

Energi Kinetik Alat Kebugaran *Lat Pull Down* untuk Lampu LED dan Pemandu

Deddy Susilo¹, F. Dalu Setiaji², Martino Suherman³

Abstract— This research builds a fitness equipment *Lat Pull Down* which is modified to produce alternative energy. This tool works by pulling a lever connected to a gearbox. Rotor and generator are connected to the gearbox and will rotate with angular velocity at about 22 rad/s, thus, can generate electromotive force of about 202 V. This AC voltage will be converted by a full wave rectifier using Schottky diodes into 19,8 VDC. An electronic switch, then, will automatically connect the DC voltage, which is still fluctuative, to either an LM2577 or LM2576 chip that will increase or decrease the voltage, respectively, into a stable voltage of 13,8 V. The energy will be stored in the 12 V accumulator and can be used as an energy source for the 2,5 W LED and microcontroller-based guidance system. This system can generate energy up to 2,367 Wh each day.

Intisari— Penelitian ini merancang sebuah alat kebugaran jenis *Lat Pull Down* yang dimodifikasi untuk menghasilkan energi listrik alternatif. Alat ini bekerja dengan cara menarik tuas yang terhubung dengan *gearbox*. Rotor dan generator yang terhubung dengan *gearbox* tersebut akan berputar dengan kecepatan sudut sekitar 22 rad/s dan dapat menghasilkan gaya gerak listrik sebesar 202 V. Tegangan yang dihasilkan akan dikonversi oleh sebuah penyearah gelombang penuh yang menggunakan diode Schottky menjadi tegangan searah sebesar 19,8 V. Besarnya tegangan searah ini masih fluktuatif, sehingga harus dinaikkan/diturunkan agar menjadi tegangan stabil 13,8 V. Sebuah saklar elektronik akan memilih secara otomatis IC LM2577, untuk menaikkan tegangan, atau IC LM2576, untuk menurunkan tegangan. Kemudian energi akan disimpan di dalam akumulator 12 V dan dapat digunakan sebagai sumber energi bagi LED 2,5 W dan sistem pemandu berbasis mikrokontroler. Energi yang dihasilkan oleh sistem ini dalam sehari adalah 2,367 Wh.

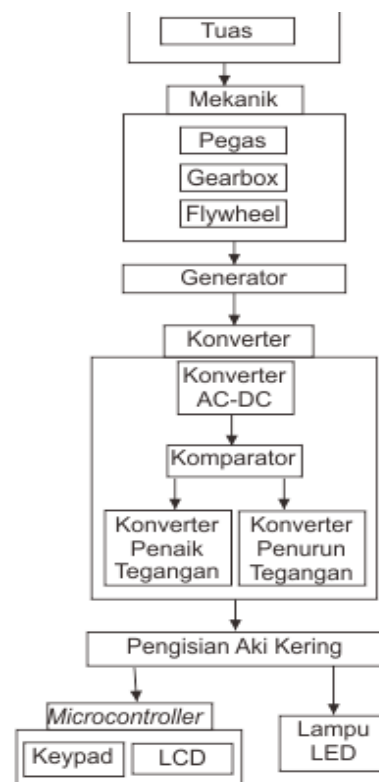
Kata Kunci— alat kebugaran, generator, *lat pull down*.

I. PENDAHULUAN

Sumber daya energi memegang peranan penting dalam kehidupan manusia dan kemajuan suatu negara. Sumber daya energi fosil telah menjadi kebutuhan energi primer. Kebutuhan energi primer di Indonesia meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan ekonomi. Pada

saat ini, berolahraga di pusat kebugaran (*fitness center*) sudah menjadi suatu gaya hidup bagi masyarakat. Seperti yang diketahui, pada saat melakukan olahraga, manusia menghasilkan tenaga yang sangat besar. Tenaga yang dikeluarkan pada saat mengangkat alat kebugaran dapat menjadi potensi yang besar untuk dikonversi menjadi energi listrik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dirancang suatu alat kebugaran yang dapat membangkitkan energi listrik. Penelitian sejenis juga pernah dilakukan tetapi masih belum bisa diaplikasikan pada beban bertingkat sebagaimana fungsi alat fitness yang memiliki beban bertingkat[2][3].

