

ANALISIS TEKANAN PADA CEROBONG ASAP MENGGUNAKAN PRINSIP HUKUM BERNOULLI

Annisa Amalia Putri Utami¹, Beta Puji Tria Agustin², Fania Nur Aulia Hidayah³, Shoffyatul Ula Adabiyah⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

*Corresponding author: annisa.22065@mhs.unesa.ac.id

Abstrak: Artikel dengan judul “Analisis Tekanan Pada Cerobong Asap Menggunakan Prinsip Hukum Bernoulli” ini bertujuan untuk memahami fenomena aliran fluida di dalam cerobong asap sehingga dapat membantu dalam desain, optimalisasi, dan pemeliharaan sistem cerobong asap yang efisien dan aman. Metode yang digunakan dalam artikel ini menggunakan penelitian kualitatif untuk mencari informasi atau data yang diperlukan dalam penelitian. Dalam penelitian ini penulis mendeskripsikan mengenai analisis tekanan pada cerobong asap menggunakan prinsip hukum Bernoulli. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode studi literatur, dimana penulis mencari informasi yang berkaitan dengan masalah yang diangkat. Dalam artikel ini terdapat hasil yang didapatkan yaitu Cerobong asap memiliki peran penting dalam pembuangan gas hasil pembakaran, dan pemahaman yang mendalam tentang dinamika aliran fluida di dalamnya sangat penting. Hukum Bernoulli menjelaskan bahwa peningkatan kecepatan fluida akan menyebabkan penurunan tekanan dalam aliran fluida yang stabil. Tinggi cerobong asap berpengaruh pada kecepatan aliran udara, percepatan asap dan gas buang, serta perubahan tekanan udara di dalamnya. Penerapan hukum Bernoulli pada cerobong asap membantu dalam pemahaman fenomena aliran fluida, desain yang optimal, dan pemeliharaan sistem cerobong asap yang efisien dan aman.

Kata Kunci: Hukum Bernoulli, Cerobong asap, Fluida, Tekanan, Percepatan

Abstract: The article with the title "Analysis of Pressure in Chimneys Using the Principle of Bernoulli's Law" aims to understand the phenomenon of fluid flow in chimneys so that it can help in the design, optimization, and maintenance of efficient and safe chimney systems. The method used in this article uses qualitative research to find information or data needed in the research. In this study the authors describe the analysis of pressure in the chimney using the principle of Bernoulli's law. In this research the author uses the literature study method, where the author seeks information related to the issues raised. In this article there are results obtained, namely Chimneys have an important role in the disposal of combustion gases, and a deep understanding of the dynamics of fluid flow in them is very important. Bernoulli's law explains that an increase in fluid velocity will cause a decrease in pressure in a steady fluid flow. The height of the chimney has an effect on the airflow velocity, the acceleration of smoke and flue gas, and the change of air pressure inside. The application of Bernoulli's law to chimneys helps in the understanding of fluid flow phenomena, optimal design, and efficient and safe maintenance of chimney systems.

Keywords: Bernoulli's Law, Chimney, Fluid, Pressure, Acceleration

PENDAHULUAN

Cerobong asap merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembuangan gas hasil pembakaran dari berbagai industri, pembangkit listrik, dan rumah tangga. Efisiensi dan keamanan operasi cerobong asap sangat bergantung pada pemahamanyang baik mengenai dinamika aliran fluida di dalamnya. Dalam hukum bernoulli terdapat prinsip bernoulli,

