

Analisis Pengaruh Variasi *Pressure* terhadap Kualitas Botol Infus pada Mesin *Blow Molding*

Dio Andirio Mahendra^{1,*}, Arif Kurniawan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

Blow molding
PET
Tekanan
Kualitas botol infus
Ketebalan dinding.

ABSTRAK

Proses *blow molding* adalah metode pembentukan plastik yang umum digunakan dalam industri kemasan, termasuk pembuatan botol infus. Material yang sering digunakan adalah *Polyethylene Terephthalate (PET)* karena kejernihan, kekuatan mekanik, serta ketahanannya terhadap kelembapan dan tekanan. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi tekanan udara dalam proses *blow molding* terhadap kualitas botol infus, khususnya ketebalan dinding dan kestabilan bentuk. Tekanan divariasikan, sementara parameter lain dijaga tetap. Pengujian dilakukan pada beberapa titik botol untuk mengevaluasi distribusi ketebalan dan orientasi molekul *PET* yang memengaruhi sifat mekanik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan hingga titik optimal menghasilkan ketebalan dinding yang lebih merata dan kekuatan struktural yang lebih baik. Namun, tekanan berlebih dapat menyebabkan deformasi akibat regangan yang terlalu tinggi. Oleh karena itu, tekanan merupakan parameter krusial yang perlu dioptimalkan agar botol infus memenuhi standar kekuatan dan kestabilan.

* Corresponding author:

Dio Andirio Mahendra (email: dioandirio@gmail.com)

Diterima: 15 Agustus 2025

Disetujui: 24 Maret 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Botol infus merupakan kemasan medis steril yang sangat penting dalam proses penyembuhan pasien, karena digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan cairan intravena. Sebagai kemasan primer, botol ini harus memenuhi standar kualitas tinggi, termasuk dimensi yang presisi, kekuatan mekanis, dan ketebalan dinding yang sesuai. Kegagalan dalam aspek-aspek tersebut dapat menyebabkan kebocoran, kontaminasi, bahkan membahayakan keselamatan pasien [1].

Proses produksi botol infus umumnya menggunakan teknologi *stretch blow molding*, yang terdiri dari dua tahap utama: pemanasan dan pembentukan. *Preform PET* dipanaskan hingga mencapai suhu lunak (sekitar 85–110°C), kemudian ditiup dengan tekanan udara tinggi agar membentuk botol sesuai cetakan [2]. Tahapan ini sangat bergantung pada parameter proses yang tepat agar botol terbentuk sempurna.

Tekanan udara merupakan salah satu parameter kunci dalam tahap pembentukan. Jika tekanan terlalu rendah atau terlalu tinggi, dapat menyebabkan dimensi botol tidak sesuai, distribusi ketebalan dinding tidak merata, atau munculnya cacat seperti retakan dan deformasi. Kualitas *preform* dan suhu pemanasan juga sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pembentukan.

Pemanasan *preform* yang tidak merata dapat menyebabkan material menyebar tidak homogen saat ditiup, menghasilkan dinding botol yang tidak seimbang dan kekuatan mekanis yang rendah. Suhu terlalu tinggi dapat merusak struktur molekul *PET*, sementara suhu terlalu rendah membuat material sulit membentuk cetakan. Oleh karena itu, suhu dan tekanan harus diatur secara sinergis untuk memastikan kualitas hasil akhir [3].

Dalam praktiknya, banyak kendala produksi disebabkan oleh ketidakseimbangan antara suhu dan tekanan, yang dapat menyebabkan tingkat kegagalan produk mencapai 10–15%. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan udara terhadap kualitas botol infus. Hasilnya diharapkan dapat

menjadi pedoman teknis dalam pengaturan parameter mesin *blowing* agar diperoleh botol berkualitas tinggi secara konsisten [4].

2 Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan di industri, yaitu ketidaksesuaian ketebalan botol infus hasil proses *blow molding*. Tujuan utama penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi tekanan udara terhadap kualitas botol infus, khususnya dimensi dan ketebalan dinding.



