

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.CIP.13

ANALISIS EFISIENSI PENGGUNAAN DAYA PADA VARIASI KONFIGURASI RANGKAIAN PENGENDALI MOTOR DC

Devi Handaya^{1, a)}, Yayan Prima Nugraha^{2, b)}

¹*Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal, Komplek Industri Gajah Tunggal, Jl. Gatot Subroto KM. 7, Tangerang, Indonesia, 15135*

²*Laboratorium Sistem Kendali dan Komputer, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132*

Email: ^{a)}devi.handaya@poltek-gt.ac.id, ^{b)}yans.okx@ieee.org

Abstrak

Penelitian berbasis laboratorium ini membuktikan berbagai konfigurasi rangkaian sebagai pengendali motor DC. Berbagai bentuk konfigurasi rangkaian yang sering digunakan ini akan dibuktikan nilai efisiensi penggunaan dayanya untuk dapat mengendalikan motor DC. Metode pengendali pada motor DC yang dipilih dalam penelitian ini menggunakan tipe resistor variabel (potensiometer), potensiometer dan transistor, *Pulse Width Modulation* (PWM) dan transistor, dan H-Bridge. Eksperimen dilakukan dalam dua tahapan, yaitu pengukuran nilai tegangan dan arus pada rangkaian pengendali dan diverifikasi berdasarkan simulasi menggunakan ISIS Proteus. Hasil pengukuran dan simulasi pada kedua tahapan untuk masing-masing variasi konfigurasi rangkaian yang digunakan akan dibandingkan untuk melihat nilai efektifitas penggunaan daya, analisis kelemahan, dan keunggulan rangkaian. Berdasarkan hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa penggunaan transistor dengan rangkaian H-Bridge menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan potensiometer dan rangkaian transistor sebagai saklar.

Kata-kata kunci: *rangkaian pengendali, pengendali motor dc, switching transistor, efisiensi daya.*

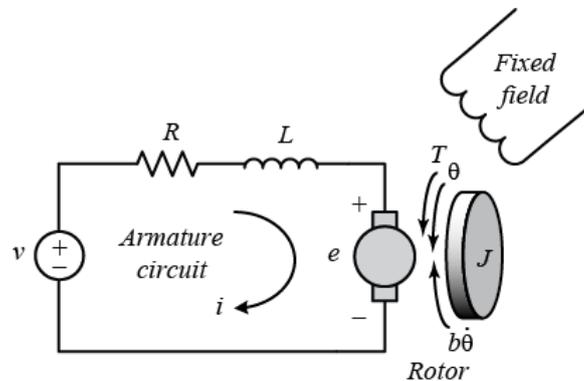
Abstract

This laboratory-based research proves various circuit configurations as DC motor controllers. Various forms of commonly used circuit configuration will be proved the value of its efficient use of power to be able to control the DC motor. Control method of DC motor selected in this research use variable resistor type (potentiometer), potentiometer and transistor, Pulse Width Modulation (PWM) and transistor, and H-Bridge. The experiments were conducted in two stages, ie measurement of voltage and current values in the control circuit and verified based on simulations using ISIS Proteus. The measurement and simulation results of both stages for each variation of the circuit configurations used will be compared to see the value of power usage effectiveness, weakness analysis, and circuit advantages. Based on the experimental results, it can be concluded that the use of transistors with H-Bridge circuit produces better efficiency compared to using potentiometer and transistor circuit as switch.

Keywords: control circuit, dc motor controller, switching transistor, power efficiency

PENDAHULUAN

Motor listrik merupakan aktuator yang sudah tidak asing lagi digunakan oleh berbagai peralatan elektronik terutama yang menggunakan sistem penggerak elektrik. Motor merupakan komponen elektromekanik yang menghasilkan energi mekanik dari masukan energi listrik [1]. Berikut skematik dan pemodelan dari motor DC yang akan ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2).



GAMBAR 1. Skematik motor. (ctms.engin.umich.edu)[2]

Pada dasarnya, torsi (T) yang dihasilkan akan sebanding dengan arus armatur (i) dan medan magnet. Jika medan magnet diasumsikan konstan, maka torsi motor sebanding dengan arus armatur. Nilai *back emf* (e) sebanding dengan kecepatan sudut poros dengan faktor konstanta. Berdasarkan Hukum Newton dan Hukum Kirchoff Tegangan maka dapat diturunkan seperti Persamaan (1) dan (2) sebagai berikut.

