tabel 5).

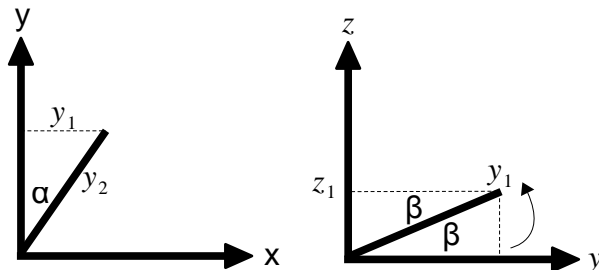
Apabila area retakan dimodelkan ke dalam bentuk tiga dimensi, parameter yang diperlukan adalah panjang displacement saat melebihi batas lendutan maksimum dari titik yang terjadi retakan searah dengan sumbu y dan arah pergerakan retakan dari permukaan yang

mengalami sudut rotasi sebesar R1 searah dengan sumbu x dan R2 searah dengan sumbu z.

Dari tabel 4, pada *joint* nomor 17 diketahui terjadinya lendutan yang melebihi batas lendutan maksimum yaitu sebesar 20,45 mm atau 13,63% dari tebal dinding pada sumbu y positif (U2), sudut sebesar 0,175 derajat pada sumbu x (R1), dan  $2,009 \times 10^{-14}$  derajat pada sumbu z (R3). Dikarenakan nilai sudut yang terbentuk antara sumbu y dengan sumbu z sangat kecil, maka dapat diasumsikan sudut pada sumbu z bernilai 0.



Gambar 7. Konfigurasi *joint* pada pemodelan struktur dinding



Gambar 8. Ilustrasi parameter retakan pada *joint* 17

Perhitungan yang dilakukan pada saat terjadi retakan di *joint* 17, berdasarkan gambar 8, adalah pada persamaan 2 sampai dengan 5.

Sudut  $\alpha$  = R1 atau sudut yang terbentuk akibat rotasi  $y_1$   
 $y_1 = U2$  atau panjang retakan yang terjadi sejajar sumbu y  
 $\sin \alpha = \frac{x_1}{y_1}$  ..... (2)

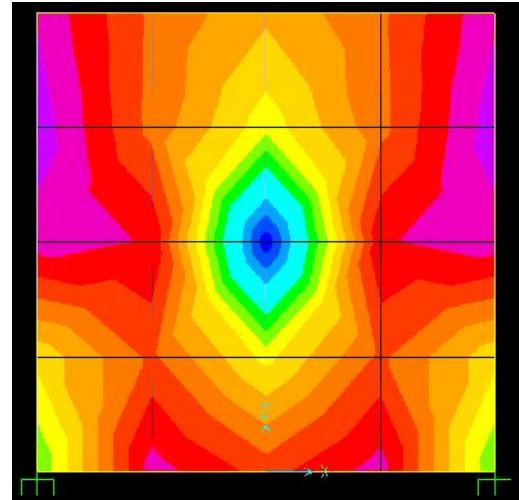
$x_1 = \sin \alpha \cdot y_1$  ..... (3)

Sudut  $\beta$  = R2 atau sudut yang terbentuk akibat rotasi  $y_1$   
 $y_1 = U2$  atau panjang retakan yang terjadi pada sumbu y  
 $\sin \beta = \frac{z_1}{y_1}$  ..... (4)

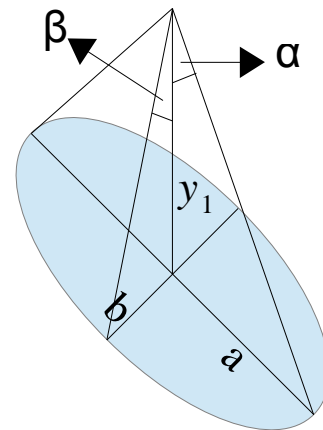
$z_1 = \sin \beta \cdot y_1$  ..... (5)

Terlihat pada gambar 9, bentuk yang terjadi akibat tekanan pada pusat ledakan menyerupai bentuk elips.. Pusat ledakan tersebut akan membentuk pola retakan

yang menyerupai bentuk kerucut dengan alas elips yang ditunjukkan secara tiga dimensi pada gambar 10.



Gambar 9. Bentuk tekanan yang terjadi di pusat ledakan



Gambar 10. Ilustrasi secara tiga dimensi

Pemodelan pada gambar 9, dapat diperjelas sebagai berikut:

a = panjang jari-jari mayor elips.

b = panjang jari-jari minor elips.

Nilai variabel a sama dengan nilai variabel  $x_1$  dan nilai variabel b sama dengan nilai variabel  $z_1$ , sehingga dapat dituliskan persamaan yang ada menjadi seperti persamaan 6 dan 7.