Dalam penelitian ini dirancang sebuah sistem yang dapat mengembangkan kekurangan perancangan sebelumnya mulai dari sistem mekanik, generator, proses konversi AC-DC, penggunaan lampu yang lebih hemat energi, dan penambahan penggunaan mikrokontroler sebagai pemandu otomatis dalam berolahraga *fitness*.



Gbr. 1 Diagram blok sistem yang dirancang

II. PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang dirancang terdiri atas bagian mekanik, generator, konverter, pengisian akumulator, mikrokontroler dan lampu LED. Tuas didesain dari bentuk alat olahraga *Lat Pull Down*, yang kemudian akan menggerakkan bagian

¹Dosen, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga 50711 INDONESIA. (telp: 0298-311884; e-mail: deddy.susilo@gmail.com)

²Dosen, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga 50711 INDONESIA. (telp: 0298-311884; e-mail: fdsetiaji@yahoo.com)

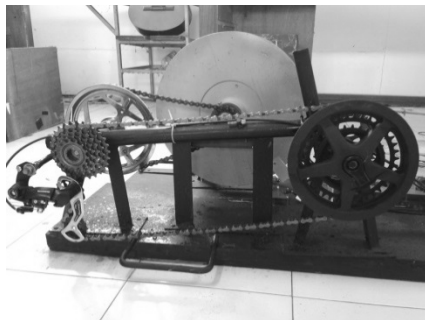
³Mahasiswa, Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga 50711 INDONESIA. (telp: 0298-311884)

mekanik, sehingga bisa diatur beban bertingkatnya, dan dihubungkan ke generator yang mengubah energi gerak menjadi listrik.

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator masih berupa tegangan AC yang nilainya belum stabil sehingga akan diubah menjadi tegangan DC stabil 13,8 V oleh konverter yang selanjutnya digunakan untuk mengisi akumulator. Energi tersebut akan digunakan untuk lampu penerangan berupa LED 2,5 W dan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pemandu otomatis.

A. Perancangan Perangkat Mekanik

Bagian mekanik terdiri atas pegas dan *gearbox*. Tuas yang ditarik akan meregangkan pegas dan memutar *gearbox*. *Gearbox* terdiri atas *gear* pegas, *gear* besar pertama, *gear* fleksibel, *gear* besar kedua, dan *gear* generator.



Gbr. 2 Realisasi perangkat mekanik

Pada saat ditarik, rantai akan memutar *gear* pegas sehingga pegas akan berputar sejauh (1),

$$\theta = \frac{s}{r} \tag{1}$$

$$\theta = \frac{50}{7,5}$$

$$\theta = 6,67 \text{ rad}$$

Bila satu tarikan untuk menghasilkan nilai *s* membutuhkan waktu rata-rata 1 s, sebab tiap tarikan pemakai berbeda-beda, maka kecepatan sudut rata-rata adalah

$$\omega_{\text{rerata}} = \frac{\theta}{t} \tag{2}$$

$$\omega_{\text{rerata}} = 6,67 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan rumus perbandingan roda gigi

$$GR = \frac{N_B N_D}{N_A N_C} \tag{3}$$

$$GR = \frac{28}{36} \times \frac{14}{48}$$

$$GR = 1 : 4,441$$

Dengan demikian, kecepatan akhir setelah *gearbox* adalah

$$\omega_{\text{akhir}} = \omega_{\text{rerata}} \times GR \tag{4}$$

$$\omega_{\text{akhir}} = 6,67 \times 4,41$$

$$\omega_{\text{akhir}} = 29,4 \text{ rad/s}$$

Dapat dihitung energi kinetik dari bagian mekanik ini sebagai berikut

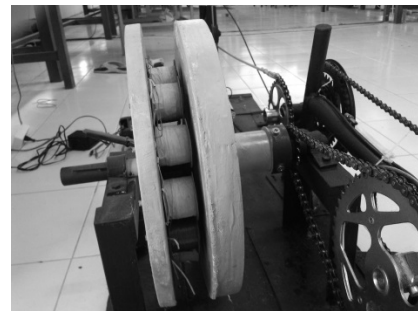
$$Ek = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} mr^2 \right) \omega^2 \tag{5}$$

