

# Finite Element Analysis of Ball Bearing Shield Defect Mechanism due to Drop Tube Incident

Azhari Sastranegara<sup>1\*</sup>, Pria Gautama<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Presiden, Jababeka, Cikarang Utara, Jawa Barat, 17530, Indonesia, azhari.sastranegara@president.ac.id

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan, KM 10. Tamalanrea. Makassar. Sulawesi Selatan.90245, pria\_gautama@poliupg.ac.id

**Abstract:** The tube package is commonly used for miniature bearings for its convenience in assembly lines. It is generally made from High-Density Poly Ethylene (HDPE) plastic which is used in a wide variety of applications. The tube package sometimes drops accidentally and causes damage to the grease shields of bearings inside the tube. This damage often affects the performance of the bearings since the deformed shields will come into contact with the balls. In order to take necessary countermeasures to prevent the damage, it is required to study the damage generation mechanism during the tube drop event. The mechanism of bearing shield damage due to tube drop accidents has been numerically investigated by the Finite Element Method (FEM). The non-linearity aspects, such as large deformation and high strain rate effect, are handled by the explicit time integration approach. After understanding the damage mechanism, three different material characteristics properties were simulated to find better options than the current material. The simulation results showed that the tube significantly deformed during the impact and gave enough room for the bearings to collide with each other. The shield damage pattern generated by the simulation closely matched the actual damage. Applying suitable tube material properties can prevent or reduce the collision on the shield face. The model in this work can be used to develop a tube design to prevent severe damage to the bearings when the tube accidentally drops.

**Keywords:** drop tube, explicit, FEM, bearing collision, shield damage

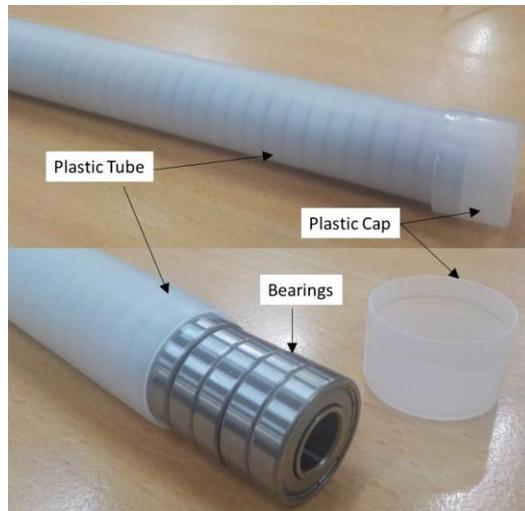
**Abstrak:** Kemasan tabung biasanya digunakan untuk bearing (bantalan) kecil karena kemudahan pemakaian di proses perakitan. Biasanya tabung terbuat dari plastik High-Density Poly Ethylene (HDPE) yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Tabung terkadang jatuh secara tidak sengaja dan menyebabkan kerusakan pada pelindung grease pada bantalan yang ada di dalam dalam tabung. Kerusakan ini sering memengaruhi kinerja bantalan karena pelindung grease yang cacat akan bersentuhan dengan bola. Agar dapat mengambil tindakan pencegahan untuk mencegah kerusakan, mekanisme terjadinya kerusakan selama peristiwa tabung jatuh perlu dipahami dengan baik. Dalam tulisan ini, mekanisme kerusakan pelindung bantalan akibat peristiwa tabung jatuh dianalisis secara numerik dengan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Methode*). Aspek non-linearitas, seperti deformasi besar dan efek laju regangan tinggi, ditangani dengan pendekatan integrasi waktu eksplisit. Setelah memahami mekanisme kerusakan, tiga sifat karakteristik material yang berbeda disimulasikan untuk menemukan pilihan yang lebih baik dari material saat ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tabung berubah bentuk secara signifikan selama benturan dan memberikan ruang yang cukup bagi bantalan untuk saling bertabrakan. Pola kerusakan pada pelindung grease yang dihasilkan oleh simulasi sangat cocok dengan kerusakan yang sebenarnya. Pemilihan material tabung yang tepat dapat mencegah atau mengurangi benturan pada permukaan pelindung grease. Model simulasi dalam tulisan ini dapat digunakan untuk mengembangkan desain tabung untuk mencegah kerusakan parah pada bantalan saat tabung terjatuh secara tidak sengaja.

**Kata kunci:** tabung jatuh, eksplisit, FEM, tumbukan bantalan, pelindung kerusakan.

## I. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur, pengemasan produk sangat penting untuk melindungi produk dari kerusakan atau kerusakan selama pengangkutan dan penyimpanan. Salah satu jenis kemasan yang umum digunakan adalah tabung kemasan yang terbuat dari bahan yang kuat dan ringan. Tabung pengemasan ini biasanya mengemas produk kecil seperti *ball bearing* (bantalan bola) dengan ukuran kecil. Material kemasan yang banyak dipakai untuk keperluan seperti ini adalah *High-Density Polyethylene* (HDPE) [2][3]. Penggunaan tabung kemasan berbahan HDPE ini disukai di dunia

manufaktur karena ringan dan memberikan kemudahan penanganan di dalam proses perakitan. Contoh tabung kemasan dan bantalan di dalamnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tabung kemasan plastik dan *small ball bearing*

