

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tinjauan Literatur

Penelitian terkait dengan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) menggunakan Termoelektrik telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian – penelitian tersebut umumnya berupa pengembangan dari penelitian sebelumnya. Berikut akan diuraikan referensi –referensi dari penelitian sebelumnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Muammar Khalid, dkk pada tahun 2016 dengan judul **“Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil dengan Menggunakan Termoelektrik”**. Penelitian ini memanfaatkan 4 buah termoelektrik yang disusun seri dilengkapi dengan 2 buah *heatsink* pada sisi dingin termoelektrik dan kolektor panas berbahan logam alumunium pada sisi panas berfungsi untuk menyerap panas matahari. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik dan cara kerja termoelektrik sebagai pembangkit listrik. Dapat menghasilkan tegangan sebesar 1,4 V pada perbedaan temperatur 31 K [1].

Penelitian yang dilakukan oleh Fauzan Sahputra, dkk pada tahun 2019 dengan judul **“Eco Filter Berbasis Zeolit Sebagai Solusi Gas Buang Pada Bahan Bakar Alternatif”**. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem eco filter zeolit, mengetahui ukuran zeolit yang efektif dalam menyerap gas buang dan life time sistem eco tersebut. Dalam penelitian ini menggunakan zeolit dengan ukuran (9,16,25 mesh), arang aktif dan flange berukuran 15 cm sebagai eco filter. Dari hasil penelitian ukuran yang memiliki tingkat keefektifan tertinggi dalam menyerap gas polutan adalah 16 mesh [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Adriyani Rusli, dkk pada tahun 2019 dengan judul **“Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Dengan Menggunakan Generator Termoelektrik”**. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja termoelektrik dalam mengubah energi panas menjadi energi listrik. 8 buah termoelektrik dirangkai dengan 2 buah heatsink, 2 buah kipas sebagai penyerap panas. Serta menggunakan konverter DC to DC sebagai penaik tegangan. Sumber

panas yang digunakan berasal dari panas api kompor. Rata – rata tegangan yang dapat dihasilkan pada jam 01.00 – 01.10 sebesar 1,46 – 6,15 V, arus sebesar 0,04 – 0,15 A, dan daya 0,0584 W – 0,9225 W [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Didik Nur Huda, dkk pada tahun 2020 dengan judul **“Identifikasi Termoelektrik Generator sebagai Pembangkit Tenaga Listrik”**. Tujuan penelitian tersebut untuk mengetahui seri termoelektrik yang paling efektif yang di jual di pasaran. Menggunakan 4 seri termoelektrik diantaranya TEG SP 1848 27145 A, TEC 12715, TEC 12706, TEG 199-1. 4-0,5 dengan jumlah 2 setiap serinya. Dilengkapi dengan *heatsink*. Sumber panas berasal dari knalpot sepeda motor. Diperoleh hasil identifikasi seri termoelektrik dengan urutan daya terbesar hingga terkecil adalah sebagai berikut TEG1-199-1.4-0.5, TEC1 12706, TEG SP 1848 27145 A, dan TEC1 12715[6].

Penelitian yang dilakukan oleh Reta Arsita, dkk pada tahun 2020 dengan judul **“Perancangan Pembangkit Listrik Termoelektrik Skala Kecil Dengan Incinerator Sampah Sebagai Media Penghasil Panas”**. Sumber panas memanfaatkan energi panas dari proses pembakaran sampah. Sampah yang digunakan sebesar 6,2 kg dengan durasi pembakaran 3 jam, dibagi menjadi 3 kali pembakaran. Dimensi sampah berbentuk silinder berdiameter 57 cm dengan tinggi 70 cm. Menggunakan 2 buah termoelektrik dirangkai secara seri menghasilkan tegangan sebesar 1,989 – 2,06 V, arus sebesar 20,36 mA – 71,8 mA [7].

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Abdul Manap, dkk pada tahun 2020 dengan judul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan Termoelektrik dengan Memanfaatkan pada Tungku Pemanas”**. Penelitian ini menggunakan 2 buah termoelektrik yang dirancang seri digunakan sebagai pembangkit listrik alternatif menggunakan *boost converter*, serta beban lampu DC 5 watt. Sumber energi panas dengan memanfaatkan tungku pemanas. Hasil penelitian menggunakan *boost converter* menghasilkan tegangan sebesar 42,8 V pada perbedaan suhu 90°C. Pada saat diberikan beban lampu DC 5 watt menghasilkan tegangan sebesar 8,81 V pada perbedaan suhu 82°C, arus sebesar 0,6 A, serta daya 4,84 W [2].

