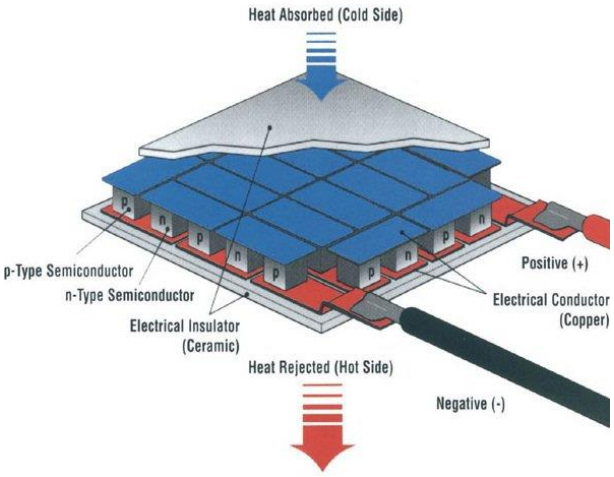
BAB II
TEORI PENUNJANG

2.1 Generator termoelektrik

Termoelectric Generator (TEG) adalah suatu pembangkit listrik yang didasarkan pada efek *Seebeck,* yang pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck [2]. Dia menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Hal ini terjadi oleh aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas tersebut. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek *Seebeck* [3].

Konsep *Seebeck* menggambarkan bahwa jika dua buah material logam (biasanya semikonduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka pada material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik [3].



Gambar 2.1 Penampang termoelektrik

Gambar 2.1 menunjukkan struktur TEG yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan temperatur [2].

Modul termoelektrik adalah sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek *Seebeck*, *Peltier* dan *Thompson*. Konstruksinya terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti sandwich antar dua wafer keramik tipis. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika dialirkan arus listrik, biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin misalnya kotak pendingin vaksin. Atau untuk menghasilkan listrik ketika panas dan dingin digunakan sebagai perbedaan temperaturnya [2].

Potensi pembangkitan daya dari modul termoelektrik tunggal akan berbeda-beda bergantung pada ukuran, konstruksi dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar [2].

Pembangkit listrik TEG pernah dilakukan oleh mahasiswa di Indonesia salah satunya diterapkan pada knalpot sepeda motor oleh Sugiyanto. Mereka menggunakan modul TEG HZ-14 pada sepeda motor 150cc. Modul TEG dipasang pada knalpot dengan cara diapit oleh dua alumunium *heatsink*. *Heatink* panas berfungsi sebagai penyalur panas dari kenalpot ke modul TEG, sedangkan *heatsink* dingin atau *coldsink* sebagai pelepas kalor ke udara. Penelitian tersebut berhasil mendapatkan tegangan tanpa beban 664-665mV setelah sepeda motor berjalan dengan kecepatan 4500 rpm [4].

Aplikasi TEG yang memanfaatkan panas matahari telah dilakukan oleh Jerri Simanjuntak. Penelitian tersebut dilakukan dengan cara mengumpulkan panas matahari secara langsung menggunakan lensa fresnel. Material penerima panas yang digunakan adalah alumunium, sedangkan pada sisi dingin menggunakan alumunium *heatsink*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan 12 modul termoelektrik yang disusun secara seri dapat menghasilkan tegangan keluaran 12,5V dengan perbedaan temperatur maksimal 72,2^{o}C, sehingga diperoleh besar daya mencapai 13,875 Watt [5].

2.2 Kompor surya

Oven surya atau kompor tenaga surya adalah perangkat masak yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Berhubung kompor jenis ini tidak menggunakan bahan bakar konvensional dan biaya operasinya rendah, organisasi kemanusiaan mempromosikan penggunaannya ke seluruh dunia untuk mengurangi penggundulan hutan dan penggurunan, yang disebabkan oleh penggunaan kayu sebagai bahan bakar untuk keperluan memasak [6].



