

Pemilihan Kecepatan Putaran *Direct Current (DC) Gearhead Motor* Pada Roda Pengendali Arah di Kursi Roda Elektrik Menggunakan *Direct Current (DC) Chopper* tanpa *Filter*

Dikdik Krisnandi
Puslit Informatika - LIPI
dikdik@informatika.lipi.go.id

Dicky Rianto Prajitno
Puslit Informatika - LIPI
dicky@informatika.lipi.go.id

Hari Satriyo Basuki
Puslit Informatika - LIPI
hari@informatika.lipi.go.id

Abstrak

Direct Current (DC) gearhead motor digunakan sebagai pengendali arah roda di rangka kursi roda elektrik. Kecepatan putaran DC gearhead motor tersebut harus dapat diatur agar tidak mengganggu kenyamanan dan juga tidak membahayakan keselamatan pengguna kursi roda elektrik. Rangkaian pengatur kecepatan menggunakan metoda DC Chopper tanpa filter berbasis mikrokontroler ATmega8 yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran gearhead motor tersebut. Menggunakan DC Chopper jenis Buck Converter yang mengubah nilai tegangan input ke dalam DC gearhead motor berdasarkan nilai resistansi yang diberikan. Hasilnya, kecepatan putaran roda pengendali dengan kondisi kursi roda elektrik tanpa beban orang yang tercepat adalah 33,3 RPM (Rotation Per Minute) dan yang paling lambat adalah 9,2 RPM. Dengan diketahuinya range kecepatan putaran gearhead motor maka dipilih kecepatan yang cukup untuk memberikan kenyamanan dan keselamatan pengguna kursi roda elektrik.

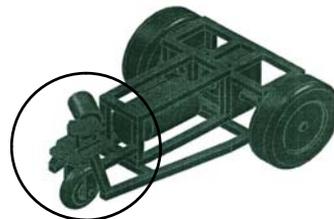
Kata kunci: DC Gearhead Motor, Kursi Roda Elektrik, Chopper

1. Pendahuluan

Kursi roda biasanya digunakan oleh orang yang sedang sakit karena ketidakmampuannya dalam berjalan. Ada dua jenis kursi roda yang tersedia di pasaran saat ini yakni jenis manual dan jenis elektrik. Kursi roda jenis elektrik buatan luar negeri harganya mencapai 10 hingga 15 kali harga kursi roda manual. Oleh sebab itu, kebanyakan rumah sakit di Indonesia menggunakan kursi roda jenis manual karena harganya yang jauh lebih murah jika dibandingkan kursi roda jenis elektrik.

Kursi roda elektrik buatan dalam negeri belum terlalu banyak dibuat. Salah satu penyebab sedikitnya kursi roda buatan dalam negeri adalah terkendala dalam kemampuan untuk mengendalikan kursi roda tersebut seperti kursi roda buatan luar negeri. Sistem pengendalian kursi roda tersebut harus disambungkan dengan motor berdaya besar. Sistem pengendali harus dapat mengatur besarnya tegangan, arus yang lewat, arah

putaran motor maupun mengatur kecepatan putaran motor. Salah satu bagian dari pengendalian kursi roda elektrik adalah pada masalah pengaturan kecepatan motor pada roda pengendali arah di kursi roda elektrik. Gambar 1 memperlihatkan salah satu jenis *Direct Current (DC) gearhead motor* yang digunakan sebagai pengendali arah roda di rangka kursi roda elektrik.



Gambar 1 DC Gearhead Motor sebagai Pengendali Arah Roda di Rangka Kursi Roda Elektrik (insert)

Bila kecepatan DC *gearhead* motor yang digunakan tidak dapat diatur maka akan mengurangi kenyamanan dan juga dapat membahayakan keselamatan jiwa pengguna kursi roda elektrik. Untuk mengatasi masalah

tersebut maka dibuatlah suatu rangkaian pengatur kecepatan DC *gearhead* motor yang berbasis mikrokontroler ATmega8 dan menggunakan metoda DC *Chopper* tanpa *filter*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 DC Gearhead Motor

Jenis motor DC (arus searah) biasa digunakan untuk aplikasi yang memerlukan kecepatan tinggi dan torsi yang besar. Nilai kecepatan putaran motor dihitung berdasarkan kecepatan putaran dalam satu menit (*Rotation per Minute* atau RPM).