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki \quad (1)$$

$$Ri + L\frac{di}{dt} + e = v \quad (2)$$

dengan

J = Momen inersia rotor (kg m^2)

b = Konstanta gesekan motor (Nms)

K = Konstanta torsi dan *back emf* (V/rad/s)

θ = Sudut putaran motor (rad)

R = Resistansi (ohm)

L = Induktansi (H)

i = Arus armatur (A)

e = *Back emf* (V)

v = Tegangan pada armatur (V)

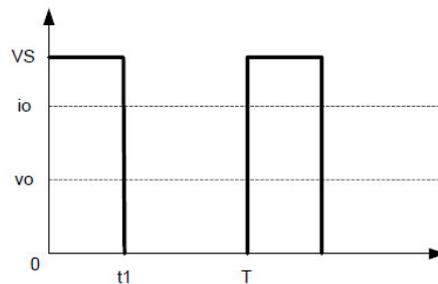
Motor listrik yang disuplai dengan energi listrik arus searah (*Direct Current/DC*) biasa disebut sebagai motor DC. Salah satu Contoh penggunaan motor DC seperti pada penelitian implementasi untuk mesin cuci industri tekstil menggunakan kendali Fuzzy dan interface LabVIEW 2014 dengan hasil maksimum perbedaan keluaran sebesar 3,3 d/d [3]. Selanjutnya adalah aplikasi kendali motor DC menggunakan metode kendali PID pada *self-balancing scooter* dengan nilai $T_r = 1$ s dan $T_s = 3$ s [4].

Berbagai implementasi motor DC tersebut sudah banyak diterapkan pada multi disiplin, namun hanya saja sampai saat ini masih belum banyak yang menganalisis berbagai variasi konfigurasi rangkaian pengendali untuk menggerakkan motor DC yang sesuai dengan tujuannya sehingga pengendalian motor DC tidak efisien. Ketidakefisienan ini dikarenakan banyaknya energi listrik dalam hal ini penggunaan daya yang terbuang. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan analisis penggunaan konfigurasi rangkaian pengendali yang tepat untuk tujuan spesifik.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan berupa eksperimen secara komputasional. Eksperimen dilakukan dalam dua tahapan yaitu: pengukuran parameter tegangan dan arus pada sumber energi dan motor DC, kemudian dilakukan verifikasi menggunakan simulasi pada ISIS Proteus. Hasil dari kedua eksperimen tersebut untuk masing-masing variasi konfigurasi rangkaian pengendali motor DC akan dibandingkan. Hasil dari perbandingan rangkaian pengendali motor DC selanjutnya akan direpresentasikan untuk melihat nilai efisiensi penggunaan daya, analisis kelemahan, dan keunggulan rangkaian.

Konfigurasi rangkaian yang digunakan pada penelitian ini berupa pengendali motor DC menggunakan potensiometer, potensiometer dan transistor, *Pulse Width Modulation* (PWM) dan transistor, dan H-Bridge. PWM merupakan bentuk manipulasi pulsa dengan perioda tetap sehingga mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda [5].



GAMBAR 2. Sinyal PWM.

GAMBAR 2 memperlihatkan sebuah sinyal PWM yang diberikan pada tegangan pulsa *high* sampai perioda t_1 dan dilanjutkan tegangan pulsa *low* sampai menuju satu perioda pulsa T . Untuk dapat mengatur gelombang pulsa, maka dapat dilakukan melalui Persamaan (3) sebagai berikut.

$$V_o = \frac{t_1}{T} VS \tag{3}$$

dengan

V_o = Tegangan Output (volt)

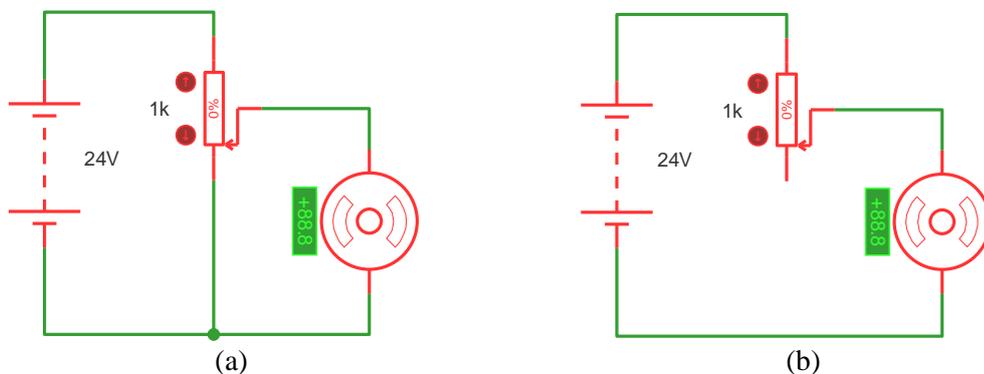
VS = Tegangan Pulsa PWM (volt)

t_1 = Perioda pulsa *high* (s)

