



SNTTM XII

seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin

Support by:



Sponsored by:



SPONSOR DAN ORGANISASI PENDUKUNG



PT. SWEET INDOLAMPUNG
PERKERJAAN TEBU DAN FABRIK GULA



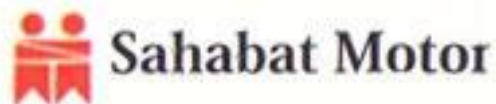
pt. Gula Putih Mataram
PERKERJAAN TEBU DAN FABRIK GULA



PT. INDOLAMPUNG PERKASA
PERKERJAAN TEBU DAN FABRIK GULA



PT. INDOLAMPUNG DISTILLERY
ETHANOL PLANT



KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan doa syukur kepada Allah SWT, telah diterbitkan buku prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII).

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII) menyajikan makalah yang berkualitas yang berasal dari tulisan peneliti dari seluruh Indonesia. Makalah yang dipresentasikan dalam seminar ini meliputi lima konsentrasi teknik mesin yaitu konversi energi 86 makalah, material 54 makalah, kontruksi 50 makalah dan produksi 29 makalah serta pendidikan teknik mesin, 3 makalah.

Pada Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII) terdapat makalah tambahan berbahasa inggris dari sesi internasional sebanyak 32 makalah yang pesertanya adalah peserta nasional dan peserta dari Jepang Society of Mechanical Engineering (JSME). Adanya sesi internasional ini diharapkan sebagai sarana berbagi ilmu dan diskusi antara anggota Badan Kerjasama Teknik Mesin Indonesia (BKSTM) dengan JSME.

Makalah-makalah dalam proceeding ini diharapkan menjadi masukan bagi para peneliti akademisi, industri dan praktisi untuk perkembangan penelitian terkini dalam bidang teknik mesin dan hasilnya dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia. Untuk para penulis agar berkenan untuk terus mempublikasikan hasil penelitian yang berkualitas pada seminar-seminar SNTTM yang akan datang.

REDAKSI

PANITIA PELAKSANA

Penanggung Jawab:

Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, DEA
(*Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung*)

Harmen, S.T., M.T
(*Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung*)

PANITIA KEGIATAN

Pengarah : Sekjen BKSTM
: Prof. Dr-Ing Mulyadi Bur
: Ketua Jurusan/Departemen/Program Studi Teknik Mesin dalam
BKSTM se-Indonesia

Ketua Pelaksana : Dr. Amrizal, S.T., M.T.

Ketua I : Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T
(*Koordinator pelaksana Musyawarah BKSTM*)

Ketua II : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.
(*Koordinator pelaksana SNTTM*)

Ketua III : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
(*Koordinator Pelaksana Lomba Rancang Bangun*)

Bendahara : Novri Tanti, S.T., M.T.

Sekretaris : A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Sc.

Bidang Acara : Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc. (*Koordinator*)
Dr. M. Badaruddin, S.T., M.T.
Rabiah Surrianingsih
Dimas Rizky H
Nur Sai'in
Opi Sumardi
Tri Susanto
Yudi Setiawan
Eko Wahyu
Dedi Triyadi
Masagus Imran
Baron Hariyanto

Dedek Lamputra S

- Pendanaan : Ir. Arinal Hamni, M.T. (*Koordinator*)
Dr. Eng. Suryadiwansa, S.T., M.T.
Ir. Herry Wardono, M.Sc.
Jorfri B. Sinaga, S.T., M.T.
Cecep Tarmansyah
- Publikasi : M. Dyan Susila, S.T., M.Eng (*Koordinator*)
Martinus, S.T., M.Sc.
Rudolf S., S.T., M.T.
Ramli
Liwanson Jaya S
- Sekretariat&Humas : Ahmad Su'udi, S.T., M.T. (*Koordinator*)
Ahmad Yahya, S.T., M.T.
Harnowo, S.T., M.T.
Dwi Novriadi
Prancana M Riyadi
Fariz Basef
Jati Wahyu
Wafda Nadira
Galih Koritawa Purnomo
Yudi Setiawan
Dedi Triyadi
- Akomodasi : Tarkono, S.T., M.T. (*Koordinator*)
Zulhanif, S.T., M.T.
Agus Sugiri, S.T., M.Eng.
Nafrizal, S.T., M.T
Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T
Dwi Andri Wibowo
Tri Susanto
Ramli
Galih Koritawa P
Dedek Lamputra S
Syarief Fathur Rohman
Chikal Noviansyah
Rahmat Dani
M zen Syarif
Dika Akut Y
Andicha Aulia
Dadang Hidayat

Nanang Trimono

Lomba Rancang Bangun: Yayang Rusdiana (koordinator)
Yulian Nugraha
Maulana Efendi
Rizky Dwi Printo
Muhammad Rifai
Yayang Rusdiana
Ali Mustofa
Akomodasi
Panji Mario Leksono
Stefanus D.P
Hotman Hutagalung
Feri Fariza
Ivan Safalas