Untuk memperkuat torsi sebuah motor, digunakan *gear* reduksi. Torsi diukur berdasarkan kemampuan sebuah tuas sepanjang 1 cm untuk menggerakkan benda sebesar x kg. Semakin lambat putaran motor akibat penambahan *gear* maka semakin kuat torsi yang dihasilkan. Perubahan putaran ini berbanding terbalik dengan perbedaan diameter *gear*. Kecepatan motor akan turun dua kali lipat untuk *gear* yang dua kali lebih besar. [1]



Gambar 2 Salah satu bentuk dari DC *Gearhead Motor*

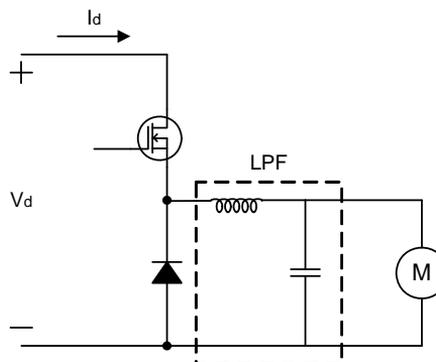
Dalam mengatur kecepatan putaran dari DC *gearhead* motor dapat digunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur catu daya yang diberikan ke motor dalam domain waktu. Semakin besar persentase *fase on* dari sebuah motor maka akan semakin cepat putaran motor tersebut.

2.2 DC Chopper

DC *Chopper* adalah nama lain pengubah daya DC ke DC (*DC to DC power converters*) tipe *switching* (peralihan). Secara garis besar, cara kerja DC *Chopper* adalah dengan mengatur waktu hubung antara output dan input pada suatu rangkaian listrik.

DC *Chopper* berfungsi untuk mengubah tegangan DC tetap menjadi DC variabel, baik itu sebagai penaik tegangan (*step up*) output, sebagai penurun tegangan (*step down*) output ataupun keduanya. [2]

DC *Chopper* mempunyai beberapa metoda dalam pengubahan daya seperti metoda *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost*, *SEPIC*, *forward*, *half bridge*, *push pull* dan *flyback*. Dalam penelitian ini digunakan DC *Chopper* dengan *Buck Converter*.



Gambar 3 Rangkaian Dasar DC *Chopper* dengan *Buck Converter*

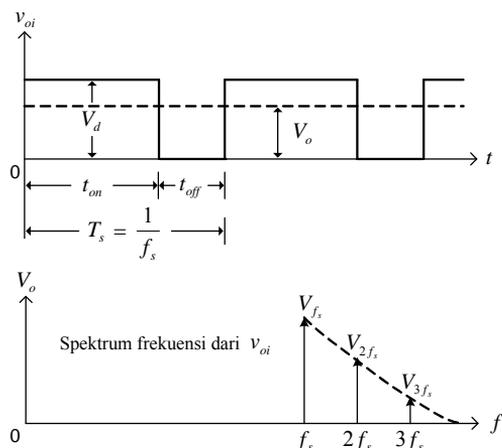
Komponen *switching* yang digunakan dapat berupa MOSFET ataupun IGBT. *Buck converter* akan menghasilkan tegangan output yang lebih rendah atau maksimal sama dengan tegangan input. *Buck converter* memiliki karakteristik tegangan output dengan yang *ripple*-nya rendah tapi memiliki *ripple* arus input yang tinggi. Keuntungan *converter* jenis ini adalah memiliki efisiensi yang tinggi dan rangkaiannya pun relatif sederhana.

Duty ratio (D), perbandingan antara lamanya waktu *switch* ditutup (t_{on}) dengan perioda (T_s) dari pulsa tegangan output. Sehingga besarnya tegangan output dapat diatur besarnya. Persamaan dari *duty ratio* (D) adalah: [3]

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (1)$$

dimana t_{on} adalah waktu pada saat *switch* ditutup dan $T_s = \frac{1}{f_s}$ atau berbanding terbalik dengan frekuensi *switching* (f_s).

Gambar 4 memperlihatkan pulsa tegangan output DC *Chopper* dengan *Buck Converter* beserta spektrum frekuensinya.



