



**SKRIPSI - ME-141501**

**PEMANFAATAN PIEZOELEKTRIK PADA  
MONORAIL SEBAGAI SUMBER ENERGI  
LISTRIK DI PELABUHAN**

Fiko Rachmat Witjaksono  
NRP 4210 100 082

Dosen Pembimbing  
Ir. Sardono Sarwito M.Sc  
Adi Kurniawan S.T, M.T

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - ME-141501**

**UTILIZATION      PIEZOELECTRIC      ON  
MONORAIL AS A SOURCE OF ELECTRICAL  
ENERGY IN PORT**

Fiko Rachmat Witjaksono  
NRP 4210 100 082

Dosen Pembimbing  
Ir. Sardono Sarwito M.Sc  
Adi Kurniawan S.T, M.T

Department of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

## KATA PENGANTAR

Dengan ini saya panjatkan puji syukur alhamdulillah kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan pertolongan-Nya penulis diijinkan dan dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Perhitungan Energi Listrik di Pelabuhan Dengan Memanfaatkan Getaran”.Laporan ini disusun untuk memenuhi matakuliah Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Skripsi ini membahas mengenai perhitungan besar daya yang dihasilkan oleh piezoelektrik tersebut, agar sebagai *Renewable Energy*

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
2. Bapak Dr.Eng Trika Pitana S.T., M.Sc, selaku Koordinator Pengerjaan Skripsi
3. Bapak Ir. Sardono Sarwito M.Sc dan Bapak Adi Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak dan Ibu tercinta beserta keluarga di rumah dan di batam, yang selalu memberikan doa, cinta dan kasih sayang yang sangat di butuhkan sebagai semangat dalam menempuh kuliah.
5. Saudara saya yaitu Dwiki Rachmad Dharmawan yang selalu memberikan semangat.
6. Teman-teman D`grafiz yang selalu membantu dan memberikan semangat.
7. Teman-teman GAP KERAH yang selalu membantu dan memberikan semangat.

8. Teman-teman PINISI'10 yang selalu memberikan semangat serta kecacatan mentalnya dan juga tidak lupa kekompakannya yang selalu mendukung selama pengerjaan Skripsi ini.
9. Serta bagi pihak lain, teman-teman dan sahabat-sahabatku yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 15 Januari 2016

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PEMANFAATAN PIEZOELEKTRIK PADA MONORAIL  
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK DI PELABUHAN**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Electrical and Automation System  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Fiko Rachmat Witjaksono**  
**NRP. 4210100082**

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

(  )

2. Adi Kurniawan, S.T, M.T.

(  )

**SURABAYA**  
**JANUARI, 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN TURBIN ANGIN TYPE H-DARRIEUS UNTUK SISTEM PENERANGAN DI KAPAL

#### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Electrical and Automation System (MEAS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Fiko Rachmat Witjaksono**

Nrp. 4210 100 082

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

1. Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT.  
NIP. 1977 0802 2008 01 1007



SURABAYA  
JANUARI, 2016

## **PERHITUNGAN ENERGY LISTRIK diPELABUHAN DENGAN MEMANFAATKAN GETARAN**

**Nama Mahasiswa** : Fiko Rachmat Witjaksono  
**NRP** : 4210 100 082  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Sardono Sarwito M.Sc  
Adi Kurniawan, S.T., M.T

### **Abstrak**

Dalam permasalahan dunia, minyak bumi semakin menipis seiring dengan berjalanya waktu, demikian pula di Indonesia. Namun, pemerintah sudah memulai eksploitasi sumber-sumber gas alam mulai tahun 1968 dan menjadi eksportir ke negara-negara lain dan nantinya akan habis juga. Oleh karena itu solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan energi alternatif selain bahan bakar minyak atau yang lebih akrab disebut "*Renewable energy*".

Piezoelektrik merupakan sebuah alat yang berisi sebuah material padat yang akan memanfaatkan energi dari tekanan suatu objek untuk menghasilkan energi listrik. Piezoelektrik sendiri memiliki berbagai macam jenis dan tipe untuk memanfaatkan energi dari gaya tekanan tersebut. Pada skripsi ini dilakukan penelitian terhadap piezoelektrik pada jalur *Automated Container Transporter* di Pelabuhan Teluk Lamong sebagai objek tekanan agar menghasilkan suatu daya listrik untuk mengurangi kebutuhan daya listrik di pelabuhan tersebut dalam bentuk objek beban berupa lampu penerangandi sekitar pelabuhan tersebut

Kata kunci : *Piezoelektrik*, Pelabuhan Teluk Lamong, *Automated Container Transporter*

## **PERHITUNGAN ENERGY LISTRIK diPELABUHAN DENGAN MEMANFAATKAN GETARAN**

**Nama Mahasiswa** : Fiko Rachmat Witjaksono  
**NRP** : 4210 100 082  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Sardono Sarwito M.Sc  
Adi Kurniawan, S.T, M.T

### **Abstract**

*Problems of the world, dwindling petroleum overtime, Indonesia is so. However, the government has started the exploitation of sources of natural gas began in 1968 and became an exporter to other states and natural gas will be depleted over time. Therefore the solution of these problems is to use alternative energy other than fossil fuels or more familiarly called "Renewable energy".*

*Piezoelectric is a tool that contains a solid material that will harness energy from the pressure of an object on the production of electrical energy. Piezoelectric itself has many kinds and types to harness the energy of the pressure force. In this thesis conducted a study of piezoelectric on track Automated Container Transporter in Teluk Lamong as the object of pressure to produce a power to reduce power requirements at the port in the shape of objects burden of lights around the harbor.*

*Key word: Piezoelectric, Teluk Lamong harbor, Automated Container Transporter*

# TABLE OF CONTENTS

|  | <b>PAGES</b> |
|--|--------------|
| <b>TITTLE</b> .....                      | i            |
| <b>ORIGINALITY STATEMENT SHEET</b> ..... | iii          |
| <b>APPROVAL SHEET</b> .....              | v            |
| <b>ABSTRAK</b> .....                     | vii          |
| <b>ABSTRACT</b> .....                    | ix           |
| <b>PREFACE</b> .....                     | xi           |
| <b>TABLE OF CONTENT</b> .....            | xiii         |
| <b>ILLUSTRATION</b> .....                | xv           |
| <b>TABLES</b> .....                      | xvii         |

## **CHAPTER I**

### **INTRODUCTION**

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1.1 Background .....          | 1 |
| 1.2 Problems .....            | 1 |
| 1.3 Problems Boundaries ..... | 2 |
| 1.4 Purposes .....            | 2 |
| 1.5 Benefit .....             | 2 |

## **CHAPTER II**

### **LITERATURE**

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Harbour Definition and Function .....        | 5  |
| 2.1.1. Gateway .....                             | 5  |
| 2.1.2. Interface .....                           | 6  |
| 2.1.3. Link .....                                | 6  |
| 2.2 Harbour Main Equipment .....                 | 7  |
| 2.1.1. Container Crane .....                     | 7  |
| 2.1.2. Harbour Mobile Crane (HMC).....           | 7  |
| 2.1.3. Rubber Tyred Gantry Crane .....           | 8  |
| 2.1.4. Harbour Lighting.....                     | 9  |
| 2.1.5. Monorail Container .....                  | 10 |
| 2.3 Definition of Piezoelectric .....            | 10 |
| 2.3.1 Piezoelectric Effect .....                 | 11 |
| 2.3.2 Piezoelectric Material Characteristic..... | 11 |
| 2.3.3 Main Equation of Piezoelectric .....       | 12 |
| 2.3.4 Aplikasi Material Piezoelektrik.....       | 13 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.3.4 | Coupling Mode .....                      | 14 |
| 2.3.5 | Piezoelectric Material Application ..... | 15 |
| 2.4   | Main Design of System Circuit .....      | 16 |
| 2.5   | Lighting Calculation .....               | 18 |
| 2.5.1 | General .....                            | 18 |
| 2.5.2 | Calculation Application .....            | 20 |

### **CHAPTER III METHODOLOGY**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | Research Steps .....                               | 21 |
| 3.1.1 | Problem Formulation .....                          | 21 |
| 3.1.2 | Literature Study of Problem .....                  | 21 |
| 3.1.3 | Research Purposes .....                            | 21 |
| 3.1.4 | Data Collecting .....                              | 22 |
| 3.1.5 | Piezoelectric Power Analysis and Calculation ..... | 22 |
| 3.1.6 | Result Comparison and Calculation .....            | 22 |
| 3.1.7 | Conclusion and Advice .....                        | 22 |
| 3.2   | Research Scheme .....                              | 23 |

### **CHAPTER IV ANALYSIS AND EXPLANATION**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | Location Analysis .....  | 25 |
| 4.2   | Power Calculation .....  | 26 |
| 4.2.1 | <i>Piezoelectric Power on Prototype Based</i> .....              | 28 |
| 4.2.2 | <i>Piezoelectric Power on Literature Based</i> .....             | 31 |
| 4.3   | Lighting Power Calculation and Number of Its Piezoelectric ..... | 32 |

### **CHAPTER V CONCLUSION**

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 5.1 | Conclusion ..... | 45 |
| 5.2 | Advice .....     | 46 |

|                     |       |    |
|---------------------|-------|----|
| <b>BIBLIOGRAPHY</b> | ..... | 47 |
| <b>BIography</b>    | ..... | 49 |
| <b>ENCLOSURE</b>    | ..... | 51 |

## DAFTAR TABEL

|  | <b>HALAMAN</b> |
|--|----------------|
| Tabel 2.1 Tabel Perhitungan Material Piezoelektrik .....     | 11             |
| Tabel 2.2 Persamaan Piezoelektrik.....                       | 12             |
| Tabel 4.1 Tabel Perhitungan Piezoelektrik Dimensi 24mm ..... | 29             |
| Tabel 4.2 Perhitungan Daya 1 .....                           | 39             |
| Tabel 4.3 Perhitungan Daya 2 .....                           | 40             |

