

Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor

Elfi Yulia, Eka Permana Putra, Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D, Dr. Ir. Nugraha

Program Studi Teknik Fisika

Institut Teknologi Bandung

elfiyulia27@gmail.com, eka-permanaputra16@yahoo.com

Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Indonesia tahun 2014 mencapai 205 TWh dan diprediksi mengalami peningkatan sebesar 8,3% setiap tahunnya, hal ini dapat menyebabkan Indonesia menjadi negara pengimpor energi di tahun 2033. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengembangan energi alternatif, salah satunya memanfaatkan waste vibration energy dari gerakan kendaraan bermotor menggunakan polisi tidur piezoelektrik. Polisi tidur piezoelektrik yang dirancang pada penelitian terdiri atas sistem mekanik polisi tidur yang berfungsi menerima masukan dari tekanan kendaraan bermotor, sistem kantilever piezoelektrik sebagai komponen penghasil energi listrik dan sistem harvesting energy sebagai pemanen energi dari material piezoelektrik. Satu modul sistem terdiri dari rangkaian paralel piezoelektrik yang dihubungkan dengan buck konverter MB39C811. Sistem yang paling maksimal menghasilkan energi adalah rangkaian lima modul secara paralel. Polisi tidur piezoelektrik mampu menghasilkan daya listrik dengan masukan 60 kali lindasan kendaraan bermotor sebesar 2.166mWh dengan efisiensi 2.87 % dibandingkan dengan masukan manual.

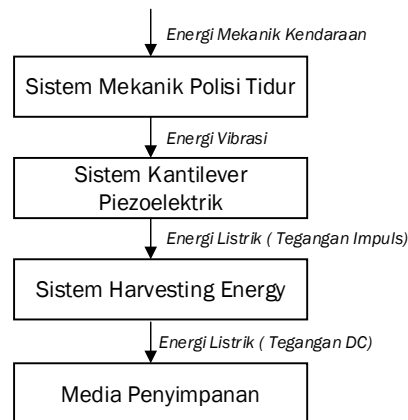
Kata kunci : Piezoelektrik, polisi tidur piezoelektrik, kantilever piezoelektrik, harvesting energy.

1 Pendahuluan

Waste vibration energy adalah energi getaran yang terbuang saat kerja dilakukan oleh suatu sistem khususnya sistem mekanik [1]. Waste vibration energy dari gerakan kendaraan bermotor merupakan salah satu aspek yang mempunyai potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia didukung oleh jumlah kendaraan yang beroperasi di seluruh Indonesia pada tahun 2013 mencapai 104,211 juta unit [2]. Pemanenan waste vibration energy menjadi energi listrik dapat menggunakan material piezoelektrik. Material piezoelektrik merupakan suatu material yang mampu menghasilkan listrik ketika mengalami defleksi. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan pengembangan material piezoelektrik yang difokuskan pada suatu sistem mekanik berbentuk polisi tidur dengan metoda kantilever untuk mendefleksikan material piezoelektrik. Rumusan masalah dari perancangan ini adalah merancang sistem polisi tidur piezoelektrik yang dapat memanen waste vibration energy dari gerakan kendaraan bermotor, pemilihan konfigurasi sistem kantilever piezoelektrik yang dapat menghasilkan energi listrik secara optimal dan mengukur besar energi listrik yang mampu dihasilkan oleh prototipe polisi tidur piezoelektrik.

2 Teori Dasar

Pemanenan energi (*harvesting energy*) merupakan cara pengumpulan energi dari suatu sumber hingga siap dipakai sesuai kebutuhan. Konsep ini memungkinkan untuk memanen energi yang kecil dan mengumpulkannya selama proses pemanenan energi dilakukan [3]. Skema sistem polisi tidur yang dirancang sebagai berikut :



Gambar 1 skema sistem polisi tidur piezoelektrik

Ban kendaraan akan memberikan tekanan pada sistem mekanik polisi tidur piezoelektrik dan menyebabkan terjadinya perubahan energi mekanik menjadi energi vibrasi. Energi vibrasi akan diteruskan ke sistem kantilever sehingga menyebabkan material piezoelektrik mengalami defleksi dan menghasilkan tegangan listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan berupa rangkaian sinyal impuls yang belum searah. Oleh karena itu, sinyal ini perlu disearahkan dengan buck konverter seperti MB39C811, sedangkan penggunaan lebih lanjut untuk mengisi baterai dibutuhkan modul charging

2.1 Material piezoelektrik

Material piezoelektrik merupakan material yang terbuat dari silikon atau germanium yang mampu menghasilkan energi listrik ketika mengalami defleksi (*direct piezoelectric*) sebaliknya, saat diberi tegangan akan terdefleksi (*inverse piezoelectric*) [4]. Material piezoelektrik dapat mengalami defleksi dengan diberi tekanan secara langsung atau digetarkan melalui media perantara seperti kantilever. Pemberian tekanan secara langsung akan menghasilkan tegangan piezoelektrik yang sebanding dengan besar gaya tekan akan tetapi piezoelektrik rentan mengalami kerusakan [5].