Gambar 4 Tegangan Output DC Chopper dengan Buck Converter [3]

Sehingga tegangan output rata-rata (V_o) dapat dihitung berdasarkan *duty ratio*-nya dari persamaan (1) yakni:

$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o(t) dt$$

$$V_o = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right)$$

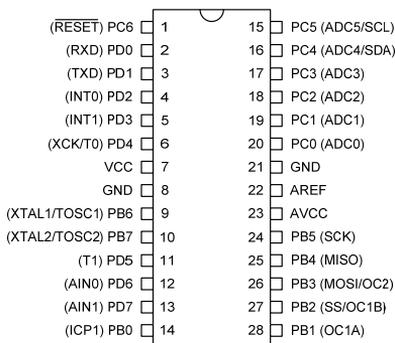
$$V_o = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = D V_d \quad (2)$$

Dengan berbagai variasi nilai dari *duty ratio* $\left(\frac{t_{on}}{T_s}\right)$ pada *switch* maka nilai tegangan output (V_o) dapat diatur.

2.3 Chip ATmega8

Chip ATmega8 adalah salah satu jenis *chip* ber-core AVR (Alf and Vegard's RISC)

8-bit buatan Atmel. Kelebihan jenis AVR dibandingkan *chip* mikrokontroler jenis lain adalah sudah terdapatnya internal *oscillator* didalamnya serta dapat diprogram berulang-ulang karena memiliki *In-System Programmable Flash on Chip*. ATmega8 bekerja pada tegangan kerja antara 4,5 V_{DC} hingga 5,5 V_{DC} . Jumlah pin pada kakinya adalah sebanyak 28 pin [4]. Gambar 5 memperlihatkan konfigurasi pin dari *chip* ATmega8 dalam bentuk *Plastic Dual Inline Package* (PDIP).



Gambar 5 Konfigurasi Pin Chip ATmega8

ATmega8 termasuk dalam *chip* berdaya rendah dimana pada saat aktif membutuhkan arus berkisar 3,6 mA. Kecepatan akses maksimumnya mencapai 16 MHz dengan memori untuk program *flash* sebesar 8 KByte dan memori internal SRAM sebesar 1 KByte.

3. Perancangan

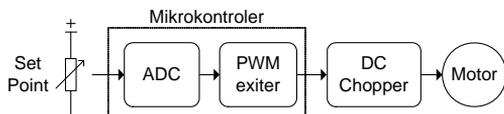
Dalam sistem yang dibuat, tidak akan dibahas penggunaan hukum kendali maupun *transfer function* dari *plant* yang ada karena titik berat permasalahan hanya pada pemilihan kecepatan putaran yang sesuai untuk *Direct Current* (DC) *gearhead* motor pada roda pengendali arah di kursi roda elektrik. Sistem dibuat menggunakan *open loop control system* untuk memilih kecepatan motor yang sesuai.

Pemilihan menggunakan *chip* ATmega8 pada rangkaian terutama karena di dalam *chip* tersebut telah terdapat *Analog to Digital Converter* (ADC) dan *Pulse Width Modulation* (PWM) *exiter*. ADC akan mengubah sinyal analog yang masuk dari *set*

point (dalam hal ini $V_{ref} ADC = 2,56 V_{DC}$). Sinyal digital output ADC akan membangkitkan PWM internal. Output dari PWM (*exiter*) merupakan sinyal *duty cycle*. Semakin besar *duty cycle* dari setiap output gelombang PWM maka akan menyebabkan motor mendapat suplai tegangan yang semakin besar pula. Hal ini berarti bahwa semakin besar *duty cycle* dari gelombang PWM-nya maka putaran motor juga akan semakin cepat. Gambar 6 memperlihatkan blok diagram dari rancangan sistem yang digunakan.

Frekuensi PWM diset pada 33 KHz untuk menghindari *audible frequency* sehingga bunyi mengganggu yang terdengar pada lilitan induktor di dalam motor DC dapat dihindari.

Kecepatan motor dapat diatur sesuai dengan berat badan pengguna kursi roda elektrik. Semakin berat pengguna kursi roda elektrik maka harus semakin besar pula tegangan output yang dihasilkan. Jika tidak maka DC *gearhead* motor tidak akan mampu menggerakkan roda pengendali arah yang terdapat pada kursi roda elektrik tersebut.