Gambar 1 Mesin *Blow Molding*.

Studi literatur dilakukan untuk memperkuat landasan teori terkait proses *blow molding*, sifat material *PET*, serta studi terdahulu. Eksperimen dirancang dengan variabel bebas berupa tekanan udara (2 bar, 2,8 bar, dan 3,5 bar), variabel terikat berupa dimensi dan ketebalan botol, serta variabel kontrol seperti suhu pemanasan, material, dan ukuran *preform*.

Proses *blow molding* dilakukan menggunakan mesin *blowing* berkapasitas 100 botol/siklus dan tekanan maksimal 12 bar. Pengukuran kualitas dilakukan pada sampel hasil tiap variasi tekanan, menggunakan *thickness gauge* untuk ketebalan dinding dan *vernier caliper* untuk tinggi dan diameter botol.

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk melihat hubungan antara tekanan udara dan kualitas produk. Hasil analisis digunakan untuk menentukan tekanan optimal yang menghasilkan botol infus sesuai standar medis.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Jenis	Spesifikasi/Deskripsi
1	Mesin <i>Blowing</i>	Kapasitas: 100 botol/siklus; Tekanan maksimum: 12 bar
2	<i>Thickness Gauge</i>	Presisi 0,01 mm; Digunakan untuk mengukur ketebalan dinding botol
3	<i>Vernier caliper</i>	Presisi 0,02 mm; Untuk mengukur tinggi dan diameter botol
4	<i>Preform</i> Botol	Material <i>PET</i> ; Berat: 25 gram; Standar botol infus 500 ml
5	Kompresor udara	Regulator tekanan; Rentang tekanan: 0–12 bar

Alat dan bahan utama meliputi: mesin *blowing*, *thickness gauge* (presisi 0,01 mm), *vernier caliper* (presisi 0,02 mm), *preform PET* seberat 25 gram, dan kompresor udara bertekanan hingga 12 bar.

3 Hasil dan Pembahasan

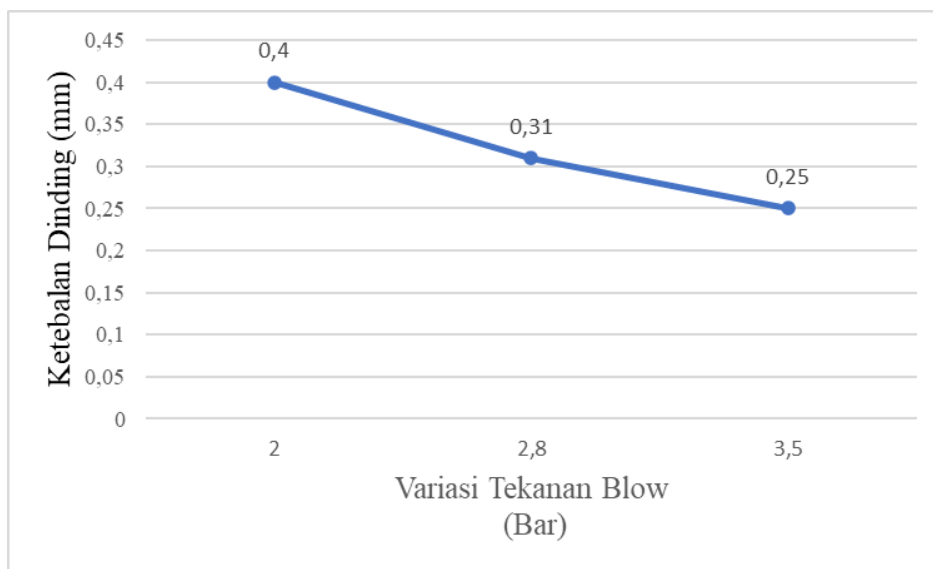
3.1 Data Hasil Pengujian Tekanan Udara Pada Mesin *Blow Molding*