Gambar 2.2 Kompor surya tipe panel

Ada berbagai jenis kompor surya. Semuanya menggunakan panas dari cahaya matahari untuk memasak makanan. Beberapa prinsip dasar kompor surya adalah sebagai berikut: [6]

1. Pemusatan cahaya matahari, biasanya berupa cermin atau sejenis bahan metal/logam yang memantulkan cahaya, digunakan untuk memusatkan cahaya dan panas matahari ke arah area memasak yang kecil, membuat energi lebih terkonsentrasi ke satu titik dan menghasilkan panas yang cukup untuk memasak.
2. Mengubah cahaya menjadi panas. Bagian dalam kompor surya dan panci, dari bahan apapun asal yang berwarna hitam, dapat meningkatkan efektivitas pengubahan cahaya menjadi panas. Panci berwarna hitam dapat menyerap hampir semua cahaya matahari dan mengubahnya menjadi panas, secara mendasar meningkatkan efektivitas kerja kompor surya. Semakin baik kemampuan panci menghantarkan panas, semakin cepat kompor dan oven bekerja.

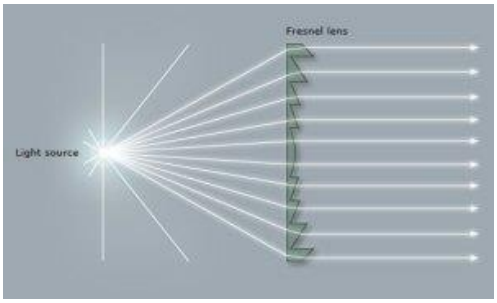
3. Memerangkap panas, upaya mengisolasi udara di dalam kompor dari udara di luarnya akan menjadi penting. Penggunaan bahan yang keras dan bening seperti kantong plastik atau tutup panci berbahan kaca memungkinkan cahaya untuk masuk ke dalam panci. Setelah cahaya terserap dan berubah jadi panas, kantong plastik atau tutup berbahan gelas akan memerangkap panas di dalamnya seperti efek rumah kaca. Hal ini memungkinkan kompor untuk mencapai temperatur yang sama ketika hari dingin dan berangin seperti halnya ketika hari cerah dan panas.

Strategi memanaskan suatu barang dengan menggunakan tenaga matahari menjadi kurang efektif jika hanya menggunakan salah satu prinsip tersebut di atas. Pada umumnya kompor surya menggunakan sedikitnya dua cara atau bahkan ketiga prinsip dasar kompor surya untuk menghasilkan temperatur yang cukup untuk memasak [6].

Penutup kompor biasanya dapat dibuka untuk menempatkan panci ke dalamnya. Kotak kompor umumnya mempunyai satu atau lebih pemantul cahaya dari bahan kertas aluminium atau bahan reflektif lainnya untuk memantulkan lebih banyak cahaya ke bagian dalam kotak. Panci pemasak dan bagian dalam bawah kompor sebaiknya berwarna gelap atau hitam [6].

2.3 Lensa Fresnel

Lensa Fresnel adalah sebuah lensa yang dikembangkan oleh seorang fisikawan berkebangsaan Perancis, Augustin Jean Fresnel untuk aplikasi pada mercusuar. Konstruksi lensa didesain dengan panjang fokus yang pendek, jarak fokus tak terhingga dan tebal lensa yang sangat tipis jika dibandingkan dengan lensa konvensional, agar dapat melewatkan lebih banyak cahaya sehingga lampu mercusuar dapat terlihat dari jarak yang lebih jauh [7].



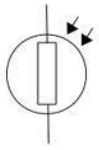
Gambar 2.3 Berkas sinar yang melalui lensa fresnel

Menurut majalah Smithsonian, lensa fresnel yang pertama digunakan pada tahun 1823 pada mercusuar Cordouan di tanjung muara Gironde, sinar cahaya yang dipancarkan mampu terlihat dari jarak 20 mil (32 km). Seorang fisikawan Skotlandia, Sir David Brewster, memperkenalkan lensa ini untuk digunakan pada seluruh mercusuar di daratan Inggris. Sebelum lensa fresnel ditemukan, ide untuk membuat lensa yang lebih tipis dan ringan yang tersusun dari beberapa bagian terpisah dalam sebuah bingkai, sering disebut sebagai ide dari Georges Louis Leclerc dan Comte de Buffon Fresnel menyempurnakan penyusunan lensa-lensa konsentrik tersebut berdasarkan perhitungan zona fresnel [7].

