

Analisis Pemanfaatan Energi Panas Menjadi Energi Listrik Pada Proses Pengereman Rem Cakram Pada Kendaraan Roda Empat

Calvin Hans Adam *), Erlanda Augupta Pane **)

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta*,**)

Email: da_vinza@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan dari panas gesek pada proses pengereman rem cakram pada kendaraan roda empat dengan analisis perhitungan laju aliran panas pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam pada 519 rpm, 748 rpm, dan 1.234 rpm. Waktu pengujian dilakukan selama 20 menit. Untuk mendapatkan ukuran panas yang dihasilkan dari gaya gesek pengereman. Panas yang dihasilkan dirubah menjadi energi listrik menggunakan perangkat termoelektrik. Berdasarkan hasil penghitungan laju aliran panas yang diakibatkan oleh gaya gesek pada pengereman, didapatkan laju aliran panas sebesar 141,61 Watt dan tegangan yang dihasilkan sebesar 317,2 mV. Hasil tersebut menunjukkan semakin lama pengereman yang dilakukan, panas yang dihasilkan dari gaya gesek, laju aliran panas yang mengalir dari cakram ke perangkat termoelektrik, serta tegangan yang dihasilkan akan semakin besar.

Kata kunci: Panas gesek, perpindahan panas, rem cakram, proses pengereman, termoelektrik.

ABSTRACT

This research was conducted to determine the electrical energy generated from friction heat in the braking process of disc brakes on four-wheeled vehicles with a calculation analysis of heat flow rates at speeds of 10 km/h and 15 km/h at 519 rpm, 748 rpm, and 1.234 rpm. The testing time is 20 minutes to get a measure of the heat generated from braking friction. The heat produced is converted into electrical energy using a thermoelectric device. Based on the calculation of the heat flow rate caused by friction on braking, a heat flow rate of 141.61 Watt is obtained and the voltage result is 317.2 mV. These results indicate the longer the braking is done, the heat generated from the friction force, the rate of heat flow flowing from the disk to the thermoelectric device, and the voltage result will be greater.

Keywords: Condenser, Steam Power Plant, Plugging Tube and Tube Leakage.

I. PENDAHULUAN

Sistem rem merupakan salah satu sistem utama yang diperlukan pada sebuah kendaraan. Sistem ini begitu penting guna menjaga dan mencegah pengemudi atau pengguna kendaraan dari kecelakaan. Sistem ini berfungsi untuk mengurangi kecepatan kendaraan serta menghentikan laju kendaraan dengan cara mengubah energi kinetik menjadi energi panas melalui gesekan.

Seiring dengan perkembangan industri otomotif, para insinyur mesin terus melakukan pengembangan – pengembangan tiap – tiap sistem yang terdapat pada mobil guna didapatkan efisiensi penggunaan energi dengan maksimal. Seluruh alat transportasi, baik darat, laut, maupun udara merupakan sektor sebagai penghasil panas buang yang cukup besar, dimana efisiensi kendaraan bermotor masih sekitar 35 – 40%, sedangkan sisanya dibuang dengan percuma [1].

Panas yang timbul akibat pengereman merupakan salah satu energi panas terbuang yang

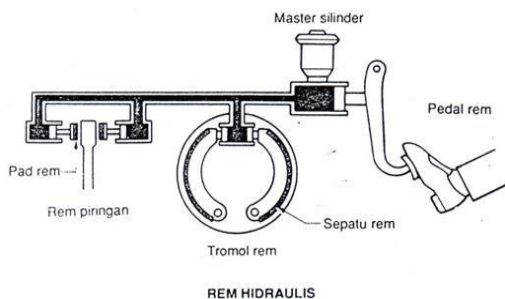
masih bisa dikonversi menjadi energi lainnya, salah satunya adalah energi listrik. Energi listrik ini bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti membantu peran dinamo pengisian (alternator) dalam mengoperasikan sistem kelistrikan pada mobil.

Inovasi baru diperlukan untuk memaksimalkan panas buang yang dihasilkan dari mobil. Banyaknya berbagai penelitian yang sudah dilakukan agar panas buang ini bisa dimanfaatkan dengan lebih optimal, misalnya penelitian yang menggunakan panas knalpot sebagai penghasil energi listrik [2]. Penelitian mengenai pengereman regeneratif pada mobil listrik yang sudah banyak dilakukan dan dikembangkan [3]– [5]. Diperkenalkannya sepeda motor hybrid dengan menambahkan sistem pengereman hidrolik [6].

