

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan penelitian mengenai piezoelektrik. Sebelumnya, piezoelektrik ini hanya dimanfaatkan sebagai sensor yang bekerja berdasarkan tekanan, akan tetapi saat ini sudah banyak dikembangkan sebagai penghasil energi listrik dengan memanfaatkan aktivitas manusia yang diimplementasikan pada beberapa benda, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yundi Supriandani dan Estiyanti Ekawati dalam jurnal Prosiding SKF 2015 dengan judul “Perancangan dan Implementasi Karpet Piezoelektrik untuk Pemanenan Energi” menyatakan bahwa pada penelitian tersebut dilakukan pengimplementasian piezoelektrik pada karpet guna memanen energi dari aktivitas berjalan dan melompat manusia. Untuk membuat karpet pemanen energi tersebut maka lapisan karpet yang dibuat dilekati dengan matriks kepingan piezoelektrik. Tegangan yang dihasilkan dari karpet akan dihubungkan dengan rangkaian penyearah dan penguat sehingga arus listrik dan muatan listrik dapat dikumpulkan pada sebuah super kapasitor. Komponen pemanen energi tersebut juga dilengkapi dengan *interface* komputer guna memantau perubahan tegangan pada kapasitor yang akan diatur menggunakan Bahasa pemrograman Java. Selain itu, *interface* tersebut juga dihubungkan dengan modul akuisisi data (mikroprosesor) dan protokol komunikasi serial RS232. Dalam pengujian karpet dilakukan pengukuran tegangan pada keping piezoelektrik yang sebelumnya telah dilapisi resin guna mencegah kerusakan akibat tekanan yang berlebih dan kemudian direkatkan pada bahan karpet yang berbeda-beda, serta melakukan pengisian dan pengosongan kapasitor. Sebelum disalurkan ke kapasitor eksternal, hasil arus listrik dari karpet akan disalurkan ke modul LTC3588-1 untuk disearahkan dan dikuatkan. Untuk melakukan pengujian pengisian kapasitor, maka digunakan komponen *Impact hammer*. Selain itu juga dilakukan uji jalan dan

uji lompat selama 5 menit di atas karpet yang menghasilkan tegangan 1,1 V pada kapasitor saat uji jalan. Waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan kapasitor adalah 78,61 menit. Dari beberapa hasil pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa karpet piezoelektrik berpotensi untuk memanen energi.

- b. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Riza Maulana dalam Tugas Akhir yang berjudul “Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik sebagai Penghasil Sumber Energi Listrik pada Sepatu” menyebutkan bahwa pembuatan dan perancangan prototipe dengan memanfaatkan sensor piezoelektrik sebagai penghasil sumber energi terbagi menjadi dua, yaitu dengan disusun secara paralel dan seri. Perancangan prototipe dilakukan dengan menyusun beberapa sensor piezoelektrik untuk membentuk suatu generator pembangkit yang akan memberikan tegangan dan arus. Sensor piezoelektrik akan ditempelkan pada gabus sebagai alas penompang agar sensor tidak rusak saat diberi beban. Setelah rangkaian dianggap sesuai dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan secara 3 tahap dengan beban yang berbeda-beda. Data yang dihasilkan dari penyusunan sensor piezoelektrik secara seri maupun paralel dilakukan perbandingan untuk mengetahui keluaran daya yang maksimal. Dari hasil percobaan, menunjukkan bahwa sensor piezoelektrik yang disusun secara paralel memiliki hasil daya keluaran yang lebih besar daripada penyusunan sensor piezoelektrik secara seri. Contohnya yaitu pada pengujian 1 dengan pemberian berat 55 kg, sensor piezoelektrik yang disusun secara paralel memiliki hasil daya keluaran sebesar 17,5  $\mu\text{W}$  sedangkan daya hasil keluaran sensor piezoelektrik secara seri hanya sebesar 4,4  $\mu\text{W}$ . Mengacu pada sistem kerja piezoelektrik, untuk menghasilkan tekanan mekanik tidak selalu dengan memanfaatkan langkah manusia. Akan tetapi, muatan listrik dapat dipicu dari sumber-sumber penghasil tekanan mekanik. Mengenai instalasi, instalasi sistem ini dapat dilakukan pada jalan raya sebagai penerangan jalan. Seperti contoh rel kereta api, landasan pesawat dan jalan raya yang memiliki volume

kendaraan besar. Seberapa besar energi listrik yang dihasilkan bergantung pada massa kendaraan, gerakan, vibrasi dan perubahan temperatur.