Musyawaharah Nasional: Rahmat dani (Koordinator)
Dedi Triyadi
Nur'saiin
Opi Sumardi
M Zen Syarif
Liwanson Jaya S
Ali Mustofa

REVIEWERS

1. Prof. Dr. Ing. Harwin Saptohadi (Teknik Mesin UGM)
2. Prof. Dr. Yatna Yuwana Martawirya (Teknik Mesin ITB)
3. Prof. Dr. Jamasri (Teknik Mesin UGM)
4. Prof. Dr. Sulistijono (Teknik Mesin ITS)
5. Prof. Dr. Komang Bagiasna (Teknik Mesin ITB)
6. Prof. Dr. Ing. Mulyadi Bur (Teknik Mesin UNAND)
7. Prof. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng. (Teknik Mesin UI)
8. Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, ST. MT (UNILA)
9. Dr. Eng. Shirley Savetlana, ST. M.Met (UNILA)
10. Dr. Asnawi Lubis (UNILA)
11. Ir. Herry Wardono, M.Sc. (UNILA)

TOPIK SEMINAR NASIONAL

Tema Kegiatan :Peran Riset Teknik Mesin dalam Membangun Daya Saing dan Kemandirian Bangsa. Bidang Teknik Mesin sebagai salah satu pilar pengembangan teknologi terapan, memainkan peran penting dalam pengembangan dan pengelolaan sumber daya alam Indonesia. Untuk itu dituntut peran nyata bidang ini dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berguna bagi masyarakat luas yang terangkum dalam bidang-bidang kajian:

- Konversi Energi
- Manufaktur
- Konstruksi dan Perancangan
- Material
- Pendidikan Teknik Mesin

KEYNOTE SPEAKERS

1. Prof. Hiroomi Homma (Toyohashi University Technology of Japan)
2. Prof. Dr. Erry Yulian T. Andesta, IPM, CEng, (International Islamic University Malaysia).
3. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Prof. Dr. IGN Wiratmaja Puja)

DAY-2: 24 October 2013 ROOM VI

No	WAKTU	PEMAKALAH	JUDUL
1	08:00 - 08:15	Ismoyo Haryanto, Rusnaldy, Prasetiyo Adi Prabowo, Achmad Widodo, dan Toni Prahasto	Simulasi Numerik Perilaku Tumbukan Pelat Baja Terhadap Berbagai Konfigurasi Proyektif
2	08:15 - 08:30	Joko Sarwono Utoyo, Tachli Supriyadi, dan Gatot Eka Pramono	ANALISIS UMUR PAKAI HILECAL GEAR PADA SISTEM SPEEDOMETER KENDARAAN RODA DUA MATERIAL ACETAL RESIN
3	08:30 - 08:45	Joko Sarwono Utoyo, Tachli Supriyadi, dan Gatot Eka Pramono	ANALISIS PENGARUH CACAT PIN HOLE TERHADAP LAJU KOROSI PADA PELAPISAN ELECTRODISPOSITION COATING MATERIAL EZDA 3
4	08:45 - 09:00	Jon Affi, Febriyadi, Dedison Gasni, dan Zulkifli Amin	Penggunaan Gas Argon sebagai Pelindung Proses pada "Free Vacuum Diffusion Bonding". Studi Kasus Sambungan Aluminium Al 5052 dan Tembaga Murni Komersil
5	09:00 - 09:15	Kristomus Boimau, Jamasri, dan Verdy A. Koehuan	Pengaruh Lingkungan Terhadap Sifat Tarik dan Bending Komposit Serat Glass
6	09:15 - 09:30	Kusmono	Penyerapan air dan uji toksisitas komposit Bis-GMA/TEGMA/Clay sebagai material tambal gigi
7	09:30 - 09:45	Mahlina Ekawati	Analisis Kecepatan Propagasi Retak Pipa Distribusi Bahan Bakar Minyak dalam lingkungan Korosif
8	09:45 - 10:00	Muhammad Budi Nur Rahman dan Aris Widyo Nugroho	Pengaruh Tegangan Listrik Pada Proses Pelapisan Chrome Terhadap Ketebalan Lapisan, Kekerasan dan Laju Korosi Baja HQ760 di Lingkungan Air Laut
	10:00 - 10:30	BREAK	
9	10:30 - 10:45	Muhammad Iqbal, Bakri, dan Irfan ³	Analisis Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Proses Pack Carburizing Media Arang Kayu Asam
10	10:45 - 11:00	Onny S Sutresman dan Thomas Tjandinegara	PENERAPAN SIMULASI NUMERIK PENENTUAN DEFLEKSI PADA PROFIL HS- 75
11	11:00 - 11:15	Priyo Tri Iswanto	Pengaruh Implantasi Ion Titanium Nitrida dan Ion Nitrogen Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Material Axial Ball Bearing MRK 51104
12	11:15 - 11:30	Reny Afriany, Kusmono, dan R. Soekrisno	Pengaruh Jenis Larutan, Kuat Arus dan Waktu Pelapisan Nikel pada Aluminium terhadap Kekerasan