Penelitian yang dilakukan oleh Dodit Ardiatma, dkk pada tahun 2021 dengan judul **“Pemanfaatan Energi Panas Hasil Pembakaran Sampah Tanpa**

**Asap Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Menggunakan Termoelektrik**". Penelitian dilakukan dengan membakar berbagai jenis sampah organik/anorganik sebanyak 2,5 kg untuk menghasilkan sumber panas. Memanfaatkan 4 buah termoelektrik yang dirangkai seri menggunakan *heatsink* dan *water block*. Dalam pengujian rancangan, dibagi menjadi 1 buah termoelektrik dan 3 buah termoelektrik. Hasil tegangan yang diperoleh pada 1 buah termoelektrik sebesar 1,4 V. Sedangkan pada 3 buah termoelektrik menghasilkan 4,7 volt [3].

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Taufiq Ramadhan, dkk pada tahun 2021 dengan judul **"Potensi Pemanfaatan Sumber Panas Pembakaran Sampah Tempurung Kelapa Sebagai Penghasil Listrik dengan Prinsip Termoelektrik Generator"**. Sampah yang digunakan sebagai sumber panas berasal dari tempurung kelapa sebanyak 200 gram dibakar selama 30 menit. Menggunakan 20 buah termoelektrik menghasilkan tegangan rata - rata sebesar 10,05 V, arus rata - rata sebesar 0,99 A, daya rata - rata sebesar 13,84 W [8].

Penelitian yang dilakukan oleh Putri Ramadhani Roziqin, dkk pada tahun 2022 dengan judul **"Pemanfaatan Panas pada Tungku Pembakaran Sebagai Pembangkit Listrik dengan Peltier"**. Tungku pembakaran dalam penelitian berdimensi (60 × 30 × 40 cm). memanfaatkan 5 buah termoelektrik yang dirangkai dengan modul step up untuk menaikkan tegangan. Rangkaian pengujian disusun secara seri dan paralel. Tegangan tertinggi yang dapat dihasilkan sebesar 2,5 V [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Rimbawati, dkk pada tahun 2022 dengan judul **"Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Panas Api Menjadi Energi Listrik Sebagai Alat Charger Baterai Menggunakan Termoelektrik"**. Memanfaatkan sumber panas api unggun dengan menggunakan 4 buah termoelektrik dirangkai pada *heatsink* pada sisi dingin dan besi plat 2 mm pada sisi panas dapat menghasilkan output tegangan sebesar 3,7 V. dilengkapi dengan resistor dan kapasitor untuk menstabilkan tegangan [10].

## 2.2.Sampah

Dalam UU RI No 18 Tahun 2008 mengenai Pengelolaan Sampah, sampah memiliki arti sebagai sisa kegiatan manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat [3]. Sampah adalah barang yang sudah tidak dipakai dan dibuang oleh pemakainya, tetapi masih bernilai bagi sebagian orang ketika dapat mengelola

dengan prosedur yang benar. Sampah memiliki banyak jenis, sampah dikelompokkan ke dalam berbagai kelompok [11]. Berikut penjelasan mengenai klasifikasi jenis sampah.

a) Berdasarkan sumbernya dapat dibedakan menjadi

- Sampah alam
- Sampah konsumsi
- Sampah industri
- Sampah manusia
- Sampah rumah tangga
- Sampah perkantoran

b) Berdasarkan sifat dibedakan menjadi

- Sampah organik
- Sampah anorganik

c) Berdasarkan bentuknya dibedakan menjadi

- Sampah cair
- Sampah padat

### 2.3. Pembakaran Sampah

Proses pembakaran sampah dapat diartikan sebagai perubahan bentuk yang semula padat menjadi bentuk cair, gas, dan padat yang dikonversi, diikuti dengan pelepasan energi panas. Karakteristik dan komposisi sampah mempengaruhi proses pembakaran sampah. Karakteristik dan komposisi yang dimaksud yakni:

- Nilai kalor sampah, semakin tinggi nilai kalor sampah akan semakin cepat proses pembakaran.
- Kandungan air dalam sampah, semakin rendah kadar kandungan air maka akan semakin cepat proses pembakaran.
- Ukuran partikel, semakin luas permukaan kontak maka semakin cepat proses pembakaran.

Pada proses pembakaran gas – gas yang dilepaskan juga berpotensi menyebabkan emisi gas rumah kaca. Gas yang dihasilkan dalam pembakaran sampah antara lain CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> serta karbon organik. Di mana CO<sub>2</sub> merupakan gas utama yang dihasilkan dalam pembakaran sehingga menyebabkan emisi gas rumah kaca [12].

Indonesia menempati urutan kedua sebagai penghasil sampah plastik terbesar di dunia dengan total mencapai 85000 ton per tahun. Dari jumlah tersebut 16% sampah dilakukan daur ulang namun hanya 2% yang dinilai efektif, 14% akan di bakar, 40% di proses pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA), 30% dapat mengganggu lingkungan [13].

