

Perhitungan Panas pada Pemanasan Preform PET di Unit Heater *Blow molding* PT. Sinar Sosro

Heat Calculation for PET Preform Heating in the Blow molding Heater Unit of PT. Sinar Sosro

Koko Pratama Saragih^{1*}, Ratna Kristina Tarigan¹, Jaihy Sabana Putri¹

¹ Prodi Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

*Corresponding author: kokoprataasaragih@gmail.com

Diterima: 02-11-2024

Disetujui: 30-11-2024

Dipublikasikan: 31-12-2024

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Blow molding merupakan proses pencetakan botol yang bertujuan membentuk preform PET menjadi botol PET. Proses ini sangat dipengaruhi oleh panas yang berfungsi melunakkan preform PET agar mudah dibentuk pada tahap berikutnya. Oleh karena itu, pengendalian suhu menjadi faktor penting dalam proses ini. Metode neraca energi digunakan untuk menghitung kebutuhan panas pada proses pemanasan preform di unit heater. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan panas pada proses pemanasan preform di unit heater adalah 6.441.218,72 kal/jam, 6.531.114,65 kal/jam, dan 6.486.129,51 kal/jam. Efisiensi perpindahan panas pada heater preform masing-masing sebesar 90,74%, 92,00%, dan 91,37%.

Kata Kunci: Panas, *Preform PET*, Mesin *Blow molding*, Efisiensi panas.

Abstract

Blow molding is a bottle molding process aimed at forming PET preforms into PET bottles. This process is highly influenced by heat, which functions to soften the PET preform to facilitate its formation in the subsequent stages. Therefore, temperature control is a critical factor in this process. The energy balance method was used to calculate the heat required during the preform heating process in the heater unit. The results showed that the heat required during the preform heating process in the heater unit was 6,441,218.72 cal/hour, 6,531,114.65 cal/hour, and 6,486,129.51 cal/hour. The heat transfer efficiency of the heater for the preform was 90.74%, 92.00%, and 91.37%, respectively.

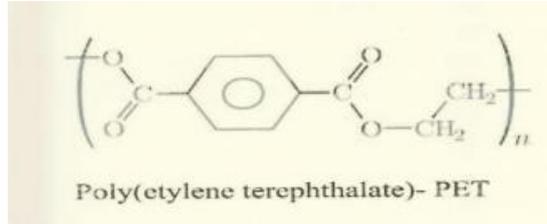
Keywords: Heat, *PET preform*, *Blow molding machine*, Heat efficiency.

1. Pendahuluan

Panas merupakan bentuk energi yang dipindahkan melalui batas sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke sistem lain atau lingkungan dengan temperatur lebih rendah akibat perbedaan temperatur. Dalam konteks industri manufaktur, pemahaman mengenai perpindahan panas sangat penting untuk mengoptimalkan proses produksi, termasuk dalam pembentukan botol plastik berbahan dasar polyethylene terephthalate (PET).

PET yang juga dikenal sebagai polyester, adalah material termoplastik yang bersifat crystallizable. Material ini memiliki kemampuan untuk mengalami pengkristalan di bawah kondisi

normal. Sifat termoplastik PET memungkinkan material ini melunak ketika dipanaskan dan mengeras kembali saat didinginkan. PET memiliki titik cair atau lebur yang sangat tinggi, Karakteristiknya adalah jernih transparan tembus pandang seperti botol air mineral, botol jus dan hampir semua botol minuman lainnya. PET merupakan salah satu jenis plastik sintetik yang bersifat non-bio degradable atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga menyebabkan masalah lingkungan.



Gambar 1. Struktur kimia dari PET (Panjaitan, 2013)

Plastik PET memiliki titik leleh pada suhu 250°C – 260°C dan terdekomposisi pada suhu 480°C. Plastik PET dapat terdekomposisi menjadi fase gas, cair, dan padat. Densitas PET yaitu 0,9 g/cm³ Pada pirolisis suhu 600°C dengan bahan PET didominasi gas dengan kandungan CO₂, *benzene*, *vinyl benzoate*, *benzoic acid* dan *divinyl terephthalate*. Dengan sifat tersebut, PET banyak digunakan dalam pembuatan botol plastik melalui proses *blow molding*.