13	11:30 - 11:45	Rusnaldy, Ismoyo Haryanto, Binar Ade Nugraha, Ahmad Zaedun, Achmad Widodo, dan Berkah Fajar	Studi Awal Ketahanan Balistik pada Lembaran Baja
14	11:45 - 12:00	S. Fonna, J. Supardi, R. Suvera, S. Huzni, dan M. Ridha	Pengaruh Lokasi Eksposur dari Garis Pantai terhadap Laju Korosi Atmosferik Baja Konstruksi
	12:00 - 13:00	BREAK	
15	13:00 - 13:15	Sahlan	ANALISIS STRIASI DAN CREEP SUDU TURBIN GAS PLTGU MUARA TAWAR UNIT II
16	13:15 - 13:30	Sahlan	ANALISIS ABRASIF TUBE DINDING BOILER PLTU TARAHAN
17	13:30 - 13:45	Sri Candrabakty, Leo Soemardji, Bakri, Anwar Badaruddin, Sadri, dan Zulkifli	Analisis kekuatan tarik dan lentur pada komposit epoxy resin/serat batang melinjo dan polyester/serat batang melinjo untuk aplikasi komponen otomotif
18	13:45 - 14:00	Subarmono	PEMBUATAN PISTON SECARA HOT PREESING (POWDER METALLURGY)
19	14:00 - 14:15	Sudarisman, Muh. Budi Nur Rahman, dan Irvan M. Ishaq	Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Diameter Sserat Terhadap Kuat Geser Rekatan pada Antar-muka Serat Sabut KelapaPoliester
20	14:15 - 14:30	Sulaiman Thalib, Husni, dan Samsul Rizal	PERILAKU MORFOLOGY KOMPOSIT POLIESTER/SERAT BUAH RUBEK (CALOTROPIS GIGANTEA)
21	14:30 - 14:45	Sunaryo, Gatot Prayogo, Sri Lestari Maharani, dan Gerry Liston Putra	Analisis Kekuatan Lambung Kapal Bermaterial Komposit Yang Dibuat Menggunakan Metode VARTM
22	14:45 - 15:00	Sumadi dan Yoserizal Geneng	ANALISA KERUSAKAN SURFACE RUBBER COVER PRESS ROLL PADA MESIN PRINTING TYPE CONTINUOS
23	15:00 - 15:15	Triyono dan Yustiasih Purwaningrum	Model Kegagalan Sambungan Las Titik (Resistance Spot Welding) Material Baja Tahan Karat
24	15:15 - 15:30	Tumpal Ojahan R dan Pratiwi D K	KAJIAN PROSES EKSTRAKSI SERAT BATANG PISANG KEPOK SEBAGAI FIBER DENGAN MATRIKS RECYCLED POLYPROPYLENE (RPP) MATERIAL KOMPOSIT
	15:30 - 16:00	CLOSING CEREMONY	

DAY 2: 24 OCTOBER 2013 ROOM VII

No	WAKTU	PEMAKALAH	JUDUL
1	08:00 - 08:15	Norman Iskandar, Rusnaldy, dan Ismoyo Haryanto	Pengaruh Tingkat Keausan Cetakan Pada Performa Proses Cold Upsetting untuk Pembuatan Miniatur Produk