merupakan istilah dalam mekanika fluida yang mendeklarasikan bahwa pada aliran fluida, kecepatan fluida yang meningkat akan menyebabkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini adalah bentuk penyederhanaan dari persamaan Bernoulli yang mendeklarasikan jika jumlah energi pada suatu titik dalam aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip Bernoulli di ambil dari nama ilmuwan Belanda bernama Daniel Bernoulli. Analisis tekanan pada cerobong asap menggunakan prinsip hukum Bernoulli menjadi penting untuk memahami fenomena aliran fluida di dalam cerobong, seperti perbedaan tekanan antara bagian masuk dan keluar, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Disinilah peran dari hukum Bernoulli. Hal ini dapat membantu dalam desain, optimalisasi, dan pemeliharaan sistem cerobong asap yang efisien dan aman.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian kali ini menggunakan penelitian kualitatif untuk mencari informasi atau data yang diperlukan dalam penelitian. Dalam penelitian ini penulis mendeskripsikan mengenai analisis tekanan pada cerobong asap menggunakan prinsip hukum Bernoulli. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode studi literatur, dimana penulis mencari informasi yang berkaitan dengan masalah yang diangkat. Alasan peneliti menggunakan metode penelitian kualitatif adalah untuk memahami kaitan antara tekanan dengan hukum Bernoulli. Adapun kelebihan dari penelitian kualitatif dan studi literatur yakni penulis dapat mendeskripsikan keterkaitan dalam bentuk narasi yang mudah dipahami oleh pembaca dan dengan menggunakan studi literatur penulis dapat memperoleh banyak informasi dari berbagai peneliti. Dalam proses perolehan data, penulis melakukan studi literatur dengan tujuan untuk mendapatkan informasi secara faktual dan memberikan pemahaman mengenai permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Dasar Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli merupakan prinsip dasar dalam fluida dinamis yang menyatakan bahwa pada aliran fluida yang stabil, tekanan statis, kecepatan, dan energi potensial gravitasi pada setiap titik dalam aliran tersebut akan saling terkait. Konsep hukum Bernoulli dikenalkan oleh ilmuwan kelahiran Belanda yaitu Daniel Bernoulli. Daniel Bernoulli lahir di Belanda lalu menuntut ilmu di Italia dan menetap di Swiss. Ayah Daniel Bernoulli seorang pengembang ilmu kalkulus dan pamannya pertama kali menemukan teori probabilitas. "Hydrodynamica" adalah karya masyhur dari Daniel Bernoulli yang menjelaskan tentang dinamika fluida, atau tentang bagaimana cairan berperilaku ketika mereka sedang bergerak. Hukum Bernoulli adalah prinsip dasar dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada aliran fluida yang stabil, tekanan fluida akan berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran. Akibatnya, tekanan udara disekitarnya lebih kecil. Udara bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat udara yang bertekanan rendah. Secara matematis, hukum Bernoulli dapat dinyatakan sebagai:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (1)$$

P = Tekanan fluida

ρ = Massa jenis fluida

v = Kecepatan aliran fluida

g = Percepatan gravitasi

h = Tinggi fluida

Hukum ini berlaku untuk aliran fluida ideal (tanpa gesekan) dan aliran tunak (steady flow). Jika tidak kehilangan energi, contohnya gesekan, jumlah $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h$ akan tetap konstan dalam aliran fluida yang stabil. Artinya, jika satu komponen meningkat, misalnya kecepatan, maka komponen yang lain harus berubah, hal ini bertujuan untuk mempertahankan jumlah tersebut untuk tetap konstan.

Penerapan Hukum Bernoulli pada Cerobong Asap

Cerobong asap merupakan struktur tinggi yang berfungsi untuk mengeluarkan asap dan gas buang dari pembakaran bahan bakar dari bangunan atau industri. Desain cerobong asap yang efektif penting untuk memastikan pembuangan asap dan gas buang yang optimal, serta meminimalkan polusi udara. Hukum Bernoulli, sebuah prinsip dasar dinamika fluida, memainkan peran penting dalam memahami dan mengoptimalkan kinerja cerobong asap. Hukum ini menyatakan bahwa dalam aliran fluida yang stabil, peningkatan kecepatan fluida akan menghasilkan penurunan tekanan (Rohamat dkk., 2023).

Penerapan Hukum Bernoulli pada cerobong asap mengambil bagian pada faktor dorongan asap, ketika udara yang terpanaskan dan asap naik melewati cerobong asap, fenomena yang terjadi adalah peningkatan kecepatan aliran mereka. Konsep yang dijelaskan oleh Hukum Bernoulli menegaskan bahwa peningkatan kecepatan ini mengakibatkan penurunan tekanan dalam sistem, dalam konteks ini, dalam cerobong asap. Akibatnya, tekanan yang lebih rendah ini menciptakan gaya dorong yang berperan penting dalam menarik asap dan gas buangan keluar dari cerobong asap secara efisien. Dengan demikian, prinsip Hukum Bernoulli menggambarkan bahwa hubungan antara kecepatan aliran udara dan tekanan dalam cerobong asap menghasilkan sebuah dinamika yang mendukung proses pembuangan yang efektif dari asap dan gas buang (Rasagama dkk., 2016).