## DAFTAR GAMBAR

### HALAMAN

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Aktifitas Pelabuhan Teluk Lamong .....                   | 5  |
| Gambar 2.2 | Kran Petikemas .....                                     | 7  |
| Gambar 2.3 | <i>Harbour Mobile Crane</i> .....                        | 8  |
| Gambar 2.4 | <i>Rubber Tyred Gantry Crane</i> .....                   | 9  |
| Gambar 2.5 | Prototype Monorel Container.....                         | 9  |
| Gambar 2.6 | Gambar Persamaan Piezoelektrik Menurut Dimensi ..        | 13 |
| Gambar 2.7 | Aplikasi Piezoelektrik .....                             | 14 |
| Gambar 2.8 | Sistem Desain Rangkaian.....                             | 15 |
| Gambar 2.9 | Contoh Penerangan Pada Pelabuhan .....                   | 17 |
| Gambar 3.1 | Skema Pengerjaan Skripsi.....                            | 23 |
| Gambar 4.1 | Peta Letak Pelabuhan Teluk Lamong.....                   | 25 |
| Gambar 4.2 | Jalur Monorail .....                                     | 26 |
| Gambar 4.3 | Rangkaian Prototype Piezoelektrik .....                  | 26 |
| Gambar 4.4 | Grafik Vpercobaan Vperhitungan. ....                     | 29 |
| Gambar 4.5 | Perancangan Rangkaian Piezoelektrik .....                | 30 |
| Gambar 4.6 | Perancangan Rangkaian Piezoelektrik Tampak Samping ..... | 31 |

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Krisis energi dan *renewable energy* sedang menjadi perhatian khusus dewasa ini. Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental di Indonesia, khususnya masalah energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat diperlukan bagi manusia modern. Bahkan sebagian besar aktivitas manusia ditunjang dengan sebuah peralatan dan teknologi yang menggunakan listrik sebagai sumber energi. Hal ini menjadikan bahwa listrik menjadi sebuah bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam aktivitas manusia.

Bahan Bakar Minyak yang dulunya digunakan sebagai bahan bakar utama sekarang semakin menipis ketersediaannya, hal ini dikarenakan untuk memperbaharui bahan bakunya yaitu fosil memerlukan waktu yang sangat lama. Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan energy alternatif selain bahan bakar minyak atau yang lebih akrab disebut "*Renewable energy*".

Renewable energy mempunyai berbagai jenis adapun yang populer ditelinga kita antara lain pembangkit listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga panas, pembangkit listrik tenaga surya atau yang lebih akrab disebut solar cell, dll. Pada skripsi ini digunakan salah satu alat untuk membangkitkan tenaga listrik yang ramah lingkungan serta jarang dipakai di pelabuhan, yaitu menggunakan alat yang bernama piezoelektrik.

Didaerah Pelabuhan Teluk Lamong, di perbatasan Kota Surabaya dengan Kabupaten Gresik, Jawa Timur milik Perusahaan Manajemen Pelabuhan PELINDO III ada rencana pembangunan monorail. Hal ini dikarenakan mengantisipasi jika mungkin Pelabuhan Tanjung Perak sedang penuh, maka kapal peti kemas yang belum dapat bersandar bisa ditempatkan di Pelabuhan Teluk Lamong. Dengan adanya pembangunan monorail di Pelabuhan tersebut maka kita dapat memanfaatkan monorail tersebut sebagai penghasil

tenaga listrik dengan menggunakan alat piezoelektrik agar dapat menerangi jalan disekitar monorail tersebut. Hal ini sangat mungkin dilakukan dikarenakan dapat memperhemat kebutuhan listrik di pelabuhan tersebut dan juga alat yang digunakan tidak mempunyai zat buang sehingga tidak merusak lingkungan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dibawah ini merupakan beberapa permasalahan yang timbul disaat muncul konsep studi perancangan piezoelektrik pada monorail sebagai penerangan di pelabuhan teluk lamong :

1. Menghitung berapa daya listrik yang dihasilkan dengan sebuah alat piezoelektrik berdimensi tertentu?
2. Menghitung jumlah piezoelektrik yang diperlukan agar dapat menerangi sekitar jalan pada depo – depo dekat jalur monorail?

## 1.3 Batasan Masalah

Dari permasalahan yang harus diselesaikan diatas maka perlu adanya pembatasan masalah serta ruang lingkupnya agar dalam menyelesaikan rancangan nantinya tidak melebar dan mempermudah, batasan masalah tersebut yaitu :

1. Perhitungan mekanis yang terjadi tidak diperhitungkan
2. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besaran voltase listrik dan daya

## 1.4 Tujuan Skripsi

Tujuan penuisan skripsi ini adalah :

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan daya listrik pada piezoelektrik dengan dimensi yang telah ditentukan.
2. Untuk mendapatkan hasil perhitungan alat piezoelektrik yang diperlukan agar dapat mensuplay suatu beban yaitu lampu

## 1.5 Manfaat Skrip

Manfaat yang diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Dengan adanya penelitian dalam perancangan penggunaan alat piezoelektrik di Pelabuhan Teluk Lamong bisa dijadikan salah satu alternatif penghasil listrik dengan menggunakan monorail sebagai media.
2. Sebagai salah satu alternatif pembangkit tenaga listrik yang ramah lingkungan

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Definisi dan Fungsi Pelabuhan**

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan / atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra-dan antarmoda transportasi. Gambar 2.1 menunjukkan contoh aktifitas pada pelabuhan.



**Gambar 2.1** Aktifitas Pelabuhan Teluk Lamong  
Sumber : [1]

#### **Fungsi Pelabuhan :**

##### **2.1.1 Gateway**

Pelabuhan berfungsi sebagai *gateway* atau pintu gerbang dari suatu negara atau daerah dimana pelabuhan tersebut berlokasi.

Konsep pelabuhan sebagai gateway ini dapat merupakan :

Pelabuhan sebagai satu-satunya pintu masuk atau keluarnya barang sebagai komoditi dari / ke suatu negara atau daerah, dalam hal ini pelabuhan memegang peranan sangat penting bagi perekonomian negara atau daerah tersebut. Data *UNCTAD* menunjukkan bahwa sebesar 85 % pangsa muatan transportasi dunia dikapalkan melalui pelabuhan laut.

Pelabuhan sebagai pintu gerbang, maka kapal-kapal asing yang memasuki pelabuhan tersebut terkena peraturan perundang-undangan dari negara atau daerah dimana pelabuhan tersebut berada, seperti : ketentuan-ketentuan pabean, imigrasi, karantina, peraturan operasional yang berlaku di pelabuhan bersangkutan (*port regulation*), prosedur pelayanan kapal, dan prosedur lainnya.

### 2.1.2 Interface

Pelabuhan sebagai titik singgung atau tempat pertemuan dua moda atau sistem transportasi yaitu transportasi laut dan transportasi darat termasuk angkutan sungai ( inland waterways ). Ini berarti pelabuhan harus menyediakan berbagai fasilitas dan pelayanan jasa yang dibutuhkan untuk perpindahan barang dari kapal ke moda angkutan darat, atau sebaliknya.

### 2.1.3 Link

Pelabuhan sebagai salah satu mata rantai dari sistem transportasi. Sebagai mata rantai transportasi, pelabuhan tidak terlepas dari mata rantai transportasi lainnya baik dilihat dari kinerja maupun dari segi biaya sangat mempengaruhi tingkat efisiensi dan menentukan tingkat biaya transportasi secara keseluruhan.

## 2.2 Alat Utama Pelabuhan

Secara umum yang dimaksud sebagai alat utama pelabuhan adalah alat yang digunakan untuk mempermudah pekerjaan, diantaranya sistem bongkar muat container, sistem pengisian

fresh water di kapal dan lainnya. Adapun jenis jenis alatnya adalah :

### 2.2.1 *Container Crane*

*Container Crane* adalah crane yang digunakan untuk membongkar atau memuat peti kemas dari dan ke dermaga ke kapal peti kemas atau memindahkan peti kemas dari satu tempat ketempat lain di dalam terminal peti kemas. Gambar 2.2 menunjukkan contoh *Container Crane*.



**Gambar 2.2** Kran petikemas

Sumber : [2]

### 2.2.2 Harbour Mobile Crane (HMC)

*Mobile Harbour Crane* adalah Jenis Shore Crane yang didesain khusus untuk keperluan pelayanan bongkar muat di dermaga. Sistem gantry menggunakan roda ban karet (wheel) memudahkannya dalam manouever. Mobile Harbour Crane biasanya digunakan untuk melayani kegiatan bongkar muat pada terminal di pelabuhan seperti seperti Terminal Container, Terminal Curah Kering dan Terminal Curah Batu bara dan lain-lain. Gambar 2.3 menunjukkan contoh *MHC*.



***Gambar 2.3 Harbour Mobile Crane***  
*Sumber : [2]*

### *2.2.3 Rubber Tyred Gantry Crane*

*Rubber Tyred Gantry Crane (RTG Crane) atau transfer crane yang oleh PACECO disebut pula “transtainer” adalah tipe lain dari mobile gantry crane yang dilengkapi dengan roda ban karet (rtg crane) sebagai alat angkat peti kemas yang bergerak di lapangan penumpukan untuk melakukan stacking maupun unstacking dari tumpukan. Gambar 2.2 menunjukkan contoh RTG Crane.*



**Gambar 2.4** Rubber Tyred Gantry Crane  
Sumber : [2]

#### 2.2.4 Monorel Container

*Monorel Container* merupakan sebuah proyek pemerintah yang akan direalisasikan di Pelabuhan Teluk Lamong, Gresik, Jawa Timur. Rencananya Monorel sepanjang kurang lebih 5,6 kilometer ini akan menggunakan sistem automatisasi penuh atau *Automated Container Transporter(ACT)*. Gambar 2.5 menunjukkan contoh *Container Transporter*.



*Gambar 2.5 Prototype Monorel Container*  
*Sumber : [3]*

## **2.3 Definisi Piezoelektrik**

Kata piezoelektrik berasal bahasa Latin, piezein yang berarti diperas atau ditekan dan piezo yang bermakna didorong. Bahan piezoelektrik ditemukan pertama kali pada tahun 1880-an oleh Jacques dan Pierre Curie. Kata piezo berarti tekanan, sehingga efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Mereka menggabungkan pengetahuan mereka akan piroelektrisitas (kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan) dengan pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah kristal. Keduanya kemudian mendemonstrasikan efek piezoelektrik pertama dengan menggunakan kristal turmalin, kuarsa, ratna cempaka, dan garam rossel. Dari uji coba tersebut diketahui bahwa kristal kuarsa dan garam rossel memperlihatkan kemampuan piezoelektrisitas paling besar saat itu. Piezoelektrik adalah material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis. Sebaliknya, jika medan listrik diterapkan, maka material tersebut akan mengalami regangan atau tekanan mekanis.