2	08:15 - 08:30	Rachmad Hartono, Sugiharto, dan Gatot Santoso	Pembuatan Alat Ukur Kecepatan Gerak Pellet Jenis Fortable dengan Mikrokontroller Sebagai Pengukur Selang Waktu Pencapaian Dua Posisi Pelet
3	08:30 - 08:45	Sally Cahyati, Triyono, M Sjahrul Annas, A.Sumpena	Pengaruh Perubahan Parameter Pemesinan Terhadap Surface Roughness Produk Pada Proses Pemesinan dengan Single Cutting Tool
4	08:45 - 09:00	Sigit Yoewono dan Agung Kaswadi	Perbandingan Sistem Pendingin Konvensional dan Konformal pada Proses Cetak Injeksi
5	09:00 - 09:15	Sri Raharno, Yatna Yuwana Martawirya, dan Jeffry Aditya Cipta Wijaya	Perancangan Ulang Proses Manufaktur Komponen Collar Decomp pada Sepeda Motor
6	09:15 - 09:30	Susilo Adi Widyanto, David Siahaan, Achmad Widodo, dan Sri Nugroho	KORELASI KEKASARAN PERMUKAAAN PRODUK PEMOTONGAN DENGAN FAKTOR REDAMAN STRUKTUR MESIN PERKAKAS
7	09:30 - 09:45	Tono Sukarnoto, Carmen, dan Soeharsono	OTOMASI SISTEM DISTRIBUSI PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGICS CONTROLLER
8	09:45 - 10:00		
	10:00 - 10:30	BREAK	
9	10:30 - 10:45		
10	10:45 - 11:00		
11	11:00 - 11:15		
12	11:15 - 11:30		
13	11:30 - 11:45		
14	11:45 - 12:00		
	12:00 - 13:00	LUNCH BREAK	
15	13:00 - 13:15		
16	13:15 - 13:30		
17	13:30 - 13:45		
18	13:45 - 14:00		
19	14:00 - 14:15		
20	14:15 - 14:30		
21	14:30 - 14:45		
22	14:45 - 15:00		
23	15:00 - 15:15		
24	15:15 - 15:30		
	15:30 - 16:00	CLOSING CEREMONY	

Simulasi Numerik Perilaku Tumbukan Pelat Baja Terhadap Proyektil

Ismoyo Haryanto, Rusnaldy, Prasetyo Adi Prabowo, Achmad Widodo, Toni Prahasto

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275
E-mail: ismo_yo_h@undip.ac.id, pras_ady@yahoo.com

Abstrak

Simulasi numerik tiga dimensi untuk mempelajari ketahanan balistik pada target ulet yang bertumbukan dengan proyektil normal telah dilakukan. Pada penelitian ini target pelat baja Weldox 460 E dengan tebal 12 mm dimodelkan bertumbukan dengan proyektil berhidung tumpul dengan diameter 20 mm. Permasalahan simulasi numerik ini dilakukan dengan menggunakan kode elemen hingga ABAQUS-Explicit. Sedangkan perilaku *thermoviscoplastic* material pelat target ditentukan dengan pendekatan model Johnson-Cook. Selanjutnya perilaku homogen ini digabungkan dengan kriteria kegagalan Johnson-Cook untuk memprediksi proses perforasi. Dibandingkan dengan hasil observasi eksperimental pemodelan simulasi numerik dalam penelitian ini memberikan hasil dengan tendensi yang sesuai berkenaan dengan kegagalan *plugging* dalam penetrasi balistik.

Keywords: ketahanan balistik, model Johnson-Cook, perforasi, *plugging*, *thermoviscoplastic*

Pendahuluan

Masalah yang terkait dengan tumbukan telah menjadi topik penelitian yang cukup banyak selama beberapa dekade. Upaya yang intensif telah dilakukan untuk memahami fenomena yang terjadi selama penetrasi balistik [1-7]. Sejauh ini, investigasi eksperimental sudah mengalami kemajuan yang signifikan dalam upaya memahami perforasi normal pelat logam. Akan tetapi karena kompleksitas dan biaya yang berkaitan dengan percobaan balistik untuk mendasari semua studi terkait tumbukan sangat mahal maka pendekatan matematis digunakan sebagai pelengkap guna mengurangi kebutuhan eksperimental agar menjadi semurah mungkin.

Sejumlah model analitis telah diusulkan selama bertahun-tahun, namun karena kompleksitas dan banyaknya permasalahan terkait dengan peristiwa tumbukan sering membatasi penggunaan secara umum solusi analitis ini. Oleh karena itu kecenderungan penelitian mengarah pada penggunaan pendekatan dengan metode numerik menjadi semakin luas. Meskipun demikian, studi numerik yang melibatkan tumbukan dan penetrasi persenjataan masih sedikit ditemukan dalam literatur, meskipun metode elemen hingga (FEM) telah diadopsi sebagai alat umum dalam sebagian besar penelitian. Kondisi ini disebabkan karena solusi yang diperoleh dari FEM tidak memiliki akurasi yang dapat diandalkan untuk mendeskripsikan materi dan perhitungan kegagalan

selama perforasi [8]. Menurut Belytschko [8] simulasi FEM yang melibatkan geometri dengan ketidakstabilan material yang dikombinasikan dengan diskontinuitas dalam ruang dan waktu masih sangat sulit untuk dikomputasikan.