Efek ketinggian cerobong asap juga mempengaruhi penerapan hukum Bernoulli pada cerobong asap, Hukum Bernoulli menyatakan bahwa dalam aliran fluida yang stabil, peningkatan kecepatan fluida akan menghasilkan penurunan tekanan. Prinsip ini dapat diterapkan untuk memahami mengapa semakin tinggi cerobong asap, semakin besar gaya dorongnya untuk menarik asap dan gas buang keluar. Saat asap dan gas buang naik melalui cerobong asap, mereka mengalami percepatan karena gaya gravitasi. Semakin tinggi cerobong asap, semakin lama waktu yang dibutuhkan asap untuk mencapai puncaknya. Hal ini berarti asap akan mengalami percepatan yang lebih besar, sehingga kecepatannya meningkat. Menurut Hukum Bernoulli, peningkatan kecepatan asap ini menyebabkan penurunan tekanan di dalam cerobong asap. Penurunan tekanan ini menciptakan gradien tekanan antara bagian bawah dan atas cerobong asap. Gradien tekanan ini menghasilkan gaya dorong yang menarik asap dan gas buang keluar dari cerobong asap. Semakin tinggi cerobong asap, semakin besar perbedaan tekanan antara bagian bawah dan atasnya. Hal ini berarti gaya dorongnya pun semakin besar (Karomah dkk., 2019).

Cerobong asap ideal memiliki bentuk yang ramping dan lurus untuk meminimalkan hambatan udara. Hambatan udara dapat memperlambat aliran udara, sehingga mengurangi kecepatannya dan meningkatkan tekanan di dalam cerobong asap, karena desain cerobong asap yang melengkung atau memiliki sudut tajam dapat menciptakan turbulensi, yang juga dapat memperlambat aliran udara dan meningkatkan tekanan. Hal ini dapat mengganggu pembuangan asap dan gas buang yang efektif (Karomah dkk., 2019).

Diameter cerobong asap yang ideal harus cukup besar untuk menampung aliran udara yang dihasilkan oleh pembakaran. Diameter yang terlalu kecil dapat menyebabkan aliran udara terhambat, sehingga mengurangi kecepatannya dan meningkatkan tekanan. Diameter yang terlalu besar juga tidak ideal, karena dapat menyebabkan aliran udara yang tersebar dan tidak terpusat, sehingga mengurangi gaya dorong yang dihasilkan. Desain cerobong asap yang ideal harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti ketinggian, bentuk, dan diameter untuk memaksimalkan penerapan Hukum Bernoulli di dalamnya, kecepatan aliran udara dan meminimalkan hambatan udara (Aufa dkk., 2016).

Prinsip Kerja Cerobong Asap

Cerobong asap merupakan bagian vital yang berfungsi sebagai sistem pembuangan gas buang pada beberapa jenis perindustrian seperti pabrik, pembangkit listrik, maupun fasilitas pengolahan limbah. Prinsip kerja yang digunakan pada cerobong asap ini didasarkan pada konsep perbedaan tekanan antara dalam dan luar cerobong. Hal itu dapat terjadi ketika saat

proses pembakaran terjadi di dalam perangkat, gas-gas panas dan limbah yang dihasilkan (Rizkiani dkk., 2020).

Cerobong asap bertujuan untuk mengarahkan gas-gas panas ini keluar dari area kerja dan membuangnya ke atmosfer. Prinsip dasar yang terjadi cerobong asap dapat menciptakan aliran udara keluar, karena cerobong asap ini mampu menarik gas-gas panas menuju ke bagian atas cerobong dan kemudian menyebar di udara. Hal tersebut dapat terjadi karena memanfaatkan perbedaan tekanan udara yang diciptakan oleh suhu yang lebih tinggi dari gas-gas buang tersebut dibandingkan dengan udara di sekitarnya (Suharso dkk., 2020).

Cerobong asap ini juga biasa disebut dengan kipas atau blower yang dapat membantu meningkatkan aliran udara dan memastikan gas-gas buang dapat terbang secara efisien. Sehingga cerobong asap tidak hanya menjaga kualitas udara disekitar lokasi industry, melainkan juga membantu mencegah polusi udara yang berpotensi merugikan lingkungan dan kesehatan manusia (Caronge, Tjarong, & Irma, 2018).

Hubungan Kecepatan Aliran Udara dan Tekanan Cerobong Asap

Hubungan antara kecepatan aliran udara dan tekanan pada cerobong asap dapat dijelaskan dengan Hukum Bernoulli. Hukum Bernoulli menyatakan bahwa hubungan antara kecepatan aliran fluida dengan tekanan fluida adalah berbanding terbalik. Artinya, ketika kecepatan aliran fluida meningkat, maka tekanan fluida akan menurun, dan sebaliknya. Dalam konteks cerobong asap, ketika kecepatan udara di dalam cerobong meningkat, tekanan udara di dalam cerobong akan menurun. Hal ini dapat mempengaruhi proses pembuangan asap dari cerobong, di mana tekanan yang lebih rendah di dalam cerobong akan membantu asap untuk naik ke atas cerobong dan keluar ke lingkungan luar (Tista dkk., 2016).