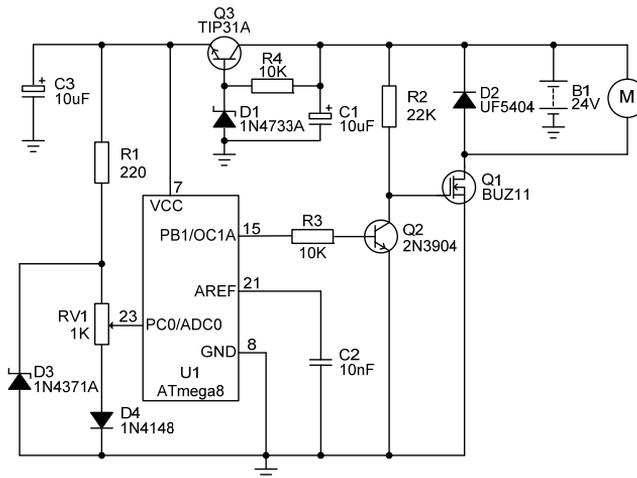
Gambar 6 Blok Diagram Rancangan Sistem yang Digunakan

3.1 DC Chopper

DC *Chopper* dirancang dari rangkaian dasar pada Gambar 3 tanpa menggunakan LPF (*low pass filter*). Hal ini karena DC *gearhead* motor yang digunakan sekaligus dianggap menjadi *filter*-nya atau simplikasi motor sebagai LPF orde 1 [5]. Rangkaian DC *Chopper* menggunakan MOSFET jenis BUZ11 (Q1) sebagai komponen *switching*-nya, $R_{ds} (on)$ dari transistor ini cukup rendah sehingga disipasi daya yang dibangkitkan relatif rendah untuk rendah untuk arus maksimum yang diinginkan ($\pm 5A$). Tegangan output yang dihasilkan akan berbentuk *pulse* (pulsa). Gambar 7 memperlihatkan rangkaian lengkap DC *Chopper* tanpa *filter* yang digunakan.

BUZ11 (Q1) adalah MOSFET jenis N *Channel* yang mampu melewatkan arus hingga 30 A. Transistor tersebut harus dilindungi dengan *heatsink* (pendingin) untuk menghindari panas berlebih akibat besarnya arus yang melewatinya.

Dioda Zener 1N4371A (D3) berfungsi sebagai regulator tegangan atau membatasi tegangan sesuai dengan yang dibutuhkan. Dalam hal ini, dioda zener 1N4371A (D3) membatasi tegangan yang masuk hingga 2,5 V_{DC} . Hal ini karena ADC-nya dirancang untuk bekerja pada tegangan antara 0 - 2,5 V_{DC} ($V_{ref} ADC = 2,56 V_{DC}$).



Gambar 7 Rangkaian Lengkap DC Chopper tanpa Filter

Dioda UF5404 (D2) merupakan tipe *switching fast recovery* yang diperlukan untuk meredam *overshoot* yang ditimbulkan akibat Gaya Gerak Listrik (GGL) balik akibat dari *switching* yang diberikan kepada induktor dari motor DC. Besar arus yang dapat dilewati oleh dioda ini maksimum 4 Ampere.

Step down voltage regulator ($5 V_{DC}$) yang terdiri atas transistor TIP31 (Q3), elektrolit kondensator 10 eF (C1), resistor 10K Ω (R4) dan dioda 1N4733 (D1), dimana regulator ini berfungsi untuk mencatu mikrokontroler ATmega8.

Transistor 2N3904 (Q2) mempunyai arus bocor hanya 50 nA. Rangkaian seperti pada Gambar 7, Q2 berfungsi sebagai *driver* untuk transistor Buzz11 (Q1) karena Q1 membutuhkan $V_{GS} > 5 V_{DC}$ untuk mencapai saturasi. Dalam hal ini besarnya V_{GS} sekitar 8 V_{DC} . Jika langsung di-*feed* dari mikrokontroler maka tegangannya hanya mampu memberikan tegangan sekitar 5 V_{DC} .

Mikrokontroler ATmega8 mampu mengeluarkan arus hingga 20 mA. Namun dalam kenyataannya, arus tersebut tidak dapat digunakan secara langsung untuk menggerakkan motor. Untuk itu perlu dipasang piranti yang mampu menguatkan arus, sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan motor. Piranti tersebut biasa disebut dengan *driver*. *Driver* disini menggunakan metoda *Chopper* jenis *Buck Converter* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

4. Implementasi

4.1 Hardware DC Chopper dengan Chip ATmega8

Salah satu alasan pemilihan menggunakan *chip* mikrokontroler ATmega8 adalah karena di dalam *chip* ATmega8 tersebut telah terdapat *Analog to Digital Converter* (ADC) dan *Pulse Width Modulation* (PWM) *exiter*. Hal ini menjadi sangat efisien karena tidak perlu lagi membuat rangkaian ADC maupun rangkaian PWM.