Jika mesin mobil membakar bahan bakar, energi yang dikeluarkan menghasilkan tekanan pada piston, yang diubah menjadi rotasi mekanis. Jika bentuk energi seperti ini dihubungkan ke roda kendaraan, maka gerakan kendaraan

sebanding dengan pelepasan energi yang terkendali ini. Gerakan ini sebanding dengan rpm (rotasi per menit), sebab energi yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan harus diserap supaya kendaraan tersebut bisa berhenti. Energi kinetik atau momentum ini harus diubah menjadi panas melalui gaya gesek. Proses perubahan energi terjadi ketika kampas rem menekan tromol/cakram sehingga menimbulkan gesekan yang menghasilkan energi panas. Energi panas hasil gesekan antara kampas dan tromol/cakram kemudian dibuang ke udara luar. Intensitas panas sebanding dengan bobot dan kecepatan kendaraan.

Gesekan adalah perlawanan terhadap gerakan yang dihasilkan dari dua benda yang bergerak atau bergesekan satu sama lain. Ada dua jenis gesekan yaitu: kinetik dan statis. Gesekan kinetik terjadi antara dua benda, dan salah satunya bergerak. Gesekan kinetik selalu menghasilkan panas. Semakin banyak gesekan kinetik yang dihasilkan, semakin banyak pula panas yang dihasilkan. Sistem pengereman kendaraan menggunakan gesekan kinetik untuk mengubah energi dari kendaraan yang bergerak menjadi panas. Gesekan statis terjadi antara dua benda yang diam. Sistem pengereman kendaraan menggunakan gesekan statis untuk menahan kendaraan ketika sedang diparkir.



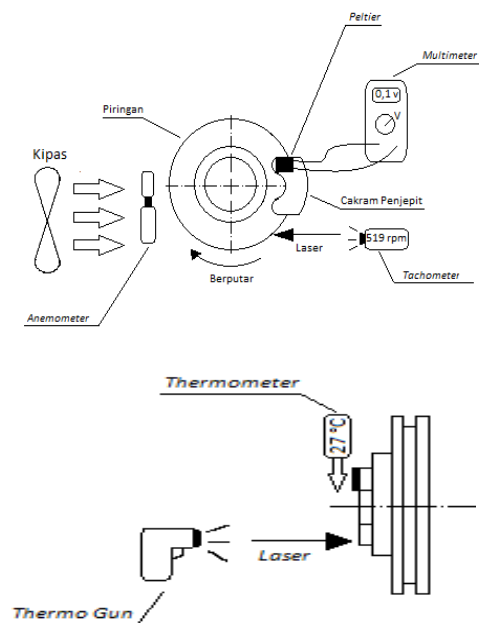
Gambar 1. Ilustrasi gaya gesek yang terjadi pada proses pengereman kendaraan roda empat [7].

Konsep Seebeck menjelaskan bahwa jika dua buah material logam yang disambung berada pada lingkungan dengan temperatur yang berbeda, maka pada material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik [1]. Konsep ini apabila diterapkan pada sistem pengereman, dimana temperatur dari rem cakram bisa mencapai temperatur 300 °C dan temperatur lingkungan yang berada pada kisaran 33 – 37 °C, akan menghasilkan gaya gerak listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menjalankan komponen listrik atau disimpan di dalam baterai.

Mengacu pada penelitian [8] dalam penelitiannya mengenai “*Thermoelectric Charger* sebagai Alat Konversi Energi Panas Buang Motor Bakar menjadi Sumber Energi Listrik”, penelitian ini berencana untuk melakukan analisa panas hasil pengereman. Hasil panas tersebut kemudian dikonversikan menjadi energi listrik sehingga dapat diaplikasikan sebagai pembangkit listrik alternatif dari alternator untuk mengisi daya pada ponsel, atau menjalankan alat elektronik lainnya.

II. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui kemampuan termoelektrik sebagai pembangkit daya listrik yang dapat diaplikasikan pada komponen rem, pengujian dilakukan dengan melakukan eksperimen. Gambar 1 menunjukkan skema pengujian yang akan dilakukan. Eksperimen dilakukan pada 3 mode putaran, 519 rpm, 748 rpm, dan 1.234 rpm pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam selama 20 menit. Perangkat termoelektrik ditempelkan pada kaliper rem. Dimana pada kedua ujung kabel perangkat termoelektrik akan disambungkan dengan multimeter untuk mengetahui besaran tegangan yang dihasilkan selama pengujian. Pengukuran temperatur cakram menggunakan *thermometer gun* untuk mendapatkan data kenaikan suhu pada selama pengujian berlangsung. Pada termoelektrik dipasangkan *thermometer* untuk mengukur suhu yang terdapat pada termoelektrik selama pengujian. *Tachometer* digunakan untuk mengetahui rpm pada proses pengujian.