Blow molding adalah proses manufaktur yang digunakan untuk membentuk benda berongga dengan cara mengembungkan preform atau parison termoplastik panas di dalam cetakan tertutup. Proses ini menggunakan udara bertekanan untuk membentuk preform menjadi botol sesuai dengan bentuk cetakan. *Blow molding* adalah proses untuk memproduksi benda-benda berongga, terutama dari bahan *thermoplastic*. Botol dan kemasan adalah aplikasi utama dari bagian *blow mold*. Sebagai segmen industri, sekitar 80% dari *polyethylene* (PE) dan bagian utama dari bahan PET digunakan untuk botol dan kemasan oleh industri *blow molding*. Berbagai aplikasi bahan diantaranya *polypropylene*, *polyvinyl chloride*, *polycarbonate*, dan *fluoropolymer*. *Injection blow molding* digunakan untuk menghasilkan cetakan yang disebut *perform* yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan botol plastik.

Seiring perkembangan teknologi, proses *blow molding* ikut berkembang menyesuaikan aplikasi penggunaannya yang semakin luas, berdasarkan aplikasi dan prosesnya sendiri *blow molding* terdiri dari beberapa macam proses, yaitu:

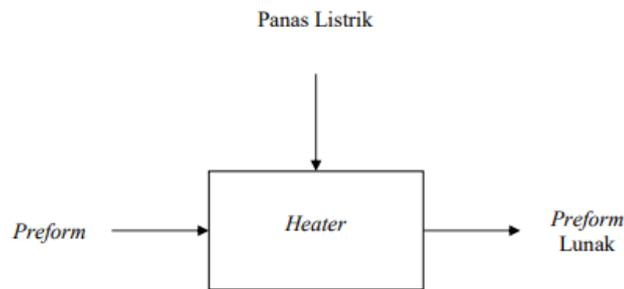
1. *Injection blow molding*
2. *Extrusion Blow molding*
3. *Stretch blow molding*

Blow molding mencakup tiga proses *thermoplastic* utama, yaitu *extrusion blow molding*, *stretch blow molding*, dan *injection blow molding*. *Blow molding* adalah proses pembuatan atau pembentukan produk berongga dengan cara mengembungkan atau meniup tabung *thermoplastic* cair yang biasa disebut "*parison*" atau "*preform*" yang terbuat dari bahan PET (Bryce, 1997).

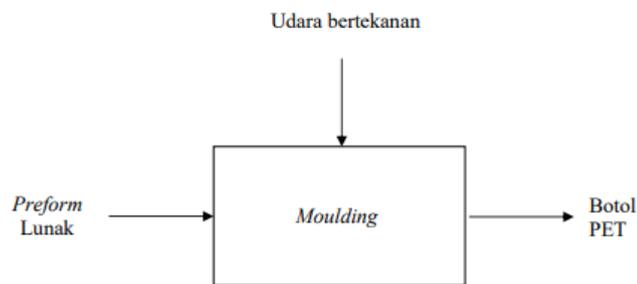
Pada proses pembentukan botol PET, *preform* PET dipanaskan di heater yang bertujuan untuk melunakkan *preform* PET. Setelah proses pelunakkan di *heater*, *preform* PET diarahkan menuju *molding* untuk dibentuk menjadi botol PET dengan bantuan udara bertekanan yang di *supply* oleh kompresor.

Blow molding machine adalah sebuah mesin yang memiliki prinsip kerja mencetak *bottle preform* dengan cara ditiup. *Bottle preform* yang telah dipanaskan kemudian dimasukkan ke

dalam sebuah cetakan (*mold cavity*) lalu diinjeksi dengan tekanan udara tertentu sehingga *bottle preform* dapat mengembang dan membentuk sebuah profil atau produk yang diinginkan. Tekanan yang digunakan pada mesin *blow molding* berasal dari kompresor. Dimana kompresor mengalirkan udara bertekanan pada mesin, sesuai dengan besar tekanan yang dibutuhkan untuk mengembangkan *preform* menjadi botol PET. Udara ditiup masuk melalui lubang penampang pipa, karena desakan udara maka *preform* tadi akan menyesuaikan dengan bentuk cetakan dan dibiarkan sampai menjadi padat. Kapasitas merupakan jumlah atau daya tampung yang dimiliki oleh mesin. Pada mesin *blow molding* di PT. Sinar Sosro Deli Serdang memiliki daya tampung sebesar 10.000 bph. Dimana terdapat 10 *Cavity*, sehingga memperbesar kapasitas pada mesin.