Berkas sinar yang datang dari arah bagian datar lensa fresnel akan dibelokkan sehingga menjadi berkas sinar yang sejajar. Sedangkan apabila berkas sinar datang dari bagian lensa yang bergerigi makan berkas sinar akan dikumpulkan pada satu titik fokus, prinsip ini sama seperti berkas sinar yang mengenai lensa cembung. Namun kelebihan dari lensa fresnel adalah distorsi cahaya yang keluar sangat sedikit, serta lensa fresnel lebih tipis dari lensa cembung.

2.4 *Light Dependent Resistor* (LDR)

LDR atau *Light Dependent Resistor* adalah sebuah komponen elektronika yang termasuk ke dalam jenis resistor yang nilai resistansinya (nilai tahanannya) akan berubah apabila intensitas cahaya yang diserap juga berubah. Dengan demikian LDR juga merupakan resistor yang mempunyai koefisien temperatur negatif, dimana resistansinya dipengaruhi oleh intensitas cahaya. LDR terbuat dari Cadium Sulfida, bahan ini dihasilkan dari serbuk keramik. Biasanya Cadium Sulfida disebut juga bahan *photoconductive*, konduktivitas atau resistansi dari Cadium Sulfida bervariasi terhadap intensitas cahaya. Jika intensitas cahaya yang diterima rendah maka hambatan juga akan tinggi yang mengakibatkan tengangan yang keluar juga akan tinggi begitu juga sebaliknya disinilah mekanisme proses perubahan cahaya menjadi listrik terjadi [8].



Gambar 2.4 Simbol LDR

Pada dasarnya LDR terbuat dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya. Pada saat gelap atau intensitas cahaya rendah, bahan tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relatif kecil. Sehingga hanya sedikit elektron yang dihasilkan untuk mengangkut muatan elektrik. Hal ini berarti, pada saat keadaan gelap atau intensitas cahaya rendah, maka LDR akan menjadi konduktor yang buruk, sehingga LDR memiliki resistansi yang besar pada saat gelap atau intensitas cahaya rendah [8].



Gambar 2.5 Bentuk fisik LDR

Pada saat terang atau intensitas cahaya tinggi, bahan tersebut lebih banyak menghasilkan elektron yang lepas dari atom. Sehingga akan lebih banyak elektron yang dihasilkan untuk mengangkut muatan elektrik. Hal ini berarti, pada saat terang atau intensitas cahaya tinggi, maka LDR menjadi konduktor yang baik, sehingga LDR memiliki resistansi yang kecil pada saat terang atau intensistas cahaya tinggi [8].

2.5 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor merupakan ilmu yang meramalkan perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material. Ilmu pengetahuan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi tertentu. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan hukum kedua termoelektrik [9].

Perkembangan ilmu fisika dari ilmuan Count Rumford (1753-1814), Massa Chusetts, dan James Prescolt Joule (1818-1819) melakukan percobaan bahwa aliran panas merupakan perpindahan energi dari sistem dan lingkungan. Apabila perpindahan energi terjadi pada perbedaan suhu maka hal ini disebut pengaliran panas [10].

Konduksi merupakan proses perpindahan kalor tanpa disertai dengan perpindahan partikelnya. Proses konduksi ini secara umum terjadi pada logam atau yang bersifat konduktor (menghantarkan panas). Dalam konduksi yang berpindah hanyalah energi saja yaitu berupa panas [11].

Sebuah benda terdiri dari partikel-partikel pembentuk benda tersebut. Sebut saja sendok yang terbuat dari logam aluminium terdiri dari partikel-partikel logam yang sangat berdekatan letaknya. Sehingga saat ujung sendok dikenai panas maka partikel diujung tersebut memperoleh energi panas yang membuatnya bergetar dan bertumbukan dengan partikel disebelahnya tanpa ikut berpindah. Akibatnya partikel partikel terus bergetar dan membuat partikel lainnya ikut bergetar dan memperoleh energi berupa panas hingga ujung sendok satunya lagi [11].