T = Perioda pulsa (s)

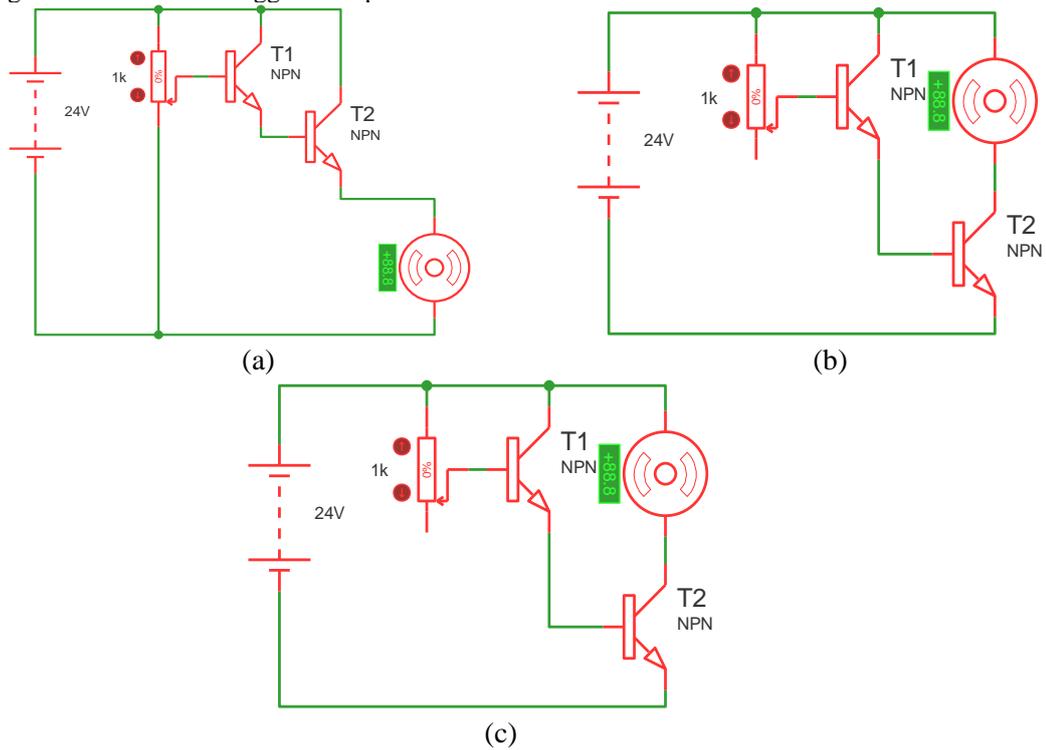
Berikut bentuk konfigurasi rangkaian yang digunakan pada penelitian ini.

1. Pengendali motor DC menggunakan potensiometer



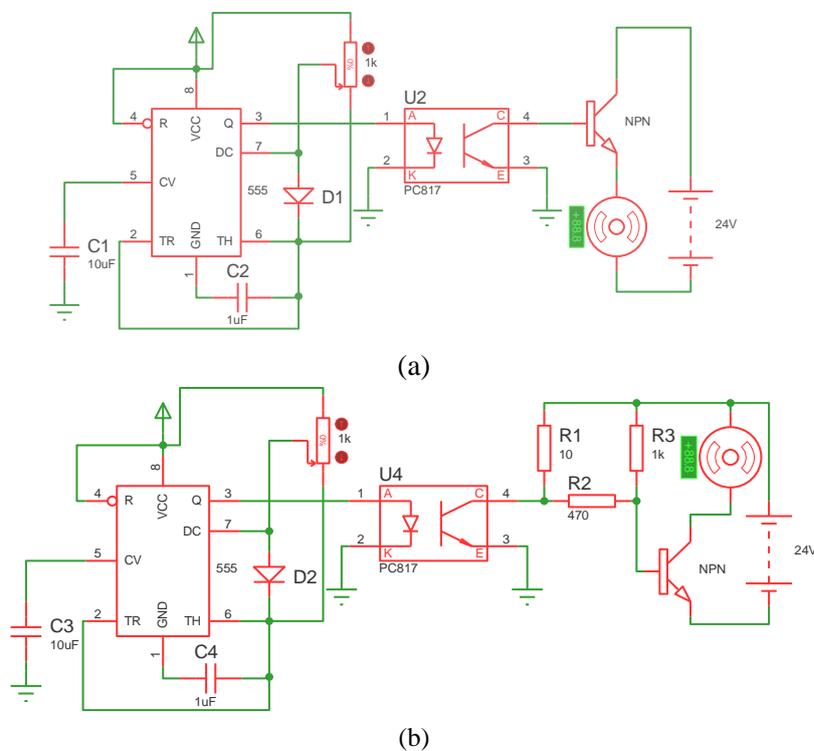
GAMBAR 3. (a) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 1 dan (b) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 2 menggunakan potensiometer .

