

PENGARUH KETEBALAN BATU ANDESIT TERHADAP KELUARAN TERMoeLEKTRIK

Ary Akbar Nugraha¹⁾, Massus Subekti, S.Pd., MT.²⁾, Imam Arif Rahardjo, S.Pd., MT.³⁾

S1 Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220

Telp. (62-21) 4751523, 47864808

Email : ary.akbar07@yahoo.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ketebalan batu andesit terhadap keluaran termoelektrik. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Subjek penelitian ini ialah ketebalan batu andesit. Ketebalan batu andesit yang digunakan yaitu ketebalan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Penelitian ini dilakukan pengujian laju kalor konduksi dan keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit. Teknik analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif dengan teknik pengumpulan data yaitu observasi laboratorium dan observasi lapangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa batu andesit ketebalan 1 cm menghasilkan laju kalor konduksi tertinggi dibandingkan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Begitu juga dengan keluaran yang dihasilkan termoelektrik. Batu andesit ketebalan batu 1 cm menghasilkan keluaran paling besar dibandingkan ketebalan batu 2 cm dan 3 cm. Tegangan keluaran V_0 (tanpa beban) dan V_1 (dengan hambatan 100 ohm) yang dihasilkan termoelektrik pada ketebalan batu 1 cm berturut-turut sebesar 1.40 V dan 1.08 V, ketebalan batu 2 cm sebesar 1.37 V dan 0.98 V, dan ketebalan batu 3 cm sebesar 1.22 V dan 0.94 V. Berdasarkan hasil data pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh ketebalan batu andesit terhadap keluaran termoelektrik.

Kata Kunci: Termoelektrik, Andesit, Laju Kalor Konduksi, Keluaran Termoelektrik

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk. Hal ini bertolak belakang dengan ketersediaan energi yang ada. Penggunaan energi untuk pembangkit listrik saat ini masih didominasi oleh batu bara diikuti dengan gas dan minyak bumi. Penggunaan energi fosil tersebut berdampak pada sifat ketergantungan Indonesia terhadap perkembangan harga pasaran dunia. Sasaran pemerintah pada tahun 2025 sesuai dengan PP No. 79 tahun 2014, diharapkan tercapainya bauran energi primer yang optimal, yaitu energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23%, minyak bumi kurang dari 25%, batubara minimal 30%, dan gas bumi minimal 22% (Soeryadi, 2018). Salah satu potensi energi terbarukan yang saat ini dikembangkan ialah energi matahari.

Letak geografis Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa dan beriklim tropis, mempunyai potensi energi matahari yang sangat besar. Potensi energi matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh (kilo watt hour) per meter persegi atau setara dengan 112.000 GWp (Giga watt peak), namun yang baru dimanfaatkan sekitar 10 MWp (Mega watt peak) (Kementerian ESDM, 2012). Energi matahari dimanfaatkan dalam bentuk cahaya dan panas. Salah satu pemanfaatan energi matahari ialah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Surya (*Solar Thermal Power Generation Systems*). Prinsip pembangkit ini yaitu mengumpulkan dan memusatkan sinar matahari untuk menghasilkan temperatur panas yang tinggi. Temperatur panas ini yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik.

Dalam hal ini, pemanfaatan panas matahari menjadi rujukan dalam penelitian ini. Termoelektrik merupakan sebuah alat

penghasil listrik yang erat kaitannya dengan pemanfaatan kalor (konduktivitas atau daya hantar kalor) dari sebuah lempeng logam untuk menghasilkan energi listrik (Ryanuargo, et al., 2013). Prinsip kerja termoelektrik ialah mengonversi perbedaan suhu panas dan suhu dingin menjadi energi listrik. Energi panas didapatkan dengan memanfaatkan energi panas matahari atau fluida yang bertemperatur panas (sedang-tinggi), sedangkan sisi dinginnya didapatkan dari *heat sink*, kipas dan *water jacket/block* (Djafar, et al., 2011). Panas matahari didapatkan dengan cara memanfaatkan daya hantar berupa logam dan jenis batuan yang mempunyai kandungan silikat.

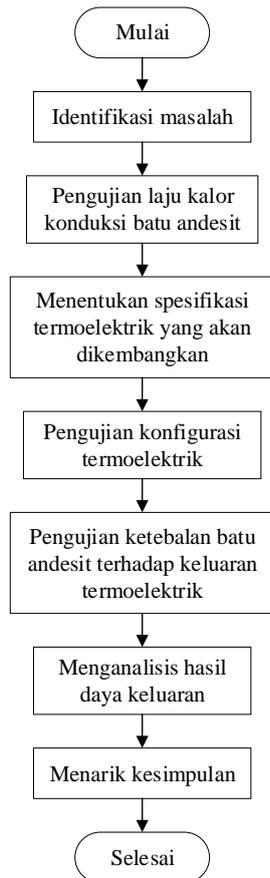
Silikat merupakan kandungan mineral pembentuk batuan yang merupakan persenyawaan antara silikon dan oksigen (silika) (Noor, 2012). Salah satu jenis batuan yang mengandung silika tinggi yaitu andesit. Andesit berasal dari lelehan lava gunung merapi yang memiliki kandungan silika yang cukup tinggi (Compare Rocks, 2017). Andesit mudah ditemukan di Indonesia karena Indonesia merupakan negara yang dikelilingi gunung berapi. Andesit biasa dimanfaatkan untuk menambah estetika bangunan, seperti batu alam yang diletakkan di taman, keramik lantai, dan pelapis dinding. Banyak yang belum mengetahui kandungan dan kegunaan andesit sebagai media penghantar kalor.