- c. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wira Hidayatullah dkk pada jurnal KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro yang berjudul “Perancangan *Prototype* Penghasil Energi Listrik Berbahan Dasar Piezoelektrik” menyebutkan bahwa pada penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja piezoelektrik sebagai pembangkit energi listrik. Piezoelektrik yang digunakan adalah tipe ABT-441-RC dengan dirangkai secara paralel dengan 30 piezoelektrik. Salah satu cara untuk menentukan hasil maksimal dan efisiensi waktu lama pemakaian pada piezoelektrik yaitu dengan menambahkan alas pada piezoelektrik karena piezoelektrik terbuat dari bahan yang sangat rapuh. Hasil percobaan yang dilakukan pada penelitian tersebut menghasilkan tegangan sebesar 0,702 V ketika diberi gaya sebesar 49 N. Tegangan tersebut akan meningkat seiring dengan meningkatnya gaya yang diberikan pada piezoelektrik. Sedangkan arus yang dihasilkan dengan gaya 49 N dan beban resistor 10  $\Omega$  sebesar 50,2  $\mu\text{A}$  dan akan berkurang apabila beban yang digunakan semakin besar.
- d. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kiran Bobby dkk dalam jurnal *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* dengan judul “*Footstep Power Generation Using Piezo Electric Transducers*” menyebutkan bahwa memanfaatkan kekuatan energi kaki manusia sangat relevan dimana negara India merupakan negara yang padat sepanjang jam pada stasiun kereta api maupun kuil sehingga diterapkan piezoelektrik pada lantai. Piezoelektrik yang paling umum digunakan adalah PZT dan PVDF. Dilakukan pengujian untuk menentukan piezoelektrik yang digunakan dalam penelitian tersebut. Tegangan yang dihasilkan oleh piezoelektrik PZT sekitar 2 V sedangkan piezoelektrik PVDF 0,4 V, sehingga yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah piezoelektrik PZT. Selain itu, dilakukan pengujian konfigurasi secara seri maupun paralel. Dengan konfigurasi seri menghasilkan

tegangan yang tinggi akan tetapi arusnya rendah, sedangkan konfigurasi paralel menghasilkan arus yang lebih baik akan tetapi tegangannya rendah. Berdasarkan pengujian tersebut dilakukan konfigurasi paralel-seri. Pada setiap satu ubin terdapat 3 piezoelektrik yang dihubungkan secara seri. Sepuluh hubungan seri tersebut akan dihubungkan secara paralel. Tegangan yang dihasilkan dari setiap piezoelektrik yaitu 13 V, sehingga setiap ubin menghasilkan tegangan sekitar 39 V. Tegangan maksimum yang dihasilkan pada ubin ketika dipijak dengan berat badan 75 kg adalah 40 V. Energi listrik yang dihasilkan dari pijakan dengan sensor lintai tersebut kemudian disimpan dan digunakan untuk berbagai aplikasi. Ubin tersebut cocok diterapkan pada lokasi yang ramai.