Pengaruh Ketinggian Cerobong Asap terhadap Perubahan Tekanan Udara

Hukum Bernoulli, sebuah prinsip dasar dinamika fluida, menyatakan bahwa dalam aliran fluida yang stabil, peningkatan kecepatan fluida akan menghasilkan penurunan tekanan. Prinsip ini memiliki hubungan erat dengan ketinggian cerobong asap dan perubahan tekanan udara di dalamnya. Ketika asap dan gas buang naik melalui cerobong asap, mereka mengalami percepatan karena pengaruh gaya gravitasi. Gaya gravitasi menarik asap dan gas buang ke bawah, dan karena cerobong asap bersifat vertikal, gaya gravitasi bekerja dalam arah yang sama dengan arah pergerakan asap dan gas buang. Semakin tinggi cerobong asap, semakin lama waktu yang dibutuhkan asap untuk mencapai puncaknya. Hal ini berarti asap mengalami percepatan yang lebih besar (Effendi dkk., 2018).

Pengaruh yang diberikan adalah semakin tinggi cerobong asap, semakin besar jarak yang harus ditempuh asap untuk mencapai puncaknya. Hal ini berarti asap harus bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi untuk mencapai puncaknya dalam waktu yang sama. Kemudian pengaruh lainnya yaitu semakin tinggi cerobong asap, semakin lama waktu yang dibutuhkan asap untuk merasakan gaya gravitasi. Hal ini berarti asap memiliki waktu yang lebih lama untuk terus bergerak ke atas sebelum gaya gravitasi menariknya kembali ke bawah. Akibatnya, asap dan gas buang di cerobong asap yang tinggi akan mencapai kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan cerobong asap yang pendek (Karomah dkk., 2019).

Menurut Hukum Bernoulli, peningkatan kecepatan asap ini menyebabkan penurunan tekanan udara di dalam cerobong asap. Penurunan tekanan ini menciptakan gradien tekanan antara bagian bawah dan atas cerobong asap. Semakin tinggi cerobong asap, semakin besar perbedaan ketinggian antara bagian bawah dan atasnya. Hal ini berarti perbedaan tekanan udara pun semakin besar. Perbedaan tekanan udara inilah yang menjadi gaya dorong yang menarik asap dan gas buang keluar dari cerobong asap. Gaya dorong yang lebih besar akibat ketinggian cerobong asap yang tinggi membantu meningkatkan kecepatan aliran udara, sehingga asap dan gas buang dapat dibuang dengan lebih cepat dan efisien. Hal ini membantu mengurangi polusi udara di sekitar cerobong asap (Rasagama dkk., 2016).

Analoginya adalah ketika sebuah bola yang dilempar ke atas. Semakin tinggi bola dilempar, semakin lama waktu yang dibutuhkannya untuk mencapai puncaknya. Hal ini berarti bola mengalami percepatan yang lebih besar saat dilempar ke atas dibandingkan dengan ketika dilempar ke bawah. Percepatan asap dan gas buang di cerobong asap tinggi merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja cerobong asap. Semakin tinggi cerobong asap, semakin besar percepatan asap dan gas buang, sehingga semakin besar pula gaya dorong yang dihasilkan untuk menarik asap dan gas buang keluar. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi pembuangan asap dan gas buang, serta mengurangi polusi udara. Ketinggian cerobong asap memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan tekanan udara di dalamnya. Semakin tinggi cerobong asap, semakin besar perbedaan tekanan udara yang dihasilkan, sehingga gaya dorong untuk menarik asap dan gas buang keluar pun semakin besar. Hal ini penting untuk menjamin pembuangan asap dan gas buang yang efektif (Setiawan, 2022).

Contoh Perhitungan

Sebuah cerobong asap memiliki tinggi h sebesar 10 meter. Udara di dasar cerobong memiliki kecepatan v_1 sebesar 5 m/s dan tekanan p_1 sebesar 100 kPa. Ujung cerobong, kecepatan udara v_2 adalah 10 m/s. Asumsikan tidak ada kehilangan energi karena gesekan atau perubahan suhu. Hitunglah tekanan udara p_2 di ujung cerobong.