Sedangkan dengan menggetarkan piezoelektrik melalui mekanisme kantilever dapat menjaga ketahanan piezoelektrik dan dihasilkan defleksi yang berulang-ulang yang berupa tegangan listrik sinusoidal dengan amplituda yang semakin kecil [6]. Kantilever merupakan batang tumpuan yang sering ditemui dalam suatu konstruksi dengan memanfaatkan sifat rotasi dan keseimbangan. Kantilever dapat mengalami vibrasi saat diberikan tekanan sesaat pada bagian ujungnya. Sifat dan karakteristik kantilever mirip dengan sistem massa pegas, konstanta elastisitas kantilever yang dipengaruhi oleh jenis bahan merupakan komponen utama yang dapat mempengaruhi vibrasi [7].

Vibrasi yang terjadi pada kantilever akan menyebabkan kantilever terdefleksi secara berulang-ulang. Defleksi pada kantilever adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah vertikal akibat adanya pembebanan vertikal. Defleksi diukur dari posisi netral awal ke posisi setelah terjadi deformasi [9]. Defleksi pada kantilever dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: besar gaya yang diberikan (P), modulus elastisitas batang (E), momen inersia (I) dan panjang batang kantilever (L). Persamaan (2.1) menyatakan hubungan besar defleksi yang pada kantilever berdasarakan faktor-faktor tersebut [7].

$$f(x) = \frac{P}{6EI}(-x^3 + 3L^2x - 2L^3) \quad (1)$$

2.2 Polisi tidur

Polisi tidur atau disebut juga alat pembatas kecepatan adalah bagian jalan yang ditinggikan berupa tambahan aspal atau semen yang dipasang melintang sebagai pertanda bagi pengemudi untuk memperlambat laju kendaraan [8]. Pengembangan polisi tidur sebagai pemanen energi dari kendaraan bermotor dilakukan dengan memberikan suatu sistem pegas pada mekanik polisi tidur. Pegas adalah elemen mesin fleksibel yang digunakan untuk memberikan gaya, torsi, menyimpan atau melepaskan energi [9]. Pegas yang digunakan berupa pegas tekan berbentuk helix disesuaikan dengan gaya tekan yang diberikan kendaraan. Indikator penting dalam perancangan pegas adalah konstanta pegas atau *spring rate*. Konstanta pegas akan menunjukkan besar defleksi yang dialami oleh pegas saat mengalami gaya tertentu [9].

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{Gd}{8C^3N_a(1 + \frac{0.5}{C^2})} \quad (2)$$

2.3 Sistem harvesting energy

Tegangan keluaran dari material piezoelektrik yang berupa rangkaian sinyal impuls tidak dapat dimanfaatkan secara langsung, sehingga dibutuhkan suatu *sistem harvesting energy*. Sistem harvesting energy terdiri atas buck konverter, *modul charging* dan media penyimpanan. Buck konverter merupakan modul yang berfungsi mengkonversi suatu tegangan DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah yang memiliki tegangan dan arus tertentu. Buck konverter dibutuhkan untuk menjadikan tegangan masukan yang berupa impuls menjadi suatu tegangan DC yang lebih kontinu [10].

Salah satu buck konverter yang dapat digunakan adalah MB39C811. MB39C811 merupakan suatu *integrated circuit* yang terdiri atas *full-wave bridge rectifier* dengan daya hilang yang rendah. MB39C811 dapat diaplikasikan untuk memanen energi dari piezoelektrik yang memiliki arus yang kecil. Tegangan masukan maksimal dari sumber AC sebesar 24V dengan arus masukan maksimal 50mA [10].