Kandungan yang dimiliki andesit juga dapat menyimpan kalor. Hal ini disebabkan, andesit berwarna abu-abu kehitaman. Warna gelap ini terdapat kandungan ferromagnesium, sehingga memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan kalor (Haldoko, et al., 2014). Dalam penelitian Riyadi, et al (2016), batu andesit dimanfaatkan sebagai media penghantar kalor yang digunakan sebagai pembangkit listrik sederhana berbasis *thermoelectric cooler*. Terdapat pengaruh hasil output pada

besar tegangan yang dihasilkan termoelektrik, jika ada perbedaan luas penampang dan ketebalan batu andesit.

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian eksperimen merupakan penelitian yang memberikan pengaruh kepada variabel bebas yang diteliti menggunakan variabel terikat. Pengaruh yang dicari yaitu ketebalan batu andesit terhadap keluaran termoelektrik. Tempat pengujian untuk penelitian ini dilakukan di dua tempat, yaitu Laboratorium Elektronika lantai 4 dan *rooftop* Gedung L Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Penelitian akan berlangsung dari bulan April 2017 sampai bulan Desember 2017. Subjek penelitian yang dibahas ialah ketebalan batu andesit. Diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada **gambar 1**.



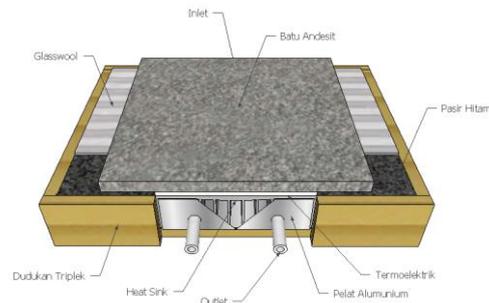
Gambar 1.Diagram Alur Penelitian

2.1. Pengujian Laboratorium

Pada pengujian laborotrium diperlukan lampu halogen sebagai sumber panasnya. Pengujian yang dilakukan di laboratorium yaitu pengujian laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit, pengujian konfigurasi termoelektrik dan pengujian keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit.

Pada pengujian laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit dilakukan untuk mengetahui laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit. Ketebalan batu andesit yang diuji adalah 1 cm, 2 cm dan 3 cm. Masing-masing ketebalan akan diuji dan dilihat bagaimana kalor yang diterima pada permukaan sisi atas dan sisi bawah batu saat dilakukan pemanasan menggunakan lampu halogen dan juga saat penyinaran lampu halogen dimatikan. Batu andesit dipanaskan hingga temperatur batu mengalami titik jenuh (saturation point).

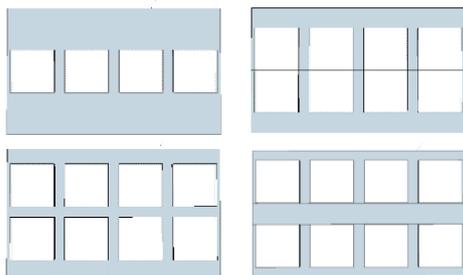
Kemudian dilanjutkan dengan mematikan penyinaran lampu halogen hingga temperatur batu mencapai temperatur awal pada saat pengujian. Pengujian ini menggunakan alat bantu pengujian yang dapat dilihat pada **gambar 2**.



Gambar 2. Desain Alat Bantu Pengujian

Pengujian berikutnya ialah pengujian konfigurasi termoelektrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak antar termoelektrik yang ditempatkan di atas *heat sink* terhadap tegangan keluaran termoelektrik. Pengujian dilakukan dengan menguji beberapa pola konfigurasi termoelektrik yang dapat dilihat pada **gambar 3**. Termoelektrik akan diuji bersamaan dengan batu andesit sebagai penghantar panas yang ditempatkan di sisi panas termoelektrik. Ketebalan batu andesit yang digunakan berdasarkan hasil pengujian laju kalor konduksi.

Pengujian berikutnya ialah pengujian konfigurasi termoelektrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak antar termoelektrik yang ditempatkan di atas *heat sink* terhadap tegangan keluaran termoelektrik. Pengujian dilakukan dengan menguji beberapa pola konfigurasi termoelektrik yang dapat dilihat pada **gambar 3**. Termoelektrik akan diuji bersamaan dengan batu andesit sebagai penghantar panas yang ditempatkan di sisi panas termoelektrik. Ketebalan batu andesit yang digunakan berdasarkan hasil pengujian laju kalor konduksi.



Gambar 3. Pola Konfigurasi Termoelektrik

Pengujian selanjutnya ialah pengujian keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keluaran termoelektrik pada setiap ketebalan andesit. Pada pengujian ini sisi panas termoelektrik diletakkan langsung di bawah batu andesit sebagai sumber panas dan sisi dingin termoelektrik diletakkan *heat sink* sebagai sistem pendingin, sehingga terdapat perbedaan temperatur di antara kedua sisi tersebut. Pengujian ini dilakukan di dua tempat, yaitu pengujian laboratorium dan pengujian lapangan dengan menggunakan alat bantu pengujian yang dapat dilihat pada **gambar 2**.

2.2. Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan merupakan pengujian yang dilakukan di area terbuka agar mendapatkan panas matahari secara langsung. Prosedur pengambilan data sama seperti pada pengujian laboratorium. Hasil yang didapat dari pengujian lapangan ini bergantung pada kondisi cuaca saat pengambilan data.