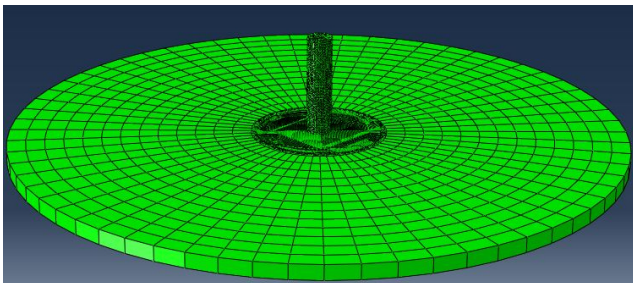
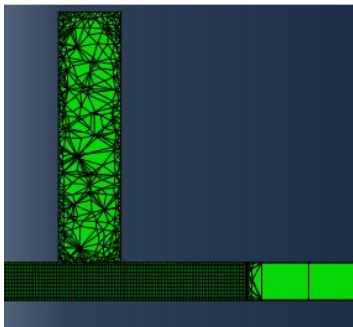
Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan simulasi numerik guna mempelajari perilaku pelat baja yang bertumbukan dengan proyektil berhidung tumpul. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu membuat kemajuan dalam rangka memahami fenomena fisik yang diperlukan untuk mengendalikan masalah penetrasi. Data-data eksperimental digunakan untuk memvalidasi apakah model komputasi *viscoplasticity* dan kerusakan ulet dapat digunakan untuk prediksi numerik respon target saat penetrasi.

Metode Analisis

Analisis dilakukan dengan Simulasi Numerik Menggunakan FEM (ABAQUS-Explicit). Simulasi numerik dibuat berdasarkan susunan eksperimen yang diusulkan oleh Borvik dkk [9]. Pada eksperimen tersebut proyektil ditembakkan dengan pistol gas terkompresi langsung pada pelat baja dengan ketebalan $h = 12$ mm dan diameter eksternal $\phi = 500$ mm [9][10]. Dalam kasus ini hanya tumbukan normal $\theta = 90^\circ$. Proyektil yang digunakan dari jenis hardened Arne tool-steel yang memiliki kekuatan yang tinggi dibandingkan dengan pelat untuk mengurangi deformasi plastis proyektil. Proyektil

berhidung tumpul dan memiliki diameter $\phi_{\text{proyektil}} = 20$ mm dan massa $m \approx 196$ g.

Meshing pada pelat menggunakan elemen kontinum 3D (C3D8R). Di daerah dekat zona tumbukan mesh dibuat sangat halus, namun untuk mengurangi waktu komputasi pada zona pinggiran pelat meshing dibuat agak kasar. Pada tumbukan normal sejumlah 20 elemen diberikan pada ketebalan target sedangkan elemen di daerah tengah target yang berkontak langsung dengan proyektil sebanyak 197900 elemen. Di luar daerah tengah tersebut jumlah elemennya berjumlah 819 elemen sedangkan pada arah ketebalan tidak diberi elemen dengan tujuan untuk mengurangi waktu komputasi. Mesh pada wilayah tengah dan luar dihubungkan dengan mesh transisi dengan elemen kontinum (C3D4) berjumlah 29164 buah. Adapun pada proyektil digunakan elemen kontinum (C3D4) dengan jumlah 7564 elemen. Gambaran tentang meshing ini ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Pendefinisian mesh yang digunakan dalam simulasi numerik.

Proyektil yang digunakan didefinisikan bersifat elastis dengan tegangan luluh (yield stress) $\sigma_y = 1900$ MPa, modulus Young $E_p = 204$ GPa, ratio Poisson $\nu_p = 0.33$ dan massa jenis $\rho = 7850$ kg/m³ [10]. Karakteristik ini memungkinkan mampu mengurangi deformasi plastis pada proyektil. Kontak antara proyektil dan pelat didefinisikan dengan *penalty contact algorithm* dan *hard contact model*. Keduanya tersedia dalam ABAQUS-Explicit [11]. Opsi “hard contact” memungkinkan untuk menyesuaikan secara otomatis kekakuan (*stiffness*), yang dihasilkan oleh “*penalty contact algorithm*”, untuk meminimalkan penetrasi tanpa merugikan interval waktu. Dalam simulasi ini nilai koefisien

gesek yang digunakan adalah berharga 0 (untuk proyektil berhidung tumpul) [12].

Penentuan Kecepatan Sisa

Untuk menentukan kecepatan sisa V_r dengan parameter tertentu dari plug dan proyektil digunakan pers berikut:

$$V_r = a \sqrt{V_0^2 - V_{bl}^2} \quad (5)$$

$$a = \frac{m_p}{m_p + m_{pl}} \quad (6)$$

di mana a adalah rasio massa, m_{pl} adalah massa plug, m_p adalah massa proyektil, V_0 adalah kecepatan awal proyektil sedang V_{bl} adalah kecepatan balistik.

Hasil dan Diskusi

Hasil simulasi menggunakan ABAQUS-Explicit pada permasalahan tumbukan antara pelat material Weldox 460 E yang berdiameter 500 mm dan ketebalan 12 mm dengan proyektil hardened Arne tool-steel yang berdiameter 20 mm dan panjang 80 mm disajikan pada Tabel 1. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa dari simulasi 3D menggunakan ABAQUS-Explicit didapatkan kecepatan balistik V_{bl} antara tumbukan pelat-proyektil adalah 224.7 m/s. Hasil tersebut dituangkan dalam grafik pada Gambar 2. Dari hasil grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kecepatan awal proyektil V_0 maka kecepatan sisa dari proyektil tersebut akan meningkat pula.