$$Ek = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \times 5 \times 0,2^2 \right) \times 29,4^2$$

$$Ek = 43,2 \text{ J}$$

B. Perancangan Generator

Generator yang dirancang pada penelitian ini merupakan generator AC, dengan kumparan tempat terbentuknya GGL merupakan bagian yang diam (*stator*) dan bagian magnet yang bergerak (*rotor*). Magnet yang digunakan merupakan magnet Neodymium dengan ketebalan 3 mm dan diameter 2,5 cm. Magnet ini disusun pada rotor untuk memenuhi ruangan di tengah kumparan, ditunjukkan pada Gbr. 3.



Gbr. 3 Realisasi generator

Stator pada generator ini menggunakan lilitan tembaga dengan diameter 0,25 mm. Diameter penampang kumparan adalah 3,2 cm sehingga luas tiap penampang adalah 8 cm², Generator terdiri atas 12 buah kumparan, yang tiap kumparannya memiliki 1500 lilitan. Nilai densitas *flux* magnetik yang dihasilkan sebesar 0,46 Tesla. Dengan kecepatan rotor dari (4) adalah 29,4 rad/s dan (5) akan didapatkan

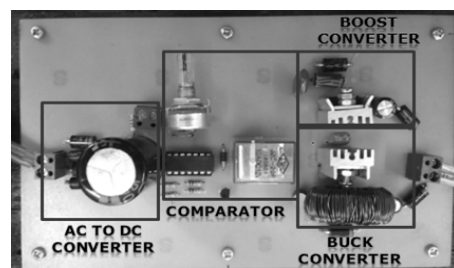
$$\varepsilon = NBA\omega \tag{6}$$

$$\varepsilon = 1500 \times 0,46 \times 12 \times 8 \times 10^{-4} \times 29,4$$

$$\varepsilon = 195,8 \text{ V}$$

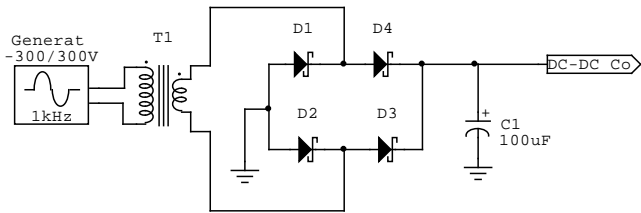
C. Perancangan Konverter

Modul konverter berisi rangkaian-rangkaian yang akan digunakan untuk mengolah keluaran generator agar dapat digunakan untuk proses penyimpanan energi. Ada empat bagian konverter dalam modul ini yaitu konverter AC-DC, komparator, penaik tegangan (*boost converter*) dan penurun tegangan (*buck converter*).



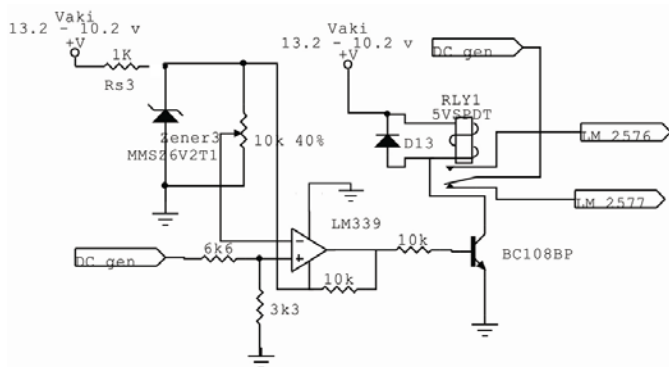
Gbr. 4 Realisasi konverter

Konverter AC-DC berfungsi mengubah keluaran generator yang berupa tegangan AC menjadi tegangan DC. Komponen utama dalam rangkaian ini adalah transformator dan dioda Schottky yang disusun menjadi penyearah gelombang penuh sistem jembatan.