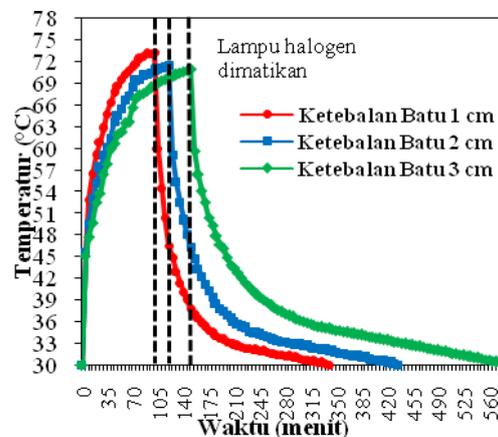
Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah statistik deskriptif. Menurut Sugiyono (2016:207) statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Penelitian akan melakukan penarikan kesimpulan secara deskriptif mengenai

apakah terdapat pengaruh ketebalan batu andesit terhadap keluaran termoelektrik.

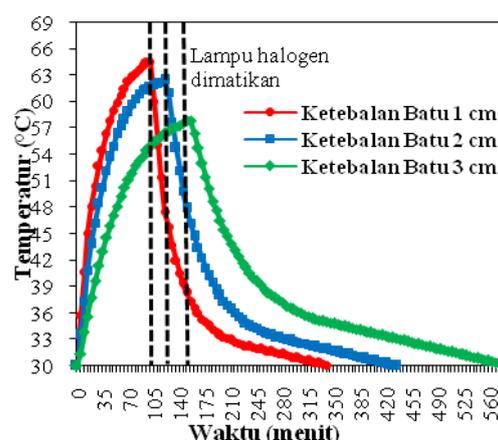
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Laju Kalor Konduksi Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit

Pada penelitian ini dilakukan pengujian laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit di laboratorium. Hasil dari pengujian ini didapatkan grafik perbandingan laju pemanasan dan pelepasan kalor sisi atas dan sisi bawah batu andesit berdasarkan ketebalan terlihat pada **gambar 4** dan **gambar 5**.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Laju Pemanasan dan Pelepasan Kalor Sisi Atas Batu Andesit Berdasarkan Ketebalan

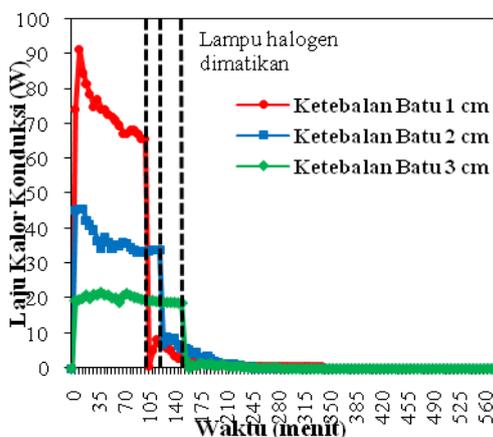


Gambar 5. Grafik Perbandingan Laju Pemanasan dan Pelepasan Kalor Sisi Atas Batu Andesit Berdasarkan Ketebalan

Dari kedua grafik di atas, terlihat kenaikan temperatur sisi atas batu dan sisi bawah batu yang dihasilkan stabil. Ketika lampu halogen dinyalakan terjadi kenaikan temperatur secara bertahap hingga mencapai nilai yang konstan. Kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa batu andesit ketebalan 1 cm menerima kalor lebih cepat dibandingkan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin cepat pula menerima kalor.

Setelah lampu halogen dimatikan maka temperatur sisi atas dan sisi bawah batu akan mulai menurun secara bertahap pula. Pada kedua grafik tersebut terlihat bahwa batu andesit ketebalan 3 cm lebih lama melepas kalor dibandingkan ketebalan 1 cm dan 2 cm. Pada batu andesit ketebalan 1 cm mengalami penurunan hingga suhu awal pengujian selama 240 menit, sedangkan ketebalan 2 cm selama 315 menit dan batu andesit ketebalan 3 cm selama 440 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tebal ketebalan batu andesit maka semakin lama pula melepaskan kalor.

Hasil dari kedua grafik di atas, maka dapat diketahui laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit. Laju kalor konduksi didapat dari perhitungan. Grafik perbandingan laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit dapat dilihat pada **gambar 6**.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Laju Kalor Konduksi Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit

Grafik di atas merupakan perbandingan laju kalor konduksi pada masing-masing ketebalan batu andesit yang didapatkan dari nilai konduktivitas termal batu andesit (k), luas penampang batu andesit (A), perbedaan temperatur antara sisi atas- sisi bawah batu andesit ($\Delta T = T_{b_a} - T_{b_b}$) dan ketebalan batu andesit (Δx). Perbedaan temperatur tersebut dimasukkan ke dalam persamaan laju kalor konduksi sebagai berikut:

$$H = kA \frac{T_{b_a} - T_{b_b}}{\Delta x}$$

Diketahui nilai konduktivitas termal batu andesit (k) sebesar $1.87 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ dan luas penampang batu andesit (A) sebesar 0.04 m^2 . Jadi, besar laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit dapat dihitung sebagai berikut:

- Ketebalan 1 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-10 yaitu sisi atas batu pada suhu $52.9 \text{ }^\circ\text{C}$ dan sisi bawah batu pada suhu $40.7 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$H = kA \frac{T_{b_a} - T_{b_b}}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{52.9 - 40.7}{0.01}$$

$$H = 91.256 \sim 91.26 \text{ W}$$

- Ketebalan 2 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-10 yaitu sisi atas batu pada suhu $49.5 \text{ }^\circ\text{C}$ dan sisi bawah batu pada suhu $37.3 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$H = kA \frac{T_{b_a} - T_{b_b}}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{49.5 - 37.4}{0.02}$$

$$H = 45.628 \sim 45.63 \text{ W}$$

- Ketebalan 3 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-40 yaitu sisi atas batu pada suhu 59.9 °C dan sisi bawah batu pada suhu 44.6 °C

$$H = kA \frac{Tb_a - Tb_b}{\Delta x}$$

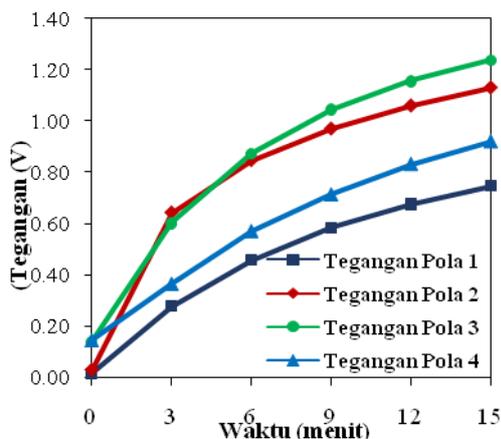
$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{59.9 - 44.6}{0.03}$$

$$H = 21.554 \sim 21.55 \text{ W}$$

Hasil yang didapat dengan memasukkan nilai-nilai pada persamaan laju kalor konduksi, batu andesit ketebalan 1 cm memiliki laju kalor konduksi tertinggi dibandingkan dengan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin tinggi pula laju kalor konduksi yang diterima batu andesit.

3.2. Hasil Pengujian Konfigurasi Termoelektrik

Pada penelitian ini dilakukan pengujian konfigurasi termoelektrik di laboratorium. Hasil pengujian konfigurasi termoelektrik diperoleh grafik perbandingan tegangan keluaran termoelektrik berdasarkan pola konfigurasi seperti terlihat pada **gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Keluaran Termoelektrik Berdasarkan Pola Konfigurasi

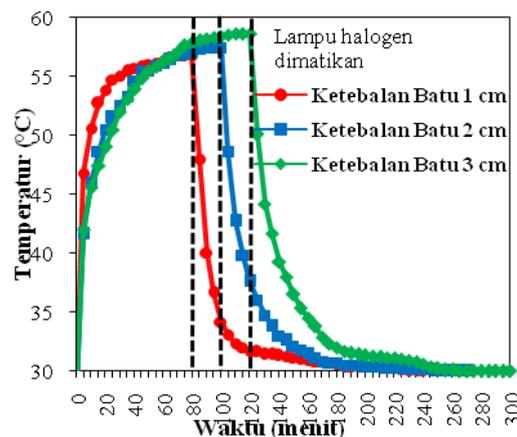
Dilihat dari grafik pada **gambar 7** menunjukkan bahwa tegangan keluaran termoelektrik pada pola 3 lebih tinggi dibandingkan pola 1, 2 dan 4. Hasil ini dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran pada pola 3 lebih besar dibandingkan dengan pola 1, 2, dan 4. Selanjutnya, pola konfigurasi ini akan dijadikan acuan untuk pengujian ketebalan batu andesit terhadap keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit.

3.3. Hasil Pengujian Keluaran Termoelektrik Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit

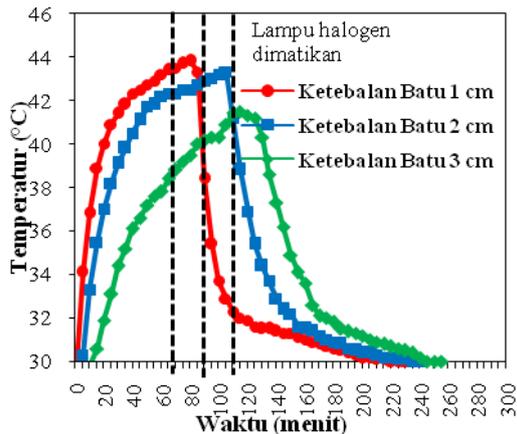
- Pengujian Laboratorium
Hasil pengujian keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit diperoleh data-data berupa laju kalor konduksi dan keluaran termoelektrik.

➤ Laju Kalor Konduksi

Data yang diperoleh berupa grafik perbandingan laju pemanasan dan pelepasan kalor sisi atas dan sisi bawah batu andesit (sisi panas termoelektrik) berdasarkan ketebalan seperti terlihat pada **gambar 8** dan **gambar 9**.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Laju Pemanasan dan Pelepasan Kalor Sisi Atas Batu Andesit Berdasarkan Ketebalan



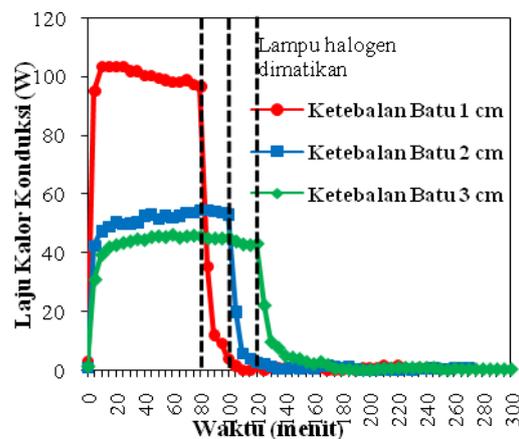
Gambar 9. Grafik Perbandingan Laju Pemanasan dan Pelepasan Kalor Sisi Bawah Batu Andesit Berdasarkan Ketebalan

Dari kedua grafik di atas, terlihat kenaikan temperatur sisi atas dan sisi bawah batu. Ketika lampu halogen dinyalakan terjadi kenaikan temperatur secara bertahap hingga mencapai nilai yang konstan. Pada **gambar 10** dan **gambar 11** terlihat ketebalan 1 cm lebih cepat menerima kalor dibandingkan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Hasil ini dibuktikan pada pengujian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin cepat pula menerima kalor. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa batu andesit ketebalan 1 cm lebih cepat menerima kalor.