Dalam pembakaran sampah plastik, banyak zat – zat beracun dapat dihasilkan. Di bawah ini merupakan tabel zat beracun yang dapat dihasilkan dalam proses pembakaran sampah sesuai dengan jenis plastik.

**Tabel 2. 1.** Contoh Racun yang dilepaskan saat Pembakaran Sampah Plastik [14]

Jenis Plastik	Bentuk Umum	Racun saat Proses Pembakaran	Efek Kesehatan
<i>Polyethylene Terephthalate (PET atau PETE)</i>	Botol minuman, kemasan kosmetik, botol air	Metana, etana, etina, formaldehida, karbon dioksida, karbon monoksida, hidrokarbon aromatik polisiklik	Pernapasan ringan hingga sedang iritasi, karsinogenik dan efek mutagenik
<i>High-Density Polyethylene (HDPE)</i>	Sampo, botol, tas belanjaan, pot bunga, liner kotak sereal	Olefin, parafin, aldehida, dan hidrokarbon ringan, karbon monoksida, hidrokarbon aromatik polisiklik	Pernapasan ringan hingga sedang iritasi, karsinogenik dan efek mutagenik
<i>Polyvinyl Chloride (PVC atau Vinyl)</i>	Pipa pembuangan, blister pack, mainan, botol, dan kendi	Karbon monoksida, dioksin, furan terklorinasi, hidrogen klorida, hidrokarbon aromatik polisiklik	Kanker, cacat lahir, gangguan saluran pernapasan, dll.
<i>Low-Density Polyethylene (LDPE)</i>	Aneka minuman dan makanan, makanan beku, jus beku, dan kemasan susu	Olefin, parafin, aldehida, dan hidrokarbon ringan, karbon monoksida, hidrokarbon aromatik polisiklik	Pernapasan ringan hingga sedang iritasi, karsinogenik dan efek mutagenik
<i>Polypropylene (PP)</i>	Obat-obatan, yogurt, bumbu, kemasan makanan dan minuman lainnya	Naftalena, metilnaftalena, bifenil, fluorena, fenantrene, metilfenantrene, antrasena, pirena, fluorena, hidrokarbon aromatik polisiklik	Pernapasan ringan hingga sedang iritasi, karsinogenik dan efek mutagenik
<i>Polystyrene (PS atau styrofoam)</i>	Gelas busa, nampan daging, karton telur, garpu dan sendok plastik, kemasan Pengisi	Gas stirena, akrolein, hidrogen sianida, hidrokarbon aromatik polisiklik	Kanker, neurotoksisitas, kerusakan mata dan selaput lendir, narkosis, dan kematian dalam dosis tinggi
<i>Polyurethane (PU)</i>	Gorden, kayu selesai, sealant, perekat	Karbon monoksida, hidrogen sianida, fosgen	Kematian dalam dosis tinggi

## 2.4. Konversi Energi Panas dengan Termoelektrik

Energi panas adalah energi yang dihasilkan karena perbedaan suhu. Energi panas terjadi karena daerah yang memiliki suhu tinggi bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah. Panas memiliki satuan joule. Benda yang memiliki energi selalu berhubungan dengan gerak acak atom atau molekul penyusunnya. Adanya perpindahan energi partikel yang memiliki energi lebih tinggi ke energi lebih rendah menyebabkan terjadinya konduksi [7].

Perpindahan panas secara konduksi merupakan perpindahan yang terjadi secara langsung tanpa melalui perantara. Diartikan bahwa partikel – partikel perambatan panas tidak ikut berpindah seperti kalor yang berpindah. Perpindahan ini hanya terjadi pada benda padat. Perpindahan jenis ini juga dipengaruhi oleh sifat material benda tersebut memiliki kemampuan untuk merambatkan panas atau tidak [15]. Perpindahan kalor secara konduksi dapat dirumuskan seperti di bawah ini.

$$Q = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l} \quad (2.1)$$

keterangan :

$q$  : Laju Perpindahan Kalor (watt)

$k$  : Konduksi Termal (W/m.K)

$A$  : Luas Permukaan Benda ( $m^2$ )

$(T_1 - T_2)/l$  : Gradian Perpindahan Kalor (k/m)

Perpindahan kalor dapat digambarkan bahwa laju kalor yang bergerak dari suhu tinggi ( $T_1$ ) ke suhu yang lebih rendah ( $T_2$ ) akan menembus luas bidang ( $A$ ) pada ketebalan ( $l$ ) bernilai konduktifitas termal bahan ( $k$ ) [7].