Besarnya energi konduksi disebut juga laju konduksi ditentukan oleh persamaan berikut [11]:

$$Q = \frac{kAt\Delta T}{l} \tag{2.1}$$

Keterangan :

Q: Laju perpindahan kalor (J atau J/detik)

K: Konduktivitas atau kehantaran termal (Watt/meter)

A: Luas penampang (m2)

t : waktu (s)

T: Suhu (kelvin)

l : panjang logam

Tabel 2.1 Tabel konduktivitas termal benda [12]

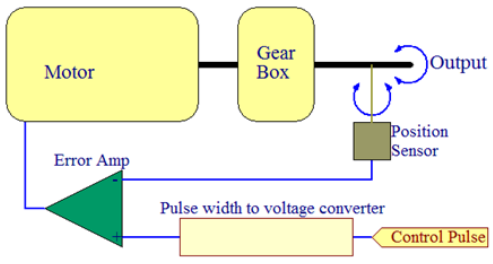
Jenis benda	**Konduktivitas Termal (k)**	
	J/m.s.C^o	**Kkal/m.s.C^o**
Perak	420	1000×10^{-4}
Tembaga	380	920×10^{-4}
Aluminium	200	500×10^{-4}
Baja	40	110×10^{-4}
Es	2	5×10^{-4}
Kaca (biasa)	0,84	2×10^{-4}

Bata	0,84	2×10^{-4}
Air	0,56	$1,4 \times 10^{-4}$
Tubuh manusia	0,2	$0,5 \times 10^{-4}$
Kayu	0,08 – 0,16	$0,2 \times 10^{-4} – 0,4 \times 10^{-4}$
Gabus	0,042	$0,1 \times 10^{-4}$
Wol	0,040	$0,1 \times 10^{-4}$
Busa	0,024	$0,06 \times 10^{-4}$
Udara	0,023	$0,055 \times 10^{-4}$

2.6 Servo

Motor servo banyak digunakan sebagai akuator pada *mobile* robot atau lengan robot. Servo motor umumnya terdiri dari servo *continuous* dan servo *standart*. Servo *continuous* dapat berputar seberasr 360 derajat, sedangkan servo motor tipe *standart* hanya mampu berputar 180 derajat [13].

Motor servo terdiri dari beberapa bagian utama: motor dan *gearbox*, sensor posisi, *error amplifier* dan motor *driver* serta sirkuit yang mendekode posisi yang diminta. Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok servo motor (*typical*). Radio *control receiver system* (atau kontroler lainnya) membangkitkan suatu pulsa yang lebarnya berubah sekitar setiap 20ms. Pulsa ini lebarnya biasanya antara 1 dan 2 ms. Lebar pulsa digunakan oleh servo untuk menentukan posisi rotasi yang dikehendaki [13].



Gambar 2.6 Diagram Blok Servo motor

Beberapa keuntungan motor servo dibandingkan dengan steppermotor adalah:

- *High intermittent torque*
- Torsi tinggi untuk inertia ratio
- Kecepatannya tinggi

- Bekerja baik untuk kontrol kecepatan
- Tersedia dalam banyak ukuran

Arus posisi rotasi poros (keluaran motor servo) dibaca oleh sebuah sensor. Sensor ini biasanya adalah sebuah *potensiometer* (*variable* resistor) yang menghasilkan tegangan yang sesuai dengan sudut mutlak poros. Sensor posisi kemudian mengumpankan nilai arus ke *error amplifier* yang membandingkan arus posisi dengan posisi yang diperintahkan dari *pulsewidth to voltage converter*. *Potensiometer* memungkinkan sirkuit kontrol untuk memonitor arus sudut motor servo. Jika poros motor berada pada sudut yang benar, maka motor mengunci. Jika sirkuit mendapatkan sudut yang tidak benar, dia akan memutar motor ke arah yang benar hingga sudutnya benar. *Output* poros motor servo dapat berputar sekitar 180 derajat. Umumnya, rentang putaran hingga 210 derajat tergantung pabrik [13].

Motor servo normal digunakan untuk mengontrol gerakan sudut (*angular motion*) antara 0 dan 180 derajat. Jumlah daya yang digunakan pada motor adalah sebanding dengan jarak yang ditempuh. Jadi, jika diperlukan poros berputar dengan jarak yang besar, motor akan berjalan pada kecepatan penuh. Jika diperlukan hanya putaran kecil, motor akan berjalan pada kecepatan lebih lambat. Ini disebut *proportional control* [13].