Gambar 2. Skema Pengujian.

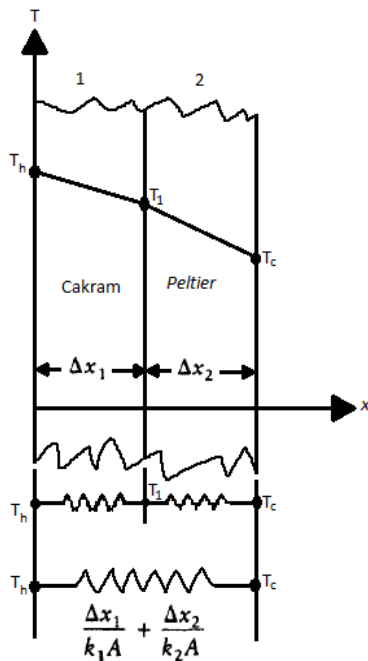
Menghitung persamaan aliran panas (q) menggunakan persamaan perpindahan panas konduksi pada bidang datar (slab) menggunakan persamaan (1) sebagai berikut [9].

$$Q = -k \times A \times \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

Dimana:

- Q : Panas yang mengalir (Joule)
- k : Konduktivitas termal (Watt / (m × K))
- A : Luas penampang plat (m²)
- T_h : Suhu permukaan panas (°C)
- T_c : Suhu permukaan dingin (°C)
- X : Tebal plat (m)

Dikarenakan adanya dua buah bidang datar, yaitu cakram dan peltier. Maka dari grafik perpindahan panas dibawah didapat persamaan:



Gambar 3. Grafik Perpindahan Panas

$$Q = \frac{(T_h - T_c)}{\frac{\Delta x_1}{k_1 A} + \frac{\Delta x_2}{k_2 A}}$$

Diketahui:

- x₁ (Cakram) : 17,5 mm
- x₂ (Peltier) : 4 mm
- k₁ (Cakram) : 237 W/(mK) (Aluminium)

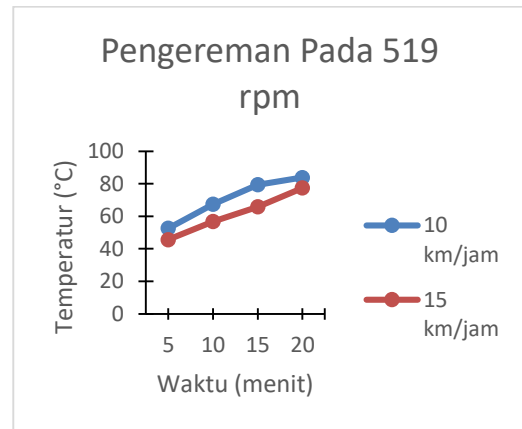
k₂ (Peltier) : 7,97 W/(mK) (Bismut)

A₁ (Cakram) : 1/2 × (a + b) × t = 1/2 × (35 mm + 41 mm) × 40 mm = 1.520 mm².

Digunakan luas trapesium karena pada bagian ujung cakram penjepit tempat diletakkannya peltier berbentuk trapesium. A₂ (Peltier) : 40 mm × 40 mm = 1600 mm².

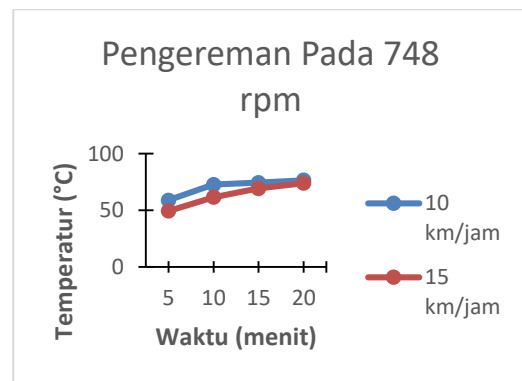
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kenaikan temperatur yang dihasilkan dari pengujian disajikan pada grafik berikut.