Hubungan joule dengan kWh dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

$$P = \frac{W}{T} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$P$  : Daya Listrik (W)

$W$  : Energi listrik (kWh)

$T$  : Waktu (jam)

### 2.5.Sensor Suhu DHT-22

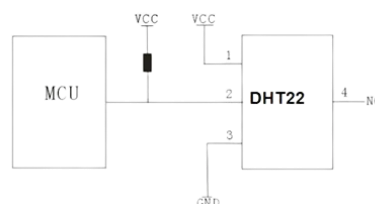
Sensor DHT – 22 merupakan sensor yang dapat mendeteksi suhu dan kelembaban yang memiliki keluaran sinyal digital. Kapasitor dan thermistor merupakan komponen penyusunnya [16]. DHT 22 memiliki kualitas pembacaan yang lebih baik dibandingkan dengan seri yang lainnya. Respon akuisisi data cepat, ukuran kecil dan harganya yang relatif murah. Akurasi galat relatif pengukuran suhu 4% dan kelembaban 18% [17]. Di bawah ini merupakan gambar sensor DHT 22.



**Gambar 2. 1.** Tampilan Fisik Sensor DHT – 22 [18]

Sensor DHT 22 memiliki 4 pin seperti terlihat pada gambar 2.2 rangkaian skematik di bawah ini. 4 pin tersebut terdiri dari [19] :

- Pin 1 : pin daya
- Pin 2 : pin data
- Pin 3 : Not connected
- Pin 4 : ground



**Gambar 2. 2.** Skematik Sensor DHT – 22

Spesifikasi Sensor DHT – 22 dapat dilihat secara lengkap pada tabel di bawah ini.

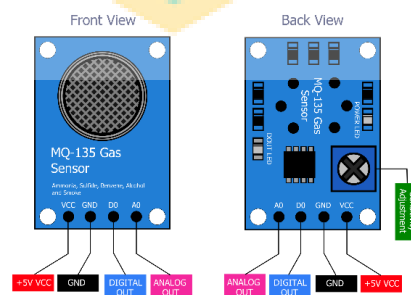
**Tabel 2. 2.** Spesifikasi Sensor Suhu DHT – 22 [20]

<b>Power Supply</b>	3,3 – 6 V
<b>Operating current</b>	2,5mA max
<b>Output signal</b>	Digital
<b>Temperature range</b>	-40 – 125°C
<b>Humidity range</b>	0 – 100%
<b>Accuracy</b>	
• <b>Humidity</b>	±2% - 5% RH
• <b>Temperature</b>	< ±0,5°C
<b>Resolution or sensitivity</b>	
• <b>Humidity</b>	0,1% RH
• <b>Temperature</b>	0,1°C

## 2.6.Sensor Gas MQ-135

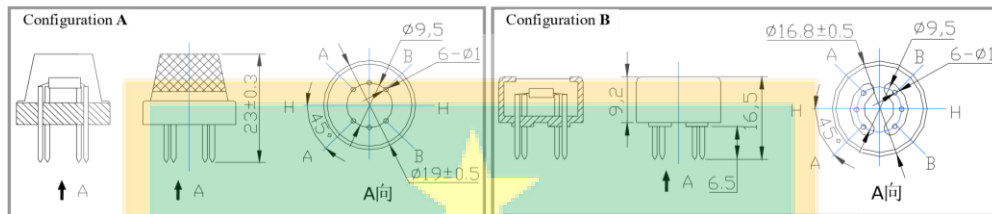
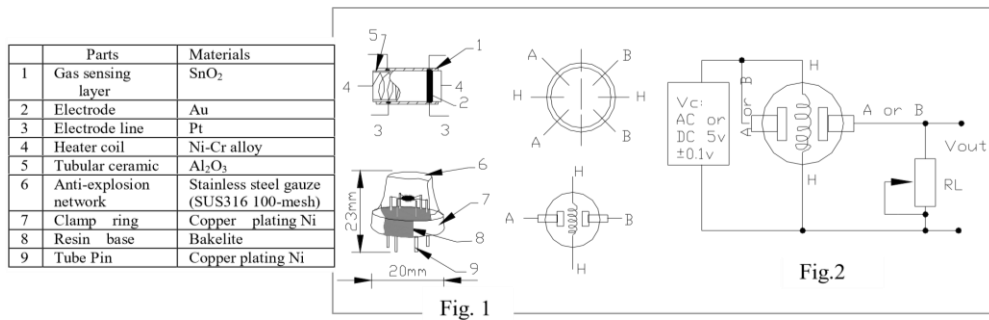
Sensor MQ – 135 merupakan sensor gas yang dapat mendeteksi kualitas atau polusi udara menggunakan rangkaian mikrokontroler. Gas yang dapat dideteksi oleh sensor meliputi gas amonia ( $\text{NH}_3$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), natrium dioksida ( $\text{NO}_2$ ), benzena ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), alkohol/ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) dan gas berbahaya yang lain[21]. Sensor MQ – 135 merupakan salah satu seri sensor gas MQ yang memiliki pin output digital dan analog [22].