- e. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Akshay Patil dkk pada jurnal *International Conference on Energy Systems and Applications (ICESA 2015)* dengan judul “*Energy Harvesting Using Piezoelectricity (Renewable and Sustainable Energy Conversion Using Piezoelectric Transducers)*” menyebutkan bahwa dalam penelitian yang dilakukan tersebut mengubah tekanan yang diberikan oleh seseorang yang sedang berjalan atau kendaraan yang berjalan di jalan untuk dapat merangsang elemen piezoelektrik sehingga menghasilkan energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi tersebut, dalam penelitian ini dilakukan metode baru untuk menghubungkan piezoelektrik diafragma dengan sirkuit yang tepat agar daya yang dikeluarkan dapat maksimum. Desain tersebut terdiri dari 200 piezoelektrik yang dirangkai secara paralel untuk meningkatkan arus. Setiap piezoelektrik mampu menghasilkan tegangan 10 V – 20 V dan arus 100  $\mu$ A – 200  $\mu$ A. Pada saat diberikan tekanan yang bersamaan pada piezoelektrik yang sudah diparalel tersebut tegangan yang dihasilkan tidak besar dan banyak piezoelektrik yang rapuh. Dari permasalahan tersebut maka pada setiap piezoelektrik diberi lapisan silikon yang ditempatkan pada posisi tengah untuk mendapatkan hasil maksimal dan melindungi elemen piezoelektrik. Apabila silikon ditempatkan menyelimuti seluruh bagian piezoelektrik hasil yang didapatkan akan kurang maksimal.

Daya yang dihasilkan dari rangkaian tersebut yaitu 450 mW. Kemudian rangkain tersebut dikombinasikan dengan converter DC-DC yang dirancang secara efisien, (*schottky*) diode, sirkuit pengisian. LTC3588 digunakan untuk mengintergrasikan penyearah jembatan gelombang tinggi dengan resolusi rendah dengan *buck converter* efisiensi tinggi untuk menghasilkan solusi pemanenan energi yang lengkap yang dioptimalkan untuk sumber energi impedansi keluaran tinggi seperti transduser piezoelektrik. Selanjutnya daya yang dihasilkan akan disimpan pada baterai *Lithium-ion* dengan waktu pengisian sekitar 6,4 jam tergantung jumlah tekanan yang mengenai piezoelektrik.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Energi

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja, dimana pengertian usaha merupakan gaya yang bekerja pada suatu benda, yang menyebabkan benda tersebut berpindah posisi/tempat. Dalam sistem Internasional (SI) satuan energi adalah joule (J) sedangkan satuan lainnya yaitu: kalori, erg, dan kWh (*kilo watt hours*).

Dalam Hukum Kekekalan Energi menyatakan bahwa “*energi tidak dapat diciptakan atau tidak dapat dimushnahkan, energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain*”. Bentuk energi dalam kehidupan ada beberapa macam. Adapun bentuk-bentuk dari energi yaitu: energi kimia, energi listrik, energi panas dan energi mekanik (Karim, Kaniawati, Fauziah, & Sopandi, 2008).

Energi mekanik sendiri merupakan penjumlahan antara energi potensial karena memiliki beda ketinggian dan energi kinetik karena sebuah benda bergerak. Energi mekanik memiliki persamaan matematis sebagai berikut:

$$E_m = E_k + E_p \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana,

$E_m$  = energi mekanik (J),

$E_p$  = energi potensial (J),

$E_k$  = energi kinetik (J).

Seperti yang telah disebutkan di atas, bahwa energi mekanik merupakan penjumlahan dari energi potensial dan energi kinetik. Berikut ini merupakan pengertian energi potensial dan energi kinetik:

a. Energi Potensial

Energi potensial merupakan energi yang dimiliki benda karena ketinggian ataupun karena keadaan benda tersebut. Energi potensial dapat terbagi menjadi 2, yaitu: energi potensial gravitasi dan energi potensial pegas.

- 1) Energi Potensial Gravitasi merupakan energi yang dimiliki benda berdasarkan ketinggian benda tersebut. Dalam energi potensial gravitasi didapatkan persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$E_p = m.g.h \text{ atau } E_p = W.h \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana,

$E_p$  = energi potensial gravitasi (J),

$m$  = massa (kg),

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),

$h$  = ketinggian terhadap acuan (m),

$W$  = berat benda.