Gbr. 5 Penyearah gelombang penuh sistem jembatan

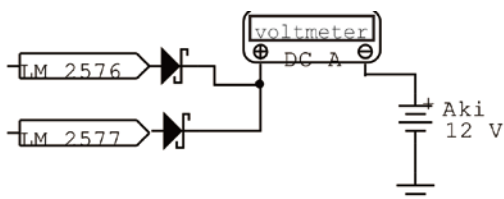
Keluaran generator yang sudah disearahkan tetap mengalami fluktuasi, sehingga ada kemungkinan daya terbuang ketika tegangan keluaran generator lebih besar atau lebih kecil dari tegangan pengisian akumulator. Rangkaian inilah yang berfungsi untuk memilih secara otomatis apakah tegangan masukan perlu dinaikkan atau diturunkan agar mencapai tegangan pengisian akumulator.



Gbr. 6 Rangkaian pemilih

Penaik tegangan (*boost converter*) yang digunakan dalam sistem ini adalah IC LM2577-Adj. Konverter ini berfungsi untuk menaikkan tegangan ketika tegangan keluaran generator berada di bawah tegangan referensi yaitu tegangan akumulator 13,8 V[4]. Sedangkan penurun tegangan (*buck converter*) yang digunakan adalah IC LM2576-Adj. Konverter ini berfungsi untuk menurunkan tegangan ketika tegangan keluaran generator berada di atas tegangan referensi yaitu tegangan akumulator 13,8 V[5].

Energi listrik yang telah melalui modul konverter telah siap untuk disimpan ke dalam akumulator. Akumulator yang di pilih merupakan akumulator kering 12 V, 5,5 Ah. Dalam proses pengisian akumulator, disertikan dua buah diode untuk mencegah adanya tegangan balik dari akumulator yang masuk ke dalam rangkaian penaik maupun penurun tegangan.



Gbr. 7 Skema penyimpanan energi

Dengan akumulator 12 V, 5,5 Ah maka energi total akumulator ketika penuh adalah

$$E_{akumulator} = 12 V \times 5,5 Ah$$

$$E_{akumulator} = 66 Wh$$

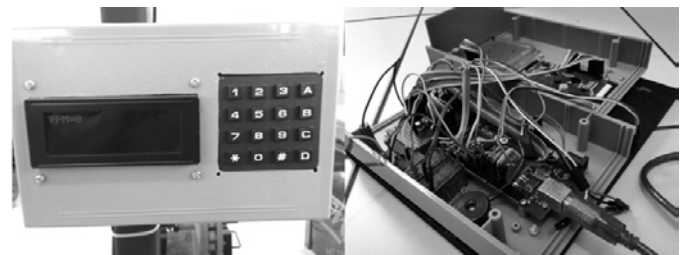
Beban yang digunakan berupa sebuah lampu LED dengan daya 2,5 W seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 8.



Gbr. 8 Lampu LED 2,5 Watt

D. Perancangan Perangkat Keras dan Lunak pada Mikrokontroler

Pemandu otomatis dirancang terintegrasi dalam sebuah board yang terdiri atas mikrokontroler Arduino Mega 2560[6], LCD, keypad, sensor RPM meter, sensor photodiode, pengatur brightness LCD, dan pengatur buzzer sebagai pengingat.