Meskipun tabung kemasan telah dirancang untuk melindungi bantalan selama pengangkutan dan penyimpanan, kerusakan pada bantalan masih dapat terjadi. Salah satu faktor yang dapat menyebabkan kerusakan bantalan adalah tabung kemasan terjatuh pada saat proses penyimpanan atau transportasi. Jika tabung kemasan jatuh, bantalan di dalamnya akan mengalami guncangan kuat dan dapat mengakibatkan kerusakan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini simulasi numerik dengan Metode Elemen Hingga digunakan untuk mempelajari lebih detail apa yang terjadi di dalam tabung kemasan ketika jatuh dan pengaruhnya pada *ball bantalan*. Dengan melakukan simulasi ini, bagaimana tabung kemasan jatuh dan bagaimana beban kejut yang dihasilkan mempengaruhi bantalan di dalamnya dapat dipahami dengan lebih baik. Simulasi numerik menggunakan Metode Elemen Hingga yang menganalisis perilaku polimer seperti polyethylene dan polypropylene pada peristiwa dampak telah cukup banyak dilakukan. Sifat-sifat material yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada tulisan-tulisan ilmiah yang telah diterbitkan [5] [6] [8].

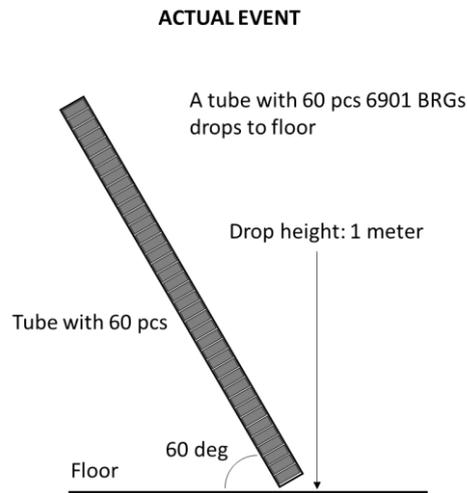
Meskipun simulasi numerik yang menggunakan material *polyethylene* dan *polypropylene* cukup banyak, simulasi untuk mereproduksi fenomena yang terjadi pada bantalan di dalam tabung kemasan saat terjatuh belum banyak ditemukan dalam literatur. Contoh penelitian yang cukup mirip adalah yang dilaporkan oleh Beng, et.al. yang melakukan simulasi untuk tabung kemasan part elektronik yang diberi beban statik [7]. Selain itu adalah hasil penelitian Mizera, et.al. yang melakukan uji eksperimen dan numerik untuk resistensi tabung berbahan HDPE [10].

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan baru tentang pengaruh tabung kemasan yang jatuh pada bantalan dan mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat meminimalkan kerusakan pada bantalan selama pengangkutan dan penyimpanan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu industri manufaktur dalam memperbaiki kemasan produknya dan mengurangi kerusakan bantalan selama pengangkutan dan penyimpanan.

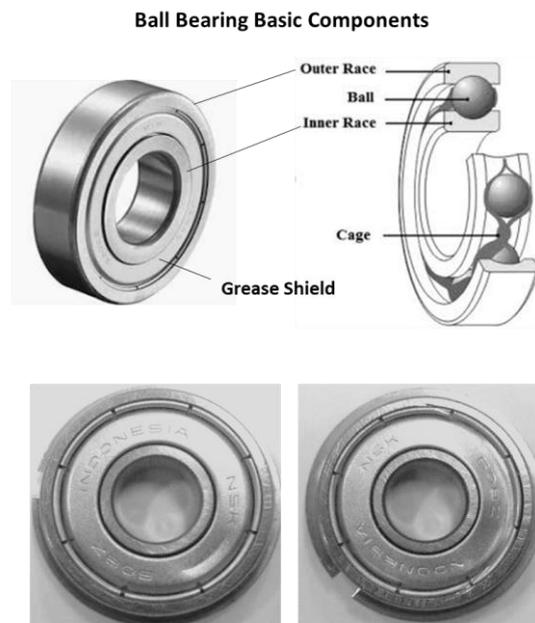
## II. METODE PENELITIAN

Gambaran singkat kejadian tabung kemasan jatuh yang akan dibahas pada tulisan ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sebuah tabung kemasan berisi 60 buah *ball bearing* seri 6901 terjatuh dari ketinggian 1.0 meter dan membentur lantai pada sudut 30 derajat. Setelah dibuka, didapatkan 2 buah bantalan

pada ujung yang terbentur dengan lantai mengalami kerusakan pada pelindung *grease* (*shield*) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Tabung kemasan berisi bantalan jatuh dan membentur lantai