Gambar 2. Proses pemanasan di *Heater*



Gambar 3. Proses Pembentukan Botol PET

Preform adalah bahan setengah jadi dari produk galon yang berbentuk seperti tabung reaksi kimia, dimana *preform* terbuat dari bahan material PET dengan Proses pembuatannya adalah menggunakan mesin *injection molding* (Bryce, 1997).



Gambar 4. Preform (Daryono, 2015)

Preform adalah bahan yang digunakan untuk pembuatan botol plastik yang telah berbentuk setengah jadi. *Preform* mempunyai bentuk yang hampir sama dengan tabung reaksi kimia dimana memiliki ukuran yang beragam sesuai dengan volume botol yang akan diproduksi atau botol setengah jadi yang nantinya akan dipanaskan lalu ditiup dengan tekanan dari kompresor high *pressure* dan low *pressure*. Pada tahap awal, preform PET yang merupakan bahan setengah jadi diarahkan dari hopper menuju unit pemanas (*heater*). Proses pemanasan bertujuan untuk melunakkan preform PET agar dapat dibentuk dengan sempurna di dalam cetakan menggunakan tekanan udara sebesar 34,5 bar yang disuplai oleh kompresor.

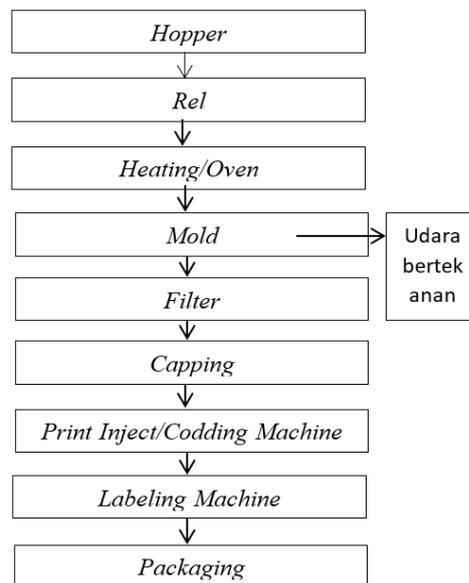
Di PT. Sinar Sosro Deli Serdang, proses *blow molding* digunakan untuk memproduksi botol PET sebagai kemasan produk minuman. Salah satu tantangan utama dalam proses ini adalah pengendalian suhu pada unit pemanas. Suhu pemanasan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan preform PET rusak atau meleleh, sedangkan suhu yang terlalu rendah membuat preform sulit dibentuk menjadi botol. Setpoint suhu optimal untuk melunakkan preform PET adalah 102°C.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan panas yang diperlukan pada proses pemanasan preform PET di unit heater mesin *blow molding*. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi efisiensi perpindahan panas dalam proses tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi proses produksi dan kualitas botol PET yang dihasilkan.

2. Metode

Tempat penelitian dilakukan di PT. Sinar Sosro Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, provinsi Sumatera Utara. Penelitian di PT. Sinar Sosro Deli Serdang dimulai pada tanggal 27 Juni 2022 dan penelitian berakhir pada 15 Juli 2022.

Adapun alat yang digunakan meliputi *Heater dan Molding*. *Heater* berfungsi sebagai pemanas preform sebelum ditiup di *molding*, dimana suhu yang diatur adalah 102°C. Panas yang dialirkan adalah panas dari listrik dengan menggunakan lampu *infrared* sebagai perantara penghantar panas. *Molding* berfungsi sebagai tempat pembentukan preform menjadi botol berdasarkan kebutuhan pabrik dengan bantuan udara bertekanan yang di supply dari kompresor dengan tekanan 34,5 bar.