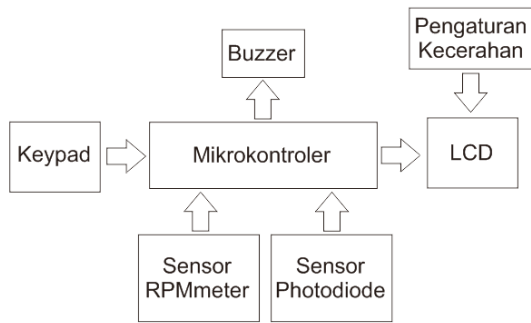


Gbr. 9 Realisasi mikrokontroler

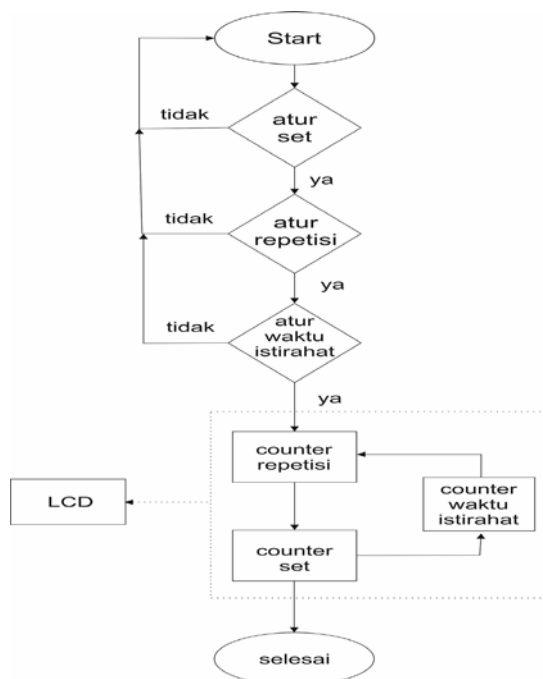
Mikrokontroler digunakan sebagai pemandu otomatis dalam melakukan aktivitas *fitness*. Dalam aktivitasnya, pada satu alat fitness dilakukan olahraga tiga sampai empat set. Dalam tiap set dapat dilakukan 8 hingga 16 tarikan dengan rata-rata 10 tarikan[1]. Selain itu, setiap senggang set terdapat waktu istirahat 1 sampai 2 menit[7].

Pada prakteknya, ada kesulitan untuk mengingat perhitungan tersebut, sehingga diperlukan pemandu otomatis yang mengingatkan setiap gerakan repetisi, set dan *timer* waktu istirahat. Untuk mendeteksi jumlah set yang sudah dilakukan oleh pemakai digunakan sensor *photodiode* dan LED *infrared*. Semua pengaturan, perhitungan dan *timer* akan ditampilkan pada layar LCD. Kemudian untuk menghemat energi, layar dibuat otomatis mati, dan ketika sebuah tombol khusus ditekan, maka LCD akan terang untuk beberapa saat. Gbr. 11 adalah diagram alir sistem pemandu. Alat pemandu berbasis mikrokontroler ini juga digunakan untuk menghitung kalori yang dikeluarkan pada saat berolahraga. Perhitungan kalorinya adalah perkalian beban, konstanta gravitasi, jarak pengangkatan beban, jumlah set dan gerakan. Kemudian

hasilnya, dikonversi dari satuan joule, disajikan dalam satuan kalori.



Gbr. 10 Diagram blok sistem pemandu



Gbr. 11 Diagram alir sistem pemandu

III. HASIL PENGUJIAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil pengukuran alat yang dirancang beserta perbandingan terhadap hasil pengukuran oleh alat pembanding dan analisisnya.

Target beban yang ingin diwujudkan adalah 27,5 kg, 30 kg dan 32,5 kg, yang dianggap merupakan beban awal saat ditarik. Adanya faktor gaya gesek dan massa piringan tidak dapat diabaikan, sehingga nilai beban tarikan dicari melalui pengujian dengan cara menarik secara perlahan hingga generator mulai bergerak. Dengan menggunakan alat pengukur massa, dapat diketahui beban awal dalam satuan kilogram.

Dari percobaan diperoleh data massa beban 28 kg, 30,6 kg, dan 33,8 kg mendekati nilai rata-rata tarikan berturut-turut pada gear nomor 1 (28kg), 2(30,6 kg), dan 3 (33,8kg).