- 2) Energi Potensial Pegas merupakan energi potensial yang dimiliki pegas saat pegas ditarik oleh gaya ( $F$ ) sehingga bertambah panjang  $x$ . besar energi potensoal pegas sama dengan besar usaha gaya pegas, sehingga persamaan energi potensial pegas adalah sebagai berikut:

$$E_p = \frac{1}{2}.k.\Delta x^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana,

$E_p$  = energi potensial pegas (J),

$k$  = konstanta pegas (N/m),

$\Delta x$  = pertambahan panjang pegas (m).

#### b. Energi Kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh benda karena pengaruh gerak benda tersebut. Sehingga benda yang bergerak memiliki energi kinetik (Karim et al., 2008). Berikut ini merupakan persamaan energi kinetik:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,

$E_k$  = energi kinetik (J),

$m$  = massa benda (kg),

$v$  = kecepatan benda (m/s).

### 2.2.2 Piezoelektrik

#### a. Pengertian Piezoelektrik

Piezo berarti tekanan, dimana kata “piezo” berasal dari bahasa Italia. Ketika piezo mendapat tekanan maka bahan piezoelektrik dapat menghasilkan beda potensial listrik dan dapat bekerja sebaliknya (Mikrajuddin, 2006). Sehingga piezoelektrik merupakan suatu kemampuan yang dimiliki sebagian kristal maupun bahan-bahan tertentu lainnya yang dapat menghasilkan tegangan listrik ketika mendapat tekanan atau regangan. Piezoelektrik memiliki dua jenis efek yaitu efek piezoelektrik langsung (*direct piezoelectric effect*) dan efek piezoelektrik balikan (*converse piezoelectric effect*). Efek piezoelektrik langsung merupakan produksi potensial listrik akibat adanya tekanan mekanik, sedangkan efek piezoelektrik balikan merupakan produksi tekanan akibat pemberian tegangan listrik yang menghasilkan perubahan dimensi (Triwahyuni, 2010).

Piezoelektrik tersusun dari tumpukan muatan yang berbentuk materi padat (kristal atau keramik) tertentu sehingga dapat menanggapi regangan mekanik yang dikenakan. Piezoelektrik terdiri dari dua kata yaitu piezo dan elektrik, piezo berarti memeras atau tekan, dan elektrik yang berarti listrik atau *electron*. Dari dua kata

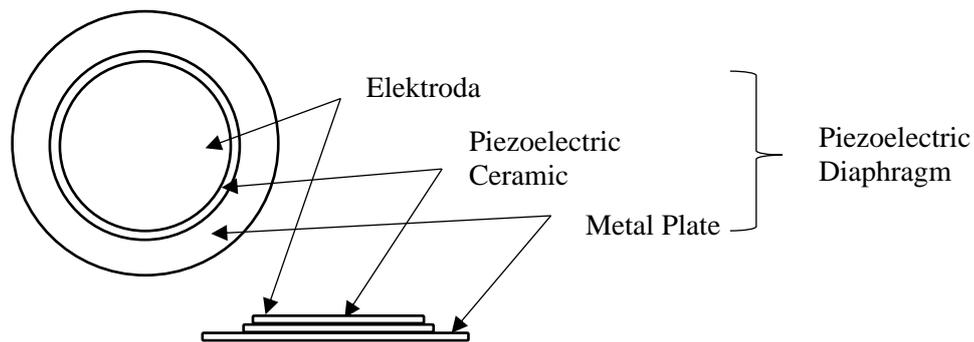
tersebut dapat diketahui bahwa piezoelektrik berarti listrik yang dihasilkan dari tekanan. Sumber muatan listrik piezoelektrik diperoleh dari efek piezoelektrik.

