Pengujian Ledakan Blast Explosion TNT dengan Pemodelan Menggunakan LS DYNA

Heriana

Bid Matra Udara Puslitbang Alpalhan Balitbang Kemhan Jl. Jati No.1 Pondok Labu Jakarta Selatan Email : hery_kemhan@yahoo.co.id

Abstrak. Meningkatnya ancaman dari blast explosion dari material berdaya ledak tinggi seperti TNT yang dienkapsulasi cangkang baja membuat studi mengenai fenomena blast mendapatkan perhatian lebih. Dalam paper ini, studi mengenai fenomena blast akibat ledakan TNT ditelti. Baik uji eksperimental maupun analisis numerik dilakukan. Material peledak terdiri dari cangkang baja 250 kg. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kecepatan gelombang kejut lebih tinggi daripada kecepatan fragmentasi dan tiap kaliber memiliki distribusi ukuran atau massa fragmen tertentu. Analisis menggunakan LS-DYNA mampu menunjukkan rangkaian ledakan secara rinci dan dapat memprediksi kecepatan fragmen maksimum.

Kata Kunci : Blast Impact, Fragmentation, LS Dyna, Explosion, Shell

1. Pendahuluan

Studi mengenai dampak dari ledakan dan *high energy impact* pada struktur akibat ledakan dari material berdaya ledak tinggi seperti *tri-nitro-toluene* (TNT) semakin mendapat perhatian peneliti di seluruh dunia karena meningkatnya serangan teroris. Ledakan TNT dapat mengakibatkan kerusakan parah pada struktur, kendaraan, kapal laut bahkan pesawat terbang. Ledakan dengan *overpressure* 5 psi menghasilkan kecepatan angin maksimum sebesar 163 mph yang dapat menyebabkan keruntuhan pada sebagian besar bangunan. Sedangkan *overpressure* sebesar 20 psi akan menghasilkan kecepatan angin maksimum sebesar 502 mph dengan korban jiwa hampir 100% [1]. Tingkat *overpressure* pada struktur akibat ledakan merupakan fungsi dari massa TNT dan jarak antara struktur dan pusat ledakan [2]. Misalnya, ledakan 100 kg TNT pada jarak 15 m menghasilkan *overpressure* sebesar 0,27 Mpa (39 psi) yang dapat menyebabkan kerusakan pada perimeter.

Efek beban *blast* dari TNT pada struktur telah menjadi topik utama pada penelitian. Efek dari beban *blast* terhadap bangunan telah diteliti mempresentasikan temuan mereka mengenai dampak ledakan pada bangunan dan metode untuk meningkatkan ketahanan bangunan pada konsep akibat *blast*, sementara Verma [4] menganalisis pengaruh ledakan pada struktur bangunan, seperti batu bata. Mereka menyelidiki ledakan tabung gas LPG sebagai pengganti TNT pada bangunan. Pengembangan teknologi kendaraan modern, baik darat, laut, dan udara memerlukan bahan dan struktur yang ringan, seperti struktur komposit dan *sandwich*. Giversen [5] memelajari efek dari beban *blast* pada struktur komposit kendaraan lapis baja. Mereka menggunakan data eksperimen dan analisis numerik menggunakan LS-DYNA. Mereka melaporkan bahwa model simulasi numerik 19 % lebih rendah daripada hasil eksperimen. Sementara itu, Avachat [6] menyelidiki penggunaan material komposit untuk mitigasi *blast* pada struktur maritim, sementara Abdel Wahab [7] menyelidiki struktur *sandwich* dari pelat baja dengan *aluminium foam* pada kendaraan lapis baja dengan analisis elemen hingga. Analisis dan pemodelan *explosive containment box* pada pesawat udara telah dilakukan oleh Burns [8].

Pekerjaan yang *dilakukan* oleh banyak peneliti dikutip di atas sebagian besar fokus pada efek *blast* itu sendiri, yaitu beban akibat propagasi gelombang kejut. Namun, kebanyakan TNT yang digunakan dienkapsulasi oleh cangkang baja. Selama ledakan, cangkang baja akan hancur menjadi fragmen yang terbang ke segala arah dengan kecepatan tinggi. Fragmen tersebut dapat menyebabkan kerusakan parah pada sekitarnya, bahkan korban jiwa. Oleh kaena itu, studi ledakan TNT yang dienkapsulasi oleh cangkang baja harus mencakup fenomena fragmentasi. Dalam paper ini, studi menyeluruh mengenai ledakan TNT yang dienkapsulasi oleh cangkang baja akan dipresentasikan. Analsis

eksperimental dan numerik akan diteliti, termasuk pembebanan akibat *blast* dan kecepatan fragmen pasca ledakan. Dengan menggunakan beberapa metoda yang digunakan.

a. Spesimen uji

Pada proses eksperimen ledakan pada wadah terkungkung digunakan jenis uji yaitu ledakan *shell* 250 kg.