TABEL I
JUMLAH RATA-RATA BEBAN BERTINGKAT

Nomor	Jumlah Gerigi	Tarikan (dalam kg)					Rata-rata tarikan (kg)
		1	2	3	4	5	
1	28	28	28	29	27	28	28
2	24	30	31	30	32	30	30,6
3	21	35	34	33	34	33	33,8
4	18	42	43	44	42	42	42,6
5	16	46	48	46	48	48	47,2
6	14	50	50	50	50	50	50

A. Pengujian Efisiensi Mekanik

Penghitungan nilai efisiensi sistem mekanik dilakukan dengan cara melihat banyaknya putaran generator (pada sensor rpm meter), saat ditarik dengan besar beban tertentu (dilihat pada alat pengukur massa). Dari hasil pengujian diketahui bahwa saat ditarik dengan beban 34 kg, energi potensial didapatkan melalui (7) sebagai berikut.

$$E_p = m g h \tag{7}$$

$$E_p = 34 \times 9,8 \times 0,5$$

$$E_p = 166,6 J$$

Kemudian, diketahui massa piringan generator adalah 5 kg dan diameternya adalah 40 cm, serta generator berputar dengan kecepatan sudut 174 rpm atau sebesar 18,22 rad/s, sehingga energi kinetiknya dapat dihitung dengan (5) sebagai berikut

$$E_k = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} m r^2 \right) \omega^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \times 5 \times 0,2^2 \right) \times 18,2^2$$

$$E_k = 16,6 J$$

Dengan mengetahui nilai energi potensial dan kinetik bagian mekanik maka efisiensinya dapat dihitung dengan (8).

$$\eta = \frac{E_k}{E_p} \tag{8}$$

$$\eta = \frac{16,6}{166,6} = 0,1$$

Dari perhitungan diketahui bahwa efisiensi rata-rata mekanik adalah 10%. Hal ini dipengaruhi oleh gaya pegas bagian pegas dan gaya gesek antara rantai dan gear [3]. Rincian nilai efisiensi mekanik ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL III
EFISIENSI MEKANIK

Nomor Gigi	Kecepatan Generator (RPM)	Tarikan Beban (kg)	Ep (J)	Ek (J)	Efisiensi
1	87	22	107,8	16,6	4 %
2	116	30	147	29,5	7 %
3	174	34	166,6	66,4	10 %

B. Pengujian Generator

Tujuan pengujian generator adalah untuk mencari tegangan keluaran dan efisiensi energi pada generator. Pengujian yang pertama adalah menguji tegangan keluaran generator dengan variabel kecepatan sudut berbeda-beda. Semakin tinggi kecepatan sudut generator, semakin tinggi pula tegangan outputnya. Hasil pengujian disajikan dalam Tabel III.

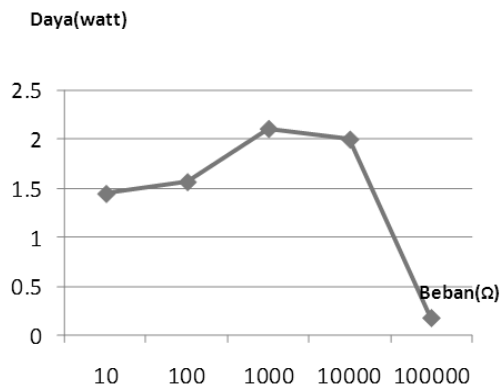
TABEL III
KECEPATAN DAN TEGANGAN GENERATOR TANPA BEBAN

Nomor Gigi	Kecepatan Generator	Tegangan AC Tanpa Beban
1	87 rpm	124 volt
2	116 rpm	150 volt
3	174 rpm	190 volt

Pengujian yang kedua adalah untuk mencari daya generator. Diukur tegangan dan arus listrik keluaran generator dengan beban yang divariasikan dari 10 Ω sampai 100 kΩ. Hasil uji coba ditunjukkan dalam Tabel IV dan Gbr. 12.