Kerusakan pada pelindung grease setelah kemasan terjatuh

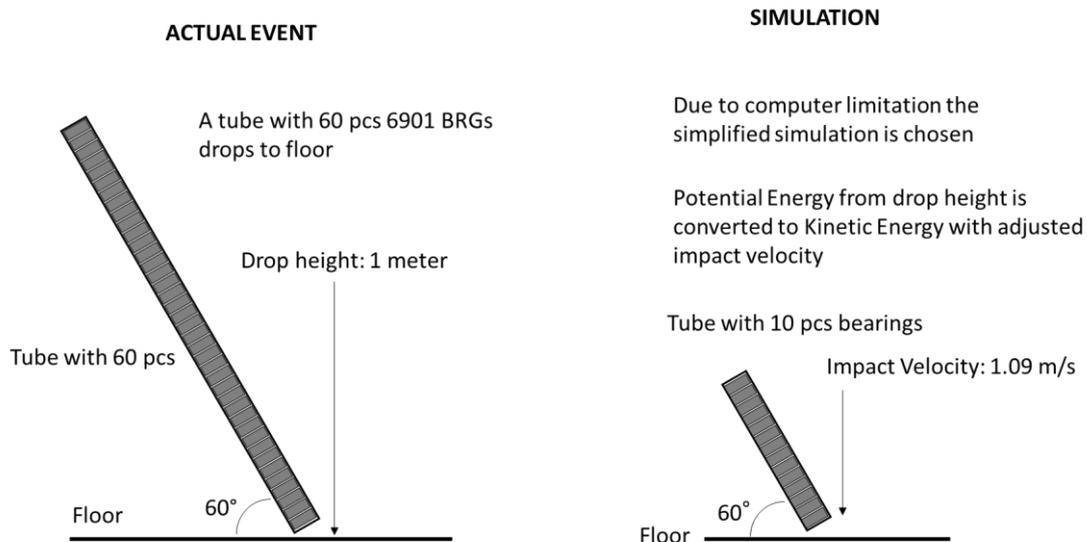
Gambar 2. Komponen bantalan dan profil kerusakan akibat tabung kemasan jatuh

Analisa numerik masalah di atas dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan tujuan untuk mensimulasi jatuhnya tabung kemasan dari ketinggian tertentu pada permukaan keras dan menganalisis kerusakan yang terjadi pada bantalan di dalamnya. Perangkat lunak yang dipilih adalah Ansys Ls-Dyna yang merupakan perangkat populer untuk keperluan simulasi yang harus memperhitungkan *strain rate* yang tinggi serta deformasi yang besar. Metode integrasi waktu yang dipakai adalah metode eksplisit untuk menangani faktor nonlinearitas yang tinggi pada fenomena

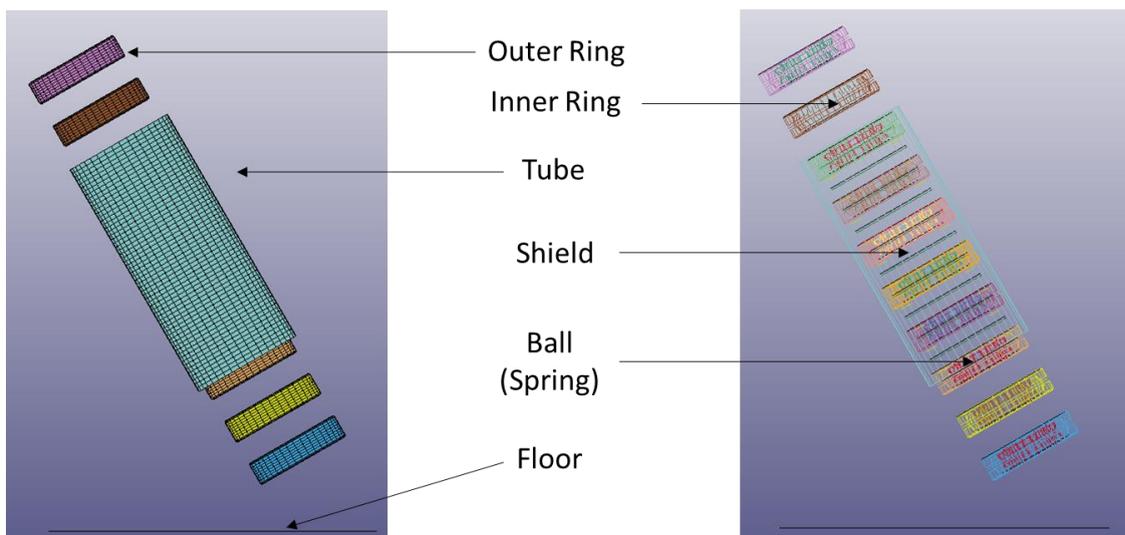
impak. Metode ini lebih akurat dalam menangkap efek *strain rate* serta lebih efisien dari sisi waktu komputasi dibandingkan metode implisit. Langkah-langkah berikutnya dijelaskan sebagai berikut.

**1. Pemodelan geometri dan pembuatan mesh**

Pada tahap awal, dilakukan pemodelan geometri untuk menggambarkan bentuk tabung kemasan dan bantalan. Setelah itu dilakukan proses *meshing* dimana model didiskritisasi dengan elemen (*elements*) dan titik penghubung (*nodes*). Disebabkan oleh keterbatasan kemampuan komputer, kondisi yang dianalisis disederhanakan seperti pada Gambar 3. Model akhir untuk simulasi ini ditampilkan pada Gambar 4, komponen bola digantikan dengan elemen pegas yang ekuivalen untuk mengurangi beban komputasi.

