

## PERANCANGAN PRODUK *BOTTLE CAP* UNTUK MEMBERIKAN KEMUDAHAN DALAM MEMBUKA SEGEL

\* Fahreza Arfan Zaeni<sup>1</sup>, Rusnaldy<sup>2</sup>, Mohammad Tauviqirrahman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: Fahreza.arfan23@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini fokus pada perancangan tutup botol untuk botol air mineral dengan tujuan memberikan kemudahan dalam membuka tutup botol jenis *screw cap* terutama untuk perempuan. Metode *Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk menganalisis struktur geometri *joint sections* atau *tamper evident seal* ketika diberikan momen torsi. Penelitian ini melibatkan tahap pengujian torsi tutup botol, desain, dan simulasi. Desain dan simulasi mempertimbangkan berbagai parameter seperti bahan dan bentuk tutup botol terutama pada *joint sections* untuk memastikan efektivitas dan kemudahan dalam membuka tutup botol. Setelah pengujian torsi pada sampel tutup botol dengan yang diperjualbelikan di pasaran, dilakukan tahap permodelan dan simulasi non – linear statis. Hasil penelitian ini diharapkan berkontribusi dalam pengembangan desain tutup botol untuk diterapkan pada produksi botol air mineral dengan tujuan dapat memberikan kemudahan dan kenyamanan konsumen produk. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam perancangan tutup botol pada botol air mineral pada bidang teknik mesin dan disiplin ilmu lainnya.

**Kata Kunci:** botol air mineral; ergonomi; *finite element method*; perancangan; *screw cap*; tutup botol, torsi, von mises stress

### Abstract

*This research focuses on designing a bottle cap for mineral water bottles with the aim of providing convenience in opening screw cap bottles, especially for women. The Finite Element Method (FEM) is employed to analyze the structural geometry of joint sections or tamper-evident seals when subjected to torque moments. The study involves testing the torque of bottle caps, design, and simulation. The design and simulation take into account various parameters such as the material and shape of the bottle cap, especially at the joint sections, to ensure effectiveness and ease of bottle opening. After torque testing on samples of commercially available bottle caps, a phase of nonlinear static modeling and simulation is conducted. The results of this research are expected to contribute to the development of bottle cap designs for application in the production of mineral water bottles, with the goal of providing consumers with convenience and comfort. Additionally, this research may serve as a foundation for further developments in bottle cap design for mineral water bottles in the field of mechanical engineering and other related disciplines.*

**Keywords:** bottle cap; design; ergonomics; *finite element method*; mineral water bottle; *screw cap*; torque; von mises stress

### 1. Pendahuluan

Salah satu jenis produk yang banyak terdapat di kehidupan masyarakat adalah botol air. Botol air adalah sebuah kontainer yang dipakai untuk membawa air, cairan atau minuman lain untuk konsumsi. Pemakaian botol air membolehkan orang untuk minum atau membawa minuman dari satu tempat ke tempat lain. Botol air minum kemasan biasanya terbuat dari plastik PET (Polyethylene terephthalate), terutama HDPE (High Density Polyethylene) [1].

Ergonomi merupakan salah satu dari persyaratan untuk mencapai desain yang *qualified, certified* serta *customer need*. Dan seberapa jauh sebuah desain telah memenuhi aspek teknis fungsional, kualitas estetis dan ekonomis, maka dalam hal ini diperlukan evaluasi yang menggunakan tolok ukur tertentu. Ergonomi diperlukan untuk evaluasi produk. Selain fungsional, desain juga harus mampu memberikan keselamatan, kesehatan, keamanan dan kenyamanan bagi manusia pada saat memakai dan mengoperasikan hasil produk desain tersebut [2].

Fungsi utama penutup botol atau tutup botol (*bottle cap*) adalah untuk menutup dan membuka wadah sesuai kebutuhan, sehingga menjadi rapat air dan tidak ada isinya yang dapat keluar ketika ditutup, tetapi akan mengalir bebas dari pembukaan ketika dibuka [3]. Meskipun terdapat berbagai bentuk dan warna dalam variasi penutup yang berbeda, ada tiga jenis utama penutup, yaitu penutup sekrup (*screw cap*), penutup pop (*pop cap*), dan penutup olahraga (*sports cap*) [1].