Langkah penyelesaian :

Hukum Bernoulli menyatakan :

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Karena tidak ada kehilangan energi, bagian $\rho g h$ dapat diabaikan dari persamaan karena tinggi awal sama dengan tinggi akhir. Persamaan disederhanakan menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Karena ingin mencari P_2 , maka persamaan diubah menjadi sebagai berikut:

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Lalu memasukkan nilai-nilai kedalam persamaan dan menyelesaikannya :

$$P_2 = 100 \text{ kPa} + \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times (5 \text{ m/s})^2 - \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times (10 \text{ m/s})^2$$

$$P_2 = 100 \text{ kPa} + \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times (25 \text{ m}^2/\text{s}^2) - \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times (100 \text{ m}^2/\text{s}^2)$$

$$P_2 = 100 \text{ kPa} + 7.65625 \text{ kPa} - 30.625 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 77.03125 \text{ kPa} = 77.03 \text{ kPa}$$

KESIMPULAN

Cerobong asap memiliki peran penting dalam pembuangan gas hasil pembakaran, dan pemahaman yang mendalam tentang dinamika aliran fluida di dalamnya sangat penting. Hukum Bernoulli menjelaskan bahwa peningkatan kecepatan fluida akan menyebabkan penurunan tekanan dalam aliran fluida yang stabil. Tinggi cerobong asap berpengaruh pada kecepatan aliran udara, percepatan asap dan gas buang, serta perubahan tekanan udara di dalamnya. Penerapan hukum Bernoulli pada cerobong asap membantu dalam pemahaman fenomena aliran fluida, desain yang optimal, dan pemeliharaan sistem cerobong asap yang efisien dan aman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih atas kontribusi dan dukungan dari semua pihak terutama mahasiswa yang telah turut serta dalam penulisan artikel ini. Terima kasih yang tidak terhingga kepada Ibu Dr. Sapti Puspitarini, S.Si., M.Si. atas bimbingan dalam artikel ini. Semoga artikel ini dapat memberikan inspirasi dan manfaat bagi pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Aufa, A., Rubiono, G., & Mujianto, H. (2016). PENGARUH RASIO DIAMETER PIPA TERHADAP PERUBAHAN TEKANAN PADA BERNOULLI THEOREM APPARATUS. *Jurnal V-Max*, 1(1).
- Caronge, M. A., Tjarong, M. W., & Irma, R. (2018). Analisis Tingkat Emisi Pada Cerobong Asap Pabrik Semen Tonasa Pangkep. *Jurnal Purifikasi*, 87-92.
- Effendi, R., Salsabila, H., & Malik, A. (2018). Pemahaman Tentang Lingkungan Berkelanjutan. *Modul*, 18(2), 75. <https://doi.org/10.14710/mdl.18.2.2018.75-82>
- Karomah, B., & Wilaha, L. (2019). PEMODELAN MATEMATIKA TENTANG PENYEBARAN NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) DAN PENGARUH KETINGGIAN CEROBONG ASAP TERHADAP PENYEBARAN NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) DI UDARA. *Jurnal Unimus*, 2(4). <http://jurnal.unimus.ac.id>
- Rasagama, I. G., Muldiani, R. F., & Hadiningrum, K. (2016). KETERPAKAIAN KONSEP HUKUM BERNOULLI DAN DESAIN EKSPERIMENNYA DI DALAM FISIKA TERAPAN PRODI REKAYASA POLBAN. *Prosiding Seminar Nasional Fisika, SNF2016-OER-29-SNF2016-OER-34*. <https://doi.org/10.21009/0305010405>
- Rizkiani, D. N., Sumadyo, A., & Marlina, A. (2020). Greenhouse Sebagai Wadah Penelitian Hortikultura. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Arsitektur*, 3(2), 461–470. <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/index>
- Rohamat, F. N., Awwaliyah, K. A., & Hamzah, A. (2023). Rancang Bangun Cerobong Pembakaran Bahan Bakar Plastik pada Pabrik Tahu Menggunakan Adsorben. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3).
- Setiawan, F. (2022). Desain Dan Implementasi Peralatan Vacuum Stabilizer Menggunakan Prinsip Bernoulli Untuk Meningkatkan Kinerja Rotary Drum Vacuum Filter. *Journal of Food Technology and Agroindustry*, 4(1), 16–25. <https://doi.org/10.24929/jfta.v4i1.1711>
- Suharso, W., & Nilogiri, A. (2020). Penerapan Instalasi Cerobong Asap pada Proses Pembuatan Arang dengan Tungku Batu Bata. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ipteks*, 6(2), 102–108.
- Tista, S. P. G. G., dkk. 2016. Pengaruh variasi jarak antar ring berbentuk segi empat pada permukaan silinder terhadap koefisien drag. *Jurnal Energi Dan Manufaktur (JEM)*, 9 (1), 11 - 16. ISSN 2302 –5255.