Memiliki konduktivitas rendah pada tingkat udara bersih[23]. Sensor ini bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistansi (analog) pada pin keluaran ketika mendeteksi gas. Pin keluaran disambungkan dengan pin ADC pada mikrokontroler pin analog input. Memiliki daya tahan yang baik, praktis dan daya yang tidak besar. Lihat gambar 2.3 di bawah ini.



**Gambar 2. 3.** Tampilan Sensor Gas MQ – 135 [24]





Gambar 2. 4. Skematik dan Konfigurasi Sensor Gas MQ – 135

Spesifikasi Sensor MQ – 135 dapat dilihat secara lengkap pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 3. Spesifikasi Sensor Gas MQ – 135 [25]

<b>Circuit Voltage</b>	5 V ± 0,1	AC atau DC
<b>Heating Voltage</b>	5 V ± 0,1	AC atau DC
<b>Load Resistance</b>	Menyesuaikan	
<b>Heater Resistance</b>	33Ω ± 5%	Suhu ruangan
<b>Heating Consumption</b>	<500 mW	

### 2.7. Termoelektrik

Termoelektrik dapat mengkonversi secara langsung energi panas menjadi energi listrik. Ada dua jenis prinsip kerja termoelektrik yaitu efek *seebeck* dan efek *peltier* [26]. Termoelektrik dapat menghasilkan energi listrik jika terdapat perbedaan suhu pada kedua sisinya. Perbedaan suhu dihasilkan oleh bagian panas dan bagian dingin sisi termoelektrik [15]. Material elemen termoelektrik disusun dari bahan semikonduktor tipe-p dan tipe-n [27].

Pada lapisan bawah dan atas dilapisi dengan konduktor tembaga digunakan untuk menghubungkan satu sama lain. Konduktor tersebut berperan dalam perpindahan elektron – elektron agar bergerak bebas. Ketika logam dipanaskan dan didinginkan pada dua kutub logam tersebut akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi bagian dingin logam [3]. Berikut penjelasan kedua prinsip kerja elemen termoelektrik.

a) Efek *Seebeck*

Efek *Seebeck* ditemukan pertama kali oleh Thomas Johan Seebeck pada tahun 1821. Percobaan dilakukan menyambungkan besi dan tembaga pada suatu rangkaian. Jarum jam yang bergerak menunjukkan bahwa timbul medan listrik pada kedua logam akibat pemanasan pada salah satu sisinya [10]. Efek tersebut terjadi ketika dua buah material yang berbeda terhubung dalam satu rangkaian tertutup pada temperatur yang berbeda maka arus listrik akan mengalir dalam rangkaian tersebut.

Nilai tegangan yang dihasilkan sesuai dengan perbedaan suhu dan koefisien *seebeck* [26]. Koefisien Seebeck adalah perubahan yang menghasilkan energi listrik akibat perubahan temperatur [7]. Koefisien *seebeck* sering disebut dengan daya termoelektrik [4].

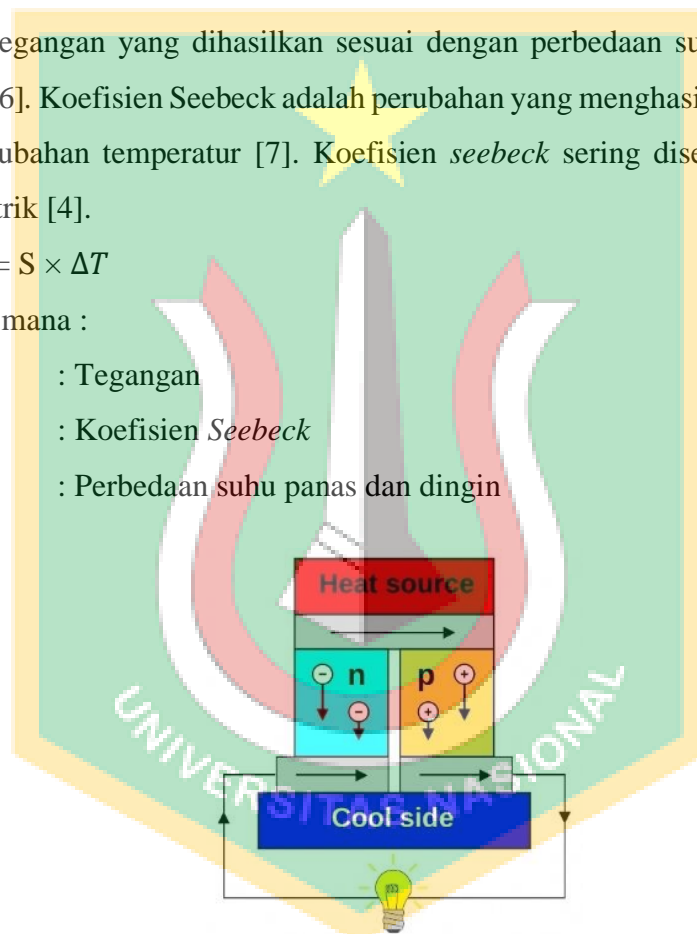
$$V = S \times \Delta T \quad (2.3)$$

Di mana :