3 Metoda dan Perancangan

3.1 Pemodelan matematis sistem polisi tidur piezoelektrik

Sistem polisi tidur piezoelektrik dapat dimodelkan dalam suatu sistem massa pegas seperti yang terlihat pada gambar 2. Pemodelan ini dapat diturunkan ke dalam persamaan matematis untuk mengamati parameter-parameter yang mempengaruhi tegangan keluaran piezoelektrik yang dinyatakan sebagai berikut :

$$F(t) = k_{sk}(x_{sk} - x_k) + b_{sk}(\dot{x}_{sk} - \dot{x}_k) + m_{sk}\ddot{x}_{sk} \quad (3)$$

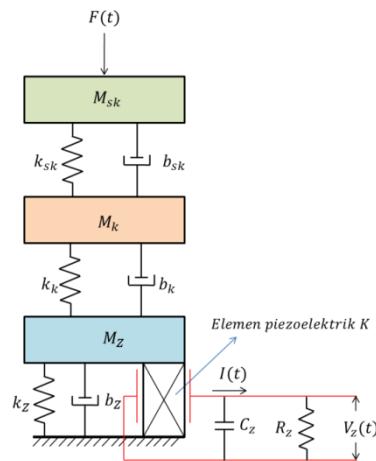
$$0 = k_k(x_k - x_z) + b_k(\dot{x}_k - \dot{x}_z) + m_k\ddot{x}_k \quad (4)$$

$$0 = k_z x_z + b_z \dot{x}_z + m_z \ddot{x}_z \quad (5)$$

Pada pemodelan elektrikal dapat dimodelkan dengan persamaan (6) yang memperlihatkan hubungan defleksi pada piezoelektrik terhadap besar tegangan yang dihasilkan.

$$I(t) = I_{C_z} + I_{R_z} \quad (6)$$

$$V_z = K R_z \dot{x}_z - R_z C_z \ddot{V}_z \quad (7)$$



Gambar 2 pemodelan sistem kantilever piezoelektrik

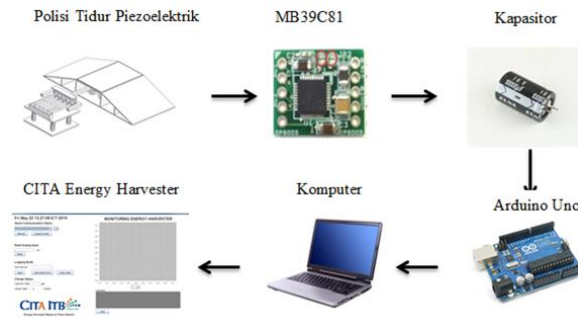
Berdasarkan pemodelan tersebut dapat diamati parameter yang mempengaruhi tegangan keluaran piezoelektrik adalah besar defleksi piezoelektrik (\dot{x}_z). Perubahan defleksi piezoelektrik yang semakin besar akan menyebabkan arus dan tegangan keluaran yang dihasilkan juga semakin besar. Defleksi piezoelektrik (\dot{x}_z) dipengaruhi oleh faktor k_{sk} , b_{sk} , m_{sk} , k_k , b_k dan m_k . Parameter ini merupakan parameter yang dapat diubah sesuai dengan pilihan material saat pembuatan sistem kantilever piezoelektrik. Pemilihan bahan yang tepat dibutuhkan untuk dapat menghasilkan defleksi piezoelektrik yang optimal. Parameter lainnya seperti k_z , b_z , m_z , R_z dan C_z merupakan parameter yang sudah tetap sesuai dengan jenis piezoelektrik yang digunakan.

3.2 Perancangan sistem polisi tidur piezoelektrik

Perancangan sistem polisi tidur yang dilakukan meliputi perancangan kantilever, sistem mekanik polisi tidur, dan perancangan pegas. Perancangan kantilever dilakukan dengan menguji kantilever dengan masukan berupa shaker berfrekuensi 6 Hz dengan menggunakan piezoelektrik Kinez K7520BP2. Material piezoelektrik K7520BP2 ditempelkan langsung pada kantilever yang berasal dari stainless steel tebal 0.25mm dan panjang 160mm dari titik clamp. Pengujian yang dilakukan meliputi konfigurasi rangkaian piezoelektrik, posisi piezoelektrik pada kantilever dan penentuan defleksi maksimum kantilever. Pengujian konfigurasi piezoelektrik dilakukan dengan dua cara yaitu piezoelektrik yang dirangkai secara paralel dan seri. Pengujian berikutnya adalah posisi material piezoelektrik pada kantilever. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui posisi paling optimal dari piezoelektrik terhadap kantilever.