Gambar 5. Flow diagram proses Lini 9 pembentukan botol PET di PT. Sinar Sosro Deli Serdang

Adapun bahan yang digunakan meliputi *Preform* merupakan bahan baku dasar pembuatan botol PET. Dimana preform dipanaskan terlebih dahulu di heater lalu ditiup di *molding*, hal ini bertujuan untuk melunakkan preform agar mudah dibentuk.

Metode yang dilakukan penulis selama penelitian di PT. Sinar Sosro Deli Serdang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan pengamatan langsung ke lapangan untuk memperoleh informasi dan data yang diperlukan, berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas yaitu meliputi data temperatur, tekanan dan kapasitas pencetakan pada mesin *blow molding*.

- b. Melakukan diskusi dan pengamatan dengan pembimbing lapangan untuk memperoleh data mengenai mekanisme dan pengoperasian mesin *blow molding*. Prosedur kerja mesin *blow molding* pada pabrik PT. Sinar Sosro Deli Serdang yaitu sebagai berikut:
 1. Bahan yang digunakan adalah *preform* plastik jenis *polyethylene terephthalate* dengan berat 19,70 g
 2. *Setting temperatur* diatur pada 102°C
 3. *Setting blowing pressure* pada tekanan 34,5 bar
 4. *Setting blowing time* dengan waktu selama 2,7 detik
 5. Mesin dijalankan dengan baik dan dipantau selama proses berlangsung
 6. Produk yang dihasilkan di analisa berdasarkan standart kualitas pabrik.
- c. Mempelajari teori ilmiah yang berkaitan dengan *blow molding* dan *polyethylene terephthalate*.
- d. Mencatat data-data yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas, antara lain:
 1. Temperatur heater/oven pada mesin *blow molding* Nilai temperatur yang terdapat pada oven sangat mempengaruhi kualitas dari botol yang dicetak.
 2. Data temperatur *setpoint preform* di *heater*.
 3. Data temperatur *preform* sebelum masuk ke dalam heater dan keluar dari heater.
 4. Data kapasitas *preform* yang dipanaskan.
 5. Melakukan pembahasan terhadap masalah berdasarkan data yang diperoleh.

Untuk menganalisa digunakan persamaan kekekalan energi persamaan (1) dan kalor sensibel (2) serta kalor laten (3). Nilai perubahan energi total sistem sama dengan nilai perbedaan energi antara energi yang masuk dan energi yang keluar sistem selama proses terjadi (Cengel and Bole 2006).

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sistem} \quad (1)$$

Dimana:

E_{in} = Energi masuk ke sistem (J)

E_{out} = Energi keluar dari sistem (J)

ΔE_{sistem} = Perubahan energi sistem (J)

Perubahan nilai sistem bernilai nol ($\Delta E_{sistem} = 0$) apabila keadaan sistem tidak berubah selama proses terjadi atau proses dalam keadaan tunak.

Kalor yang berpengaruh ada dua jenis, yaitu kalor sensibel dan kalor laten. Persamaan kalor sensibel dapat dituliskan (Bergman et al. 2011):

$$Q_{sensibel} = m.c.\Delta T \quad (2)$$

Persamaan kalor later dapat dituliskan:

$$Q_{laten} = m.L \quad (3)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Merujuk pada Tabel 1, pengamatan terhadap proses produksi botol kemasan PET berkapasitas 350 ml dilakukan selama tiga hari. Proses ini memiliki output setpoint sebesar 10.000 botol per jam dengan berat preform 19,70 gram per botol.

Temperatur preform setpoint ditetapkan sebesar 102°C selama tiga hari pengamatan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur preform keluar berkisar antara 104,1°C hingga 104,9°C, yang sedikit lebih tinggi dari setpoint. Hal ini menunjukkan bahwa sistem

pemanas (heater) bekerja cukup stabil dalam menjaga suhu pemanasan, yang penting untuk memastikan pelunakan preform PET secara optimal.