#### b. Bahan Piezoelektrik

Jacques dan Pierre Curie adalah seorang penemu bahan piezoelektrik pertama kali pada tahun 1880-an. Bahan piezoelektrik merupakan material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis. Tekanan tersebut akan menyebabkan penyesuaian molekul sehingga material mengalami perubahan dimensi. *Kuarsa (Quartz, SiO<sub>2</sub>), Berlinite, Turmalin* dan *Garam Rossel* merupakan bahan piezoelektrik alami, sementara *Barium titanate (BaTiO<sub>3</sub>), Lead zirconiumtitanate (PZT), Lead titanate (PbTiO<sub>3</sub>)* merupakan bahan piezoelektrik buatan. Material jenis ini antara lain lapisan tipis *rhombohedral lead zirconium titanate (PZT)* sebagai *actuator* untuk MEMS, lapisan tipis *Aluminium Nitride (AlN)* sebagai *filterfr* atau *resonantor* (orde GHZ) berbasis efek *Surface Acoustic Wave (SAW)*, komposit piezoelektrik seperti serbuk keramik PTCa yang didispersikan dalam *epoxy* digunakan sebagai *actuator pembalik* (listrik menjadi *energy mekanik*) (Triwahyuni, 2010).

Jacques dan Pierre Curie menggabungkan pengetahuan tentang kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik ketika bahan-bahan tersebut dipanaskan atau didinginkan yang disebut dengan *piezoelektrikitas*. *Piezoelektrikitas* memuat tentang pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah kristal pada kristal *turmalin, kuarsa, ratna cempaka, dan garam rossel*. Dari uji coba tersebut diketahui bahwa kristal *kuarsa* dan *garam rossel* memiliki kemampuan piezoelektrisitas paling besar.

Bahan piezoelektrik merupakan material yang dapat memproduksi medan listrik ketika mendapat tekanan mekanis. Sebaliknya, ketika medan listrik diterapkan maka material tersebut akan mengalami regangan atau tekanan mekanis (Triwahyuni, 2010). Elemen piezoelektrik ini tersusun dari elektroda yang terdapat pada lapisan atas, *piezoelectric ceramic* berada di lapisan tengah dan *metal plate* yang terdapat pada lapisan bawah. Susunan material pada elemen piezoelektrik terdapat pada gambar 2.1 seperti berikut ini:



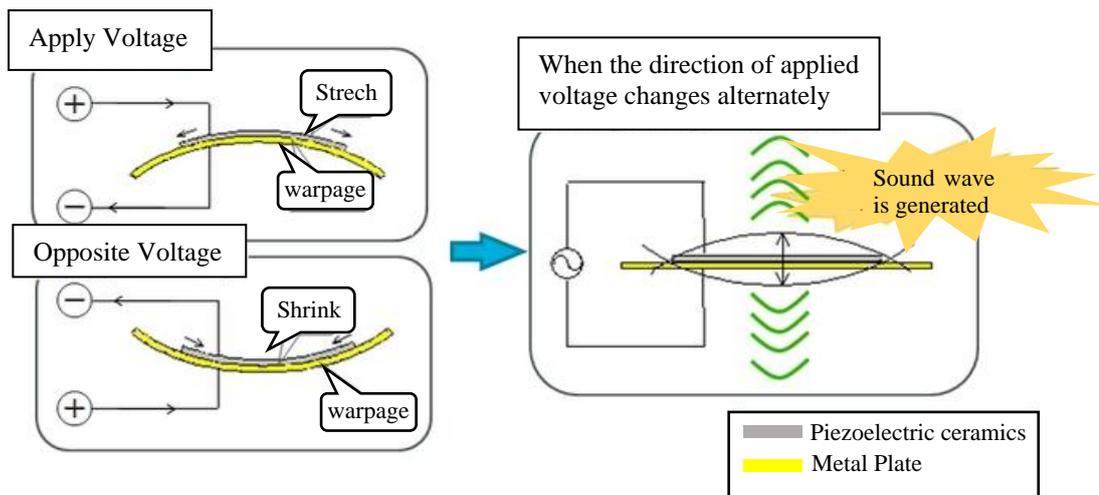
**Gambar 2.1** Piezoelektrik Diafragma

c. Prinsip Kerja Teknologi Piezoelektrik

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, pada elemen piezoelektrik terdapat *Piezoelektrikitas* (efek piezoelektrik) yang terbentuk dari tekanan yang mengenai piezoelektrik kemudian menimbulkan medan listrik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipol yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal materi. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi.