3.3 Pengujian sistem polisi tidur piezoelektrik

Pengujian sistem polisi tidur dilakukan dengan menguji sistem mekanik dan kemampuan charging sistem kantilevernya. Pengujian sistem mekanik dilakukan menggunakan mobil acuan untuk mengamati besar defleksi pegas. Pengujian sistem charging dilakukan dengan memvariasikan konfigurasi dari piezoelektrik dan buck konverter MB39C811 untuk memperoleh konfigurasi yang paling optimal. Mekanisme yang digunakan dalam pengujian sistem charging adalah :



Gambar 3 mekanisme pengujian rangkaian charging polisi tidur piezoelektrik

Adapun konfigurasi yang akan diujikan meliputi :

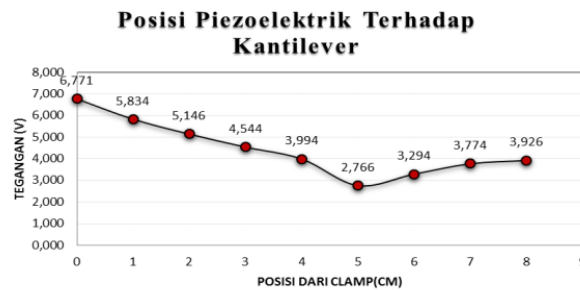
6. Pengujian rangkaian tunggal dan paralel piezoelektrik pada modul MB39C811
7. Pengujian dua piezoelektrik paralel dengan modul MB39C811
8. Pengujian lima set modul piezoelektrik paralel

4 Hasil Rancangan dan Analisis

4.1 Hasil pengujian sistem kantilever

Pengujian piezoelektrik Kinez K7520BP2 yang dirangkai secara seri dan paralel membuktikan piezoelektrik Kinez hanya mampu menghasilkan tegangan listrik saat dirangkai secara paralel. Hal ini dilatarbelakangi oleh karakteristik dasar dari susunan polaritas dan kutub material yang ada pada Kinez K7520BP2[15].

Posisi piezoelektrik terhadap kantilever memberikan pengaruh terhadap tegangan keluaran. Berikut ini hasil pengujian posisi piezoelektrik terhadap kantilever .

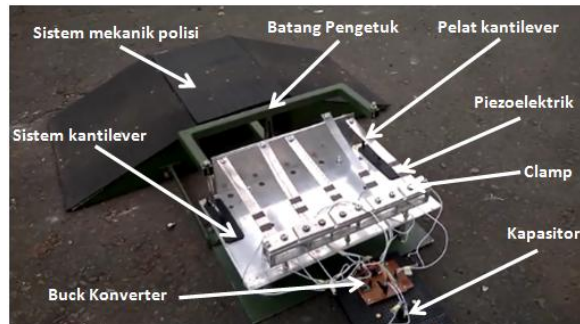


Gambar 4 hasil pengujian posisi piezoelektrik terhadap kantilever

Berdasarkan teori, tekukan piezoelektrik akan semakin besar ketika berada di titik 0 clamp yang menyebabkan tegangan keluaran piezoelektrik semakin besar. Profil tegangan yang diperoleh setelah pengujian yang diperlihatkan oleh gambar 4 sama dengan teori di mana saat piezoelektrik berada dekat clamp mampu menghasilkan tegangan yang paling besar. Oleh karena itu, dalam perancangan posisi piezoelektrik akan ditempatkan dekat dengan clamp untuk memperoleh tekukan yang paling maksimal.

4.2 Hasil perancangan polisi tidur piezoelektrik

Prototipe polisi tidur piezoelektrik terlebih dahulu dirancang menggunakan software SolidWorks™ dengan memanfaatkan konfigurasi-konfigurasi yang telah diujikan. Berikut ini hasil prototipe piezoelektrik yang telah dirancang :



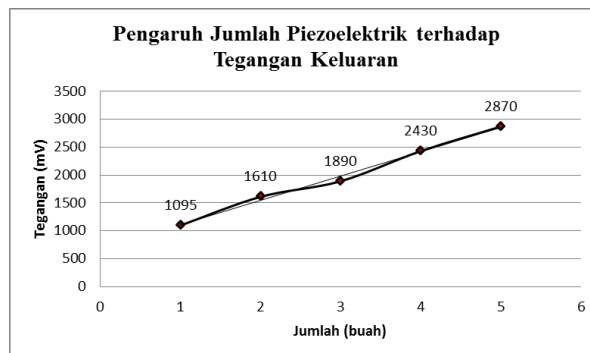
Gambar 5 prototipe polisi tidur piezoelektrik