V : Tegangan

S : Koefisien *Seebeck*

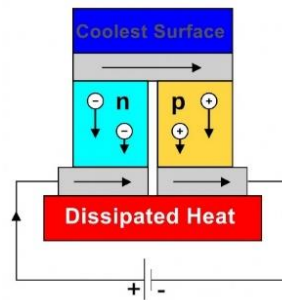
$\Delta T$  : Perbedaan suhu panas dan dingin



Gambar 2. 5. Skema Efek *Seebeck* pada Termoelektrik [28]

b) Efek Peltier

Efek Peltier merupakan kebalikan efek *seebeck*. Ketika dua buah material yang berbeda terhubung dan dialiri arus listrik maka akan menghasilkan perbedaan temperatur.



**Gambar 2. 6.** Skema Efek Peltier pada Termoelektrik [28].

Spesifikasi Termoelektrik yang digunakan pada penelitian dapat dilihat secara lengkap pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2. 4.** Spesifikasi Elemen Termoelektrik Tipe TEC – 12710 [9]

<b>Dimensi</b>	40×40×3,9mm
<b>I<sub>max</sub></b>	10 A
<b>U<sub>max</sub></b>	15,2 V
<b>Q<sub>max</sub></b>	62,2 W
<b>Range Pengukuran</b>	-50 – 180 °C
<b>ΔT</b>	94,2

### 2.8. Rangkaian Pada Termoelektrik

Dalam rangkaian elektronik, termoelektrik dapat disusun dengan beberapa cara. Yakni menggunakan rangkaian seri dan rangkaian paralel. Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan pada uraian di bawah ini.

#### a) Rangkaian Seri Termoelektrik

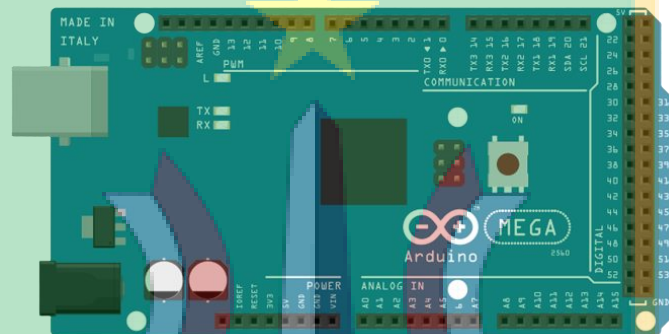
Termoelektrik yang dirangkai seri mendapatkan aliran arus yang besarnya sama terhadap seluruh komponen. Prinsipnya sama dengan sebuah baterai dalam suatu rangkaian elektronika, besarnya tegangan yang dapat dihasilkan akan meningkat dengan besar arus yang tetap.

#### b) Rangkaian Paralel Termoelektrik

Termoelektrik yang dirangkai paralel akan mendapatkan tegangan yang besarnya sama untuk semua komponen. Sama halnya dengan penjelasan rangkaian seri termoelektrik, rangkaian paralel dapat menghasilkan sejumlah arus yang meningkat dengan beda potensial yang lebih tinggi.

## 2.9.Arduino Atmega 2560

Arduino Atmega 2560 merupakan mikrokontroler yang memiliki pin relatif lebih banyak dibandingkan dengan jenis mikrokontroler yang lainnya. Dilengkapi dengan 16 Mhz pada penggunaan relatif sederhana dengan menghubungkan power USB ke PC/Laptop menggunakan kabel jack DC [29]. Terdiri dari 54 pin yang dapat digunakan sebagai input atau output, 16 pin analog input dan setiap pin analog memiliki resolusi 10 bit, dilengkapi dengan pin khusus seperti *port* serial sebanyak 4 buah, pin *external interrupts* sebanyak 6 buah, output PWM sebanyak 15 buah dengan resolusi 8 bit [30].



Gambar 2. 7. Tampilan Arduino Atmega 2560 [31]

Spesifikasi Arduino dapat dilihat secara lengkap pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 5. Spesifikasi Arduino Atmega 2560 [30].