Penelitian ini dilakukan dengan variasi tekanan pada proses *blow molding*, yaitu 2 bar, 2,8 bar, dan 3,5 bar. Untuk setiap variasi tekanan, dilakukan pengujian terhadap kualitas botol infus dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 2. Data Nilai Hasil Pengujian

Tekanan (bar)	Ketebalan (mm)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Cacat Visual
2	0.40	190	70	Deformasi
2,8	0.31	190	70	Tidak Ada
3,5	0.25	190	70	Dinding botol terlalu tipis

Dari hasil pengukuran, terlihat bahwa semakin tinggi tekanan, semakin tipis dinding botol yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh distribusi material yang lebih merata akibat tekanan udara yang lebih besar saat proses *blow molding*. Namun, ketebalan yang terlalu tipis dapat menyebabkan cacat seperti *blow holes* (lubang mikro), dan deformasi bentuk. Sebaliknya, jika tekanan terlalu rendah, plastik mengembang lebih lambat sehingga dinding cenderung lebih tebal atau tidak seragam. Sedangkan tekanan yang terlalu rendah juga dapat menyebabkan risiko cacat seperti *wall thickness variation* (ketebalan dinding yang tidak merata), *sink marks* (cekungan pada permukaan botol), dan *bubbles* (gelembung udara didalam botol). Oleh karena itu, tekanan optimal sangat diperlukan untuk memastikan ketebalan dinding yang seragam sesuai standar, sehingga botol infus memiliki keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas.



Gambar 2 Grafik Tekanan dan Ketebalan Dinding

Grafik hubungan antara tekanan udara dengan ketebalan dinding botol infus menunjukkan tren yang jelas, yaitu semakin tinggi tekanan yang diberikan dalam proses *blow molding*, maka semakin tipis ketebalan dinding botol yang dihasilkan. Pada tekanan 2 bar, ketebalan dinding mencapai 0,40 mm. Namun, ketika tekanan dinaikkan menjadi 2,8 bar, ketebalan menurun menjadi 0,31 mm. Penurunan ini berlanjut pada tekanan 3,5 bar, di mana ketebalan dinding hanya mencapai 0,25 mm. Penurunan ini terjadi akibat material PET mengalami peregangan lebih besar saat terkena tekanan udara tinggi, sehingga menyebar lebih luas mengikuti bentuk cetakan namun dengan ketebalan yang lebih tipis.

Fenomena ini konsisten dengan prinsip kerja blow molding, di mana tekanan udara digunakan untuk mendorong preform melekat pada dinding cetakan. Semakin tinggi tekanan, maka gaya dorong terhadap preform semakin besar, menyebabkan material menjangkau seluruh permukaan cetakan dengan distribusi yang lebih tipis. Walaupun tekanan tinggi membantu dalam pencetakan bentuk yang lebih sempurna, namun jika tidak dikontrol dengan baik, hal ini juga dapat menyebabkan distribusi material yang tidak merata atau bahkan kegagalan struktural akibat dinding yang terlalu tipis. Oleh karena itu, penting untuk menentukan nilai tekanan yang optimal dalam proses blow molding guna mendapatkan produk dengan kualitas ketebalan dinding yang sesuai standar dan aman digunakan.

3.2 Perhitungan Gaya Tekan

$$L = K \odot = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (1)$$

$$= 2,3,14 \times 0,035$$

$$= 0,2198 \text{ m}$$

$$t = 190 \text{ mm} = 0,19 \text{ m}$$

$$A = L \cdot t = 0,2198 \cdot 0,19 \text{ m}$$

$$= 0,041762 \text{ m}$$

$$\text{Rumus Tekanan} = P = \frac{F}{A}$$

$$\text{Variasi bar 2} = P = \frac{0,2 \text{ MPa}}{0,041762 \text{ m}}$$

$$= 4,78 \text{ MPa}$$

$$\text{Variasi bar 2,8} = P = \frac{0,28 \text{ MPa}}{0,041762 \text{ m}}$$

$$= 6,7 \text{ MPa}$$

$$\text{Variasi bar 3,5} = P = \frac{0,28 \text{ MPa}}{0,041762 \text{ m}}$$

$$= 8,38 \text{ MPa}$$

Keterangan :