Berdasarkan survey yang dilakukan oleh penulis terhadap konsumen botol mineral terutama kaum perempuan, didapatkan kesimpulan bahwa saat ini desain tutup botol air mineral yang beredar di pasaran terutama *screw cap* masih memiliki beberapa kekurangan, beberapa diantaranya yakni kurangnya kemudahan untuk membuka segel tutup terutama

untuk perempuan. Kaum perempuan dapat mewakili konsumen dari botol air mineral yang berpotensi memiliki kesulitan untuk membuka tutup botol.

Kekurangan ini timbul bisa diakibatkan karena beberapa faktor antaralain; diameter dan panjang tutup botol, konstruksi dari segel tutup botol, serta jenis pola permukaan tutup botol. Berdasarkan hal tersebut tugas akhir ini dimaksudkan untuk merancang dan mengoptimasi desain dari tutup botol air mineral yang mengutamakan nilai ergonomi serta kemudahan bagi konsumen untuk meningkatkan nilai kualitas produk.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang optimasi desain *bottle cap* yang lebih ergonomis dengan melihat nilai tegangan pada bagian *joint sections* menggunakan proses simulasi numerik. Tegangan normal adalah tegangan yang diterapkan secara tegak lurus pada bidang penampang suatu benda, sedangkan tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang penampang benda. Tegangan aksial adalah tegangan yang diberikan pada benda yang mengalami gaya tarik atau tekan sejajar dengan sumbu benda. Sementara itu, tegangan geser atau *shear stress* muncul akibat gaya geser pada benda yang terletak pada bidang sejajar dengan gaya geser tersebut [8].

## 2. Metode Penelitian

Tutup botol yang menjadi objek penelitian ini adalah jenis tutup botol *screw cap*. Penutup sekrup memiliki tepi berulir yang sesuai dengan leher botol sehingga ketika diputar dengan erat, membentuk segel yang rapat air. Penutup sekrup pada botol yang diteliti memiliki tiga perbedaan utama, yaitu jumlah ulir, tinggi penutup, dan diameter penutup [1]. Tahapan penelitian dimulai dengan prosedur eksperimen yang dilakukan terhadap botol air mineral yang beredar di pasaran. Proses perancangan produk melibatkan pendekatan dari berbagai disiplin ilmu. Ilmu teknik dan rekayasa sangat diperlukan untuk perancangan produk, studi ergonomi bertujuan mengaitkan desain produk agar dapat disesuaikan dengan manusia, berdasarkan kapasitas dan keterbatasan fisiologis serta psikologis, dengan tujuan meningkatkan kinerja sistem manusia-produk [7]. Adapun bagian-bagian dari tutup botol jenis *screw cap* sebagai berikut. A. (*Upper Body*) adalah bagian sisi atas dari tutup botol, terdapat bagian grip yang menjadi area kontak dengan tangan untuk membuka tutup botol. B. (*Joint Sections* atau *Tamper Evident Seal*) merupakan fitur pengamanan pada segel tutup botol, dimana pada saat tutup botol dibuka untuk pertama kalinya bagian ini akan putus dan memberikan tanda bahwa kemasan masih tersegel sebelumnya dan belum pernah dibuka. C. (*O – Ring*) merupakan bagian sisi bawah dari tutup botol, dimana berfungsi untuk menahan segel tutup botol untuk berputar, bagian ini terhubung dan mengunci dengan *bottle neck* atau leher botol. D. Lapisan di dalam tutup botol disebut *liner*. Tujuannya adalah melindungi barang di dalam botol dari dampak luar seperti kelembaban, udara, atau bahan pencemar. *Liner* ini dibuat untuk menghindari atau mengurangi masuknya bahan yang tidak diinginkan ke dalam botol atau kemasan, yang bisa memengaruhi kualitas atau keamanan produk yang ada di dalamnya. E. (*Thread*) atau ulir merupakan fungsi mekanisme pembuka dan juga penghubung antara tutup botol dan botol air [1]. Pengamatan patahan dilakukan untuk mengamati jenis patahan yang terjadi pada segel tutup botol sehingga dapat ditentukan apakah material mengalami patahan getas, atau ulet. Fraktur sederhana terjadi ketika tubuh dibagi menjadi dua atau lebih bagian sebagai tanggapan terhadap tekanan yang diterapkan secara statis (yaitu, tekanan yang tetap atau berubah perlahan seiring waktu) dan pada suhu yang cukup rendah dibandingkan dengan suhu leleh material. Jenis tegangan yang diterapkan melibatkan tarik, tekan, geser, atau puntir; fokus pembahasan saat ini terbatas pada fraktur yang muncul akibat beban tarik satu arah. Dalam konteks bahan rekayasa, terdapat dua mode fraktur yang mungkin terjadi, yaitu fraktur ulet dan fraktur getas. Klasifikasi ini bergantung pada kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis. Bahan yang bersifat ulet cenderung mengalami deformasi plastis yang signifikan dengan penyerapan energi yang tinggi sebelum mengalami fraktur. Sementara itu, pada fraktur getas, deformasi plastis biasanya sedikit atau bahkan tidak terjadi sama sekali, dengan penyerapan energi yang rendah terkait dengan fraktur tersebut. Patah ulet ditandai oleh perubahan bentuk plastis yang meluas di sekitar retakan. Selain itu, proses ini berlangsung dengan kecepatan yang relatif lambat seiring dengan bertambahnya panjang retakan. Untuk patah getas, retakan dapat merambat dengan cepat tanpa banyak perubahan bentuk plastis [4]. Simulasi numerik dikerjakan menggunakan software Ansys dan untuk permodelan menggunakan software Solidworks. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga karena membagi masalah menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk merepresentasikan masalah sebenarnya. Meskipun jumlah elemen yang digunakan bersifat terbatas (*finite*), metode ini dapat memberikan solusi yang mendekati kondisi kontinum yang sebenarnya [5]. Material yang di gunakan pada proses simulasi adalah HDPE (*High Density Polyethylene*), yang dimana merupakan material umum yang digunakan untuk botol plastic. Plastik HDPE adalah salah satu jenis bahan plastik yang aman digunakan karena dapat mencegah terjadinya reaksi kimia antara plastik HDPE dan makanan/minuman yang dikemas. HDPE memiliki sifat-sifat yang lebih kokoh, keras, tidak transparan, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan dengan plastik PET [6].