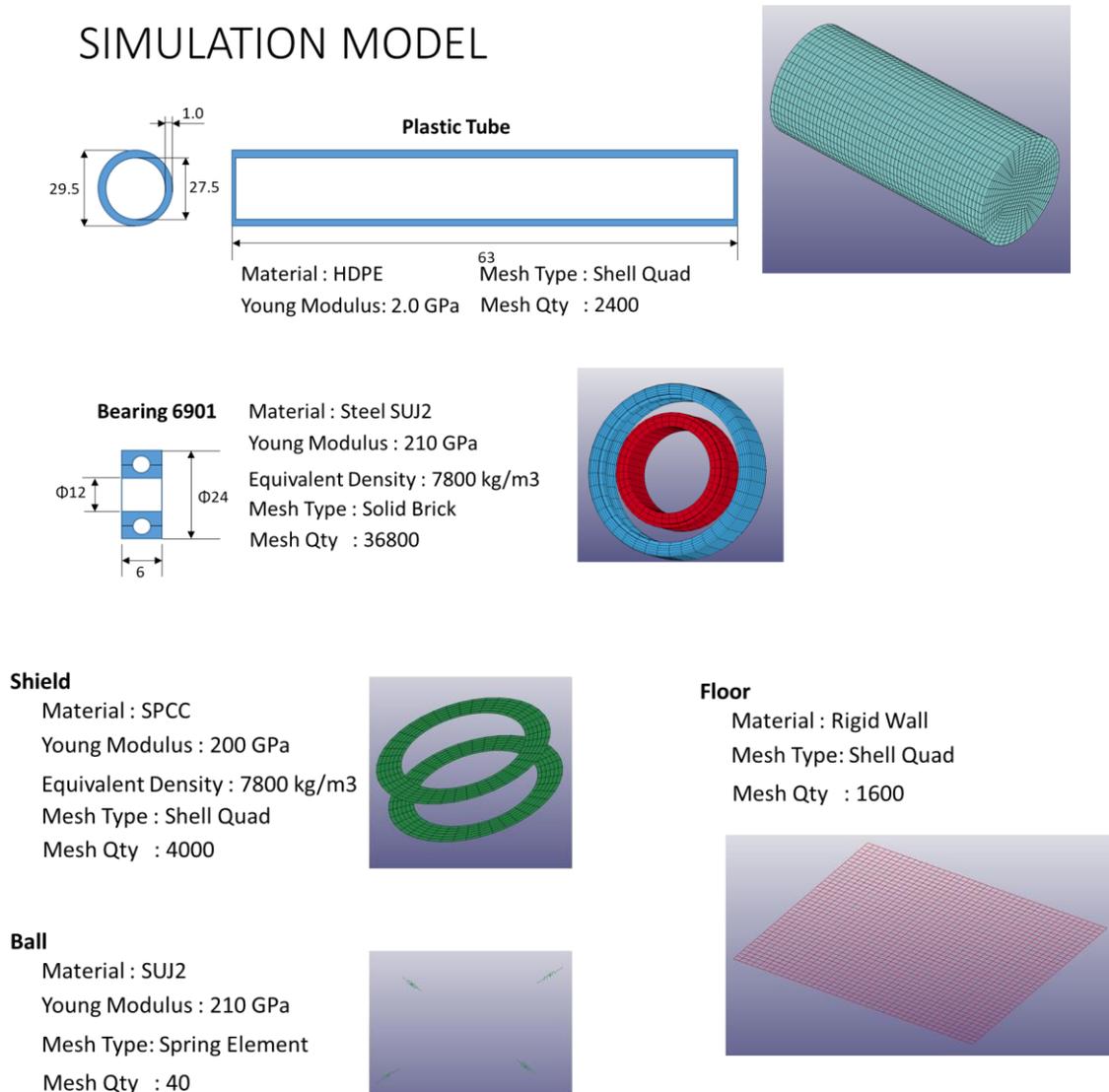


Gambar 3. Penyederhanaan kondisi simulasi



Gambar 4. Model sistem yang akan dianalisis dengan Metode Elemen Hingga

Secara lebih detail, dimensi komponen serta tipe mesh yang digunakan dalam model ditampilkan pada Gambar 5. Jumlah *mesh* dipilih dengan mempertimbangkan faktor efisiensi komputasi dan konvergensi.



Gambar 5. Detail dari setiap komponen dan tipe serta jumlah mesh yang diterapkan

## 2. Pemilihan Parameter dan Material Model

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan parameter material setiap komponen yang akan digunakan dalam simulasi. Parameter ini dipilih berdasarkan karakteristik material sebenarnya yang digunakan, sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan situasi yang realistis. Parameter material yang digunakan serta model material dari Ls-Dyna yang dipilih ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter material dan model material

No	Komponen	Material	Karakter	Ls-Dyna Material Model	Parameter Penting
1	Outer Ring	SUJ2	Elastic	MAT_ELASTIC (001)	E : 210 GPa Rho : 7,800 kg/m <sup>3</sup> Poisson Ratio : 0.3
2	Inner Ring	SUJ2	Elastic	MAT_ELASTIC (001)	
3	Ball	SUJ2	Elastic	MAT_SPRING_ELASTIC (S01)	K = 10E7 N/m
4	Grease Shield	SPCC	Elasto-Plastic	MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (024)	E : 200 GPa Rho : 7,800 kg/m <sup>3</sup> Poisson Ratio : 0.3 Yield Stress: 250 MPa
5	Packaging Tube	HDPE	Elasto-Plastic	MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (024)	E : 200 GPa Rho : 1,200 kg/m <sup>3</sup> Poisson Ratio : 0.3 Yield Stress : 23 MPa
6	Floor	Steel	Rigid	MAT_RIGID (020)	E : 210 GPa Rho : 7,800 kg/m <sup>3</sup>