$a = y_1 \cdot \sin \alpha$  ..... (6)

$b = y_1 \cdot \sin \beta$  ..... (7)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa retakan pada *joint* 17 yaitu panjang retakan 20,450095 mm dan lebar retakan 0,06246 mm dengan sudut kemiringan sebesar 0,175 derajat antara sumbu y dengan sumbu x dan  $2,009 \times 10^{-14}$  derajat antara sumbu y dengan sumbu z.

## 5. Kesimpulan dan Saran

Dari simulasi dan pemodelan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kekuatan struktur memengaruhi terjadinya retakan terutama jika menggunakan struktur dengan kualitas terkuat, sebagai contoh bangunan yang menggunakan beton dan bata terbaik menurut data dari laboratorium.
2. Kekuatan ledakan sangat berpengaruh terhadap retakan pada struktur dinding. Semakin kuat suatu struktur dinding, maka semakin kuat daya ledak peledak yang dibutuhkan.
3. Ledakan dengan menggunakan granat menghasilkan lendutan sebesar 7,302 mm atau 36,51% dari lendutan maksimum yang diizinkan.
4. Ledakan sebesar 2 Ton TNT mampu membuat retakan sebesar 20,45 mm atau 13,63% dari tebal dinding pada *joint* nomor 17.
5. Retakan yang terjadi pada *joint* nomor 17 mengalami pergeseran sebesar 0,175 derajat antara sumbu y dengan sumbu x dan  $2,009 \times 10^{-14}$  derajat antara sumbu y dengan sumbu z. Panjang retakan yang terjadi adalah 20,450095 mm dan lebar retakan 0,06246 mm.

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan struktur yang mendekati dengan kondisi *real*, biasanya antara 50%-70% dari nilai perhitungan. Hal ini digunakan sebagai batas aman kekuatan suatu struktur bila dibandingkan dengan umur struktur.
2. Tidak hanya melakukan simulasi dan pemodelan, tetapi juga menggunakan percobaan secara langsung di lapangan, sehingga dapat dilakukan validasi yang lebih akurat.
3. Mengubah konfigurasi *joint* lebih baik lagi, agar dapat terbaca secara berurutan dan lebih mudah dilakukan pengolahan data dari baris per baris, tidak melompat-lompat seperti sekarang penelitian ini.
4. Melakukan proses visualisasi dapat dilakukan lebih baik lagi, sehingga ketika data simulasi didapatkan, secara otomatis, visualisasi terjadi juga secara otomatis dari data simulasi tersebut.
5. Masih memiliki kemungkinan untuk dikembangkan tidak hanya pada dinding, tetapi pada balok, kolom, dan struktur sipil lainnya. Selain itu, hasilnya dapat juga digunakan dalam dunia animasi dan teknologi permainan.

## Daftar Pustaka

- [1] Cheng, Z., & all, e. (2010). research on Design of Serious Game Based on GIS. *IEEE*, 231.
- [2] Cooper, P. (1996). Explosives Engineering. Dalam P. Cooper, *Explosives Engineering* (hal. 406). New York: Wiley-VCH.
- [3] Gervasi, T. (1981). *Arsenal of Democracy II: American Military Power in the 1980s and the Origins of the New Cold War: with a Survey of American Weapons and Arms Exports*. New York: Groove Press.
- [4] Hulusi'c, V., Debattista, K., & Chalmers, V. A. (2010). Exploiting Audio Visual Cross-modal Interaction to Reduce Computational Requirement in Interactive Environment. *Second International Conference on Games and Vertical World for Serious Application* (hal. 126). IEEE.
- [5] Ngo, T., Mendis, P., & Gupta, A. &. (2007). Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview. *EJSE Special Issue: Loading on Structures*, 76-91.
- [6] Parker, E., & O'Brien, J. F. (2009). Realtime-Deformation and Fracture in a Game Environment. *Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*.
- [7] Smith, R. (n.d). *Game Impact Theory: The Five Forces That Are Driving the Adoption of Game Technologies within Multiple Established Industries*. US: n.d.
- [8] SNI. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung.
- [9] (t.thn.). *The Physics of the Game*. Dalam *Teach Yourself Game Programming in 21 Day* (hal. 681-715).

## Biodata Penulis

**Anton Siswo Raharjo Ansori**, memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST), Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya, lulus tahun 2011. Saat ini sebagai mahasiswa Pasca Sarjana di Teknik Elektro ITS di bidang Jaringan Cerdas Multimedia, masuk tahun 2011. Mendalami bidang Teknologi Permainan dan memulai fokus pada *Serious Games*.