### **2.3.1 Efek Piezoelektrik**

Efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipole yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal materi. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi. Fenomena tersebut dikenal dengan electrostriction (efek piezoelektrik)

### 2.3.2 Karakteristik Material Piezoelektrik

Adapun karakteristik dari material – material yang terdapat pada tipe tipe piezoelektrik dapat dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Material Piezoelektrik

Sumber :[4]

| PROPERTIES OF SOME PIEZOELECTRIC MATERIALS |                              |                     |                        |   |                         |
|--|------------------------------|---------------------|------------------------|---|-------------------------|
| Material                                   | Density (Mg/m <sup>3</sup> ) | Dielectric constant | Curie temperature (°C) | Saturation polarization (C/m <sup>2</sup> ) | Coupling coefficient, K |
| Quartz                                     | 2.65                         | 4.6                 | 575                    |   |                         |
| Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>            | 2.06                         | 10.3                |                        |   |                         |
| BaTiO <sub>3</sub>                         | 5.7                          | 1900                | 130                    | 0.26  | 0.38                    |
| PbTiO <sub>3</sub>                         | 7.12                         | 43                  | 494                    |   |                         |
| PZT-4*                                     | 7.6                          | 1300                | 320                    | -0.5  | 0.56                    |
| PZT-5*                                     | 7.7                          | 1700                | 365                    | -0.5  | 0.66                    |
| LiNbO <sub>3</sub>                         | 4.64                         | 29                  | 1210                   | 0.74  | 0.035                   |
| Rochelle salt                              |                              | 5000                | 24                     |   |                         |

\* Lead zirconate titanate.

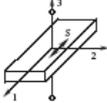
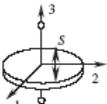
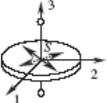
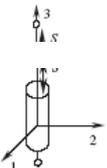
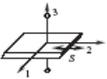
Sources: *Handbook of Tables for Applied Engineering Science*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL (1973), and A. J. Moulson and J. M. Herbert, *Electroceramics*, Chapman and Hall, London (1990).

### 2.3.3 Perhitungan Dasar Piezoelektrik

Adapun perhitungan – perhitungan voltase, displasment serta kapasitas penampungan daya dari beberapa bentuk piezoelektrik yang terdapat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Persamaan piezoelektrik menurut dimesi

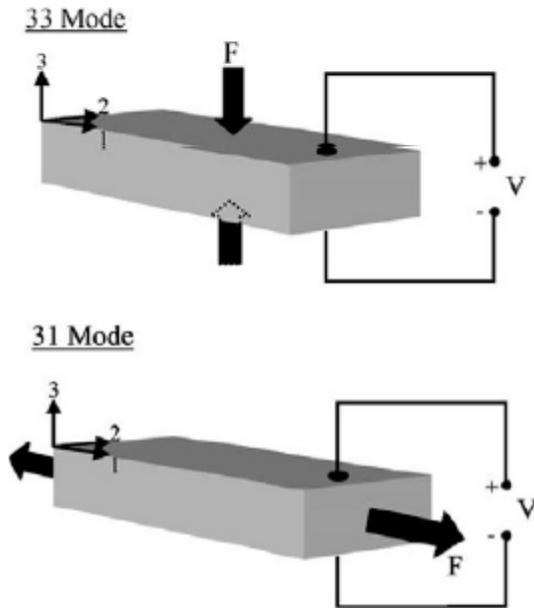
Sumber :[4]

| Action Mode ( $L$ , length; $W$ , width; $T$ , thickness; $D$ , diameter)           | Generated Voltage, $V$            | Displacement, $\Delta L$ ( $\Delta T$ ) | Capacitance, $C$                                   |
|---|-----------------------------------|---|--|
| Transverse length mode: $L > 3W > 3T$   | $V = \frac{g_{31}}{W} F$          | $\Delta l = \frac{d_{31} L}{T} V$       | $C = \frac{\epsilon_3^T L W}{T}$                   |
|    |                                   |   |  |
| Thickness extension mode: $D > 5T$  | $V = \frac{4Tg_{33}}{\pi D^2} F$  | $\Delta T = d_{33} V$                   | $C = \frac{\pi \epsilon_3^T D^2}{4T}$              |
|    |                                   |   |  |
| Radial mode: $D > 5T$   | Not applied                       | $\Delta D = \frac{d_{31} D}{T} V$       | $C = \frac{\pi}{4} K_1^T \epsilon_0 \frac{D^2}{T}$ |
|    |                                   |   |  |
| Longitudinal mode: $L > 3D$   | $V = \frac{4L}{\pi D^2 g_{33}} F$ | $\Delta L = d_{33} V$                   | $C = \frac{\pi D^2}{4L} K_1^T \epsilon_0$          |
|   |                                   |   |  |
| Thickness shear mode: $W > 5T, L > 5T$  | $V = \frac{g_{15}}{W} F$          | $\Delta x = d_{15} V$                   | $C = \frac{LW}{T} K_1^T \epsilon_0$                |
|  |                                   |   |  |

Note:  $F$  is the force and  $\epsilon_3^T$  is dielectric permittivity of the material at constant stress in direction 3,  $K_1^T$  is relative dielectric constant ( $K_1^T = \epsilon_1^T / \epsilon_0$ ), and  $\epsilon_0$  is dielectric permittivity in vacuum.

### 2.3.4 Mode Coupling

Pada piezoelektrik terdapat 2 jenis mode coupling, yaitu seperti tabel 2.3.



**Gambar 2.6** Gambar persamaan piezoelektrik menurut dimensi  
Sumber : [4]

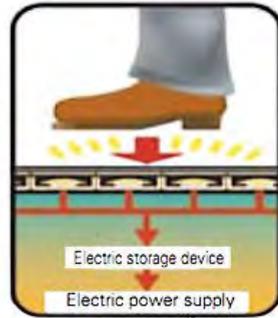
Mode coupling yang dimaksudkan adalah proses terjadinya deformasi pada material piezoelektrik dengan gaya tertentu, sehingga material terdeformasi seperti tabel diatas

### 2.3.5 Aplikasi material Piezoelektrik

Aplikasi yang selama ini dianggap paling sesuai menggunakan efek piezoelektrik adalah sumber energi bertegangan tinggi, sensor, dan motor piezoelektrik. Ke depannya penggunaan efek tersebut untuk perangkat elektronik akan lebih bervariasi disebabkan kecenderungan manusia untuk memperkecil segala alat aplikatif agar terkesan lebih efisien. Aplikasi piezoelektrik anantara lain dapat dilihat pada gambar 2.6



Demonstration experiment at Tokyo Station



Mechanism of the power generating floor

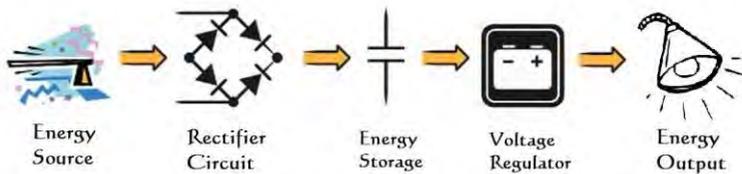
**Gambar 2.7** Aplikasi piezoelektrik  
Sumber :[5]

### 2.3.5 Kelemahan dan kekurangan Piezoelektrik

Adapun kelemahannya adalah piezoelektrik bukanlah suatu dielektrik yang bagus. Ada sedikit kebocoran muatan pada material piezoelektrik. Karena fenomena ini, ada suatu konstanta waktu penyimpanan tegangan pada piezoelektrik setelah diberikan suatu gaya. Konstanta waktu ini tergantung pada kapasitansi elemennya dan pada resistansi kebocorannya. Meskipun demikian, elemen piezoelektrik juga mempunyai beberapa kelebihan penting dibandingkan mekanisme sensing yang lain. Pertama dan yang utama adalah fakta bahwa piranti tersebut membangkitkan sendiri tegangannya. Karena itu elemen

ini tidak memerlukan daya dari luar untuk operasionalnya. Untuk suatu aplikasi di mana konsumsi daya sangat terbatas, piranti piezoelektrik sangat berguna. Tambahan lagi, efek piezoelektrik memiliki hukum penyekalaan yang menarik sehingga bermanfaat pada piranti yang kecil. Kekurangan utama sensing piezoelektrik ini adalah sensitifitasnya hanya bagus untuk sinyal yang berubah-ubah terhadap waktu.

## 2.4 Sistem Desain Rangkaian



**Gambar 2.8** Sistem Desain Rangkaian  
Sumber : [2]

Sistem desain yang penulis akan buat adalah seperti pada gambar 2.7 diatas. *Energy source* (sumber energi) yakni dalam hal ini adalah piezoelektrik yang digunakan peneliti untuk menghasilkan tenaga listrik yang nantinya akan di simpan kedalam *energy storage* atau semacam penyimpan tegangan. Output dari piezoelektrik itu adalah arus dengan tipe AC (*alternating current*), oleh sebab itu penulis memerlukan rangkaian pengubah arus AC ke DC yaitu dengan menggunakan *rectifier circuit*. Tegangan listrik yang telah tersimpan maka akan dapat digunakan ke berbagai aplikasi sebagai contoh yaitu LED

## 2.5 Perhitungan Penerangan di Pelabuhan

### 2.5.1 Umum

Daya dari sumber cahaya disebut Intensitas Iluminasi ( $I$ ). Menurut sejarahnya, sumber cahaya adalah lilin dan sekarang merupakan standar yang disetujui yang disimpan di Laboratorium Fisika Nasional. Lilin (kandela) adalah satuan intensitas dari sebuah titik sumber yang memancarkan energi cahaya ke semua arah. Sumber titik merupakan suatu pengertian yang relatif karena dianggap sangat kecil dibandingkan terhadap sekelilingnya.