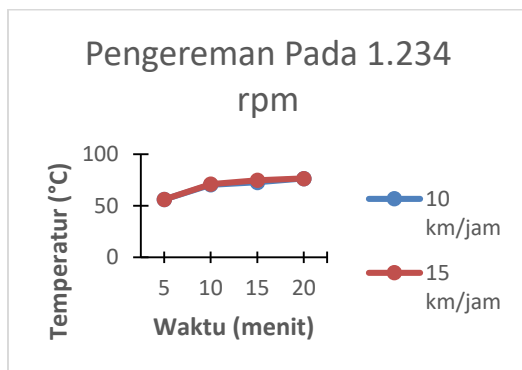
Gambar 4. Grafik Kenaikan Temperatur Pada 519 rpm.

Gambar 4 diperlihatkan kenaikan suhu pada 519 rpm. Kenaikan temperatur terjadi seiring lamanya pengereman yang dilakukan. Kenaikan temperatur pada kecepatan 10 km/jam lebih besar dibandingkan 15 km/jam. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan sehingga panas yang dihasilkan dari gesekan piringan pada proses pengereman lebih cepat dibuang ke udara atau dialirkan ke komponen – komponen lainnya.



Gambar 5. Grafik Kenaikan Temperatur Pada 748 rpm

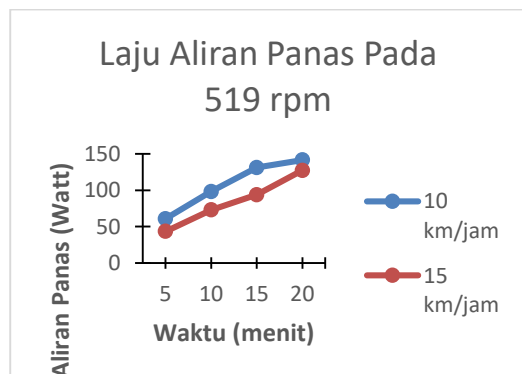
Gambar 5 diperlihatkan kenaikan temperatur pada 748 rpm. Dalam gambar diperlihatkan bahwa pada 10 menit pertama, pada kecepatan 10 km/jam mengalami kenaikan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan kecepatan 15 km/jam. Tetapi pada menit 15 sampai menit 20 diperlihatkan kenaikan temperatur yang cenderung melambat. Hal ini disebabkan karena semakin cepat putaran piringan, semakin cepat pula panas tersebut dapat dibuang atau dialirkan ke bagian lain yang memiliki temperatur lebih rendah.



Gambar 6. Grafik Kenaikan Temperatur Pada 1.234 rpm.

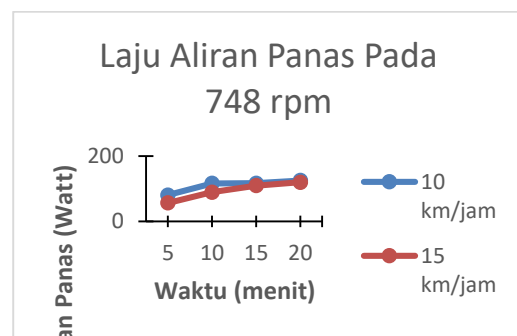
Gambar 6 diperlihatkan kenaikan temperatur pada 1.234 rpm. Dari grafik tersebut diperlihatkan kenaikan temperatur yang cenderung sama pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam. Kenaikan temperatur terjadi lebih cepat dibandingkan dengan 519 rpm dan 748 rpm. Hal ini disebabkan karena putaran cakram yang sangat cepat membuat gesekan antar permukaan juga semakin cepat yang mengakibatkan kenaikan temperatur yang lebih cepat.

Laju aliran panas pada setiap pengujian disajikan pada gambar berikut.



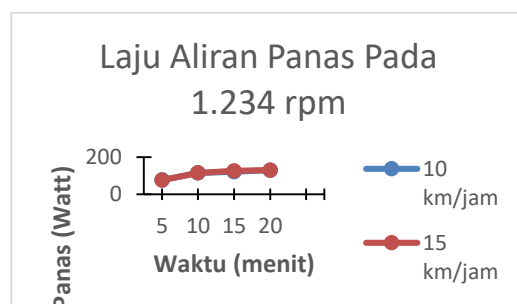
Gambar 7. Grafik Laju Aliran Panas Pada 519 rpm.