Tabel 1. Hasil simulasi numerik 3D menggunakan ABAQUS-Explicit

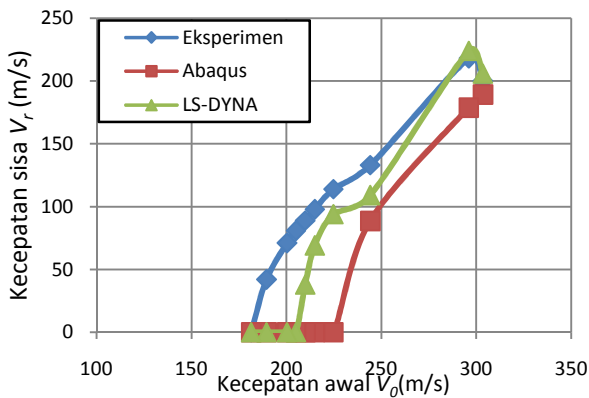
V_0 (m/s)	m_p (gr)	m_{pl} (gr)	a (rasio massa)	V_r (m/s)
303.5	195.9	14.934	0.929	189.26
296.0	195.9	14.803	0.930	178.82
285.4	195.9	13.663	0.935	164.13
244.2	195.9	13.899	0.934	88.63
225.0	195.9	13.669	0.935	0

Data yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan data eksperimen Borvik dkk. [13]. Pada Ref. [13] Borvik melaporkan bahwa dari eksperimen yang telah dilakukan ia mendapatkan kecepatan balistiknya V_{bl} sebesar 181.5 m/s. Selain itu juga terdapat data hasil simulasi LS-DYNA sebagai pembandingan data eksperimen Borvik. Pada Ref. [13] dinyatakan bahwa kecepatan batas balistik V_{bl} yang di hasilkan oleh LS-Dyna yaitu 205 m/s, atau melebihi sekitar 10 % dari data eksperimen. Secara lengkap perbandingan ketiga hasil tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi numerik dan eksperimen.

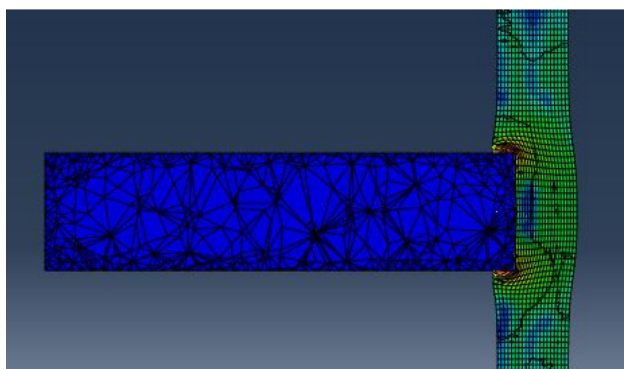
Vo (m/s)	Vr (m/s)		
	Eksperimen	LS-DYNA	ABAQUS
303.5	200	206	189.26
296.0	218	224	178.82
244.2	133	109	88.63
224.7	114	94	0
215.0	98	69	-
210.0	89	38	-
205.0	81	0	-
200.4	71	-	-
189.6	42	-	-
181.5	0	-	-

Scara grafis perbandingan pada Tabel 2 diatas diberikan pada Gambar 2. Dari grafik tampak bahwa dengan meningkatnya kecepatan awal proyektil V_0 maka kecepatan sisa proyektil juga akan meningkat. Dari Gambar 2 juga tampak bahwa kecepatan balistik yang diperoleh dari simulasi 3D ABAQUS-Explicit itu melebihi sekitar 22% dibanding kecepatan balistik eksperimen.



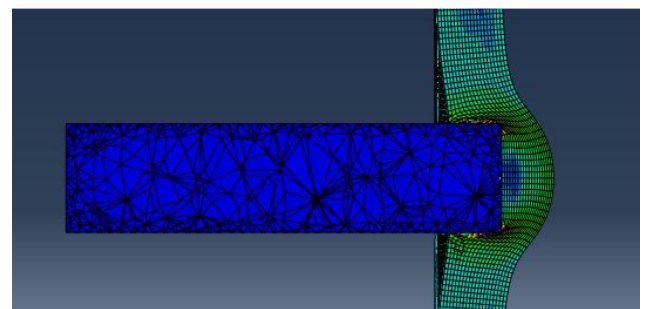
Gambar 2. Perbandingan data Eksperimen dengan LS-DYNA dan ABAQUS-Explicit.