<b>Tegangan Operasional</b>	5 V
<b>Tegangan Input</b>	
• Rekomendasi	7 – 12 V
• Limit	6 – 20 V
<b>Pin Digital I/O-</b>	54
<b>Pin Analog Input</b>	16
<b>Arus DC per Pin I/O</b>	20 mA
<b>Arus DC untuk Pin 3,3 V</b>	50 mA
<b>Memory Flash</b>	256 KB
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>Clock Speed</b>	16 MHz
<b>LED_BUILT</b>	13
<b>Dimensi</b>	
• Panjang	101,52 mm
• Lebar	53,3 mm
• Berat	37

### 2.10. Zeolit

Zeolit merupakan salah satu material adsorben. Zeolit tergolong ke dalam kelompok mineral yang memiliki daya serap yang tinggi, karena memiliki pori yang sangat kecil (mikropori). Struktur zeolit digambarkan dengan kristal berongga jaringan silika alumina tetra hedral tiga dimensi dan memiliki struktur relatif teratur. Komposisi kimia zeolit mempengaruhi bentuk struktur zeolit.

Tipe zeolit berbeda maka strukturnya juga akan berbeda. Secara umum, zeolit memiliki warna kebiru – biruan dan mudah melakukan pertukaran ion, ion alkali melakukan pertukaran dengan ion – ion yang lain. Variasi berat jenisnya rata – rata berkisar 2 – 2,4 serta molekul air yang terkandung mudah lepas dengan cara dipanaskan [32].

Zeolit adalah senyawa aluminosilikat terhidrasi terbentuk dari ikatan  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  tetrahidra yang terkoneksi dengan atom oksigen yang berbentuk kerangka. Atom kerangka zeolit Al selalu bersifat negatif dan nantinya akan dinetralkan oleh kation saat mengalami pertukaran. Kation akan berpengaruh pada kemampuan adsorpsi. Selain itu perbandingan Si/Al, geometri pori – pori zeolit, luas permukaan dalam, distribusi ukuran pori dan bentuk pori akan mempengaruhi [33].

Dalam keadaan normal, ruang hampa pada kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas pada sekitar kation. Ketika zeolit dipanaskan, air tersebut akan keluar berfungsi sebagai penyerap gas atau uap cairan. Hal tersebut menyebabkan dehidrasi sehingga pori zeolit akan sangat terbuka dan memiliki luas permukaan yang luas sehingga mampu mengadsorpsi jumlah zat lebih besar. Sisi aktif akan semakin besar ketika luas permukaan zeolit semakin besar [34].

### 2.11. Karbon Aktif

Salah satu fungsi dari karbon aktif ialah sebagai adsorben pemurnian gas. Karbon aktif memiliki bentuk yang bermacam – macam seperti berbentuk serbuk, granular, dan pellet. Karbon aktif yang tidak berbau, tidak terasa, dan berwarna hitam memiliki daya serap yang lebih besar [35]. Karbon aktif disebut juga dengan karbon amorf karena luas permukaannya yang sangat besar, kisaran 200 – 2000  $\text{m}^2/\text{g}$ . Karbon aktif memiliki daya adsorp yang lebih baik dibandingkan dengan adsorben lainnya. Salah satu material adsorben yang paling potensial

dikalangannya. Karbon aktif merupakan padatan berpori mengandung 85 – 95% karbon yang dihasilkan oleh pemanasan pada temperatur yang tinggi [36]. Satu gram karbon aktif mempunyai permukaan seluas  $500 \text{ m}^2$  [35].

Karbon aktif merupakan arang yang telah melewati proses secara fisika maupun kimia agar teraktivasi dengan baik sehingga menghasilkan karbon dengan pori – pori yang lebih terbuka. Pori – pori karbon aktif memiliki ukuran dan bentuk yang beragam dan tidak teratur, ukuran berkisar  $10 - 10000 \text{ \AA}$ .

Pori – pori tersebut akan menangkap dan menyerap partikel yang sangat halus. Semakin banyak zat yang dapat di serap maka pada akhirnya pori – pori tersebut akan jenuh dan tidak berfungsi lagi. Karbon aktif yang telah mencapai titik jenuh dapat di reaktivasi kembali, meskipun ada beberapa yang menyarankan untuk sekali pakai [37]. Karbon aktif memiliki daya serap yang sangat besar berkisar antara 25 – 100% terhadap berat karbon aktif [38].

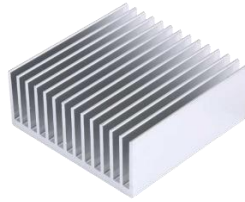
Karbon aktif yang disarankan untuk menyerap molekul – molekul gas adalah karbon aktif yang memiliki pori mikro. Hal ini menyebabkan molekul gas yang sangat kecil dapat melewatinya. Karbon aktif terdiri dari ion – ion logam dan molekul – molekul air. Pada keadaan normal, ruang antar lapisan karbon aktif terisi oleh molekul air bebas di sekitar kation. Ketika karbon aktif dipanaskan pada temperatur  $100^\circ\text{C}$ , molekul – molekul air akan menguap keluar sehingga dapat menyerap gas. Apabila dipanaskan pada temperatur lebih dari  $150^\circ\text{C}$ , struktur dari karbon aktif tidak tahan panas dan akan rusak [37].