Gambar 7 diperlihatkan grafik laju aliran panas yang mengalir selama proses pengereman pada 519 rpm. Dalam grafik dijelaskan bahwa nilai laju aliran panas yang dihasilkan dari proses pengereman pada kecepatan 10 km/jam lebih besar dari 15 km/jam. Hasil ini berbanding lurus dengan hasil yang didapat sebelumnya mengenai kenaikan temperatur dan perbandingan temperatur pada sisi dingin peltier. Dimana dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kenaikan perbedaan temperatur yang besar akan menghasilkan laju aliran panas yang besar. Hasil ini didapatkan dari perhitungan teoritis di mana nilai temperatur yang diperoleh berdasarkan hasil temuan pada saat proses pengujian berlangsung.



Gambar 8. Grafik Laju Aliran Panas Pada 748 rpm.

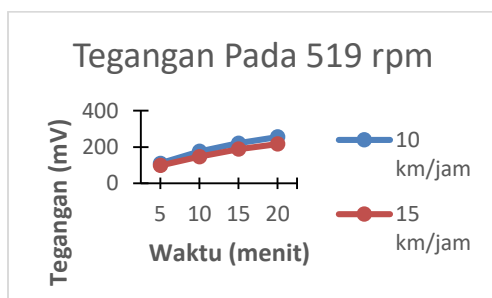
Gambar 8 diperlihatkan grafik laju aliran panas yang mengalir selama proses pengereman pada 748 rpm. Pada grafik yang ditampilkan, diperlihatkan adanya kenaikan laju aliran panas pada 10 menit pertama proses pengujian. Pada kecepatan 10 km/jam, laju aliran panas cenderung mengalami kenaikan yang sedikit atau cenderung stabil. Hal ini disebabkan kenaikan temperatur pada permukaan cakram yang juga stabil sehingga mengakibatkan aliran panas yang mengalir juga cenderung stabil atau hanya terjadi sedikit peningkatan.



Gambar 9. Grafik Laju Aliran Panas Pada 1.234 rpm.

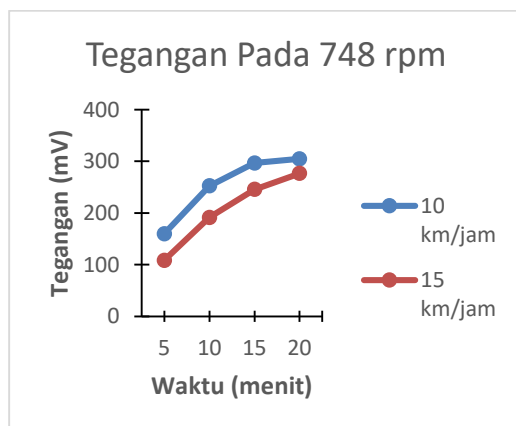
Gambar 9 diperlihatkan grafik laju aliran panas yang mengalir selama proses pengereman pada 1.234 rpm. Pada grafik ini dijelaskan laju aliran panas yang mengalir berbanding lurus dari kenaikan temperatur yang diperoleh dari proses pengujian. Laju aliran panas yang dihasilkan tidak lebih besar dari aliran panas yang dihasilkan pada 519 rpm di kecepatan 10 km/jam karena pada putaran ini walaupun kenaikan temperatur lebih cepat, tetapi karena desain cakram yang sudah berventilasi (ventilated disc) menyebabkan panas juga lebih cepat dibuang atau dialirkan ke komponen – komponen lainnya.

Tegangan yang dihasilkan dari setiap pengujian disajikan pada gambar berikut.



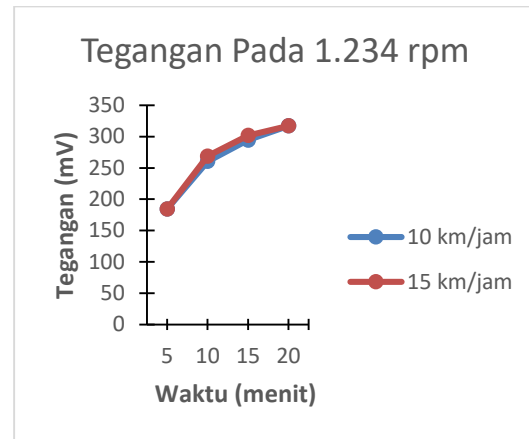
Gambar 10. Grafik Tegangan Yang Dihasilkan Pada 519 rpm.