Tabel 1. Data Pengamatan Mesin *Blow molding* Untuk Produksi Botol Kemasan PET 350 ml

Data	Tpreform set point (°C)	Pmolding (Bar)	Tpreform keluar (°C)	Toven (°C)	Tpreform masuk (°C)	Daya listrik Heater (Kwh)
Hari ke-1			104,1	142,3	43,7	
Hari ke-2	102	34,5	104,9	143,2	44,1	29.700
Hari ke-3			104,5	142,7	43,9	

Sumber: PT. Sinar Sosro Deli Serdang

Dimensi botol dan berat hasil produksi sesuai dengan spesifikasi standar, yang menunjukkan bahwa parameter proses, termasuk tekanan udara sebesar 34,5 bar, telah diatur secara optimal. Hal ini penting untuk menjaga kualitas produk akhir dan memenuhi standar industri. Temperatur oven berada pada rentang 142,3°C hingga 143,2°C, yang menunjukkan efisiensi pemanasan pada sistem. Sementara itu, temperatur preform masuk ke oven berkisar antara 43,7°C hingga 44,1°C. Selisih temperatur antara preform masuk dan keluar oven menunjukkan bahwa proses pemanasan berlangsung secara efektif, menghasilkan preform yang cukup lunak untuk proses *blow molding*. Stabilitas suhu preform dan oven menunjukkan bahwa sistem pemanas berfungsi dengan baik untuk memastikan kelunakan preform sebelum proses pembentukan. Temperatur yang terlalu tinggi atau rendah dapat memengaruhi kualitas botol, seperti deformasi atau cacat bentuk.

Konsumsi daya listrik heater sebesar 29.700 kWh mencerminkan kebutuhan energi yang besar untuk menjaga stabilitas temperatur selama proses produksi. Efisiensi energi ini perlu dievaluasi lebih lanjut untuk mengurangi biaya operasional tanpa mengorbankan kualitas.

Tabel 2. Data standar *specification dimensions*

Height (mm)		Diameter (mm)		Weight (gr)	Volume Capacity
Bottle	Neck Bottle	Body	Bottom		
200 ± 1	20,76 – 21,26	56,00 ± 1	56,00 ± 1	19,70 – 20,30	3605

Sumber: PT. Sinar Sosro Deli Serdang

Berdasarkan Tabel 2, hasil produksi botol PET dibandingkan dengan data spesifikasi standar. Tinggi botol (200 ± 1 mm), diameter leher (20,76 – 21,26 mm), diameter badan dan dasar botol (56,00 ± 1 mm), serta kapasitas volume (360 ± 5 ml) menunjukkan konsistensi dengan standar spesifikasi. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa proses *blow molding* berjalan sesuai parameter yang telah ditentukan, terutama terkait kontrol suhu dan tekanan udara. Berat preform sebesar 19,70 gr/botol dan berat botol hasil produksi berada dalam kisaran 19,70 – 20,30 gr, yang sesuai dengan standar spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa material PET digunakan secara efisien tanpa ada pemborosan atau kekurangan material.

Berdasarkan data pada Tabel 3, hasil pengukuran botol PET 350 ml menunjukkan bahwa dimensi, berat, dan volume botol yang dihasilkan cukup konsisten dan berada dalam batas toleransi standar. Tinggi botol berkisar antara 199,50 mm hingga 199,90 mm, sedangkan diameter leher botol (Neck Bottle) stabil pada kisaran 21,00 mm hingga 21,10 mm. Diameter badan botol (Body) menunjukkan sedikit variasi antara 55,60 mm hingga 56,00 mm, dan diameter dasar botol (Bottom) berkisar antara 55,90 mm hingga 56,20 mm. Konsistensi ini mencerminkan bahwa parameter proses, seperti suhu pemanasan, tekanan udara, dan cetakan, telah diatur dengan baik.

Berat botol berkisar antara 19,91 gram hingga 20,00 gram, yang menunjukkan penggunaan bahan baku (preform) yang stabil selama proses produksi. Selain itu, kapasitas volume botol yang dihasilkan berada pada kisaran 360,00 ml hingga 363,00 ml, dengan variasi kecil yang masih dapat diterima sesuai dengan spesifikasi untuk botol PET 350 ml.