### 2.12. *Heatsink*

*Heatsink* merupakan sebuah logam pendingin yang biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga. Berfungsi sebagai pendingin membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan sebuah efisiensi modul atau menjaga sebuah modul atau elemen agar tidak *overheat* [7]. Jenis *heatsink* yang sering digunakan ialah *heatsink* plat bersirip dan *heatsink* jenis slot.

Menurut penelitian *heatsink* plat bersirip lebih efektif meningkatkan laju perpindahan panas dan laju pendinginan. Sistem pendingin pada termoelektrik berfungsi sebagai penyerap kalor pada sisi dingin elemen dan membuang kalor pada

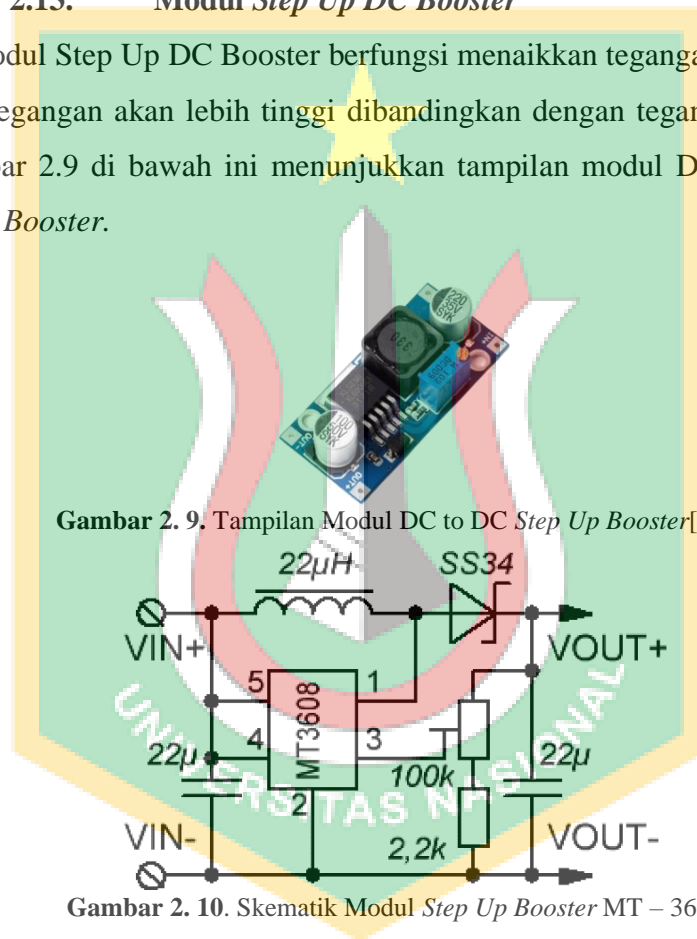
sisi panas termoelektrik. Pada sisi dingin berfungsi mempercepat penyerapan panas [39]. *Heatsink* slot bersirip (extrude) dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



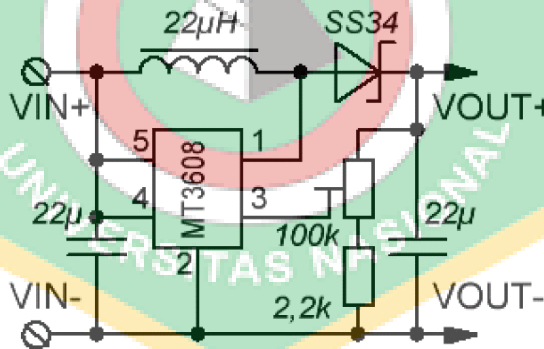
**Gambar 2. 8.** Tampilan *Heatsink* Bersirip (Extrude) [40]

### 2.13. Modul *Step Up DC Booster*

Modul *Step Up DC Booster* berfungsi menaikkan tegangan keluaran. Hasil keluaran tegangan akan lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan masukannya [7]. Gambar 2.9 di bawah ini menunjukkan tampilan modul *DC – DC Step Up Converter Booster*.



**Gambar 2. 9.** Tampilan Modul *DC to DC Step Up Booster*[41]



**Gambar 2. 10.** Skematik Modul *Step Up Booster* MT – 3608

Spesifikasi Modul dapat dilihat secara lengkap pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2. 6.** Spesifikasi Modul *Step Up DC Booster* [9]

<b><i>Input Voltage</i></b>	2 – 24 V
<b><i>Output Voltage</i></b>	Up to 28 V