Saat lampu halogen dimatikan, temperatur sisi atas dan sisi bawah batu mulai menurun secara bertahap seperti yang ditunjukkan pada **gambar 10** dan **gambar 11**. Kedua grafik tersebut terlihat bahwa batu andesit ketebalan 3 cm lebih lama melepas kalor dibandingkan ketebalan 1 cm dan 2 cm. Batu andesit ketebalan 1 cm mengalami penurunan hingga suhu awal pengujian selama 160 menit, sedangkan ketebalan 2 cm selama 170 menit dan batu andesit ketebalan 3 cm selama 210 menit. Hasil ini dibuktikan pada pengujian sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin tebal ketebalan batu andesit maka

semakin lama pula melepaskan kalor. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa batu andesit ketebalan 3 cm lebih lama melepaskan kalor.

Hasil dari kedua grafik di atas, maka dapat diketahui laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit. Laju kalor konduksi didapat dari perhitungan. Grafik perbandingan laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit dapat dilihat pada **gambar 12**.



Gambar 12. Grafik Laju Kalor Konduksi Berdasarkan Ketebalan

Grafik di atas didapatkan dari nilai konduktivitas termal batu andesit (k), luas penampang batu andesit (A), perbedaan temperatur antara sisi atas-sisi bawah batu andesit ($\Delta T = T_{b_a} - T_{b_b}$) dan ketebalan batu andesit (Δx). Persamaan laju kalor konduksi seperti pada persamaan 4.1. Diketahui nilai konduktivitas termal batu andesit (k) sebesar $1.87 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ dan luas penampang batu andesit (A) sebesar 0.04 m^2 . Jadi, besar laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit dapat dihitung sebagai berikut:

- Ketebalan 1 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-10 yaitu sisi atas batu pada suhu 50.6 °C dan sisi bawah batu pada suhu 36.8 °C .

$$H = kA \frac{Tb_a - Tb_b}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{50.6 - 36.8}{0.01}$$

$$H = 103.224 \sim 103.22 \text{ W}$$

- Ketebalan 2 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-80 yaitu sisi atas batu pada suhu 57.1 °C dan sisi bawah batu pada suhu 42.5 °C.

$$H = kA \frac{Tb_a - Tb_b}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{57.1 - 42.5}{0.02}$$

$$H = 54.604 \sim 54.6 \text{ W}$$

- Ketebalan 3 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-50 yaitu sisi atas batu pada suhu 55.5 °C dan sisi bawah batu pada suhu 37.2 °C.

$$H = kA \frac{Tb_a - Tb_b}{\Delta x}$$

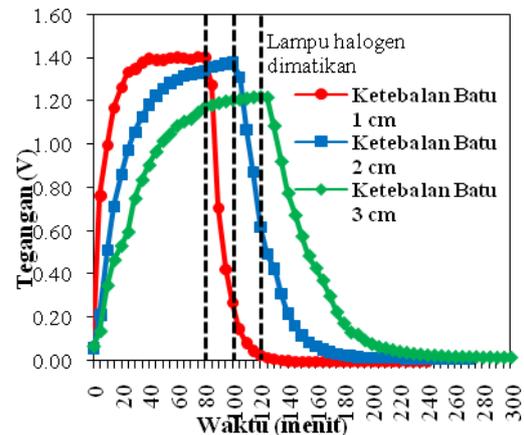
$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{55.5 - 37.2}{0.03}$$

$$H = 45.628 \sim 45.63 \text{ W}$$

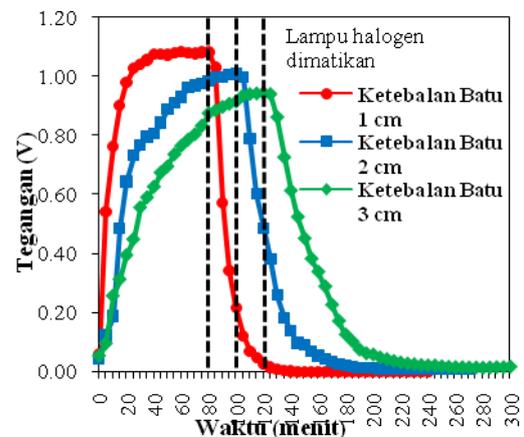
Hasil yang diperoleh dengan memasukkan nilai-nilai pada persamaan laju kalor konduksi, batu andesit ketebalan 1 cm memiliki laju kalor konduksi tertinggi dibandingkan dengan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Hasil ini didasarkan pada pengujian laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin tinggi pula laju kalor konduksi yang diterima batu andesit. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketebalan 1 cm memiliki laju kalor konduksi tertinggi.

➤ Keluaran Termoelektrik

Data yang diperoleh berupa grafik perbandingan tegangan V_0 dan V_1 berdasarkan ketebalan seperti terlihat pada **gambar 13** dan **gambar 14**.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Tegangan V_0 Termoelektrik Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit pada Pengujian Laboratorium



Gambar 14. Grafik Perbandingan Tegangan V_1 Termoelektrik Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit pada Pengujian Laboratorium

Dari kedua grafik di atas, terlihat kenaikan tegangan keluaran termoelektrik baik itu tegangan V_0 maupun tegangan V_1 saat lampu halogen dinyalakan. Kenaikan tegangan secara bertahap hingga mencapai nilai yang stabil. Tegangan V_0 merupakan tegangan keluaran termoelektrik tanpa