Aliran cahaya atau Fluks Iluminasi ( $F$ ) yang dipancarkan oleh sumber diukur dalam lumen. Satu Lumen adalah fluksi cahaya yang dipancarkan dalam sudut pejal satuan dari sebuah titik sumber sebesar 1 lilin. Sekarang ini satu radian tidak dapat dipandang sebagai sudut yang dilingkupi oleh suatu busur yang sama dengan radius satuan  $r$ , sedangkan sebuah sudut pejal menuntupi suatu daerah bola yang sama dengan kuadrat jari – jarinya.

Iluminasi ( $E$ ) adalah cahaya yang jatuh pada sebuah permukaan. Hal ini diukur terhadap fluksi penerangan yang diterima pada luas satuan, misalnya lumen setiap  $m^2$ . Satuannya adalah lux. Penerangan cahaya (iluminasi) mengikuti hukum kuadrat terbalik sehingga jika permukaan yang diterangi berpindah jauh dua kali dari posisinya semula, maka iluminasi menjadi seperempat dari harga semula.

Perhitungan – perhitungan hukum kuadrat terbalik sederhana hanya benar – benar dapat diterapkan pada sumber – sumber titik, bilamana dapat diterapkan pada permukaan memantulkan seperti halnya mungkin diperoleh pada penerangan luar. Walaupun fitting – fitting cahaya bagian dalam menghasilkan penerangan pada bidang kerja atau permukaan yang diterangi, terdapat suatu sumber penerangan sekunder tambahan. Hal ini dihasilkan oleh

pemantulan dari fitting sendiri, dari dinding, dan dari loteng. Bagan – bagan praktis didasarkan pada metode lumen, yang memperhitungkan variasi berbagai faktor yang mempengaruhi distribusi fluksi cahaya yang mana di antaranya adalah fluksi cahaya keseluruhan yang mungkin akan diterima oleh bidang kerja, dan juga memperbolehkan penurunan dalam efisiensi satuan cahaya. Metode lumen memberikan penerangan umum yang harus ditambah dengan penerangan setempat. Kecenderungan modern ini dimana hanya diperlukan faktor keindahan, adalah mengurangi unit setempat sebanyak mungkin dengan memberikan penerangan keseluruhan yang baik. Gambar 2. 8 menunjukkan contoh penerangan pada pelabuhan.



**Gambar 2.9** Contoh penerangan pada pelabuhan  
Sumber :[6]

Rancangan penerangan sekarang ini di dimanfaatkan nilai – nilai penerangan yang disediakan oleh I.E.S. Katalog – katalog tentang lampu – lampu pabrik terpilih dan fitting mencakup kurva – kurva kutub (polar curves), yakni grafik khusus yang memperagakan daya listrik (polar curves), yakni grafik khusus yang memperagakan daya lilin (kandela) dalam semua arah, arah

kebawah, arah keatas, dan menyamping mengelilingi 360 dengan menggunakan koordinat kutub atau lingkaran. Dalam perhitungan penerangan, faktor – faktor berikut ini merupakan parameter – parameter :

- Koefisien Pemakaian (Cu)

Sebagian keluaran lumen dari sumber, hilang didalam fitting. Sebagian keluaran tersebut diarahkan ke dinding dan langit – langit dimana sebagian akan diserap dan sebagian dipantulkan. Jadi hanya sebagian dari cahaya yang mencapai permukaan kerja. Bagian ini dinyatakan sebagai sebuah faktor bilangan yang selalu lebih kecil daripada satu. Jelas faktor pemakaian ini memperlihatkan bahwa cahaya yang mencapai bidang yang akan diterangi adalah berkurang, sehingga daya sumber cahaya mungkin harus diperbesar untuk mencapai nilai penerangan yang diinginkan. Penentuan besarnya dari luar sebenarnya dari nilai koefisien pemakaian memerlukan pengalaman dan pertimbangan.

- Faktor Pemeliharaan (Mf)

Debu dan kotoran pada fitting dan kadang – kadang umur fitting dapat mengurangi keluaran cahaya. Penerangan juga akan terganggu oleh dekorasi yang buruk. Suatu angka sebesar 0,8 lazim diambil tetapi harus dikurangi untuk lingkungan yang berdebu dan kotor seperti yang kadang – kadang ditemukan pada pengerjaan kayu dan pengerjaan kimia. Kadang – kadang digunakan istilah faktor penyusutan :

$$\text{Faktor penyusutan} = \frac{1}{\text{Faktor pemeliharaan}}$$

- Perbandingan Ruang – Ketinggian

Ketinggian pemasangan fitting yang tepat adalah penting. Bila fitting dalam garis penglihatan, kesilauan (glare) bisa dihasilkan. Ketinggian yang berlebih dibatasi dalam mempengaruhi penerangan dan menimbulkan masalah bagi pemasangan lampu kembali dan dalam pemeliharaan. Pabrik sering mempunyai

fitting – fitting yang terpasang pada tiang penopang atap atau balok tinggi. Nilai perbandingan ruang – ketinggian bergantung pada jenis fitting dan penerangan yang akan diterapkan. Sekali tingginya telah diterapkan, perbandingan ini menentukan ruangan dan juga jumlah fitting yang akan ditentukan.

- Rumus iluminasi.

$$\text{Lumen} = \text{iluminasi (lux)} \times \text{luas bidang kerja (m}^2\text{)}$$

$$= E \times A$$

- Lampu penerangan

Terdiri dari :

1. Lampu pemancar suhu berupa lampu pijar.
  - Lampu benang arang.
  - Lampu vakum kawat wolfram
  - Lampu berisi gas
  - Lampu bi-arlita
  - Lampu argenta
  - Lampu supralux
  - Lampu LED
2. Lampu tabung gas.
  - Lampu natrium
  - Lampu air raksa tekanan tinggi
  - Lampu tabung fluoresen.

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1. Langkah-langkah Penelitian**

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang ini adalah sebagai berikut:

1. Perumusan Masalah.
2. Studi Literatur
3. Penetapan Tujuan Penelitian
4. Pengumpulan Data
5. Penentuan daya kebutuhan beban
6. Penentuan Piezoelektrik yang akan dipakai
7. Perhitungan Daya Listrik yang dihasilkan
8. Kesimpulan dan Saran

#### 3.1.1 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan penentuan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu menghitung berapa daya yang dihasilkan piezoelektrik dan menentukan berapa piezoelektrik yang dibutuhkan agar dapat disuplay oleh beban

#### 3.1.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dan informasi dengan mencari, mempelajari serta memahami paper, jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan tema tugas akhir.

#### 3.1.3 Penetapan Tujuan Penelitian

Pada Tahap ini ditetapkan tujuan dari penelitian ini adalah menghitung besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh Pembangkit Listrik yang memanfaatkan getaran dengan menggunakan media Piezoelektrik

#### 3.1.4 Pengumpulan data

Pada tahapan ini dilakukan pencarian data dengan Melakukan pengumpulan data diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data diperoleh adalah data denah dari lintasan monorail serta spesifikasi piezoelektrik dan spesifikasi lampu penerangan

#### 3.1.5 Analisa dan Perhitungan daya pada Piezoelektrik

Pada tahap ini dilakukan perhitungan daya yang dihasilkan piezoelektrik percobaan dengan dimensi serta variasi tekanan yang sudah ditentukan. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah berupa voltase yang dihasilkan

#### 3.1.6 Perbandingan Hasil Eksperimen Dengan Perhitungan Studi Literatur

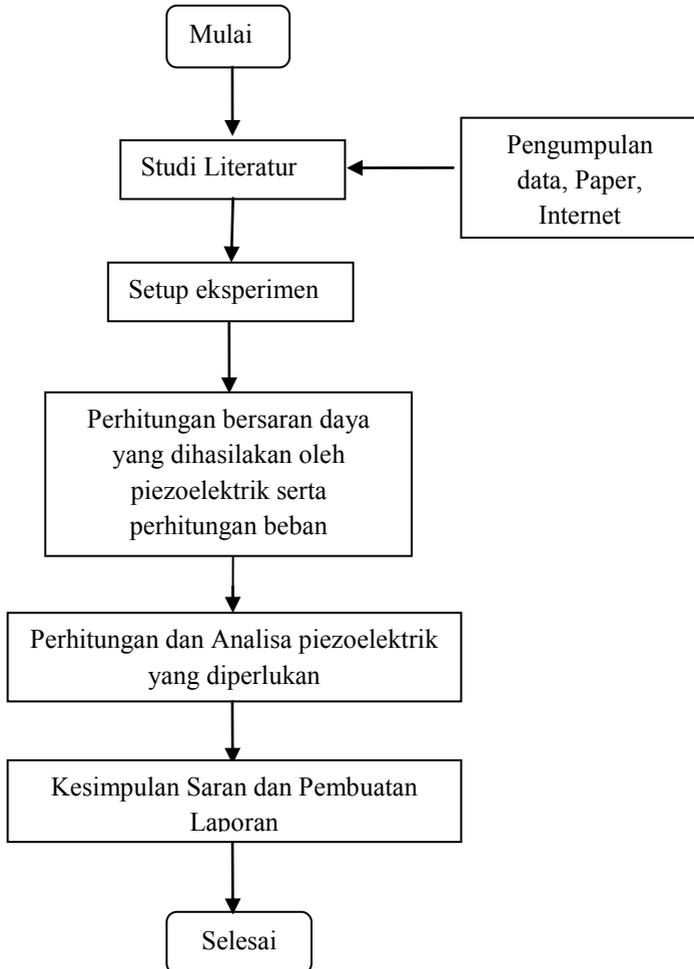
Pada tahap ini dilakukan perhitungan perbandingan daya listrik yang dihasilkan dari hasil eksperimen piezoelektrik dengan dimensi tertentu dengan rumus yang didapat dari Studi Literatur

#### 3.1.7 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan disimpulkan hasil penelitian yaitu daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga getaran hasil dari piezoelektrik dengan tekanan sebesar berat dari kontainer yang terisi penuh serta jumlah piezoelektrik yang dipergunakan agar dapat mensupply daya yang dibutuhkan oleh beban yaitu lampu

### 3.2. Skema Penelitian

Secara skematis, tugas akhir ini dilakukan dalam tahapan-tahapan berikut :