## 3. Simulasi Non – Linear Statis

Metode Elemen Hingga merupakan salah satu metode numerik yang menggunakan operasi matriks untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Berbeda dengan metode analitik, metode ini tidak memerlukan persamaan matematik yang menggambarkan perilaku fisik secara menyeluruh. Ketika perilaku fisik menjadi semakin kompleks, seperti akibat bentuk geometri yang rumit, banyaknya interaksi beban, kendala, sifat material yang kompleks, dan lain-lain, sulit atau bahkan tidak mungkin untuk membuat model matematik yang mencakup semua aspek tersebut.

Sebagai alternatif, metode ini memecah masalah menjadi bagian-bagian kecil yang lebih sederhana. Pada setiap bagian kecil ini, kita dapat membangun model matematik yang lebih sederhana. Interaksi antara bagian-bagian kecil ini kemudian ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang ingin dipecahkan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga karena membagi masalah menjadi sejumlah elemen tertentu (finite) untuk merepresentasikan masalah sebenarnya. Meskipun jumlah elemen yang digunakan bersifat terbatas (finite), metode ini dapat memberikan solusi yang mendekati kondisi kontinum yang sebenarnya [5]. Simulasi non-linear statis dilakukan untuk mengetahui apakah optimasi desain yang diuji mengalami kegagalan material dengan nominal torsi yang ditentukan. Tujuan dari simulasi ini adalah menentukan apakah optimasi desain yang digunakan dapat mengalami kegagalan pada *joint sections* dengan melihat nilai von Mises nya, atau dengan kata lain segel desain tutup botol dapat dibuka dengan gaya torsi yang lebih kecil dari validasi sampel yang digunakan. von Mises *stress* merupakan indikator yang mengukur kegagalan material dengan menganalisis resultan 3 Tegangan utama atau biasa disebut *Principal Stress*, kegagalan diprediksi jika nilai tegangan von Mises lebih besar dari tegangan luluh material [10]. Simulasi numerik dikerjakan menggunakan software Ansys dan untuk permodelan menggunakan software Solidworks. Proses simulasi numerik terdiri dari beberapa langkah, yaitu langkah persiapan awal, langkah pemrosesan, dan langkah penyelidikan setelah proses. Langkah persiapan awal mencakup pembentukan model geometri sesuai dengan variasi yang ditentukan dalam tugas akhir ini, proses pembentukan mesh yang sesuai dengan hasil uji grid independent, serta penetapan kondisi batas, dukungan tetap, dan karakteristik bahan berdasarkan referensi literatur. Langkah pemrosesan melibatkan komputer dalam menyelesaikan persamaan yang dihasilkan. Langkah penyelidikan setelah proses menampilkan representasi visual seperti kontur dan grafik hasil simulasi, termasuk von Mises. Ketika membuka penutup botol minuman plastik umum, momen T yang diterapkan pada penutup secara perlahan ditingkatkan hingga konektor plastik antara penutup dan botol mengalami kegagalan. Jika ada n konektor, masing-masing dengan luas A, terdistribusi merata sepanjang lingkaran penutup yang memiliki radius r, dan tegangan geser kegagalan konektor plastik adalah  $\tau$  [9].