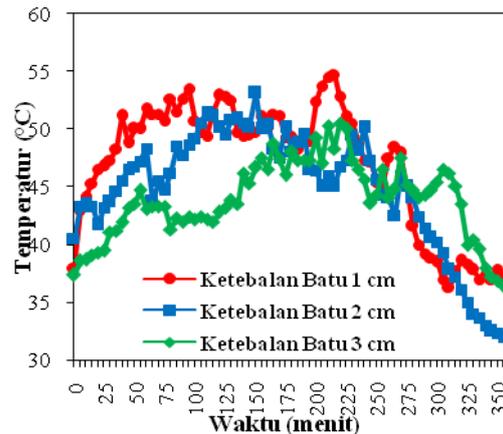
diberi beban. Sedangkan Tegangan V_1 merupakan tegangan keluaran termoelektrik dengan hambatan 100 ohm. Kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan termoelektrik pada ketebalan batu 1 cm memiliki nilai paling tinggi dibandingkan ketebalan batu 2 cm dan 3 cm. Hasil ini sebanding dengan analisis laju kalor konduksi. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa ketebalan batu 1 cm menghasilkan tegangan keluaran termoelektrik paling besar.

Saat lampu halogen dimatikan, tegangan keluaran termoelektrik baik itu tegangan V_0 maupun tegangan V_1 mulai menurun secara bertahap seperti yang ditunjukkan pada **gambar 13** dan **gambar 14**. Kedua grafik tersebut terlihat bahwa ketebalan batu 3 cm lebih lama mengalami penurunan tegangan termoelektrik. Hasil ini sebanding dengan analisis laju kalor konduksi. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa ketebalan batu 3 cm paling lama mengalami penurunan tegangan termoelektrik.

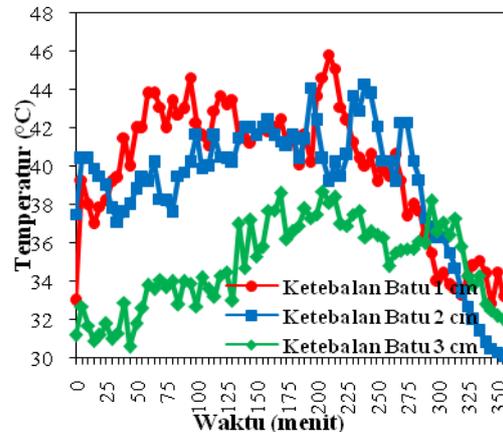
- Pengujian Lapangan
Hasil pengujian keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit diperoleh data-data berupa laju kalor konduksi dan keluaran termoelektrik.

➤ Laju Kalor Konduksi

Data yang diperoleh berupa grafik perbandingan laju pemanasan dan pelepasan kalor sisi atas dan sisi bawah batu andesit (sisi panas termoelektrik) berdasarkan ketebalan seperti terlihat pada **gambar 15** dan **gambar 16**.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Laju Pemanasan dan Pelepasan Kalor Sisi Atas Batu Andesit Berdasarkan Ketebalan

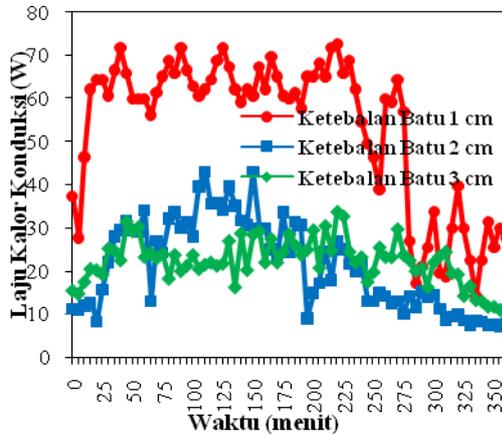


Gambar 16. Grafik Perbandingan Laju Pemanasan dan Pelepasan Kalor Sisi Bawah Batu Andesit Berdasarkan Ketebalan

Dari kedua grafik di atas, terlihat kenaikan temperatur sisi atas dan sisi bawah batu. Pada **gambar 15** dan **gambar 16** terlihat ketebalan 1 cm lebih cepat menerima kalor dibandingkan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Hasil ini dibuktikan pada pengujian sebelumnya pada laboratorium yang menyatakan bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin cepat pula menerima kalor. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa batu andesit ketebalan 1 cm lebih cepat menerima kalor.

Hasil dari kedua grafik di atas, maka dapat diketahui laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit. Laju kalor

konduksi didapat dari perhitungan. Grafik perbandingan laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit dapat dilihat pada **gambar 17**.



Gambar 17. Grafik Laju Kalor Konduksi Berdasarkan Ketebalan

Grafik di atas didapatkan dari nilai konduktivitas termal batu andesit (k), luas penampang batu andesit (A), perbedaan temperatur antara sisi atas-sisi bawah batu andesit ($\Delta T = T_{b_a} - T_{b_b}$) dan ketebalan batu andesit (Δx). Persamaan laju kalor konduksi seperti pada persamaan 4.1. Diketahui nilai konduktivitas termal batu andesit (k) sebesar $1.87 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ dan luas penampang batu andesit (A) sebesar 0.04 m^2 . Jadi, besar laju kalor konduksi masing-masing ketebalan batu andesit dapat dihitung sebagai berikut:

- Ketebalan 1 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-220 yaitu sisi atas batu pada suhu 54.7 °C dan sisi bawah batu pada suhu 45.8 °C .

$$H = kA \frac{T_{b_a} - T_{b_b}}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{54.7 - 45.8}{0.01}$$

$$H = 72.556 \sim 72.56 \text{ W}$$

- Ketebalan 2 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-110 yaitu sisi atas batu pada

suhu 51.5 °C dan sisi bawah batu pada suhu 40.0 °C .

$$H = kA \frac{T_{b_a} - T_{b_b}}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{51.5 - 40.0}{0.02}$$

$$H = 43.010 \sim 43.01 \text{ W}$$

- Ketebalan 3 cm
Perbedaan temperatur tertinggi pada menit ke-220 yaitu sisi atas batu pada suhu 50.5 °C dan sisi bawah batu pada suhu 37.0 °C .