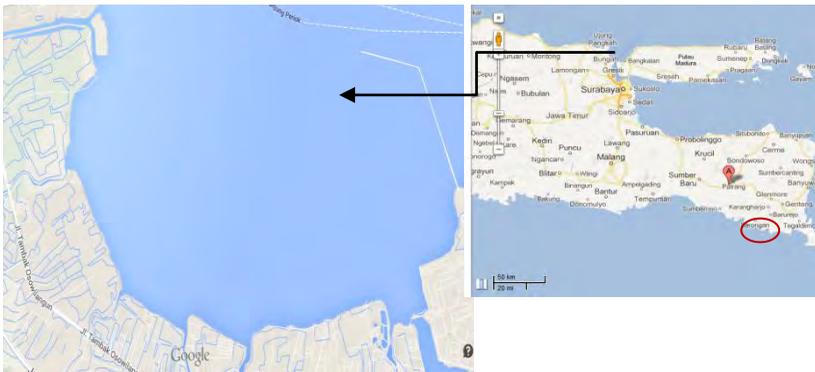


*Gambar 3.1 Skema Pengerjaan Skripsi*

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pelabuhan Teluk Lamong terletak di perbatasan kota Surabaya dan Gresik, Jawa Timur. Pelabuhan Teluk Lamong ini dibuat dikarenakan ketidakmampuan Pelabuhan Tanjung Perak untuk menampung tambahan kapasitas muatan. Pelabuhan ini berada pada garis lintang dan bujur sebagai berikut:  $8.51^{\circ}\text{S}$  -  $113.70^{\circ}\text{E}$



**Gambar 4.1** Peta letak Pelabuhan Teluk Lamong  
Sumber : [7]

Berdasarkan dari profil Pelabuhan Teluk Lamong terdapat jalur monorail yang menghubungkan antara Pelabuhan Teluk Lamong dengan Pelabuhan Tanjung Perak yang jalurnya melewati stasiun – stasiun yang terdapat depo – depo yang akan menampung muatan tersebut, jalurnya adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.2 Jalur Monorail**  
*Sumber : [7]*

berdasarkan pencarian referensi pada spesifikasi piezoelektrik, desain rangkaian piezo disc dirangkai secara seri dengan penampang seperti berikut:



**Gambar 4.3 Rangkaian Piezoelektrik percobaan**

Dengan menggunakan desain kolom diatas, dimensi dari satuan piezoelektrik adalah diameter luar 27mm, diameter dalam 24mm dan tebal 0.2mm dengan variasi berat 55kg, 65kg dan 75kg.

dengan dimensi piezoelektrik diatas maka dapat diketahui perbandingan voltase yang dihasilkan oleh piezoelektrik berat

bervariasi dan voltase perhitungannya dengan cara menggunakan rumus pada tabel persamaan 2.3.3 persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{4Tg_{33}}{\pi D^2} F \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :  $v$  = tegangan listrik (volt)

$T$  = tebal piezoelektrik (m)

$g_{33}$  = konstanta tegangan listrik (Vm/N)

$D$  = diameter piezoelektrik (m)

$F$  = Gaya (N)

Dimana syarat pemakaian persamaan diatas adalah :

$$D > 5 T$$

$$0,024 > 5 \times 2 \times 10^{-5}$$

$$0,024 > 1 \times 10^{-4} \text{ ( syarat terpenuhi )} \dots\dots\dots(2)$$

Nilai  $g_{33}$  dapat dilihat pada tabel 2.3 yang bernilai  $10 \times 10^{-3}$  Vm/N

Dimana

$$F = m \times g$$

$$= 55 \times 9,8$$

$$= 539 \text{ N} \dots\dots\dots(3)$$

Sehingga tegangan listrik yang diperoleh piezoelektrik 1 adalah :

$$v_1 = \frac{4 \times 0,0002 \times 0,01}{3,14 \times 0,024^2} 539 = 23,8 \text{ volt}$$

Dimana

$$\begin{aligned} F &= m \times g \\ &= 55 \times 9,8 \\ &= 539 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan listrik yang diperoleh piezoelektrik 2, dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (1) :

$$v_2 = \frac{4 \times 0,0002 \times 0,01}{3,14 \times 0,024^2} 637 = 28,2 \text{ volt}$$

Dimana

$$\begin{aligned} F &= m \times g \\ &= 75 \times 9,8 \\ &= 735 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan listrik yang diperoleh piezoelektrik 3 adalah :

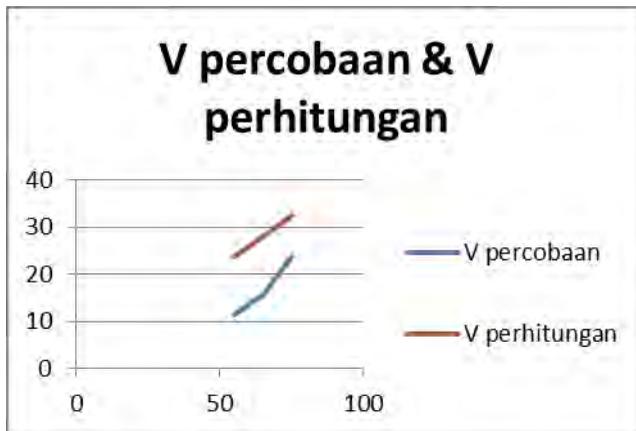
$$v_3 = \frac{4 \times 0,0002 \times 0,01}{3,14 \times 0,024^2} 735 = 32,5 \text{ volt}$$

Maka, dari hasil perhitungan diatas serta percobaan pembuatan rangkaian piezoelektrik secara seri dengan jumlah 10 piezoelektrik, dengan didapat hasil seperti pada tabel dibawah

**Tabel 4.1** Tabel Perhitungan Piezoelektrik 24mm

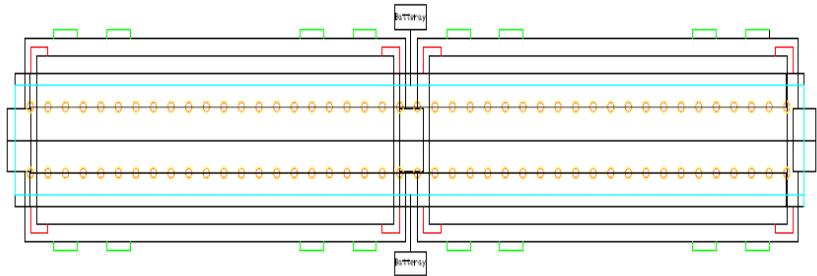
| Percobaan   | V beban 1 | V Perhitungan   | V beban 2 | V Perhitungan   | V beban 3 | V Perhitungan   |
|-------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| 1           | 18.7      |                 | 13.2      |                 | 30.1      |                 |
| 2           | 13.4      |                 | 17.4      |                 | 23.1      |                 |
| 3           | 9.9       |                 | 6.1       |                 | 17.5      |                 |
| 4           | 21.7      |                 | 9.3       |                 | 24.7      |                 |
| Rata - rata | 15.925    | 28.1758<br>6695 | 11.5      | 23.841<br>11819 | 23.85     | 32.510<br>61571 |

Sehingga didapatkan grafik seperti dibawah ini



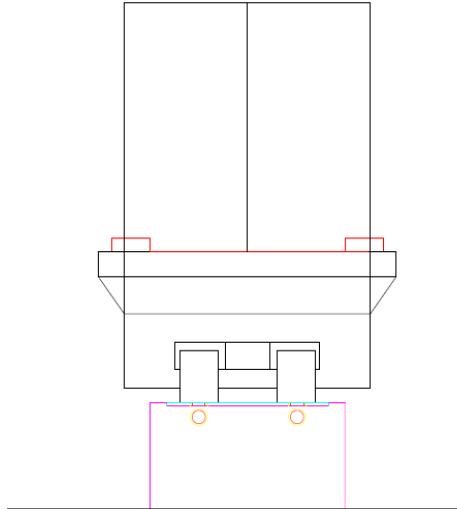
**Gambar 4.4** Grafik  $v_{percobaan}$ ,  $v_{perhitungan}$

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa  $V$  percobaan lebih kecil daripada  $V$  pada perhitungan studi literatur, hal ini dikarenakan perhitungan  $V$  dari studi literatur tidak atau belum memperhitungkan losses yang terjadi



**Gambar 4.5** Perancangan Rangkaian Piezoelektrik

Gambar diatas menunjukkan bahwa penempatan baterai yang berada di tengah – tengah dari pada rangkaian piezoelektrik terjauh mempunyai tingkat *losses* yang lebih rendah daripada penempatan piezoelektrik yang berada diujung dari rangkaian piezoelektrik tersebut. Sehingga dalam perhitungan ini digunakan seperti pada rangkaian pada gambar 4.5. Serta piezoelektrik ditempatkan pada roda – roda monorail tersebut dengan bantalan suatu lempengan yang bertujuan sebagai bantalan agar piezoelektrik tidak mudah rusak dikarenakan bergesekan dengan roda – roda monorail tersebut. Model rangkaian tampak samping dapat di lihat pada gambar 4.6



**Gambar 4.6** Perancangan Rangkaian Piezoelektrik tampak samping

Dengan menggunakan desain kolom diatas, dimensi dari satuan piezoelektrik adalah diameter luar 115mm, diameter dalam 100mm dan tebal 0.23mm

dengan dimensi piezoelektrik diatas maka dapat diketahui voltase yang dihasilkan oleh piezoelektrik tersebut dengan berat monorail beserta containernya dengan cara menggunakan rumus pada persamaan (1) sebagai berikut :

$$v = \frac{4Tg33}{\pi D^2} F$$

Dimana :  $v$  = tegangan listrik (volt)

$T$  = tebal piezoelektrik (m)

$g33$  = kostanta tegangan listrik (Vm/N)

$D$  = diameter piezoelektrik (m)

$F$  = Gaya (N)

Dimana syarat pemakaian persamaan diatas adalah :

$$D > 5 T$$

$$0,1 > 5 \times 23 \times 10^{-5}$$

$$0,1 > 1,15 \times 10^{-3} \text{ ( syarat terpenuhi )}$$

Dimana

$$F = m \text{ total } \times g$$

$$= 40000 \times 9,8$$

$$= 392000 \text{ N}$$

Sehingga tegangan listrik yang diperoleh adalah :

$$v = \frac{4 \times 0,00023 \times 0,005}{3,14 \times 0,1^2} 392000 = 57,4 \text{ volt}$$