Selain itu, pada piezoelektrik terdapat dua jenis efek yaitu efek piezoelektrik langsung dan efek piezoelektrik balikan. Efek piezoelektrik langsung yang akan melakukan produksi potensial listrik ketika terdapat tekanan mekanik. Sedangkan efek piezoelektrik balikan akan memproduksi tekanan akibat pemberian tegangan listrik, sebagai contoh kristal *lead zirconate titanate* yang akan mengalami perubahan dimensi sampai maksimal 0.1 % ketika diberi tegangan listrik. Sebuah kristal piezoelektrik, muatan listrik positif dan muatan listrik negatif biasanya terpisah, akan tetapi dapat tersebar secara simetris, sehingga kristal bersifat netral.

Untuk melihat efek piezoelektrik langsung maupun efek piezoelektrik balikan maka, dapat dilihat pada gambar prinsip kerja piezoelektrik ada pada gambar 2.2 di bawah ini:



**Gambar 2.2** Prinsip Kerja Piezoelektrik

Masing-masing sisi piezoelektrik membentuk kutub listrik, sehingga ketika kristal piezoelektrik mendapat suatu tekanan mekanik dalam bentuk simetris, dari tiap-tiap muatan listrik tersebut akan berubah menjadi tidak simetris yang akan menghasilkan tegangan listrik. Berdasarkan teknologi piezoelektrik, spesifikasi Piezoelektrisitas merupakan efek gabungan dari sifat elektris bahan yaitu Fluks listrik, Permittivitas listrik, Medan listrik, dan Hukum Hooke.

#### d. Implementasi Teknologi Piezoelektrik

Berikut ini merupakan beberapa implementasi teknologi piezoelektrik:

##### 1) Piezoelektrik sensor

Piezoelektrik sensor merupakan suatu peralatan elektronik pasif berfase padat (*solid-state*) yang dapat merespon perubahan temperatur, tekanan, dan yang paling penting merespon sifat fisik (*physical properties*) pada suatu *interface* antara permukaan alat dan fluida atau padatan asing. Perubahan pada sifat fisik biasanya seperti masa jenis, kelistrikan, viskositas, dan ketebalan lapisan.

Prinsip kerja dari Sensor piezoelektrik adalah beroperasi dengan mengobservasi penyebaran dari suatu gelombang akustik melalui *solid-state device*, sementara deteksi sensor dilakukan dengan meninjau korelasi variasi penyebaran gelombang akustik ke sejumlah perekam *analyte* pada

permukaan, kemudian ke konsentrasi *analyte* di dalam sampel yang tertangkap sensor atau dikorelasikan dengan perubahan pada sifat fisik dari *interfacial thin films* (Anjaswati, 2013).

## 2) Piezoelektrik Transduser

Transduser merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah suatu bentuk energi kedalam bentuk energi yang lain. Piezoelektrik transduser terdapat bahan piezoelektrik yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran mekanik dan mengubah kembali getaran mekanik menjadi energi listrik. Material piezoelektrik diposisikan sebagai elemen aktif transduser dan merupakan inti dari transduser yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi suara dan sebaliknya.

## 3) Piezoelektrik Aktuator

Aktuator piezoelektrik menggunakan bahan keramik yang dapat menghasilkan energi listrik ketika mendapat energi mekanis (efek piezoelektrik) dan akan menghasilkan energi mekanik bila diberi energi listrik.

Aktuator piezoelektrik menggunakan efek piezoelektrik kebalikan. Ketika keramik piezoelektrik dengan ketebalan 1 mm (1000 v/mm medan listrik) mendapat tegangan 1000 volt, maka akan terjadi peregangan sekitar 1 mikro m pada bahan keramik tersebut. Dalam prakteknya, peregangan yang terjadi sangat kecil, akan tetapi dapat menghasilkan tegangan yang terlampau tinggi. Untuk memperbesar peregangan/pergeseran diperlukan sebuah struktur tertentu.