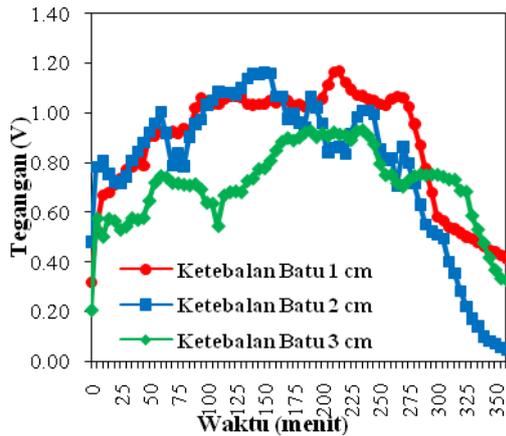
$$H = kA \frac{T_{b_a} - T_{b_b}}{\Delta x}$$

$$H = 1.87 \cdot 0.04 \cdot \frac{50.5 - 37.3}{0.03}$$

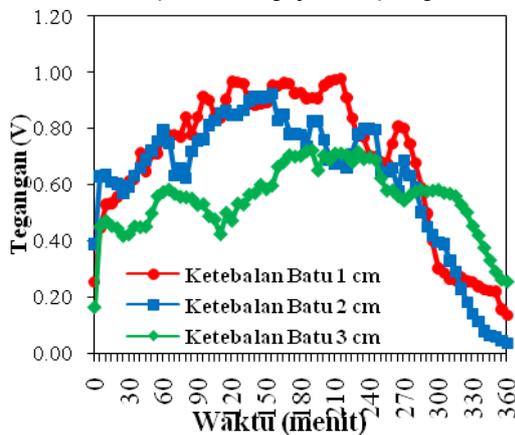
$$H = 33.660 \sim 33.66 \text{ W}$$

Hasil yang diperoleh dengan memasukkan nilai-nilai pada persamaan laju kalor konduksi, batu andesit ketebalan 1 cm memiliki laju kalor konduksi tertinggi dibandingkan dengan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Hasil ini didasarkan pada pengujian laju kalor konduksi berdasarkan ketebalan batu andesit sebelumnya pada pengujian laboratorium yang menyatakan bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin tinggi pula laju kalor konduksi yang diterima batu andesit. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketebalan 1 cm memiliki laju kalor konduksi tertinggi.

- Keluaran Termoelektrik
Data yang diperoleh berupa grafik perbandingan tegangan V_0 dan V_1 berdasarkan ketebalan seperti terlihat pada **gambar 18** dan **gambar 19**.



Gambar 18. Grafik Perbandingan Tegangan V_0 Termoelektrik Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit pada Pengujian Lapangan



Gambar 19. Grafik Perbandingan Tegangan V_1 Termoelektrik Berdasarkan Ketebalan Batu Andesit pada Pengujian Lapangan

Dari kedua grafik di atas, terlihat kenaikan tegangan keluaran termoelektrik baik itu tegangan V_0 maupun tegangan V_1 . Kenaikan tegangan secara bertahap hingga mencapai nilai yang stabil. Tegangan V_0 merupakan tegangan keluaran termoelektrik tanpa diberi beban. Sedangkan Tegangan V_1 merupakan tegangan keluaran termoelektrik dengan hambatan 100 ohm. Kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan termoelektrik pada ketebalan batu 1 cm memiliki nilai paling tinggi dibandingkan ketebalan batu 2 cm dan 3 cm. Hasil ini sebanding dengan analisis laju kalor konduksi pada pengujian laboratorium. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat

disimpulkan bahwa ketebalan batu 1 cm menghasilkan tegangan keluaran termoelektrik paling besar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dan analisis data yang didapat, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Batu andesit ketebalan 1 cm menerima kalor lebih cepat dibandingkan batu andesit ketebalan 2 cm dan 3 cm saat laju pemanasan. Sedangkan saat laju pelepasan kalor, batu andesit ketebalan 3 cm lebih lama melepaskan kalor dibandingkan batu andesit ketebalan 2 cm dan 1 cm. Berdasarkan hasil tersebut bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin cepat pula melepaskan kalor.
2. Laju kalor konduksi batu andesit berdasarkan ketebalan batu andesit pada pengujian laboratorium, ketebalan batu ketebalan 1 cm menghasilkan laju kalor konduksi tertinggi dibandingkan ketebalan 2 cm dan 3 cm. Laju kalor konduksi pada ketebalan batu 1 cm sebesar 91.26 W, ketebalan batu 2 cm sebesar 45.63 W dan ketebalan batu 3 cm sebesar 21.55 W. Hasil ini dapat diketahui bahwa semakin tipis ketebalan batu andesit maka semakin tinggi pula laju kalor konduksi yang diterima batu andesit.
3. Konfigurasi termoelektrik pola 3 menghasilkan tegangan paling besar pada pengujian konfigurasi termoelektrik. Pola tersebut menggunakan delapan keping termoelektrik yang disusun dengan jarak antar termoelektrik 1 cm. Tegangan yang dihasilkan sebesar 1.236 volt.