4.2 Listing Program DC Chopper tanpa Filter berbasis ATmega8

Pemrograman untuk *chip* ATmega8 ini dibuat menggunakan bahasa C. Hasil program di-*compile* untuk kemudian di-*download* ke *chip* ATmega8. *Listing* program untuk mengatur kecepatan DC *gearhead* motor yang dibuat dapat dilihat di bawah ini.

```
#include <mega8.h>
#include <delay.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0xC0

signed int read_adc(signed char
adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE
& 0xff);
    delay_us(10);
    ADCSRA|=0x40;
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

void main(void)
{
    PORTB=0x00;
    DDRB=0x02;

    PORTC=0x00;
    DDRC=0x00;

    PORTD=0x00;
    DDRD=0x00;

    TCCR0=0x00;
    TCNT0=0x00;

    TCCR1A=0xC1;

    TCCR1B=0x09;
    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
    ICR1H=0x00;
    ICR1L=0x00;
    OCR1AH=0x00;
    OCR1AL=0x00;
    OCR1BH=0x00;
    OCR1BL=0x00;
    ASSR=0x00;
    TCCR2=0x00;
    TCNT2=0x00;
    OCR2=0x00;
}
```

```

MCUCR=0x00;

TIMSK=0x00;

ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

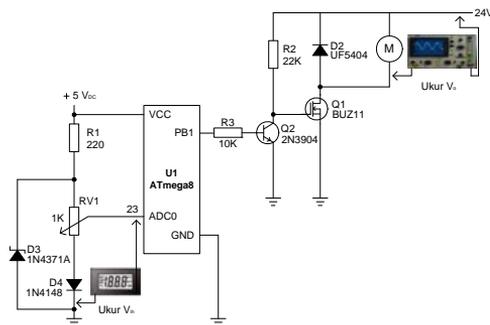
while (1)
{
    ADCSRA = 0xAF;
    ADCSRA |= 0x40;
    OCR1A = (read_adc(0)/4);
}

```

Gambar 8 Listing program

4.3 Hasil Pengukuran dan Analisa

Pengukuran tegangan input dan output rangkaian DC *Chopper* tanpa *filter* dilakukan di 2 tempat. Untuk mengukur tegangan input (V_{in}), pengukuran dilakukan pada input yang masuk ke ADC di mikrokontroler (pin 23). Sedangkan untuk mengukur tegangan output (V_o), pengukuran dilakukan pada kaki-kaki DC *gearhead* motor. Alat ukur yang digunakan adalah *oscilloscope* untuk mengukur tegangan output dan multimeter digital untuk mengukur tegangan input. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 9 Pengukuran V_{in} dan V_o

Range nilai tegangan input (V_{in}) dibuat per 250 mV_{DC} dengan nilai tegangan tertinggi yaitu 2.500 mV_{DC} karena tegangan input dibatasi hanya sampai 2.560 mV_{DC} (= 2,56 V_{DC}). Sedangkan nilai tegangan input terendah sebesar 1.250 mV_{DC}, hal ini dilakukan setelah dilakukan percobaan dan pengukuran dengan tegangan input di bawah 1.250 mV_{DC} ternyata roda pengendali arah

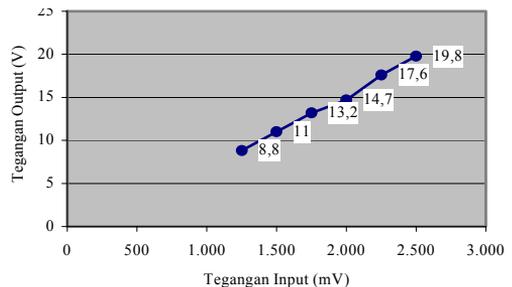
belum berputar. Adapun hasil lengkap pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengukuran

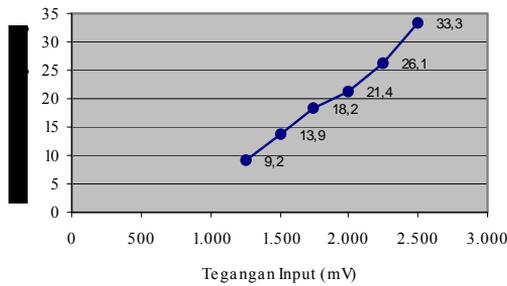
No	V_{in} (mV)	t_{on}	t_{off}	V_o (V)	Kecepatan Putaran (RPM)
1	1.250	1,2	2	8,8	9,2
2	1.500	1,5	1,7	11	13,9
3	1.750	1,8	1,4	13,2	18,2
4	2.000	2	1,2	14,7	21,4
5	2.250	2,4	0,8	17,6	26,1
6	2.500	2,7	0,5	19,8	33,3

Pada saat pengukuran terlihat bahwa roda pengendali arah mulai berputar pada saat diberi tegangan input sebesar 1.250 mV_{DC}. Nilai V_d sebesar 23,5 V_{DC} dengan nilai T_s sebesar 3,2. Untuk nilai tegangan output sendiri didapat dari hasil pengukuran *oscilloscope* untuk melihat sinyal yang berbentuk pulsa dengan batas t_{on} dan t_{off} yang kemudian dimasukkan pada Persamaan (2). Nilai tegangan output ini adalah nilai tegangan rata-rata yang dirasakan langsung oleh DC *gearhead* motor.

Grafik kenaikan nilai tegangan input terhadap tegangan output dan kecepatan putaran roda dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Dari grafik pada Gambar 9 dan Gambar 10 tersebut terlihat bahwa besarnya kenaikan tegangan input (per 250 mV_{DC}) tidak linier dengan nilai kenaikan besarnya tegangan output maupun kecepatan putaran roda setiap menitnya.



Gambar 10 Grafik Tegangan Input terhadap Tegangan Output



Gambar 11 Grafik Tegangan Input terhadap Kecepatan Putaran Roda

DC *gearhead* motor pada roda pengendali baru mulai berputar ketika mendapat tegangan 1.250 mV_{DC} dengan tegangan output rata-ratanya adalah 8,8 V_{DC}. Nilai tegangan output ini akan naik mengikuti besarnya tegangan input yang diberikan seperti grafik pada Gambar 9. Nilai V_o tertinggi adalah 19,8 V_{DC}.

Kecepatan putaran roda pengendali dengan kondisi kursi roda tanpa beban orang yang tercepat adalah 33,3 *Rotation Per Minute* (RPM) dengan tegangan input sebesar 2.500 mV_{DC}. Sedangkan yang paling lambat adalah 3,2 RPM untuk tegangan input sebesar 1.250 mV_{DC}. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa kecepatan putaran permenit yang dipilih untuk dijadikan *default* adalah sebesar 18,2 RPM atau pada saat tegangan outputnya sebesar 13,2 V_{DC}. Hal tersebut dianggap cukup untuk menjamin kenyamanan dan keselamatan pengguna kursi roda elektrik karena dinilai tidak terlalu cepat dan juga tidak terlalu lambat.

5. Kesimpulan

Rangkaian pengatur kecepatan yang dibuat dapat bekerja pada rentang tegangan input 1.250 mV_{DC} sampai dengan 2.500 mV_{DC}. Nilai tegangan tersebut berpengaruh terhadap kecepatan putaran roda pengendali yang digunakan. Semakin besar nilai dari tegangan input maka putaran roda pengendali pun akan semakin cepat. Tegangan output rata-rata terkecil untuk dapat menggerakkan DC *gearhead* motor adalah sebesar 8,8 V_{DC} dengan kecepatan putaran roda sebanyak 9,2 RPM.

6. Daftar Pustaka

- [1] <http://robotindonesia.com/article/an0012.pdf>
- [2] ____, Elektro Indonesia, no.10, tahun V, 1999
- [3] N. Mohan, T.M. Undeland, and W.P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 2nd Edition*, John Wiley & Sons, New York, 1995.
- [4] Atmel Corporation, *8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega8 ATmega8L*, Atmel Corporation, 2009
- [5] Y. Masui, T. Yoshida and A. Iwata, "Low Power and Low Voltage Chopper Amplifier without LPF", in *Proc. IEICE Electronics Express*, Vol.5, No.22, pp.967-972, 2008.