### 3. Pengaturan Kondisi Kontak dan Syarat Batas

Dalam simulasi fenomena impact, salah satu pengaturan yang penting adalah kondisi kontak antar komponen. Pada kasus ini, kontak antara tube dan lantai diatur dengan pengaturan perintah \*CONTACT\_AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE, sementara kontak antara bantalan dengan tube dan kontak antar sesama komponen bantalan diatur dengan \*CONTACT\_AUTOMATIC\_SINGLE\_SURFACE. Jenis kontak yang kedua ini biasa dipakai dalam keadaan yang memungkinkan adanya *self-contact*, atau kontak dalam satu entitas.

Syarat batas pada kasus ini tidak diterapkan pada komponen bantalan dan tube karena berada dalam keadaan jatuh bebas. Pada komponen lantai, diberikan syarat *fixed condition* di mana komponen ini tetap diam selama simulasi berlangsung. Pengaruh gravitasi diaktifkan untuk seluruh komponen. Kecepatan awal diberikan pada komponen bantalan dan tube.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat validitas simulasi dapat dievaluasi dari dua hal. Pertama, dari sisi numerik bahwa tingkat *numerical error* dan keterlibatan *artificial energy* dalam simulasi cukup kecil dan dapat diabaikan. Kedua, dari sisi kesesuaian dengan eksperimen, bahwa hasil simulasi mendekati hasil eksperimen.

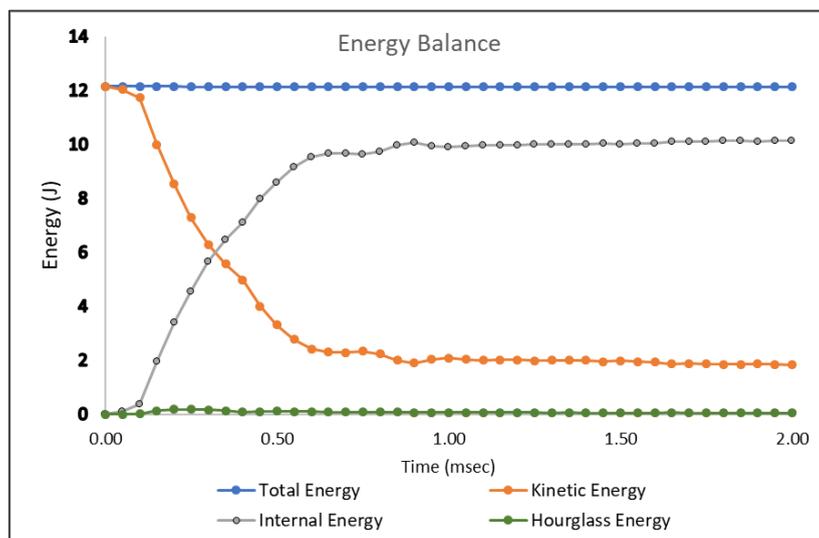
### 1. Validitas Simulasi dari Sisi Numerik

Untuk menguji tingkat validitas simulasi dari sisi numerik, dua parameter yang dievaluasi adalah *Energy Ratio* dan *Hourglass Energy*. Parameter pertama, *Energy Ratio*, adalah perbandingan antara energi masuk dan keluar pada sistem. Dalam kasus ini, energi masuk adalah *Initial Kinetic Energy*, energi keluar terdiri dari *Kinetic Energy* selama impact, *Internal Energy* (energi yang digunakan untuk deformasi) dan *Hourglass Energy* (energi yang dibutuhkan untuk mencegah mode hourglass). Energi Ratio 1 berarti suku sebelah kiri dan sebelah kanan pada rumus (1) berikut memiliki nilai yang sama.

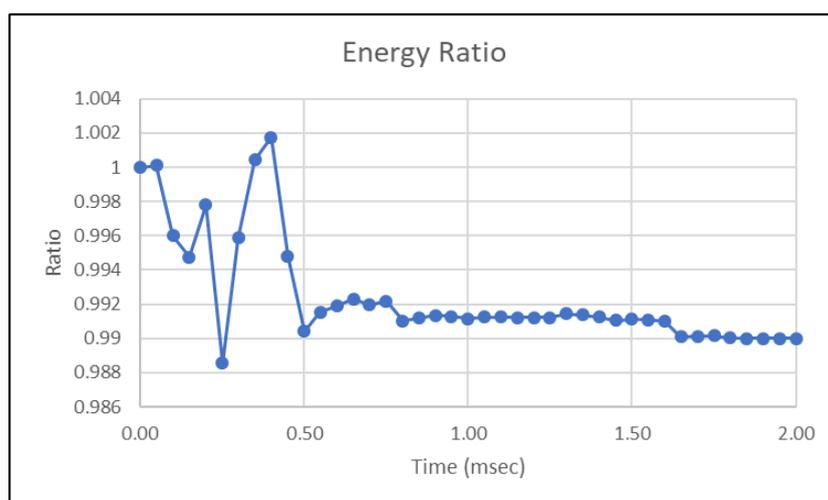
Limit batas *Energy Ratio* pada simulasi ini ditetapkan pada angka 0.980 ~ 1.005 atau toleransi 5%, sebagai suatu patokan yang berlaku umum pada simulasi.