TABEL IV
DAYA GENERATOR

Beban	Kecepatan Generator	Tegangan AC	Arus AC	Daya Generator
100 kΩ	116 rpm	182 V	1 mA	0,18 W
10 kΩ	116 rpm	166 V	12 mA	1,992 W
1 kΩ	116 rpm	70 V	30 mA	2,1 W
100 Ω	116 rpm	12,5 V	125 mA	1,56 W
10 Ω	116 rpm	1,2 V	120 mA	1,44 W



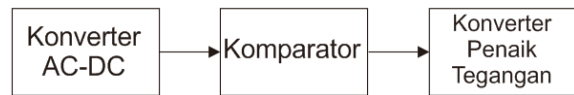
Gbr. 12 Grafik daya terhadap beban

C. Pengujian Konverter

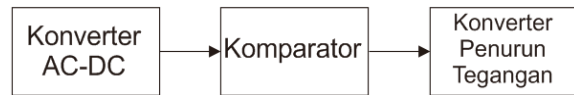
Pengujian konverter terdiri atas dua pengujian terintegrasi. Yang pertama adalah konverter AC-DC, komparator, dan konverter penaik tegangan. Yang kedua adalah konverter AC-DC, komparator, dan konverter penurun tegangan. Diagram blok masing-masing pengujian ditunjukkan pada Gbr. 13 dan Gbr. 14.

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya efisiensi listrik penyearah tegangan AC, penaik, dan penurun

tegangan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban yang bervariasi yaitu 10 Ω, 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ dan 100 kΩ. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel V dan Tabel VI.



Gbr. 13 Diagram blok pengujian konverter pertama



Gbr. 14 Diagram blok pengujian konverter kedua

TABEL V
HASIL PENGUJIAN KONVERTER PENAIK TEGANGAN

Beban Ω	Vin V	Iin mA	Vout V	Iout mA	Pin mW	Pout mW	η
10	1,75	16,7	1	16,7	29,23	16,7	57,1%
100	2,4	11,3	1,5	10,5	27,1	15,8	58,3%
1k	3	10,75	4,5	4,3	32,3	19,4	60%
10k	3	5,38	10	1	16,1	10	62,1%
100k	3	1	14	0	3	-	-

TABEL VI
HASIL PENGUJIAN KONVERTER PENURUN TEGANGAN

Beban Ω	Vin V	Iin mA	Vout V	Iout mA	Pin mW	Pout mW	η
10	11	2	1	22	33	20,1	61%
100	14,5	3	1,5	16	32	20,2	62,5%
1k	18	5	4,5	12	135	88,2	65%
10k	18	1	14	2	18,9	12,6	66,6%
100k	18	0	14	0	-	-	-

Dari uji coba konverter penaik dan penurun tegangan, diperoleh hasil rata-rata efisiensi sebesar 60% dan 62%.

D. Pengujian Penyimpanan Energi

Pengujian penyimpanan energi bertujuan untuk mengetahui besarnya energi yang dapat disimpan dalam akumulator. Cara pengujiannya adalah dengan mengosongkan akumulator terlebih dahulu. Tegangan Akumulator kosong adalah 10,9 V. Alat kemudian dijalankan selama 5 menit sehingga tegangannya mencapai 11,05 volt. Lalu akumulator digunakan untuk menyalakan lampu LED dan diukur arus serta waktunya sampai tegangan akumulator kembali menjadi 10,9 V. Hasil pengukuran tegangan dan arus ditampilkan pada Gbr. 15.

Dari hasil pengukuran dihitung tegangan rata-rata yaitu sebesar 10,98 V, arus rata-rata sebesar 129 mA dan waktunya adalah 270 detik, sehingga diperoleh daya sebesar 1,42 W dan energi sebesar 382,4 J.