L = Keliling Lingkaran

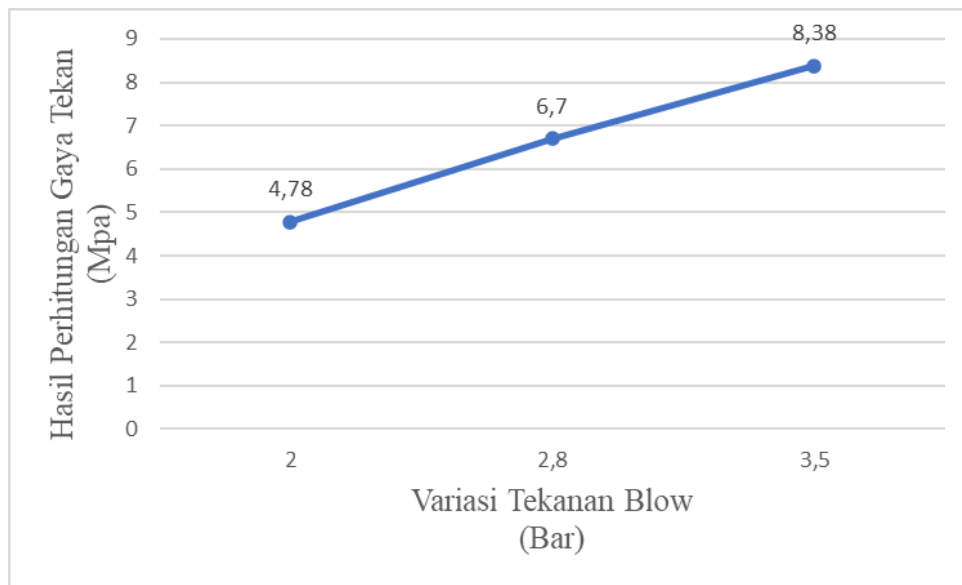
t = Tinggi

P = Tekanan

A = Luas permukaan gaya bekerja

F = Gaya yang bekerja tegak lurus pada permukaan

Pada analisis matematis tersebut menunjukkan bahwa meskipun tekanan yang digunakan dalam proses *blow molding* mampu menyebabkan deformasi plastis untuk membentuk botol, gaya tekan yang dihasilkan masih jauh lebih rendah dibandingkan batas kekuatan tarik material *PET*. Hal ini memastikan bahwa tekanan tersebut aman digunakan dan tidak berisiko menyebabkan kerusakan struktural pada produk, asalkan dilakukan dalam kisaran tekanan yang telah ditentukan.



Gambar 3 Grafik Perhitungan Tekanan

Berdasarkan grafik hubungan antara tekanan udara dengan ketebalan dinding botol infus, diketahui bahwa gaya tekan yang dihasilkan dari variasi tekanan udara dalam proses *blow molding* masih berada di bawah batas kekuatan tarik maksimum material *PET*, yaitu sebesar 55–75 MPa. Artinya, tekanan yang diberikan selama proses pembentukan tidak melebihi batas kemampuan material, sehingga material *PET* tidak mengalami kerusakan struktural atau deformasi permanen akibat gaya yang bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tekanan yang digunakan dalam penelitian ini masih dalam batas aman secara mekanis terhadap sifat material *PET*. Kondisi ini menjadi penting karena apabila tekanan yang digunakan melebihi batas kekuatan tarik material, maka akan berisiko menyebabkan retak, penipisan ekstrem, atau bahkan pecahnya material saat proses *blow molding* berlangsung. Dengan kata lain, gaya tekan yang berada di bawah kekuatan tarik maksimum menjamin bahwa struktur molekul *PET* tetap stabil, dan produk yang dihasilkan masih dalam kondisi layak secara mekanis. Oleh karena itu, selain mempengaruhi ketebalan dinding, parameter tekanan juga harus diperhatikan dari sisi kekuatan material untuk memastikan bahwa proses produksi aman dan tidak menyebabkan kegagalan pada produk akhir.