Setelah menghitung tegangan listrik pada piezoelektrik selanjutnya dilakukan perhitungan daya dari piezoelektrik tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui besaran daya yang diperlukan dengan jumlah piezoelektrik tertentu sehingga dapat mensuplay beban lampu, dengan cara menggunakan rumus dari persamaan pada 2.20 yaitu:

$$P = I \cdot v \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :  $P$  = daya listrik (watt )

$I$  = arus listrik (A)

$v$  = tegangan listrik (volt)

dimana,

$$I = \frac{v}{R} \dots\dots\dots(5)$$
$$= \frac{57,4}{1000} = 0,0574 \text{ A}$$

Sehingga diperoleh daya listrik yang diperoleh adalah adalah :

$$P = 0,0574 \cdot 57,4$$
$$= 3,4 \text{ watt}$$

Setelah menghitung daya listrik pada piezoelektrik selanjutnya dilakukan perhitungan losees pada kabel yang menghubungkan antar piezoelektrik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan daya yang dapat diterima oleh batteray. Untuk itu, maka diperlukan perhitungan untuk mengetahui jumlah total daya dengan penggunaan 14 lampu seperti pada persamaan dibawah :

$$R = p \times \frac{l}{q} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :  $R$  = hambatan kabel (Ohm )

$p$  = tahanan jenis kawat (Ohm mm<sup>2</sup>/meter)

$l$  = panjang kabel (m)

$q$  = penampang kabel (mm<sup>2</sup>)

Dimana,  $l$  dimisalkan 0,3 m atau (  $n \times 0,3$  ) dan dengan luas penampang seperti pada lampiran.

Sehingga,

$$R = 227,2 \times \frac{0,3}{1,5}$$

$$= 45,44 \text{ Ohm}$$

Sehingga dapat dihitung berapa tegangan yang hilang pada kabel tersebut, dengan persamaan

$$\Delta v = I \cdot R \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :  $R$  = hambatan pada kabel (Ohm)

$I$  = arus listrik piezoelektrik (A)

$\Delta v$  = tegangan listrik yang hilang (volt)

Sehingga,

$$\Delta v = 0,0574 \cdot 45,44$$

$$= 2,6 \text{ volt}$$

Sehingga akan didapatkan besar presentase rugi, yang ada pada persamaan dibawah:

$$\% \Delta v = \frac{\Delta v}{v \text{ piezoelektrik}} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :  $\% \Delta v$  = presentase rugi tegangan listrik (%)

$v \text{ piezoelektrik}$  = tegangan piezoelektrik (volt)

$\Delta v$  = tegangan listrik yang hilang (volt)

Sehingga,

$$\begin{aligned} \% \Delta v &= \frac{2,6}{57,4} \times 100\% \dots\dots\dots(9) \\ &= 4,54\% \end{aligned}$$

Setelah menghitung tegangan listrik yang hilang pada piezoelektrik selanjutnya dilakukan perhitungan AH pada spesifikasi lampu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan daya perjam. Untuk itu, maka diperlukan perhitungan untuk mengetahui jumlah total daya dengan penggunaan 14 lampu dengan kebutuhan daya tiap lampu adalah sebesar 5 watt, seperti pada persamaan 4 yaitu:

$$P = I \cdot v$$

$$I = \frac{P}{v}$$

$$= \frac{5}{220}$$

$$= 0,227 \text{ A}$$

Dimana, waktu pemakaian lampu antara jam 17.00 – 07.00 = 14 jam

$$IH = I \cdot h \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :  $IH$  = ampere hours ( AH )

$$I = \text{ampere ( A )}$$

$$h = \text{waktu ( jam )}$$

Sehingga

$$IH = 0,227 \cdot 14$$

$$= 3,178 \text{ AH}$$

Dimana, jumlah lampu yang dibutuhkan adalah mencapai 15 buah.

Sehingga

$$\begin{aligned} IH \text{ total} &= IH \cdot 15 \dots\dots\dots(11) \\ &= 3,178 \times 15 \\ &= 47,67 \text{ AH} \end{aligned}$$

Sedangkan total daya yang dibutuhkan oleh 14 buah lampu, yaitu :

$$\begin{aligned} P \text{ total} &= P \cdot 14 \dots\dots\dots(12) \\ &= 5 \cdot 14 \\ &= 70 \text{ watt} \end{aligned}$$

Setelah menghitung total daya listrik beserta AmpereHours pada lampu selanjutnya dilakukan perhitungan daya pada spesifikasi batteray. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kebutuhan daya perjam. Untuk itu, maka diperlukan perhitungan daya lampu seperti pada persamaan dibawah yaitu:

$$\begin{aligned} P \text{ batteray} &= I \cdot v \\ &= 80 \cdot 12 \\ &= 960 \text{ watt/jam} \end{aligned}$$

Dengan hasil persamaan diatas yang berupa hasil daya, maka dapat dihitung waktu yang diperlukan untuk mengisi batteray dari kondisi kosong sampai penuh, atau mencapai 80 AH dengan waktu pemakaian 20jam, yang dimana diasumsikan panjang gerbong yang mengangkut kontainer tersebut mencapai 20 kontainer x 20 feet panjang tiap kontainer.

$$t = \frac{P \text{ batteray}}{P \text{ total}} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :  $P \text{ batteray}$  = daya batteray dalam waktu 1 jam (watt/jam )

$P \text{ total}$  = daya total yang dapat dihasilkan oleh piezoelektrik (watt)

$t$  = waktu yang dibutuhkan untuk mengisi batteray (jam)

Sehingga,

$$= \frac{960}{70}$$

$$= 13,8 \text{ jam}$$

Jadi waktu yang diperlukan untuk mengisi batteray dari kondisi kosong sampai penuh, atau mencapai 80 AH dengan waktu pemakaian 20jam, yang dimana diasumsikan panjang gebong yang mengangkut kontainer tersebut mencapai 20 kontainer x 20 feet panjang tiap kontainer adalah kurang lebih 14 jam

Dengan hasil persamaan diatas yang berupa hasil daya, maka dapat dihitung jumlah piezoelektrik yang diperlukan untuk mensuplay kebutuhan daya lampu yang berjumlah 15 buah, dengan persamaan :

$$Kebutuhan \text{ piezo} = \frac{P \text{ total lampu}}{P \text{ piezo}} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :  $P \text{ total lampu}$  = daya konsumsi 15 lampu (watt )

$P \text{ piezo}$  = daya yang dihasilkan oleh 1 piezo (watt)

Sehingga,

$$= \frac{70}{3,3}$$

$$= 22$$

Jadi jumlah piezoelektrik yang dimana dirangkai secara seri yang diperlukan adalah 22 buah.

Dengan hasil persamaan diatas yang jumlah piezoelektrik yang dapat mensuplay kebutuhan daya lampu 15 buah, maka selanjutnya menghitung koreksi jumlah piezo dengan tambahan kerugian kerugian yang terjadi pada kabel sambungan, hal ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan persamaan (6) yaitu :

$$R = p \times \frac{l \times n}{q}$$

Dimana,  $l$  sudah ditetapkan panjang antara piezoelektrik 1 dan piezoelektrik lainnya berjarak = 0,3m dan nilai  $n$  = jumlah piezoelektrik.

Sehingga didapat tabel perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan daya piezoelektrik dengan baterai terletak pada piezoelektrik nomor 1 atau paling ujung
2. Perhitungan daya piezoelektrik dengan baterai terletak pada piezoelektrik nomor 11 atau ditengah dari rangkaian

**Tabel 4.2** Tabel Perhitungan Daya I

| no | L<br>(m) | R      | $\Delta v$ | $\% \Delta v$ | $\% v$ | $v$       | P        |
|----|----------|--------|------------|---------------|--------|-----------|----------|
| 1  | 0,3      | 45,44  | 2,6        | 4,544         | 95,456 | 54,81728  | 3,147992 |
| 2  | 0,6      | 90,88  | 5,2        | 9,088         | 90,912 | 52,207808 | 2,998138 |
| 3  | 0,9      | 136,32 | 7,8        | 13,6          | 86,4   | 49,616713 | 2,849339 |
| 4  | 1,2      | 181,76 | 10,4       | 18,176        | 81,824 | 46,988865 | 2,69843  |
| 5  | 1,5      | 227,2  | 13         | 22,72         | 77,28  | 44,379394 | 2,548575 |
| 6  | 1,8      | 272,64 | 15,6       | 27,264        | 72,736 | 41,769922 | 2,398721 |
| 7  | 2,1      | 318,08 | 18,2       | 31,808        | 68,192 | 39,16045  | 2,248867 |
| 8  | 2,4      | 363,52 | 20,8       | 36,352        | 63,648 | 36,550979 | 2,099013 |
| 9  | 2,7      | 408,96 | 23,4       | 40,896        | 59,104 | 33,941507 | 1,949159 |
| 10 | 3        | 454,4  | 26         | 45,44         | 54,56  | 31,332036 | 1,799305 |
| 11 | 3,3      | 499,84 | 28,6       | 49,984        | 50,016 | 28,722564 | 1,649451 |
| 12 | 3,6      | 545,28 | 31,2       | 54,528        | 45,472 | 26,113092 | 1,499597 |
| 13 | 3,9      | 590,72 | 33,8       | 59,072        | 40,928 | 23,503621 | 1,349742 |
| 14 | 4,2      | 636,16 | 36,4       | 63,616        | 36,384 | 20,894149 | 1,199888 |
| 15 | 4,5      | 681,6  | 39         | 68,16         | 31,84  | 18,284678 | 1,050034 |
| 16 | 4,8      | 727,04 | 41,6       | 72,704        | 27,296 | 15,675206 | 0,90018  |
| 17 | 5,1      | 772,48 | 44,2       | 77,248        | 22,752 | 13,065735 | 0,750326 |
| 18 | 5,4      | 817,92 | 46,8       | 81,792        | 18,208 | 10,456263 | 0,600472 |
| 19 | 5,7      | 863,36 | 49,4       | 86,336        | 13,664 | 7,8467913 | 0,450618 |
| 20 | 6        | 908,8  | 52         | 90,88         | 9,12   | 5,2373197 | 0,300764 |
| 21 | 6,3      | 954,24 | 54,6       | 95,424        | 4,576  | 2,6278482 | 0,150909 |
| 22 | 6,6      | 999,68 | 57,2       | 99,968        | 0,032  | 0,0183766 | 0,001055 |
|    |          |        |            |               |        | P total = | 34,64058 |