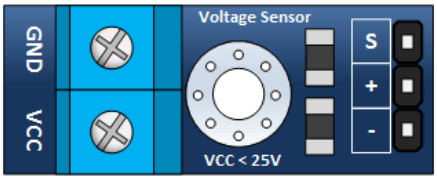
Saluran kontrol digunakan untuk berhubungan dengan sudut. Sudut ditentukan oleh durasi pulsa yang dikenakan pada saluran kontrol. Ini disebut *Pulse Width Modulation* (PWM). Lebar pulsa menentukan seberapa jauh motor berputar. Sebagai contoh sebuah pulsa 1,5ms akan memutar motor ke posisi 90 derajat (sering disebut posisis netral). Jika pulsa lebih pendek dari 1,5ms maka motor akan memutar poros menuju 0 derajat. Jika pulsa lebih panjang dari 1,5ms maka poros berputar menuju 180 derajat [13].

Pada motor servo biasanya dituliskan spesifikasi torsinya. Hal ini digunakan untuk mengetahui tenaga dari motor servo. Hubungan torsi dengan jari-jari dirumuskan pada persamaan 2.2.

$$T = r \; x \; F \tag{2.2}$$

2.7 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan adalah modul sensor tegangan 25V arduino. Modul ini didasarkan pada prinsip tekanan resistensi poin. Tegangan input analog arduino adalah 5V, sehingga tegangan yang dibaca dari modul ini harus tidak lebih dari 5V x 5 = 25V (jika untuk 3,3V, tegangan tidak lebih dari 3,3V x 5 = 16,5V). Karena chip arduino memiliki 10 bit ADC (*Analog Digital Converter*), sehingga resolusi simulasi modul ini adalah 0,00489 V (5 V / 1023), dan tegangan input dari modul ini harus lebih dari 0,00489 V x 5 = 0,02445 V [14].



Gambar 2.7 Modul sensor tegangan 25V arduino

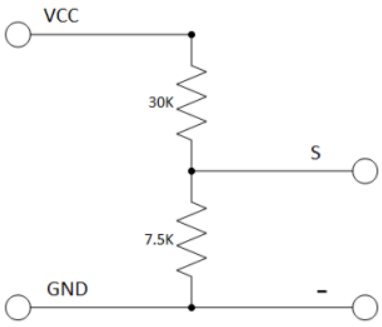
Input:

- GND dihubungkan pada sisi negatif tegangan yang akan diukur.
- VCC dihubungkan pada sisi positif tegangan yang akan diukur.

Output:

- S adalah pin keluaran yang dihubungkan dengan pin analog arduino.
- + dihubungkan dengan pin 5V arduino atau 3,3V arduino.
- - dihubungkan dengan ground arduino.

Gambar 2.8 merupakan skema rangkaian dalam dari modul ini. Pada dasarnya merupakan suatu 5:1 pembagi tegangan menggunakan 30KΩ dan 7,5KΩ resistor.

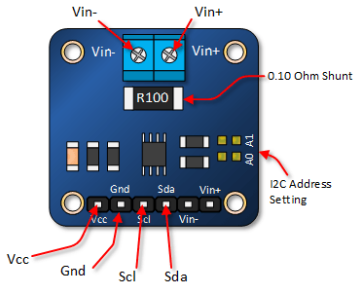


Gambar 2.8 Skema rangkaian dalam sensor tegangan 25V arduino

2.8 Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah modul INA219. Modul ini dapat memonitor tegangan jatuh *shunt* dan tegangan bus sumber, dengan pemrograman konversi waktu dan penyaringan. Mempunyai program kalibrasi yang digabungkan dengan internal multiplier, sehingga dapat mengaktifkan pembacaan arus secara langsung. Sebagai tambahan register multiplier menghitung daya dalam bentuk watt [15].

INA219 mengukur tegangan yang melewati *shunt* pada bus dari 0-26V. Modul ini bekerja dengan tegangan sumber 3 - 5,5V dan arus 1mA. Serta bekerja pada suhu -40 – 125ºC.



Gambar 2.9 Modul INA219

Input:

- Vin- dihubungkan pada sisi negatif sumber arus yang akan diukur.
- Vin+ dihubungkan paa sisi positif sumber arus yang akan diukur.

Output:

- Vcc dihubungkan dengan pin 5V arduino.
- Gnd dihubungkan dengan ground arduino.
- Scl dihubungkan dengan pin A5 arduino uno atau pin scl.
- Sda dihubungkan dengan pin A4 arduino uno atau pin sda.