4. Keluaran termoelektrik berdasarkan ketebalan batu andesit pada pengujian laboratorium, ketebalan batu 1 cm menghasilkan tegangan keluaran paling besar dibandingkan ketebalan batu 2 cm dan 3 cm. Tegangan keluaran V_0 dan V_1 yang dihasilkan termoelektrik pada ketebalan batu 1 cm berturut-turut sebesar 1.40 V dan 1.08 V, ketebalan batu 2 cm sebesar 1.37 V dan 0.98 V, dan ketebalan batu 3 cm sebesar 1.22 V dan 0.94 V. Hasil ini dapat diketahui bahwa keluaran termoelektrik berbanding lurus dengan ketebalan batu.

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk mengembangkan penelitian ini sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran yang dihasilkan termoelektrik perlu disimpan dalam sebuah baterai. Hal ini dikarenakan saat termoelektrik dihubungkan dengan beban terjadi tegangan jatuh (*drop voltage*).
2. Pada pengujian lapangan dilakukan pada hari yang sama dan cuaca yang sama agar dapat mengetahui perbandingan masing-masing ketebalan batu andesit.
3. Penggunaan data *logger* untuk pengambilan data pada pengujian lapangan agar tidak perlu menunggu langsung di tempat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, D. A. (2015). Pemanfaatan Modul Termoelektrik Generator untuk Mengisi Baterai Ponsel. Salatiga: Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Satya Wacana.
- Anonim. (2017, Februari 15). Silicates. Retrieved from Rocks, Mineral and Crystals for Earth Science Fun: <http://www.rocksandminerals4u.com/silicates.html>
- Bralower, T., & Bice, D. (2017). Heat Capacity and Energy Storage | EARTH 103: Earth in the Future. Retrieved Februari 14, 2017, from Course Home Page: <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/1005>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach, Eight Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Compare Rocks. (2017, January 5). What is Andesite? Retrieved from Types of Rocks | Kinds of Rocks | Famous Rocks | Compare Rocks: <http://www.comparerocks.com/en/what-is-andesite/model-21-999>
- Djafar, Z., Putra, N., & Koestoer, R. (2011, Januari). Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Panas terhadap Karakteristik Modul Termoelektrik Generator. *Teknik Mesin*, 11(1), 33-34.
- Eppelbaum, L., Kutasov, I., & Pilchin, A. (2014). Applied Geothermics. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Giancoli, D. C. (2014). Physics; Principles with Applications (Seventh Edition). Boston: Pearson Education, Inc.
- Haldoko, L. A., Muhammad, R., & Purwoko, A. W. (2014). Karakteristik Batu Penyusun Candi Borobudur. *Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 8(1), 38-47.
- Holman, J. (2010). Heat Transfer, Tenth Edition. New York: McGraw-Hill.
- Kementerian ESDM. (2012, Juni 20). Retrieved from <http://www2.esdm.go.id/berita/artikel/56>

- artikel/5797-matahari-untuk-plts-di-indonesia-.html.
- King, H. (2017). Andesite: Igneous Rock - Pictures, Definition & More. Retrieved Januari 10, 2017, from Geology and Earth Science News and Information: <http://geology.com/rocks/andesite.shtml>
- Meier, A. v. (2006). *Electric Power Systems: A Conceptual Introduction*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nahvi, M., & Edminister, J. A. (2014). *Schaum's Outline: Electric Circuits, Sixth Edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Noor, D. (2012). *Pengantar Geologi, Edisi Kedua*. Bogor: Universitas Pakuan.
- Nurulianthy, A. (2012). *Pengembangan Hybrid Solar Cell dengan Thermoelectric Generator*. Depok: Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Poiter, M. C., & Somerton, C. W. (2014). *Schaum's Outline: Thermodynamics for Engineers, Third Edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Putra, T. S., Ali, M., & Fauzie, M. A. (2016). Kaji Ulang Sistem Termoelektrik Untuk Pemanas-Pendingin Air Minum Dengan Kapasitas 500 ml. *Desiminasi Teknologi*, 4(1), 44-55.
- Ramdini, I. D., Shoffa A., R., Multajam, R., Nuroniyatul F. W., U., & Maulani, K. (2014). Thermoelectric Generator. *Jurnal Fisika Sains*, 1(7).
- Riyadi, M. S., Nugraha, A. A., Setiadi, A., & Febrianto, H. (2016, Oktober). Analisis Pembangkit Listrik Sederhana Berbasis Thermoelectric Cooler dengan Media Batu Andesit. *Jurnal RISENOLOGI KPM UNJ*, 1(2), 70-74.
- Ryanuargo, Anwar, S., & Sari, S. P. (2013). *Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin*. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 182.
- Schaë rli, U., & Rybach, L. (2001). Determination of Specific Heat Capacity on Rock Fragments. *Geothermics* 30, 93-110. Retrieved from ResearchGate.
- Setiawan, A., Taryono, & Ayub, M. R. (2012). Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe Generator Termoelektrik Berbahan Gas. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 11(1), 1-10.
- Soeryadi, D. H. (2015, September 8). *Kebijakan Energi Nasional Berdasarkan PP KEN 79/2014*. Banjarmasin.
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian & Pengembangan; Research and Development*. Bandung: Alfabeta.
- U.S. Energy Information Administration. (2016, November 28). *Solar Thermal Power Plants*. Retrieved Juli 29, 2017, from U.S. Energy Information Administration: https://www.eia.gov/energyexplained/?page=solar_thermal_power_plants
- Weiland, T. (2017, February 11). *Mineral Lecture Note*. Retrieved from <http://itc.gsw.edu/faculty/tweiland/Minlect.htm>
- Widjaja, S. P. (2012). *Pengukuran dan Analisis Karakteristik Thermoelectric Generator dalam Pemanfaatan Energi Panas yang Terbuang*. Salatiga: Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Satya Wacana.