b. Cangkang (shell) 250 kg

Spesimen terkahr adalah *shell* dengan massa sekitar 250 kg. Berikut ini adalah spesifikasi teknik cangkang (*shell*) 250 kg yang digunakan pada uji eksperimen

Parameter	Value
Calibre, kg	250
Total weight, kg	250-270
Explosive weight, kg	75-80
Type of charge	TNT
Total length, mm	1456
length of body,mm	823
length of tail, mm	633
Fin span, mm	360
Body diameter, mm	325
Body material	FC
Fin material	steel ST37
Suslug material	S45C

Tabel 1. S	pesifikasi	spesimen	shell 250 kg
14001 1.6	pesimusi	spesimen	Shell 200 Kg

c. Jenis Eksperimen

Ada dua jenis eksperimen yang dilaksanakan pada proses studi mengenai ledakan pada wadah terkungkung, yaitu pengujian ledakan pada permukaan tanah dan pengujian ledakan di dalam tanah atau disebut juga uji tanam. Pada tiap jenis pengujian memiliki tujuan masing-masing yang akan dijelaskan tiap poin.

d. Uji Fragmentasi (Pengujian Ledakan dalam Tanah)

Eksperimen peledakan dalam tanah bertujuan untuk mendapatkan parameter uji berupa karakteristik pecahan, efek kawah (*cratering effect*), seismik, dan tingkat ambang suara. Karakteristik pecahan mewakili kualitas fragmentasi, ibaratnya pecahan dari bom tersebut adalah peluru, maka pecahan yang baik adalah pecahan yang tajam dengan berat yang mendekati peluru pada umumnya, artinya pecahan bom tersebut dapat digunakan sebagai bom anti personel. Efek kawah sebagai simulasi untuk sasaran runway (jalan), bunker, dan sasaran bangunan pada permukaan.

Secara garis besar, eksperimen uji tanam memiliki konfigurasi seperti pada gambar 6.



Gambar 1. Set-up uji peledakan dalam tanah

e. Simulasi

Analisis numerik menggunakan LS-DYNA secara ekstensif. *Explosive shell* dimodelkan dalam elemen-elemen tertentu. Model material elemen dari *explosive shell* menggunakan model material Johnson-Cook termodifikasi. Model ini mampu mensimulasikan perilaku *shell* di bawah beban eksplosif dari *blast*. Selain itu, model ini juga mempertimbangkan pengaruh dari *strain hardening, couple strain rate,* dan temperatur pada *stress flow* yang saling bergantung.

Pada material peledak (dalam hal ini TNT) digunakan elemen *Smoothed Particle Hydrodynamics* (*SPH*) dengan model material MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN pada LS-DYNA. SPH adalah metode numerik tanpa *mesh* untuk mensimulasikan masalah deformasi yang ekstrim. Pada kasus ini, elemen SPH dari TNT tanpa *mesh* tertutupi oleh *shell element* dari explosive shell. Gambar x menunjukkan model elemen hingga dari *explosive shell* dan memperlihatkan elemen SPH di dalam *shell element*.



Gambar 3. Model elemen hingga dari explosive shell. Shell element dari casing (kiri) dan elemen SPH dari TNT (kanan)

2. Hasil dan Pembahasan

Ledakan pada *shell* 250 kg dengan Kecepatan *Shockwave* akibat ledakan berdasarkan gambar 4 dibawah ini dapat diketahui bahwa kecepatan dari *shockwave* sebesar 2065 m/s.



Gambar 4. Kecepatan shockwave pada ledakan shell 250 kg.

Karakteristik pecahan adalah parameter pertama yang diamati pada eksperimen *uji* peledakan statis *shell 250* kg. Gambar 5 menunjukkan berbagai macam bentuk pecahan yang ditemukan. Seluruh pecahan yang ditemukan kemudian ditimbang menggunakan neraca dengan ketelitian hingga 1 gram.



Gambar 5. Pecahan shell 250 kg pada peledakan dalam tanah

Pengelompokan pecahan berdasarkan kenaikan setiap 10 gram. Massa diukur dari <10 gram hingga 270 gram, di atas massa tersebut pengelompokan berdasarkan kenaikan 30 gram dan 100 gram *karena* adanya inkonsistensi dari distribusi massa pecahan. Akibatnya dihasilkan 30 kelompok dari hasil penggolongan berdasarkan massa pecahan. Distribusi massa pecahan terhadap berat ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 6. Distribusi pecahan dalam persen pada kelompok berat tertentu

Dari *shell* yang sudah diledakkan, spesimen 250-A(1) berhasil menghancurkan lesan pada jarak 50 m, 75 m, dan 100 m. Besaran hancur akibat efek dari *shockwave* yang dihasilkan *shell* pada *proses* peledakan. Spesimen 250-A(2) menghancurkan lesan pada jarak 50 meter dan mengenai lesan sebanyak 9 dan 8 buah pada jarak 75 m dan 100 m.