Pada Gambar 3 dan 4 berikut disajikan hasil simulasi 3D ABAQUS-Explicit dari waktu ke waktu pada kecepatan 303.5 m/s.



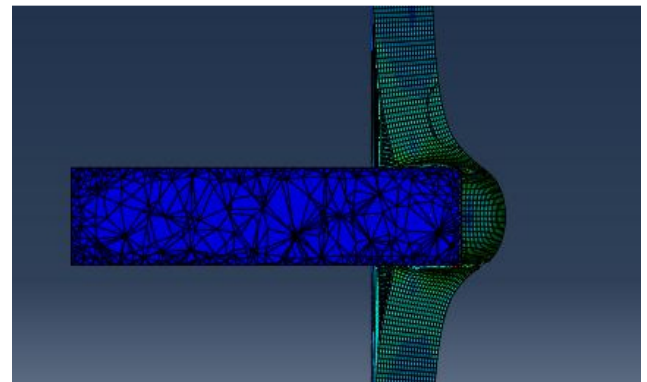
time: 0.01 s

(a)



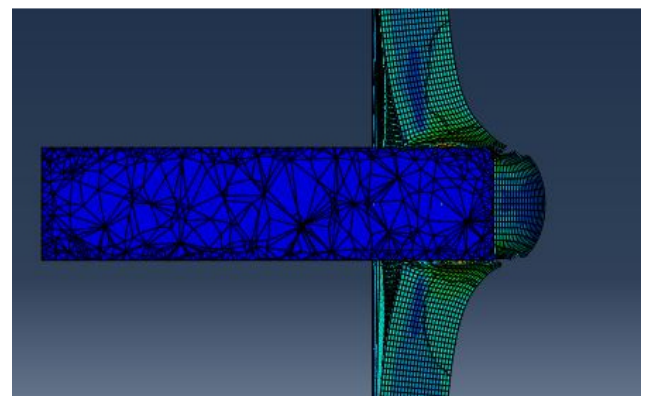
time: 0.04 s

(b)



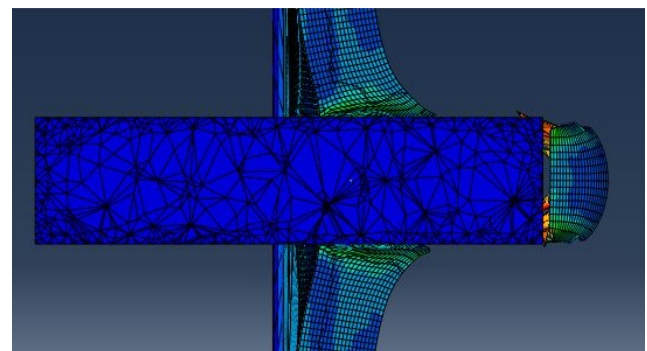
time: 0.06 s

(c)



time: 0.07 s

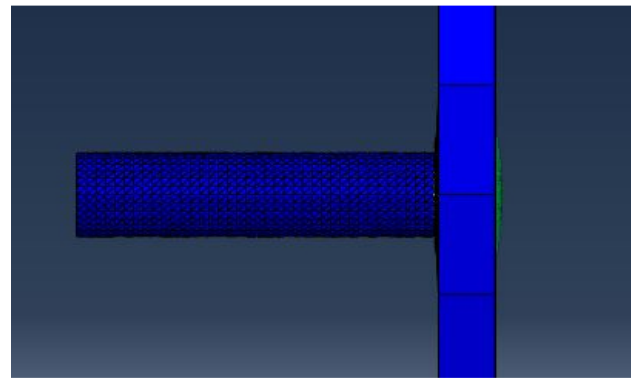
(d)



time: 0.14 s

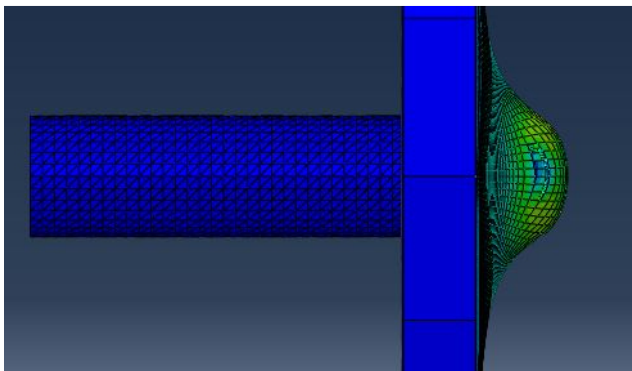
(e)

Gambar 3. Simulasi numerik proses perforasi pelat untuk proyektil berhidung tumpul dengan kecepatan $V_0 = 305.5$ m/s pada kondisi dibelah.