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil eksperimen, tekanan optimal untuk produksi botol infus dengan kualitas terbaik adalah 2,8 bar, karena memberikan keseimbangan antara ketebalan dinding, dimensi botol, serta minimnya cacat visual. Tekanan yang lebih tinggi (bar) cenderung membuat dinding botol lebih tipis, sehingga sedikit menurunkan ketahanan terhadap tekanan mekanik.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh variasi tekanan terhadap kualitas botol infus pada proses *blow molding*, dapat disimpulkan bahwa tekanan udara memiliki pengaruh signifikan terhadap ketebalan dinding botol. Semakin tinggi tekanan yang diberikan, maka ketebalan dinding botol cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh proses peregangan material *PET* yang semakin besar ketika tekanan meningkat, sehingga material menyebar lebih luas ke permukaan cetakan dan menghasilkan ketebalan yang lebih tipis. Pada tekanan 2 bar, ketebalan mencapai 0,40 mm, sedangkan pada tekanan 3,5 bar, ketebalan menurun menjadi 0,25 mm. Tekanan optimal dalam penelitian ini diperoleh pada kisaran 2,8 bar, di mana ketebalan dinding berada pada nilai yang cukup seimbang antara kekuatan struktural dan kualitas bentuk produk. Tekanan ini menghasilkan botol dengan distribusi material yang cukup merata tanpa menimbulkan deformasi atau cacat produksi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengaturan tekanan dalam proses *blow molding* merupakan faktor kritis yang harus diperhatikan untuk menghasilkan botol infus yang memenuhi standar kekuatan, keamanan, dan kualitas produk medis.

5 Referensi

- [1] Liangxian, L. I. U., Zhihua, F. E. N. G., Chunxue, H. U., & Jinan, G. E. (2020). Optimization Design of PET Bottle Stretch Blow molding Based on Orthogonal Test. *China Plastics*, 34(6), 73J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] Wawrzyniak, P., Karaszewski, W., & Róžański, A. (2024). Effect of rPET Content and Preform Heating/Cooling Conditions in the Stretch Blow Molding Process on Microcavitation and Solid-State Post-Condensation of vPET-rPET Blend: Part I—Research Methodology and Results. *Materials*, 17(21), 5233.
- [3] Benedetti, M., Bonfà, F., Introna, V., Santolamazza, A., & Ubertini, S. (2019). Real time energy performance control for industrial compressed air systems: Methodology and applications. *Energies*, 12(20), 3935.
- [4] Kowalczyk, W., Dańko, R., Górny, M., Kawalec, M., & Burbelko, A. (2022). Influence of high-pressure die casting parameters on the cooling rate and the structure of EN-AC 46000 alloy. *Materials*, 15(16), 5702.
- [5] Chen, J. Y., Hung, P. H., & Huang, M. S. (2021). Determination of process parameters based on cavity pressure characteristics to enhance quality uniformity in injection molding. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 180, 121788.
- [6] Kim, E., Kim, K., Lee, H., Kim, I., Song, O., Kim, E., ... & Song, O. (2019). Effects of molding pressure and sintering temperature on properties of foamed glass without blowing agent. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 56(2), 178-183.
- [7] Prytulska, N., Antiushko, D., Osyka, V., Sienohonova, L., Volodavchyk, V., & Sienohonova, H. (2023). APPLICATION OF GOOD MANUFACTURING PRACTICES IN THE PRODUCTION OF FOOD PRODUCTS FOR SPECIAL MEDICAL PURPOSES. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 123(13).