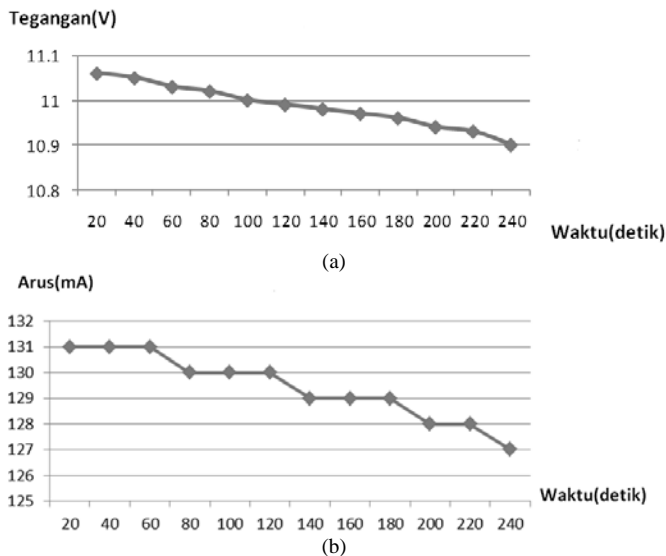
Apabila setiap orang dianggap melakukan kegiatan ini selama 2 menit dan pada pengunjung yang datang tiap hari

rata-rata 50 orang, maka setiap hari akumulator mendapat pengisian energi sebesar

$$E_{pengisian} = 1,42 W \times 50 \times 120 s$$

$$E_{pengisian} = 8.520 Ws$$

$$E_{pengisian} = 2,367 Wh$$



Gbr. 15 Grafik tegangan dan arus terhadap waktu

E. Pengujian Beban dengan Lampu LED

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang dibutuhkan lampu LED. Dari hasil pengujian, diketahui LED membutuhkan arus 160 mA dengan tegangan 12 V, sehingga daya LED adalah 2,16 W. Pengujian ditunjukkan pada Gbr. 16.

Alat diuji dengan digunakan sebanyak 50 kali, dengan asumsi setiap aktivitas terdiri atas tiga set, masing-masing set 12 tarikan. Tegangan akumulator mula-mula adalah 10,9 V, dan tegangan akhirnya mencapai 11,9 V. Akumulator digunakan untuk menghidupkan lampu sampai tegangan akumulator kembali menjadi 10,9 V. Waktu yang digunakan tercatat 3720 s atau 1 jam 2 menit.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian sistem dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibangun mampu menghasilkan daya sebesar 1,42 W tiap tarikan. Energi yang

dihasilkan dalam bentuk energi listrik untuk setiap orang yang melakukan penarikan selama 120 s adalah 170,4 J atau $4,73 \times 10^{-3}$ Wh. Bila pengunjung yang datang tiap hari adalah 50 orang maka diperoleh 2,367 Wh, sehingga dengan rata-rata 36 tarikan dalam waktu 2 menit belum cukup untuk mengisi akumulator sampai kondisi penuh. Untuk mengisi penuh akumulator, diperlukan setidaknya 1394 orang tiap harinya. Di sisi lain, perancangan konverter penaik tegangan (*boost converter*) dan konverter penurun tegangan (*buck converter*) sebagai regulator pengisian akumulator dapat direalisasikan, tetapi efisiensinya masih sekitar 60% - 70%.



Gbr. 16 Pengujian alat

REFERENSI

- [1] (2014) Website Seputar Fitness. [Online]. "Tips dan Trik Cara Memulai Fitness Untuk Pemula Bagian I". Available: <http://www.seputarfitness.com/tips-dan-trik-cara-memulai-fitness-untuk-pemula-bagian-i/>.
- [2] A. Novan, "Pembangkit Listrik Tenaga Alat Kebugaran Lat Pull Down dengan Menggunakan DC Chopper Step Up", Skripsi, Fakultas Teknik Elektronika - IT TelkomBandung, 2013.
- [3] J. Twidell and T. Weir, *Renewable Energy Resources*, 2nd ed. Taylor & Francis Group, London and New York, 2006.
- [4] "LM 2577 Datasheet", Texas Instrument, Available: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2577.pdf.
- [5] "LM 2576 Datasheet", Texas Instrument, Available: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf.
- [6] (2014) Arduino Mega 2560 website. Available: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>.
- [7] (2013) Website Dunia Fitness. "Lat Pull Down". Available: <http://duniafitnes.com/workout-list/back.html>.