Untuk mengurangi tegangan penggerak aktuator piezoelektrik, dilakukan dengan mengurangi ketebalan bahan piezoelektrik. Ketika ketebalan keramik dikurangi menjadi 0,5 mm akan mengakibatkan tegangan penggerak menurun menjadi 500 volt.

### 2.2.3 Hukum-hukum Rangkaian

#### a. Hukum Ohm

Apabila sebuah penghantar atau resistansi dilewati sebuah arus, maka pada kedua ujung penghantar tersebut akan muncul beda potensial. Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan yang melewati berbagai jenis bahan penghantar akan berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada bahan tersebut. Apabila dinyatakan dalam persamaan adalah sebagai berikut:

$$V = I.R \dots \dots \dots (2.5)$$

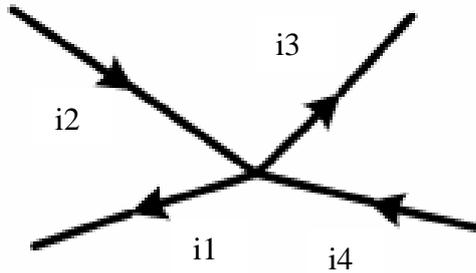
#### b. Hukum Kirchoff I (*Kirchoff's Current Law* (KCL))

Pada Hukum Kirchoff I menyatakan bahwa jumlah arus yang memasuki suatu percabangan atau *node* atau simpul samadengan arus yang meninggalkan percabangan atau *node* atau simpul, dengan kata lain jumlah aljabar semua arus yang memasuki sebuah percabangan atau *node* atau simpul samadengan nol. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum \text{Arus pada satu titik percabangan} = 0$$

$$\sum \text{Arus yang masuk percabangan} = \sum \text{Arus yang keluar percabangan}$$

Sebagai ilustrasi yaitu arus yang mengalir diilustrasikan sebagai aliran sungai, dimana pada saat menemui percabangan maka aliran sungai tersebut akan terbagi sesuai proporsinya pada percabangan tersebut. Artinya bahwa aliran sungai akan terbagi sesuai dengan jumlah percabangan yang ada, dimana tentunya jumlah debit air yang masuk akan samadengan jumlah debit air yang keluar dari percabangan tersebut. Contohnya terlihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Hukum Kirchoff I

Persamaan dari gambar diatas yaitu sebagai berikut:

$$\sum i = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$i_2 + i_4 - i_1 - i_3 = 0$$

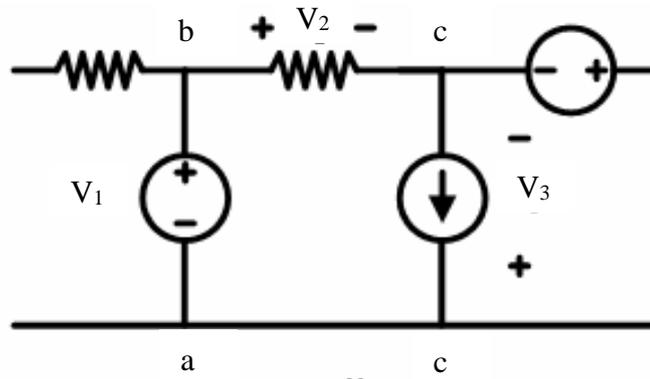
$$\sum \text{ arus masuk} = \sum \text{ arus keluar}$$

$$i_2 + i_4 = i_1 + i_3$$

c. Hukum Kirchoff II (*Kirchoff's Voltage Law (KVL)*)

Hukum Kirchoff II menyatakan bahwa jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup samadengan nol, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk satu lintasan tertutup akan bernilai samadengan nol (Ramdhani, 2008). Gambar dari Hukum Kirchoff II terlihat pada gambar 2.4. Secara matematis dapat dinyatakan dalam persamaan 2.7, sebagai berikut:

$$\sum V = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$



**Gambar 2.4** Hukum Kirchoff II

Berdasarkan gambar di atas, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

Lintasan a-b-c-d-a:

$$V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + V_{da} = 0$$

$$- V_1 + V_2 - V_3 + 0 = 0$$

$$V_2 - V_1 - V_3 = 0$$

Lintasan a-d-c-b-a:

$$V_{ad} + V_{dc} + V_{cb} + V_{ba} = 0$$

$$V_3 - V_2 + V_1 + 0 = 0$$

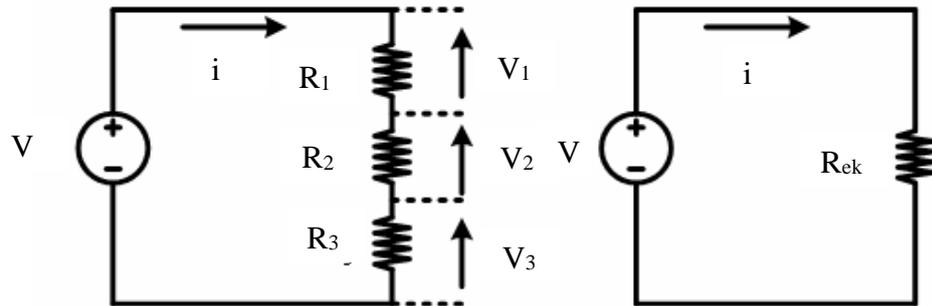
$$V_3 - V_2 + V_1 = 0$$

#### d. Hubungan Seri dan Paralel

Secara umum hubungan rangkaian digolongkan menjadi 2, antara lain:

##### 1) Hubungan seri

Jika salah satu terminal dari dua elemen tersambung, akibatnya arus yang lewat akan sama besar. Gambar rangkaian seri tersebut disajikan pada dalam gambar 2.5, sebagai berikut:



**Gambar 2.5** Hubungan Seri Resistor (Ket.:  $R_{ek} = R_{ekuivalen}$ )

Berdasarkan gambar tersebut, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

KVL

$$\sum V = 0$$

$$-V_1 + V_2 - V_3 + 0 = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = iR_1 + iR_2 + iR_3$$

$$V = i(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{V}{i} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{ek} = R_1 + R_2 + R_3$$

pembagi tegangan,

$$V_1 = iR_1, V_2 = iR_2, \text{ dan } V_3 = iR_3$$

dimana,

$$i = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

sehingga:

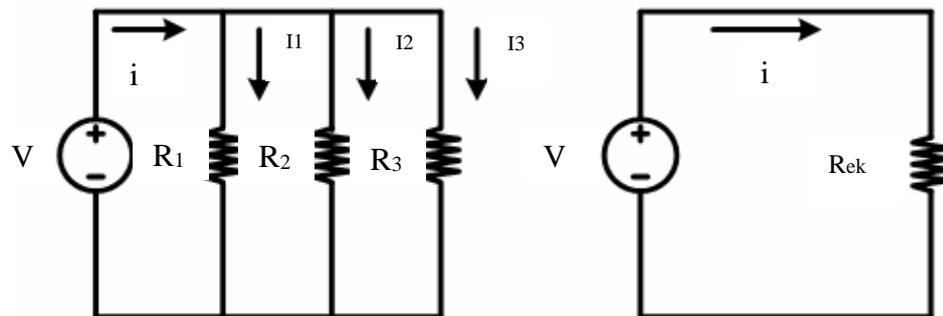
$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} V$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} V$$

$$V_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V$$

## 2) Hubungan paralel

Jika semua terminal terhubung dengan elemen lain dan akibatnya tegangan diantaranya akan sama. Gambar rangkaian paralel tersebut disajikan dalam gambar 2.6, sebagai berikut:



**Gambar 2.6** Hubungan Paralel Resistor (Ket.:  $R_{ek} = R_{ekuivalen}$ )

Berdasarkan gambar tersebut, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

KCL

$$\sum i = 0$$

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{V}{R_{ek}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

dimana,

$$V = iR_{ek}$$

sehingga,

$$i_1 = \frac{R_{ek}}{R_1} i$$

$$i_3 = \frac{R_{ek}}{R_3} i$$

$$i_2 = \frac{R_{ek}}{R_2} i$$