$$\text{Initial Kinetic Energy} = \text{Kinetic Energy} + \text{Internal Energy} + \text{Hourglass Energy} \quad (1)$$

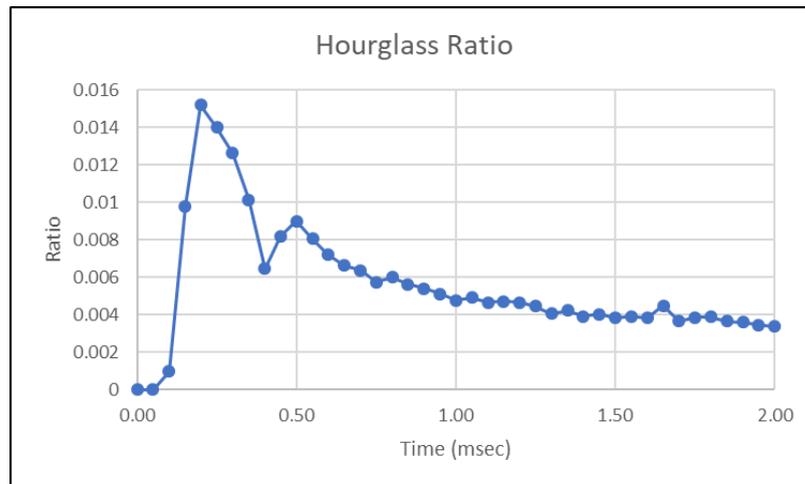
Parameter kedua adalah *Hourglass Energy*. Energi ini merupakan artifisial energi yang diberikan selama simulasi untuk mencegah munculnya *hourglass mode* dari elemen yang mengalami deformasi. *Hourglass mode* adalah mode deformasi elemen di mana elemen dapat berubah bentuk tanpa tambahan energi [1][4][9]. Jika energi artifisial ini cukup signifikan besarnya maka validitas hasil simulasi menjadi berkurang. Limit besar maksimum energi artifisial yang ditoleransi dalam simulasi ini ditetapkan pada angka 5%. Kondisi kedua parameter di atas ditampilkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



Gambar 6. Grafik keseimbangan energi selama simulasi



Gambar 7. Grafik Energy Ratio



Gambar 8. Grafik persentase Hourglass Energy dari Energy Total

Dari data-data di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi *Energy Ratio* dan *Hourglass Energy* berada dalam batas toleransi yang berarti hasil simulasi dapat dinilai valid.

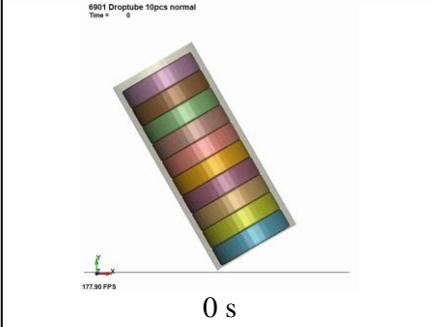
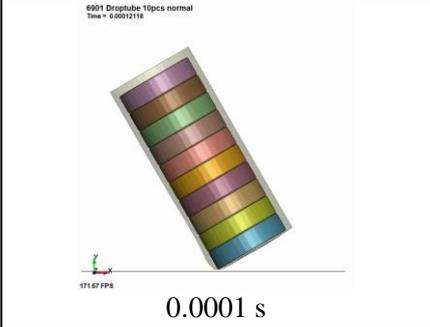
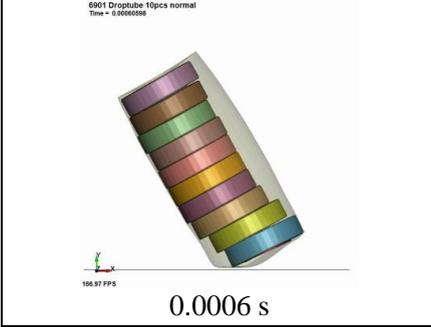
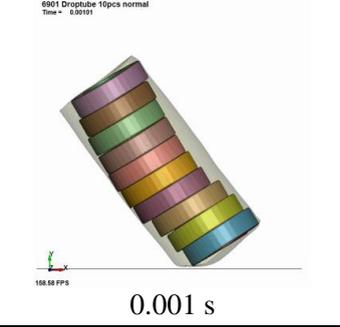
## 2. Validitas Simulasi dari Sisi Kesesuaian dengan Eksperimen