Prototipe polisi tidur piezoelektrik terdiri atas sistem mekanik polisi tidur, sistem kantilever dan sistem harvesting energy. Sistem mekanik polisi tidur merupakan bagian polisi tidur piezoelektrik yang dikenai kontak langsung ban kendaraan bermotor. Sistem mekanik polisi tidur dirancang untuk menahan beban masukan 2707.49 N dengan memanfaatkan 4 buah pegas yang bisa dilewati satu ban mobil dengan konstanta pegas 75598,24 N/m. Sistem kantilever merupakan suatu sistem yang terdiri atas alas sistem kantilever, penahan, clamp, pelat kantilever dan material piezoelektrik. Sistem kantilever dapat memuat maksimal 5 pelat kantilever. Sedangkan *sistem harvesting energy* terdiri atas buck konverter MB39C811 dan kapasitor yang digunakan untuk memanen energi sekaligus sebagai media penyimpanan. Bahan utama sistem polisi tidur piezoelektrik adalah besi untuk sistem mekanik polisi tidur, aluminium untuk sistem kantilever, *stainless steel* untuk pelat kantilever dan baja untuk pegas.

4.3 Hasil pengujian manual sistem kantilever piezoelektrik

Pengujian sistem kantilever piezoelektrik ditujukan untuk memilih konfigurasi yang paling optimal antara piezoelektrik dan buck konverter dalam menghasilkan energi listrik. Konfigurasi yang digunakan berupa rangkaian piezoelektrik dengan memanfaatkan AC1 dan AC2 (rangkaiian tunggal piezoelektrik) pada suatu MB39C811 dan memanfaatkan AC1 (rangkaiian paralel piezoelektrik). Hasil pengujian memperlihatkan penggunaan piezoelektrik secara paralel menghasilkan tegangan yang lebih tinggi pada kapasitor 10.000uF sehingga dalam perancangan berikutnya untuk satu sistem piezoelektrik dan MB39C811 dipakai rangkaiian paralel.

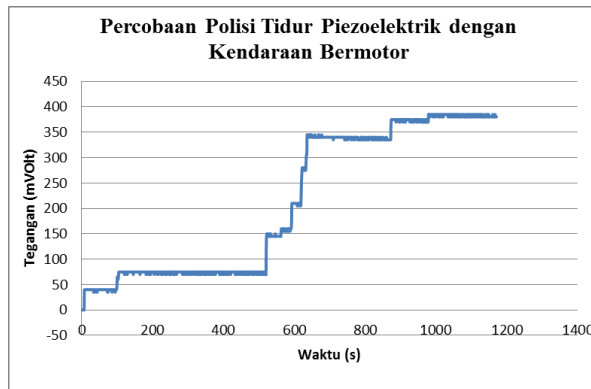
Setelah itu dilakukan identifikasi sistem dengan merangkai buck konverter secara seri atau paralel. Rangkaiian paralel buck konverter menghasilkan tegangan yang lebih tinggi karena rangkaiian dapat mengumpulkan arus secara kontinu meskipun masukannya tidak kontinu sedangkan pada rangkaiian seri buck konverter sering mengalami open atau penurunan tegangan akibatnya arus yang masuk tidak kontinu. Pengujian selanjutnya adalah menguji pengaruh penambahan sistem piezoelektrik dan buck konverter secara paralel terhadap tegangan pada kapasitor. Hasil pengujian memperlihatkan semakin banyak piezoelektrik yang digunakan maka semakin besar energi yang mampu dihasilkan. Hubungan antara jumlah piezoelektrik dengan tegangan yang dihasilkan memiliki hubungan yang linear seperti diperlihatkan Gambar 5.



Gambar 6 pengaruh jumlah piezoelektrik terhadap tegangan keluaran

4.4 Hasil pengujian polisi tidur piezoelektrik

Pengujian sistem kantilever dengan masukan kendaraan bermotor menggunakan mobil penguji sebanyak 60 kali lindsan pada polisi tidur piezoelektrik. Pengujian dapat menghasilkan energi listrik sebesar 380mV selama 1200 detik dengan daya sebesar 2.166 mWh. Apabila dibandingkan dengan pengujian manual dengan kondisi yang sama yaitu 60 kali ketukan selama 300 detik diperoleh energi listrik 1120 mV dan daya 75.264mWh. Efisiensi dari sistem polisi tidur piezoelektrik baru mencapai 2.87%.