Tabel 3. Data pengukuran botol PET 350 ml

Height(mm)		Diameter (mm)		Weight (gr)	Volume Capacity
Bottle	Neck Bottle	Body	Bottom		
199,90	21,00	56,00	56,00	19,91	360,00
199,60	21,00	55,60	55,90	19,94	363,00
199,50	21,10	56,00	56,20	20,00	360,00

Sumber : PT. Sinar Sosro Deli Serdang

Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan kualitas produk yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Variasi kecil pada dimensi dan volume menunjukkan bahwa proses produksi telah berjalan optimal. Namun, untuk lebih meningkatkan konsistensi, langkah-langkah korektif seperti kalibrasi cetakan atau penyesuaian suhu pemanasan dapat dilakukan.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan jumlah panas yang dibutuhkan preform polyethylene terephthalate pada data 1 adalah 6.441.218,72 kal/jam, untuk data 2 adalah 6.531.114,65 kal/jam dan data 3 adalah 6.486.129,51 kal/jam. Sedangkan untuk efisiensi perpindahan panas pada data 1 adalah 90,74 %, untuk data 2 adalah 92,00 % dan untuk data 3 adalah 91,37 %. Perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh proses di unit heater, semakin banyak udara yang masuk ke dalam heater maka akan mempengaruhi suhu di dalam heater sehingga perpindahan panas menjadi kurang efisien. Dari hasil analisa data dapat diketahui semakin tinggi suhu yang digunakan maka semakin besar panas yang dibutuhkan untuk melunakkan preform PET.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis yang dilakukan selama penelitian di PT. Sinar Sosro Deli Serdang, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, kebutuhan panas untuk proses pemanasan preform polyethylene terephthalate (PET) adalah sebesar 6.441.218,72 kal/jam, 6.531.114,65 kal/jam, dan 6.486.129,51 kal/jam pada tiga hari pengamatan. Kebutuhan panas ini menunjukkan pentingnya pengaturan suhu yang tepat untuk memastikan kelancaran proses produksi.
2. Efisiensi perpindahan panas dari heater ke preform PET selama proses pemanasan mencapai 90,74%, 92,00%, dan 91,37%. Nilai efisiensi yang tinggi ini mencerminkan bahwa sistem pemanasan yang digunakan telah berfungsi secara optimal dalam mentransfer energi panas ke material preform.

Daftar Pustaka

- Bergman, Theodore L., Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, and David P. Dewitt. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th ed. New York: John Wiley & Sons.
- Bryce, Douglas M. 1997. *Plastics Injection Molding*. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers.
- Carnaj, Michal. 2015. *Multy Cavity Injection Mold Design*. Master's Thesis, Faculty of Technology.
- Cengel, Yunus A., and Michael A. Bole. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.

- Darmawan, Enggar Wicaksono. 2022. "Pengaruh Temperatur dan Tekanan Terhadap Hasil Cetakan pada Proses Blow Moulding Produk Botol 30 MI dengan Menggunakan Material Polypropylen." UNSADA.
- Dhana. 2010. *Pengukuran dan Analisis Distribusi Temperatur Terhadap Waktu Solidifikasi Pada Ice Can untuk Pengembangan Mini Ice Plant*. Depok: UI.
- Haq, Hirzan Rizky. 2018. "Analisis Proses Blow Molding terhadap Waktu Siklus Produk Botol 100 MI dengan Menggunakan Metode Response Surface."
- Hasibuan, Joel Davidson, and Jufrizal Jufrizal. 2023. "Numerical Modeling of Heat Transfer in Boiler Combustion Chamber Walls Using Software Engineering." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 2 (2): 81–90. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i2.47>.
- Kautsar, Ahmad Al. n.d. "Rancang Bangun Archimedean Screw Mesin Extrusion Blow Molding."
- Mas'ud, Mochamad. 2017. "Optimasi Proses Mesin Stretch Blow Moulding pada Botol 600 MI dengan Metode RSM (Response Surface Methodology): Studi Kasus di PT. Uniplastindo Interbuana." *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* 18 (1).
- Mawardi, Indra. 2019. *Proses Manufaktur Plastik dan Komposit: Edisi Revisi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Siagian, Martua Sangap. 2023. "Rancang Bangun Cetakan Botol Ukuran 30 MI Model Blow pada Mesin Injection Molding."