Spesimen	Jarak 50 M	Jarak 75 M	Jarak 100 m
250-A(1)	15 Buah	11 Buah	8 Buah
250-A(2)	14 Buah	12 Buah	10 Buah

Tabel 2. Perkenaan target shell spesimen 250-A

Parameter uji daya tembus pada pelat besi dengan tebal 2 mm. Pada jarak 50 meter spesimen 250-A(1) menembus target pada 15 titik, spesimen 250-A(4) menembus 14 titik.



Gambar 7. Efek kawah (cratering effect) akibat ledakan shell spesimen 250-A

Parameter tingkat ambang suara diambil dengan menggunakan *audio phone* pada jarak 500 m dan 900 m dari pusat ledakan. Data-data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai ambang suara pada pusat ledakan.

Cassimon	Amb	ang Suara (dl	B)	Veterongen
Spesimen	Pusat Ledakan	Jarak 500 m	Jarak 900 m	Keterangan
250-A (1)	248,42	124,13	112,37	Dalam tanah
250-A (2)	273,65	149,36	137,6	Dalam tanah

Tabel A Sound level shall spesimen 250-A

250-A (2) 273,65 149,36 137,6 Dalam tanah man gelombang seismik dilakukan pada jarak 500 m dan 1000 m dari pusat ledakan. Dat

Perekaman gelombang seismik dilakukan pada jarak 500 m dan 1000 m dari pusat ledakan. Data hasil rekaman gelombang dianalisa untuk mendapatkan *Magnitude Surface* (MS) dalam skala Ritcher. Selain mendapatkan nilai MS, energi ledakan dan koresponden ledakan terhadap massa TNT juga dapat ditentukan.

Spesimen	Magnitude Surface [Skala Richter]	Energi Seismik [Joule]	Koresponden Energi [kg TNT]	Keterangan
250-A (1)	3,2	3,98 x 10 ⁹	947,87	Dalam tanah
250-A (2)	3,3	5,62 x 10 ⁹	1338,91	Dalam tanah
N /		-,	0.000.000	777774078021483625886

Tabel 5. Data seismik spesimen 250-A

Pada pemodelan simulasi *explosive shell* 250 kg. Gambar 8 menunjukkan hasil analisis elemen hingga berupa urutan waktu ledakan dari detik ke-0 hingga detik ke-0,00008. Hal ini juga menunjukkan bahwa ledakan terjadi dalam waktu yang sangat singkat.



Gambar 8. Urutan waktu (time sequences) ledakan dari shell explosive

Parameter kedua yang dianalisis pada proses simulasi adalah kecepatan dari fragmen. Gambar 8 menunjukkan distribusi kecepatan fragmen setelah terjadi ledakan. Kecepatan maksimum terhitung pada simulasi sebesar 1266 m/s sedangkan pada proses eksperimen dapat mencapai lebih dari 1900 m/s seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Kecepatan fragmen sesaat setelah ledakan

3. Kesimpulan

Studi mengenai fenomena *blast* TNT terkapsulasi oleh cangkang baja dengan kaliber 250 kg telah dilakukan. Menunjukkan bahwa kecepatan gelombang kejut akibat *blast* lebih tinggi dari kecepatan fragmen. Kecepatan rata-rata gelombang kejut sebesar 827 m/s dan kecepatan rata-rata fragmen sebesar 802 m/s. Sedangkan kecepatan gelombang kejut dari kaliber 250 kg didapat sebesar lebih dari 2000 m/s dengan distribusi massa fragmen maksimum berada pada rentang 11-30 gram. Analisis numerik pada kaliber 250 kg berhasil memberikan detail dari waktu peledakan dan menghitung kecepatan fragmen maksimum, yaitu sebesar 1.266 m/s. Perlu dicatat bahwa analisis numerik memberikan kecepatan maksimum pada fragmen sedangkan pada eksperimen adalah kecepatan dari gelombang kejut.

Daftar Pustaka

- [1] S. Glasstone and P.J. Dolan, eds, "*The effect of nuclear weapons*", 3 rd ed. US Department of Defense and the Energy Research and Development Administration (1977).
- [2] T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta and J. Ramsay, "Blast Loading and Blast Effect on Structures An Overview", EJSE Special Issue: Loading on Structures (2007).
- [3] N. Gebbeken and T. Doge, "*Explosion* Protection Architectural Design, Urban Planning and Landscape Planning", *International Journal of Protective Structures*, Vol. 1, No.1 (2010).
- [4] S. Verma, M. Choudhury, P. Saha, "Blast Resistance Design of Structures", IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 4 Special Issue 13, pp 64 – 69 (2015).
- [5] S. Giversen, C. Berggreen, B. Riisgard and B. Hayman, "Blast Testing and Modelling of Composite Structures", DTU Mechanical Engineering (DCAMM Special Reposrt; N.S167), (2014)