Gambar 7 hasil pengujian polisi tidur piezoelektrik dengan kendaraan bermotor

Hal ini disebabkan oleh transmisi energi mekanik polisi tidur piezoelektrik ke sistem kantilever piezoelektrik belum berjalan secara optimal. Tekanan yang belum optimal disebabkan oleh batang pengetuk polisi tidur tidak menekan sistem kantilever piezoelektrik dengan maksimal akibat lindasan ban kendaraan yang tidak selalu berada tepat di bagian pusat sistem mekanik polisi tidur. Selain itu, sistem mekanik tidak selalu tertekan ke arah bawah terkadang tekanan tersebut menyebabkan pengetuk terangkat ke atas. Kecepatan mobil yang tidak konstan juga mempengaruhi defleksi polisi tidur yang menyebabkan defleksi sistem kantilever piezoelektrik tidak selalu sama di setiap lindasan kendaraan.

Keterbatasan pengujian juga terdapat pada waktu yang dibutuhkan mobil untuk melindasi polisi tidur. Selang waktu rata-rata mobil untuk dapat bolak balik melindasi polisi tidur membutuhkan waktu selama 12 detik. Hal ini menyebabkan tegangan yang tersimpan di kapasitor pada MB39C811 cepat mengalami penurunan dan cenderung habis. Hal ini berbeda dengan pengujian manual di mana sistem kantilever piezoelektrik selalu mendapat tekanan pada selang waktu lima detik.

5 Kesimpulan

Polisi tidur piezoelektrik yang telah dirancang terdiri atas sistem mekanik polisi tidur, sistem kantilever piezoelektrik dan buck konverter yang mampu menghasilkan energi listrik dengan masukan tekanan kendaraan bermotor roda empat.

Konfigurasi sistem kantilever piezoelektrik yang mampu menghasilkan tegangan listrik yang optimal adalah menggunakan beberapa konfigurasi piezoelektrik paralel yang dihubungkan dengan buck konverter MB39C811 secara paralel. Jumlah modul piezoelektrik dan modul MB39C811 berpengaruh dalam besar energi yang mampu dihasilkan, semakin banyak set piezoelektrik dan MB39C811 yang digunakan maka tegangan listrik yang dihasilkan semakin besar akan tetapi terdapat nilai optimal dari jumlah piezoelektrik yang digunakan berdasarkan pemodelan matematis sistem dan ukuran dari polisi tidur.

Daya yang dapat dihasilkan prototipe polisi tidur piezoelektrik berdasarkan pengujian menggunakan kendaraan bermotor adalah 2.166 mWh sedangkan dengan uji manual 75.264mWh dengan efisiensi yang dicapai sebesar 2.87 % dari uji manual, hal ini dikarenakan transmisi energi yang belum berlangsung dengan optimal.

6 Daftar Pustaka

- [1] Hill, D., Tong, N., "Assessment of Piezoelectric Materials for Roadway Energy Harvesting", DNV KEMA, California Energy Commission, California, 2013.
- [2] Anonymous, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2013", Badan Pusat Statistik, 2015. accessed from <http://www.bps.go.id/linkTabelStatistik/view/id/1413>
- [3] Salim. C., "Pemanen Energi Bising Lalu Lintas Menggunakan Material PZT Dalam Resonator Helmholtz", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2010.
- [4] Sofyna. M.C., Margiansyah. A., "Desain Sistem Pengujian Karakteristik Piezoelektrik dan Pengembangannya sebagai Modul Pemanen Energi", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014.
- [5] Anonymous, "Kinez Piezoelectric Energy Harvesters", Toko Online Perdagangan Alat Listrik Sengoku, 2015. accessed from https://www.sengoku.co.jp/item/pdf/spec_KINEZ_1_20.pdf
- [6] Untoro. T., "Pengembangan Kopling Mekanik Untuk Pemanenan Energi Dengan Piezoelektrik Yang Memanfaatkan Vibrasi Frekuensi Rendah", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2015.
- [7] Beer. F.P., Johnston. E.R., Dewolf. J.T., "Mechanics of Material Fourth Edition", McGraw-Hill, Singapore, 2006.
- [8] Anonymous, "Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 3 Tahun 1994 Tentang Alat Pengendali dan Pengaman Pemakai Jalan", Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 1994.
- [9] Budynas. Nisbett., "Mechanical Engineering Eighth Edition", McGraw-Hill, United States of America, 2006.
- [10] Anonymous, "Ultra Low Power Buck Power Management IC for Solar and Vibrations Energy Harvesting", Fujitsu.