**Tabel 4.3** Tabel Perhitungan Daya II

| no | L<br>(m) | R      | $\Delta v$ | $\% \Delta v$ | $\% v$   | v         | P         |
|----|----------|--------|------------|---------------|----------|-----------|-----------|
| 1  | 3,3      | 499,84 | 28,70431   | 49,98422      | 50,01578 | 28,72244  | 1,6494436 |
| 2  | 3        | 454,4  | 26,09483   | 45,4402       | 54,5598  | 31,331923 | 1,7992983 |
| 3  | 2,7      | 408,96 | 23,48535   | 40,89618      | 59,10382 | 33,941406 | 1,9491531 |
| 4  | 2,4      | 363,52 | 20,87586   | 36,35216      | 63,64784 | 36,550889 | 2,0990079 |
| 5  | 2,1      | 318,08 | 18,26638   | 31,80814      | 68,19186 | 39,160371 | 2,2488627 |
| 6  | 1,8      | 272,64 | 15,6569    | 27,26412      | 72,73588 | 41,769854 | 2,3987174 |
| 7  | 1,5      | 227,2  | 13,04741   | 22,7201       | 77,2799  | 44,379337 | 2,5485722 |
| 8  | 1,2      | 181,76 | 10,43793   | 18,17608      | 81,82392 | 46,98882  | 2,698427  |
| 9  | 0,9      | 136,32 | 7,828449   | 13,63206      | 86,36794 | 49,598303 | 2,8482817 |
| 10 | 0,6      | 90,88  | 5,218966   | 9,088039      | 90,91196 | 52,207786 | 2,9981365 |
| 11 | 0,3      | 45,44  | 2,609483   | 4,54402       | 95,45598 | 54,817269 | 3,1479913 |
| 12 | 0,3      | 45,44  | 2,609483   | 4,54402       | 95,45598 | 54,817269 | 3,1479913 |
| 13 | 0,6      | 90,88  | 5,218966   | 9,088039      | 90,91196 | 52,207786 | 2,9981365 |
| 14 | 0,9      | 136,32 | 7,828449   | 13,63206      | 86,36794 | 49,598303 | 2,8482817 |
| 15 | 1,2      | 181,76 | 10,43793   | 18,17608      | 81,82392 | 46,98882  | 2,698427  |
| 16 | 1,5      | 227,2  | 13,04741   | 22,7201       | 77,2799  | 44,379337 | 2,5485722 |
| 17 | 1,8      | 272,64 | 15,6569    | 27,26412      | 72,73588 | 41,769854 | 2,3987174 |
| 18 | 2,1      | 318,08 | 18,26638   | 31,80814      | 68,19186 | 39,160371 | 2,2488627 |
| 19 | 2,4      | 363,52 | 20,87586   | 36,35216      | 63,64784 | 36,550889 | 2,0990079 |
| 20 | 2,7      | 408,96 | 23,48535   | 40,89618      | 59,10382 | 33,941406 | 1,9491531 |
| 21 | 3        | 454,4  | 26,09483   | 45,4402       | 54,5598  | 31,331923 | 1,7992983 |
| 22 | 3,3      | 499,84 | 28,70431   | 49,98422      | 50,01578 | 28,72244  | 1,6494436 |
|    |          |        |            |               |          | P total = | 52,771783 |

Dari 2 tabel percobaan perhitungan diatas maka dapat disimpulkan ada perbedaan daya piezoelektrik dengan daya lampu, yaitu :

$$\begin{aligned} \Delta P1 &= P \text{ lampu} - P \text{ total1} \\ &= 70 - 34,6 \\ &= 35,4 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dan

$$\begin{aligned} \Delta P2 &= P \text{ lampu} - P \text{ total2} \\ &= 70 - 52,77 \\ &= 17,32 \text{ watt} \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada perhitungan percobaan 2 didapatkan hasil selisih daya yang lebih besar daripada perhitungan percobaan 1. Dari hasil ini, selanjutnya dihitung berapa jumlah piezoelektrik yang dibutuhkan

Sehingga diperoleh tabel perhitungan :

**Tabel 4.4** *Tabel Perhitungan Daya III*

| no | L (m) | R      | $\Delta v$ | $\% \Delta v$ | $\% v$   | v        | p        |
|----|-------|--------|------------|---------------|----------|----------|----------|
| 1  | 6,6   | 999,68 | 57,40862   | 99,96843      | 0,031568 | 0,018128 | 0,001041 |
| 2  | 6,3   | 954,24 | 54,79914   | 95,42441      | 4,575587 | 2,627611 | 0,150896 |
| 3  | 6     | 908,8  | 52,18966   | 90,88039      | 9,119607 | 5,237094 | 0,300751 |
| 4  | 5,7   | 863,36 | 49,58017   | 86,33637      | 13,66363 | 7,846577 | 0,450605 |
| 5  | 5,4   | 817,92 | 46,97069   | 81,79235      | 18,20765 | 10,45606 | 0,60046  |
| 6  | 5,1   | 772,48 | 44,36121   | 77,24833      | 22,75167 | 13,06554 | 0,750315 |
| 7  | 4,8   | 727,04 | 41,75173   | 72,70431      | 27,29569 | 15,67503 | 0,90017  |

| no | (m) | R       | $\Delta v$ | % $\Delta v$ | % v      | v        | p        |
|----|-----|---------|------------|--------------|----------|----------|----------|
| 8  | 4,5 | 681,6   | 39,14224   | 68,16029     | 31,83971 | 18,28451 | 1,050024 |
| 9  | 4,2 | 636,16  | 36,53276   | 63,61628     | 36,38372 | 20,89399 | 1,199879 |
| 10 | 3,9 | 590,72  | 33,92328   | 59,07226     | 40,92774 | 23,50347 | 1,349734 |
| 11 | 3,6 | 545,28  | 31,31379   | 54,52824     | 45,47176 | 26,11296 | 1,499589 |
| 12 | 3,3 | 499,84  | 28,70431   | 49,98422     | 50,01578 | 28,72244 | 1,649444 |
| 13 | 3   | 454,4   | 26,09483   | 45,4402      | 54,5598  | 31,33192 | 1,799298 |
| 14 | 2,7 | 408,96  | 23,48535   | 40,89618     | 59,10382 | 33,94141 | 1,949153 |
| 15 | 2,4 | 363,52  | 20,87586   | 36,35216     | 63,64784 | 36,55089 | 2,099008 |
| 16 | 2,1 | 318,08  | 18,26638   | 31,80814     | 68,19186 | 39,16037 | 2,248863 |
| 17 | 1,8 | 272,64  | 15,6569    | 27,26412     | 72,73588 | 41,76985 | 2,398717 |
| 18 | 1,5 | 227,2   | 13,04741   | 22,7201      | 77,2799  | 44,37934 | 2,548572 |
| 19 | 1,2 | 181,76  | 10,43793   | 18,17608     | 81,82392 | 46,98882 | 2,698427 |
| 20 | 0,9 | 136,32  | 7,828449   | 13,63206     | 86,36794 | 49,5983  | 2,848282 |
| 21 | 0,6 | 90,88   | 5,218966   | 9,088039     | 90,91196 | 52,20779 | 2,998137 |
| 22 | 0,3 | 45,44   | 2,609483   | 4,54402      | 95,45598 | 54,81727 | 3,147991 |
| 23 | 0,3 | 45,44   | 2,609483   | 4,54402      | 95,45598 | 54,81727 | 3,147991 |
| 24 | 0,6 | 90,88   | 5,218966   | 9,088039     | 90,91196 | 52,20779 | 2,998137 |
| 25 | 0,9 | 136,32  | 7,828449   | 13,63206     | 86,36794 | 49,5983  | 2,848282 |
| 26 | 1,2 | 181,76  | 10,43793   | 18,17608     | 81,82392 | 46,98882 | 2,698427 |
| 27 | 1,5 | 227,2   | 13,04741   | 22,7201      | 77,2799  | 44,37934 | 2,548572 |
| 28 | 1,8 | 272,64  | 15,6569    | 27,26412     | 72,73588 | 41,76985 | 2,398717 |
| 29 | 2,1 | 318,08  | 18,26638   | 31,80814     | 68,19186 | 39,16037 | 2,248863 |
| 30 | 2,4 | 363,52  | 20,87586   | 36,35216     | 63,64784 | 36,55089 | 2,099008 |
| 31 | 2,7 | 408,96  | 23,48535   | 40,89618     | 59,10382 | 33,94141 | 1,949153 |
| 32 | 3   | 454,4   | 26,09483   | 45,4402      | 54,5598  | 31,33192 | 1,799298 |
| 33 | 3,3 | 499,84  | 28,70431   | 49,98422     | 50,01578 | 28,72244 | 1,649444 |
| 34 | 3,6 | 2181,12 | 125,2552   | 218,1129     | -118,113 | -67,8284 | -3,89518 |

| no | (m) | R       | $\Delta v$ | % $\Delta v$ | % v      | v         | p        |
|----|-----|---------|------------|--------------|----------|-----------|----------|
| 35 | 3,9 | 2362,88 | 135,6931   | 236,289      | -136,289 | -78,2664  | -4,4946  |
| 36 | 4,2 | 2544,64 | 146,131    | 254,4651     | -154,465 | -88,7043  | -5,09402 |
| 37 | 4,5 | 2726,4  | 156,569    | 272,6412     | -172,641 | -99,1422  | -5,69344 |
| 38 | 4,8 | 2908,16 | 167,0069   | 290,8173     | -190,817 | -109,58   | -6,29286 |
| 39 | 5,1 | 3089,92 | 177,4448   | 308,9933     | -208,993 | -120,018  | -6,89228 |
| 40 | 5,4 | 3271,68 | 187,8828   | 327,1694     | -227,169 | -130,456  | -7,4917  |
| 41 | 5,7 | 3453,44 | 198,3207   | 345,3455     | -245,345 | -140,894  | -8,09112 |
| 42 | 6   | 3635,2  | 208,7586   | 363,5216     | -263,522 | -151,332  | -8,69054 |
| 43 | 6,3 | 3816,96 | 219,1966   | 381,6977     | -281,698 | -161,77   | -9,28995 |
| 44 | 6,6 | 3998,72 | 229,6345   | 399,8737     | -299,874 | -172,208  | -9,88937 |
|    |     |         |            |              |          | P total = | 70,27871 |