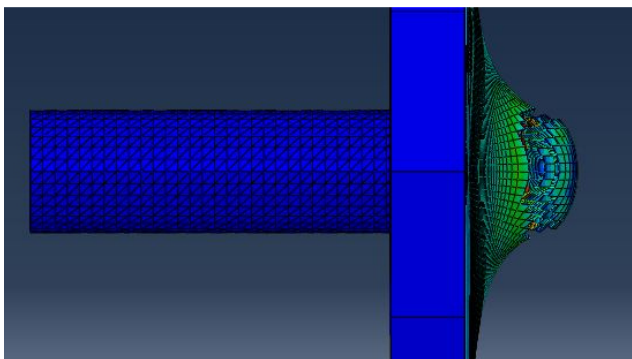
time: 0.01 s

(a)



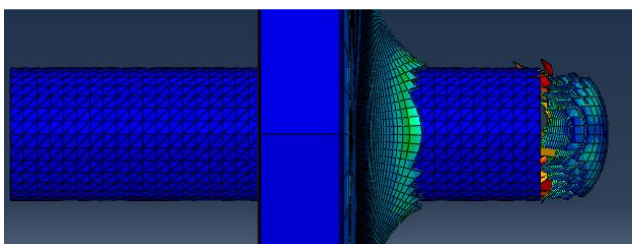
time: 0.06 s

(b)



time: 0.07 s

(d)



time: 0.14 s

(e)

Gambar 3. Simulasi numerik proses perforasi pelat untuk proyektil berhidung tumpul dengan kecepatan $V_0 = 305.5$ m/s pada kondisi utuh.

Kesimpulan

Simulasi numerik 3D untuk mempelajari ketahanan balistik pada target ulet yang bertumbukan dengan proyektil normal telah dilakukan. Sebagai kaji kasus digunakan pelat baja Weldom 460 E dengan tebal 12 mm. Pelat tersebut dimodelkan bertumbukan dengan proyektil berhidung tumpul dengan diameter 20 mm. Permasalahan simulasi numerik ini dilakukan dengan menggunakan kode elemen hingga ABAQUS-Explicit. Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan Borvik dkk. [13].

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa hasil kecepatan sisa proyektil meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan awal proyektil. Sekalipun hasil simulasi memberikan kesesuaian tendensi dengan hasil eksperimen namun kecepatan batas balistik yang diperoleh dari simulasi 3D ABAQUS-Explicit melebihi sekitar 22% dari kecepatan batas balistik hasil eksperimen. Kesalahan yang masih cukup besar ini dikarenakan keterbatasan ABAQUS-Explicit mengingat lisensi program tersebut yang tersedia di Jurusan Teknik Mesin Undip adalah versi untuk student.

Referensi

- [1] Backman M.E., Goldsmith W., The mechanics of penetration of projectiles into targets. *Int J Engng Sci*, 1978,16: 1-99.
- [2] Corbett GG, Reid SR, Johnson W. Impact loading of plates and shells by free-flying projectile. *Int J Impact Engng* 1996; 18(2):141-230.
- [3] Anderson Jr CE, Bodner SR. Ballistic impact: the status of analytical and numerical modeling. *Int J Impact Engng*, 1988; 7(1): 9-35.
- [4] Zukas JA et al. *Impact dynamics*. Florida: Krieger, 1992.
- [5] Zukas JA, et. al., *High velocity impact dynamics*, New York: Wiley, 1990.
- [6] Brown S.J., *Energy release protection for pressurized systems - review of studies into impact/terminal ballistics*. *Appl. Mech Rev.*, 1986, 39: 177-201.
- [7] Jonas GH, Zukas JA. *Mechanics of penetration: analysis and experiment*. *Int J Engng Sci*, 1978, 16: 879-903.
- [8] Belytschko T. On difficulty levels in non linear finite element analysis of solids. *Bull Int Assoc. Comput. Mech.*, 1996, (2), 6-8.
- [9] Borvik T, Langseth M, Hopperstad OS, Malo KA. Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with flat hemispherical and conical noses Part I:

- experimental study. *Int J Impact Engng.*, 2002, 27:19–35.
- [10] Borvik T, Langseth M, Hopperstad OS, Malo KA. Ballistic penetration of steel plates. *Int J Impact Engng* 1999;22:855–86.
- [11] Hibbitt HD, Karlsson BI, Sorensen P. *Abaqus User's manual, ABAQUS/EXPLICIT 6.5*, 2005.
- [12] Borvik T, Langseth M, Hopperstad OS, Malo KA., Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with flat, hemispherical and conical noses Part II: Numerical study. *Int J Impact Engng.* 2002, 27:37–64.
- [13] Borvik T, Langseth M, Hopperstad OS, Malo KA., Ballistic penetration of steel plates. *Int J Impact Engng*, 1999, 22: 855–86.