Gambar 10 diperlihatkan tegangan yang dihasilkan pada pengereman 519 rpm. Tegangan yang dihasilkan pada kecepatan 10 km/jam lebih besar dibandingkan pada kecepatan 15 km/jam. Hal ini tentu disebabkan oleh kenaikan perbedaan temperatur yang diperoleh dari pengereman yang dilakukan. Dimana pada kecepatan 15 km/jam mengalami kenaikan yang lebih lambat dibanding kecepatan 10 km/jam. Yang membuat perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin peltier tidak terlalu besar.



Gambar 11. Grafik Tegangan Yang Dihasilkan Pada 748 rpm

Gambar 11 diperlihatkan tegangan yang dihasilkan pada pengereman 748 rpm. Tegangan yang dihasilkan pada putaran ini lebih besar dibanding putaran sebelumnya. Dimana dalam putaran ini pada kecepatan 10 km/jam dapat menghasilkan tegangan sebesar 304,5 mV dan pada kecepatan 15 km/jam dapat menghasilkan tegangan sebesar 276,5 mV. Hal ini disebabkan selain kenaikan temperatur permukaan yang lebih besar dari putaran sebelumnya.



Gambar 12. Grafik Tegangan Yang Dihasilkan Pada 1.234 rpm.

Gambar 12 diperlihatkan tegangan yang dihasilkan pada pengereman 1.234 rpm. Kenaikan temperatur yang hampir sama pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam membuat tegangan yang dihasilkan dari pengujian pada 1.234 rpm relatif sama. Dalam hal ini bisa disimpulkan bahwa, kenaikan temperatur yang diikuti dengan perbedaan temperatur antara kedua sisi peltier mempengaruhi besar kecilnya tegangan yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penghitungan laju aliran panas yang diakibatkan oleh gaya gesek pada pengereman, didapatkan laju aliran panas sebesar 141,61 Watt, tegangan sebesar 317,2 mV. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tegangan yang dihasilkan peltier tidak dapat dijadikan sebagai pembangkit energi listrik alternatif.

Penelitian ini masih bisa dikembangkan lebih lanjut dengan cara memberikan pendingin pada sisi pendingin peltier, baik berupa cairan maupun berupa gas. Menambahkan alat tambahan untuk menstabilkan tegangan peltier. Memperhatikan keamanan dalam melakukan pengujian. Menjaga kesehatan dan mengikuti

langkah – langkah penggunaan alat dengan baik. Guna mendapatkan hasil yang optimal dan tidak menimbulkan kesalahan pada pengujian yang mengakibatkan pengujian tidak berhasil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Putra, R. A. Koestoer, M. Adhitya, A. Rockettino, and B. Trianto, "Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid," *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 13, no. 2, pp. 53–58, 2010;
- [2] W. A. Nugroho, M. S. Haryadi, and Rudhiyanto, "Exhaust System Generator: Knalpot Penghasil Listrik Dengan Prinsip Termoelektrik," *Saintekno*, p. 8, 2015;
- [3] A. Braun and W. Rid, "The influence of driving patterns on energy consumption in electric car driving and the role of regenerative braking," *Transp. Res. Procedia*, vol. 22, p. 9, 2017;
- [4] L. Zhang and X. Cai, "Control strategy of regenerative braking system in electric vehicles," *Energy Procedia*, vol. 152, p. 6, 2018;
- [5] A. Joseph Godfrey and V. Sankaranarayanan, "A new electric braking system with energy regeneration for a BLDC motor driven electric vehicle," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 21, no. 4, p. 10, 2018;
- [6] J. Nadeau, P. Micheau, and M. Boisvert, "Ideal regenerative braking torque in collaboration with hydraulic brake system," *2017 12th Int. Conf. Ecol. Veh. Renew. Energies, EVER 2017*, vol. c, no. August, p. 6, 2017;
- [7] A. N. Akhmadi, "Pengaruh Pengereman Terhadap Kecepatan Mobil Listrik Tuxuci 2.0 Dengan Rem Cakram Double Piston," *J. Nozzle Vol. 4 Nomor 2 Juni 2015 ISSN 2031-6957*, vol. 4, p. 5, 2015;
- [8] A. Mukminin, P. N. Rahman, P. A. Wibowo, and S. Ahmad, "Thermoelectric Charger sebagai Alat Konversi Energi Panas Buang Motor Bakar menjadi Sumber Energi Listrik," 2014;
- [9] W. S. Janna, *HEAT*, Second Edi. CRC Press, 2000.