Dari tabel diatas didapatkan hasil kebutuhan piezoelektrik dengan jarak kabel yang berhubungan membutuhkan piezoelektrik dengan dimensi 100mm x 0,23mm berjumlah 44 buah, untuk mensuplai daya lampu yang berjumlah 14 buah dengan spesifikasi 5watt/400 lumen, dengan total daya 70watt

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa yang diperoleh dari percobaan dan perhitungan piezoelektrik diatas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kasus perbandingan antara  $v$  perhitungan dan  $v$  percobaan terjadi perbedaan voltase yang dihasilkan, hal ini dikarenakan pada proses percobaan beban yang diterima tidak stabil atau konstan, hal ini dikarenakan objek beban tidak diketahui pastinya
2. Pada percobaan pada rangkaian seri dengan jumlah 10 buah piezoelektrik dengan diameter 24mm, dengan pembebanan gaya yang konstan, maka hasil voltase yang dihasilkan adalah 0, hal ini dikarenakan sifat kerja piezoelektrik yang material kerjanya harus terdeformasi secara berulang – ulang agar dapat menghasilkan keluarnya voltase tersebut
3. Pada kasus perbandingan daya antara piezoelektrik dimensi 100 x 0,23mm dengan piezoelektrik percobaan 24 x 0,2mm, yang didasari pada persamaan (1) bila mana, tebal material piezoelektrik lebih besar, akan mengakibatkan jangkauan material untuk terdeformasi lebih besar, sehingga menurut kesimpulan (b) maka daya yang dihasilkan lebih besar pulap
4. Pada kasus tabel perhitungan voltase pada piezoelektrik dengan memperhitungkan losses dari kabel, didapatkan jika semakin meterial piezoelektrik ditempatkan menjauhi tempat penyimpanan daya, atau batteray, maka semakin sedikit pula voltase yang diterima, dengan kondisi arus yang tidak berubah, hal ini dikarenakan tiap piezoelektrik dapat berfungsi sebagai kapasitor.
5. Untuk memenuhi beban daya yang dibutuhkan oleh 14 lampu dengan besaran daya tiap lampu adalah 5 watt dan dengan total daya yang dibutuhkan adalah 70 watt maka, dari perhitungan diatas dibutuhkan sekitar 44 piezoelektrik dengan dimensi lebar piezoelektrik 100 mm.

## 5.2 Saran

Saran yang diberikan setelah dilakukan analisis perhitungan piezoelektrik diatas, adalah sebagai berikut:

- a) Untuk kasus perhitungan voltase pada perhitungan hendaknya memberikan perhitungan mekanis agar hasil perhitungan voltase serta kekuatan material dapat secara maksimal.
- b) Untuk kasus pemilihan untuk spesifikasi piezoelektrik, dianjurkan agar memilih material piezoelektrik yang memiliki mode coupling dengan sistem gaya deformasi  $g_{33}$  agar perhitungan yang didapatkan lebih optimal.

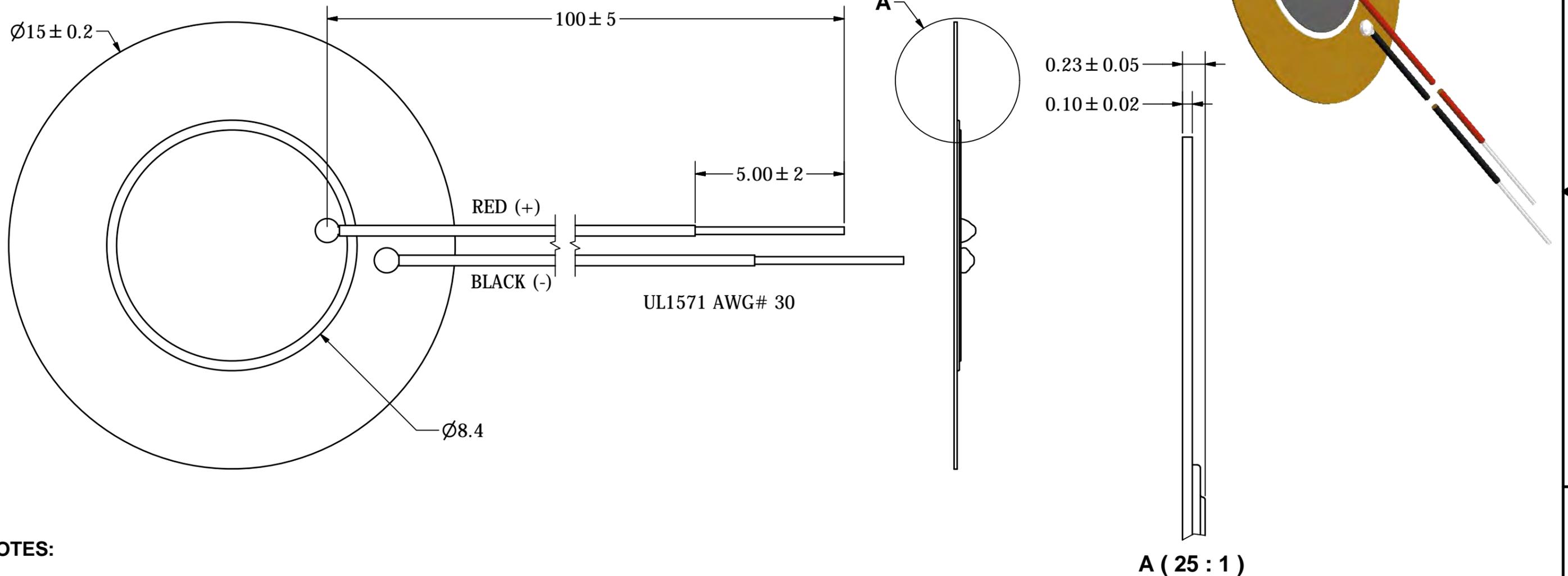
# SPECIFICATIONS

| PARAMETERS               | VALUES      | UNITS |
|--------------------------|-------------|-------|
| RESONANT FREQUENCY       | 4,100 ± 500 | Hz    |
| RESONANT IMPEDANCE (MAX) | 1,000       | Ohm   |
| MAX INPUT VOLTAGE        | 30          | Vp-p  |
| CAPACITANCE @ 1kHz       | 8,000 ± 30% | pF    |
| PLATE MATERIAL           | BRASS       | -     |
| OPERATING TEMPERATURE    | -20 ~ +60   | °C    |
| STORAGE TEMPERATURE      | -20 ~ +70   | °C    |

THIS DOCUMENT CONTAINS DATA PROPRIETARY TO PROJECTS UNLIMITED, INC. ANY USE OR REPRODUCTION, IN ANY FORM, WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION OF PROJECTS UNLIMITED, INC. IS PROHIBITED.  
 © 2003, Projects Unlimited Inc.

# REVISION HISTORY

| LTR | DESCRIPTION               | DATE     | APPROVED |
|-----|---------------------------|----------|----------|
| -   | RELEASED FROM ENGINEERING | 1/2/2014 |          |



### NOTES:

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
2. SPECIFICATIONS SUBJECT TO CHANGE OR WITHDRAWL WITHOUT NOTICE.
3. THIS PART IS RoHS 2011/65/EU COMPLIANT.

|  |                   |   |            |                        |            |             |            |            |
|--|-------------------|---|------------|------------------------|------------|-------------|------------|------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS,<br>TOLERANCES ARE -0.5 AND ANGLES ARE -3°. | SIZE<br><b>A3</b> | Designed by   | Date       | Checked by             | Date       | Approved by | Date       | Drawn Date |
|  |                   | J.D.  | 11/21/2013 | X.X.                   | 11/21/2013 | X.X.        | 11/21/2013 | 11/21/2013 |
| AB1541B-LW100-R.idw  |                   |  <b>pui audio</b><br><small>a projects unlimited company</small> |            | <b>AB1541B-LW100-R</b> |            |             |            |            |
| <b>Bender</b>  |                   |   |            |                        |            | Edition     | Sheet      |            |
|  |                   |   |            |                        |            | -           | 1 / 1      |            |

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.teluklamong.co.id/>
- [2] Daryanto, "Container Crane dan Peti Kemas", 2015
- [3] <http://www.teluklamong.co.id/AutomatedContainerTransporter>
- [4] Taufiq Arif Setyanto, et al. (2005), *Piezoelectric pad sensor for dynamic load measurement*, Bulletin of the graduate school of engineering, Hiroshima University, Vol. 54, No. 1
- [5] Zheng Chen, Yantao Shen, Ning Xi, Xiaobo Tan, (2007), *Integrated Sensing for ionic polymer-metal composite actuators using PVDF thin films*, Smart Material and Structures.
- [6] <http://www2.pelindo.co.id/press-release-jelang-operasi-terminal-teluk-lamong-dapat-pasokan-gas-2-7-mmscfd>
- [7] IEEE, "Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", 1995. IEEE Std 1159-1995.
- [8] Penangsang, Ontoseno. "Diktat Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik 2", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- [9] Das, J.C., "Transient in Electrical System, Analysis ,Recognition, and Mitigation" , McGraw-Hill, Inc, 2010.

## BIOGRAFI PENULIS



Fiko Rachmat Witjaksono lahir di Malang pada tanggal 19 Agustus 1992. Ia menyelesaikan pendidikan SD di SDN Keputran I Surabaya pada tahun 2004, kemudian melanjutkan pendidikan SMP di SMPN 41 Surabaya pada tahun 2007 dan menyelesaikan pendidikan SMA di SMAK Dapena 1 Surabaya yang diselesaikan pada tahun 2010. Setelah lulus SMA, ia memilih melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan dan mengambil konsentrasi bidang studi Teknik Marine Electrical and Automatic System. Hal ini tidak lepas dari ketertarikannya di bidang teknologi.