$$T=nA\tau$$

Keterangan :

T = Torsi

n = Jumlah konektor

A = Luas penampang konektor

$\tau$  = Gaya Geser

r = jari-jari tutup botol

Gaya Tarik

$$F=A \times \sigma Y$$

Keterangan :

F = Gaya Tarik

A = Luas Penampang

$\sigma Y$  = Yield Strength

Gaya Geser

$$F=A \times \tau$$

Keterangan :

F = Gaya Geser

A = Luas Penampang

$\tau$  = Shear Strength

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pemahaman mengenai rancang bangun *bottle cap* jenis *screw cap* dan memungkinkan pembuatan beberapa kesimpulan. Patahan pada bagian *joint sections* pada tutup botol jenis *screw cap* pada umumnya mengalami patahan ulet. Rata – rata torsi yang dibutuhkan untuk membuka botol air mineral yang berada di pasaran masih relatif tinggi, oleh karena itu optimasi desain dapat memberikan kemudahan untuk membuka tutup botol dengan nilai torsi yang lebih kecil. Geometri *shear shape joint sections* adalah bentuk yang lebih baik daripada *rectangular shape joint sections* dikarenakan bentuk *shear shape joint sections* cenderung lebih mudah untuk patah.

---

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lovett, J., (2013). Engineering Design of a Disposable Water Bottle for an Australian Market. Faculty of Health, Engineering & Science University of Southern Queensland, Queensland.
- [2] Wardani, L.K., (2003). Evaluasi Ergonomi dalam Perancangan Desain. *Dimensi Interior* 1(1), hal. 61-73.
- [3] Dege, N., (2011). *Technology of Bottled Water*, 3rd ed. John Wiley & Sons.
- [4] Callister, W.D., (2000). *Fundamentals of materials science and engineering*. London: Wiley
- [5] Al Ghifari, R.M., Lazuardi, D.D., & Somantri, D.H. (2017). *Optimasi Ketebalan Serat Komposit pada Tabung COPV*. Doctoral dissertation, Fakultas Teknik Universitas Pasundan, Bandung.
- [6] Rahmawati, A., (2021). *Model Alat Pirolisis Pengolahan Sampah Plastik dengan Dua Tabung Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Doctoral dissertation Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, Yogyakarta.  
<http://eprints.poltekkesjogja.ac.id/id/eprint/7051>
- [7] Wignjosuebrotto, S., (1995). *Ergonomi. Studi gerak dan waktu. Teknik Analisis untuk peningkatan produktivitas kerja, 1st ed.* Jakarta: PT. Guna Widya.
- [8] Hibbeler, R.C., (2003). *Mechanics of materials, 5th ed.* New Jersey: Pearson Education.
- [9] Ji, T., Bell, A.J., Ellis, B.R., (2015). *Understanding and using structural concepts*. CRC Press.
- [10] Nishida, S.I., (2014). *Failure analysis in engineering applications*. Elsevier