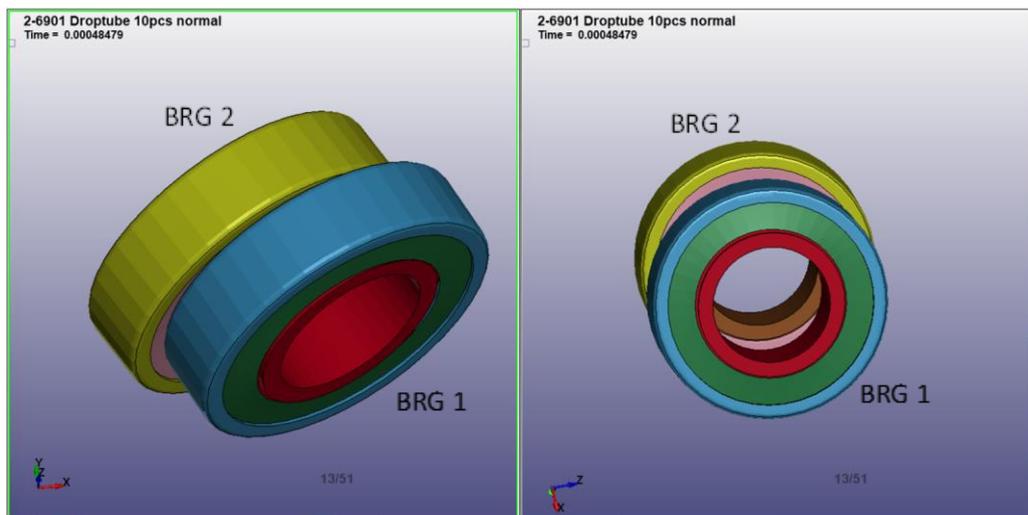
Hasil simulasi untuk kondisi ketinggian jatuh 1.5 meter dapat dilihat pada Tabel 2 yang memuat tampilan frame per waktu. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa tabung kemasan mengalami deformasi yang cukup besar sehingga bantalan yang ada dalam tabung memiliki ruang yang cukup untuk berbenturan satu sama lain.

Gambar 9 menunjukkan kondisi benturan 2 buah bantalan yang berada pada bagian paling bawah tabung kemasan. Bantalan yang berada pada posisi kedua dari bawah (BRG 2) mendapatkan benturan pada *shield*-nya dari bantalan paling bawah (BRG 2) pada waktu 0.48 milidetik (Gambar 7.a) dan BRG 1 mendapatkan benturan pada *shield*-nya dari BRG2 pada waktu 0.89 milidetik sejak benturan.

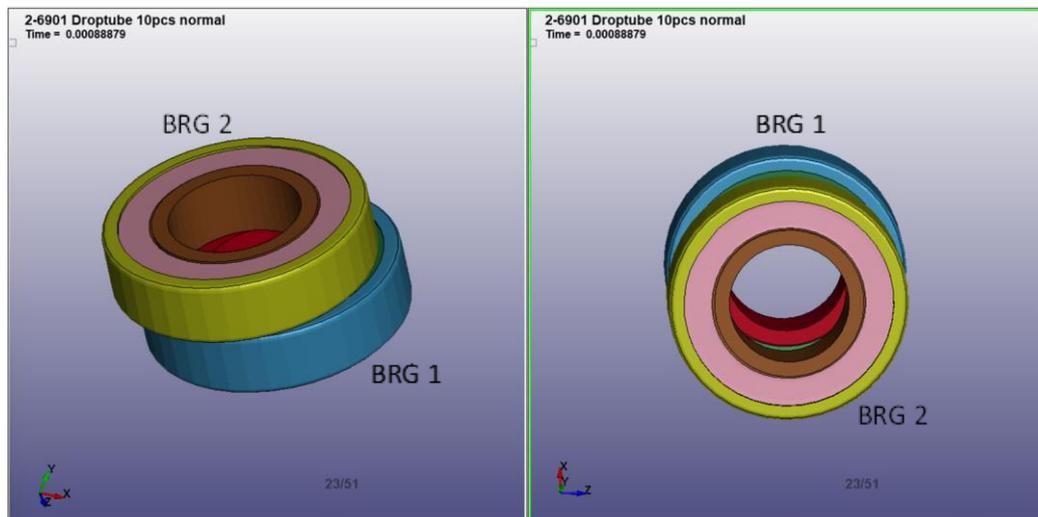
Perbandingan antara kondisi deformasi yang dihasilkan simulasi dengan kondisi aktual percobaan dengan menjatuhkan tabung kemasan dari ketinggian yang sama dapat dilihat pada Gambar 10. Pada hasil simulasi ditampilkan kontur perubahan plastis dari *shield*. Daerah dan bentuk perubahan plastis ini mendekati bentuk deformasi aktual dari hasil eksperimen. Dari gambar ini dapat disimpulkan bahwa metode dan hasil simulasi dapat divalidasi oleh hasil eksperimen.

Tabel 2. Kondisi benturan saat tabung kemasan jatuh

 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0 177.50 FPS 0 s</p>	 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.00012118 171.87 FPS 0.0001 s</p>	 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.00022218 159.36 FPS 0.0003 s</p>
 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.00050588 166.97 FPS 0.0006 s</p>	 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.00080758 121.89 FPS 0.0008 s</p>	 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.00101 158.89 FPS 0.001 s</p>
 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.0014848 158.96 FPS 0.0015 s</p>	 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.001818 155.84 FPS 0.0018 s</p>	 <p>6901 Droptube 10pcs normal Time = 0.0019796 168.42 FPS 0.002 s</p>

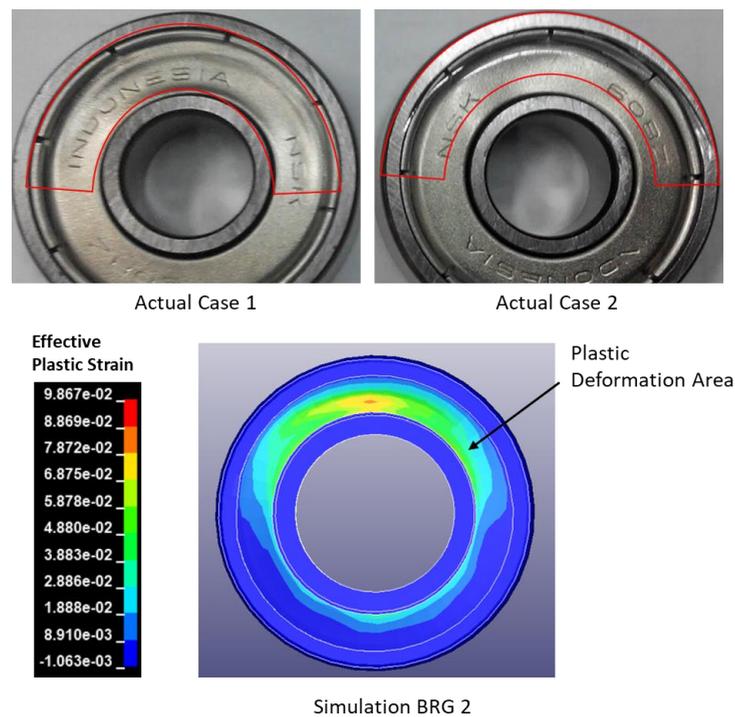


(a)



(b)

Gambar 9. (a),(b) Kondisi benturan dua bantalan paling bawah



Gambar 10. Perbandingan deformasi hasil simulasi dan aktual

Menimbang bahwa deformasi yang terjadi pada tabung kemasan saat terjatuh dan berbenturan dengan lantai seperti yang ditampilkan pada Table 2, dapat diperkirakan bahwa benturan antar bantalan akan berkurang jika ruang gerak bantalan dibatasi selama peristiwa impact terjadi. Hal ini dapat diwujudkan jika material tabung memiliki sifat lebih tidak elastis dibanding material yang dipakai saat ini.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa,

- Mekanisme kerusakan pelindung grease (*shield*) pada bantalan saat tabung kemasan terjatuh dan membentur lantai dapat dimengerti dengan lebih baik
- Simulasi dapat mereplikasi keadaan yang mendekati hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi yang dipakai dalam simulasi terbukti valid dan metode ini dapat digunakan untuk mengembangkan desain tabung kemasan yang lebih aman.
- Dengan mengganti material tabung kemasan ke material yang lebih tidak elastis dan lebih kuat benturan antar bantalan seharusnya dapat dapat diminimalkan.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah melanjutkan validasi simulasi untuk berbagai kondisi eksperimen yang berbeda, misalnya ketinggian jatuhnya tabung, serta mencoba berbagai jenis material tabung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Cangiani, G. Manzini, A. Russo, N. Sukumar, " Hourglass stabilization and the virtual element method " Numerical Method in Engineering, 2015
- [2] A. Rahmadiny, "Penggunaan Material Limbah High Density Polyetylene (HDPE) Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton," *Journal of Pembangunan Jaya University*, vol. 6, pp. 6-11, 2019.
- [3] A. Widiati, "Peranan Kemasan (Pakaging) dalam Meningkatkan Pemasaran Produk Usaha Mikro Kecil Menengan di "Maspak" Terminal Kemasan Pontianak," *Jurnal Audit dan Akuntansi Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Tanjungpura*, vol. 9, no. 2, pp. 67-76, 2019.
- [4] Beirão da Veiga L, Brezzi F, Cangiani A, Manzini G, Marini LD, Russo A. Basic principles of virtual element methods. *Mathematical Models & Methods in Applied Sciences* 2014; 23(1): 199–214
- [5] H.-H. Huang, L.-W. Chen, W.-H. Lu, W.-C. Li and Y.-C. Chen, "Design and Simulation Analysis of Lightweight HDPE Milk Bottle," *Polymers & Polymer Composites*, vol. 26, no. 1, pp. 91-98, 2018.
- [6] H. Kwon and P.-Y. Jar, "On the application of FEM to deformation of high-density polyethylene," *International Journal of Solids and Structures* , vol. 45, pp. 3521-3543, 2008
- [7] M. Ales, H. Lenka and M. Manas, "Impact Resistance Study of High-Density Polyethylene," *Materials Science Forum*, vol. 919, pp. 246-253, 2018
- [8] S. M. Mahmoud and M. E. El-Zoughiby, "Nonlinear Finite Element Analysis of Polypropylene Lightweight RC Beams," *Engineering Research Journal*, vol. 173, no. 0, pp. 1-15, 2022.
- [9] Taylor RL. FEAP—A Finite Element Analysis Program Version 8.4 User Manual, University of California, Berkeley, 2013
- [10] Y. K. Beng and W. W. Tzeng, "Plastic collapse and energy absorption of circular filled tubes under quasi-static loads by computational analysis," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 31, no. 2, pp. 633-639, 2017.