2. Pengendali motor DC menggunakan potensiometer dan transistor



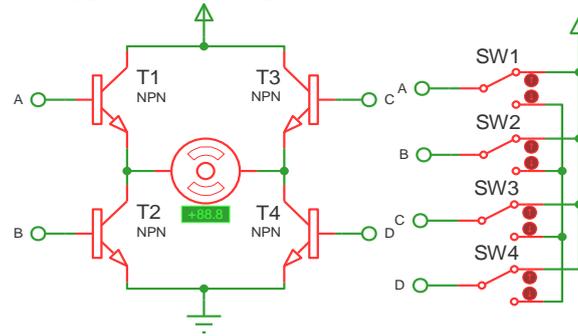
GAMBAR 4. (a) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 3, (b) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 4, (c) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 5 menggunakan potensiometer dan transistor.

3. Pengendali motor DC menggunakan PWM dan transistor



GAMBAR 5. (a) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 6 dan (b) Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 7 menggunakan PWM dan transistor.

4. Pengendali motor DC menggunakan H-Bridge



GAMBAR 6. Rangkaian pengendali motor DC konfigurasi 8 menggunakan H-Bridge.

Nilai efisiensi yang diperlukan diperoleh menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_m}{P_s} \times 100\% \tag{4}$$

keterangan:

η : Efisiensi

P_m = Daya motor

P_s = Daya sumber

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian sistem pengendali motor DC diperoleh rata-rata hasil pengukuran sebagai berikut.

TABEL 1. Hasil pengujian rangkaian pengendali motor DC menggunakan potensiometer.

Konfigurasi	Hasil Pengukuran					Efisiensi		
	Vs	Is	R	Vm	Im	V	I	P
1	24	2,18	100%	22,7	1,97	94,58%	90,37%	85,47%
	24	1,55	50%	8,47	0,71	35,29%	45,81%	16,17%
	24	1,19	0%	0,12	0	0,50%	0,00%	0,00%
2	24	1,98	100%	23,4	1,78	97,50%	89,90%	87,65%
	24	1,09	50%	13,1	0,9	54,58%	82,57%	45,07%
	24	0,75	0%	0,5	0,55	2,29%	73,33%	1,53%

TABEL 2. Hasil pengujian rangkaian pengendali motor DC menggunakan potensiometer.

Konfigurasi	Hasil Pengukuran					Efisiensi		
	Vs	Is	R	Vm	Im	V	I	P
3	24	2,16	100%	23,1	1,98	96,25%	91,67%	88,23%
	24	1,66	50%	11,2	1,47	46,67%	88,55%	41,33%
	24	1,19	0%	0	0	0,00%	0,00%	0,00%
4	24	2,13	100%	22,5	2,1	93,75%	98,59%	92,43%
	24	1,65	50%	13,7	1,45	57,08%	87,88%	50,16%
	24	1,19	0%	0	0	0,00%	0,00%	0,00%
5	24	2,4	100%	23,4	2,2	97,50%	91,67%	89,38%
	24	1,7	50%	13,4	1,38	55,83%	81,18%	45,32%
	24	9,46	0%	0	0,98	4,08%	10,36%	0,00%

TABEL 3. Hasil pengujian rangkaian pengendali motor DC menggunakan potensiometer.

Konfigurasi	Hasil Pengukuran					Efisiensi		
	V _s	I _s	R	V _m	I _m	V	I	P
6	24	0,84	100%	22,3	0,84	92,92%	100%	92,92%
	24	1,23	50%	19	1,23	79,17%	100%	79,17%
	24	1,39	0%	18,4	1,39	76,67%	100%	76,67%
7	24	1,06	100%	23,8	0,99	99,17%	93,40%	92,62%
	24	1,82	50%	23,7	1,74	98,75%	95,60%	94,41%
	24	1,7	0%	23,7	1,63	6,79%	95,88%	94,68%

TABEL 4. Hasil pengujian rangkaian pengendali motor DC menggunakan potensiometer.

Konfigurasi	Hasil Pengukuran					Efisiensi		
	V _s	I _s	R	V _m	I _m	V	I	P
8	24	0,16	23,93	0,15	99,71%	93,75%	93,48%	

Berdasarkan TABEL 1, pada dasarnya rangkaian pada GAMBAR 3(a) memiliki bentuk perancangan yang sama dengan GAMBAR 3(b), kecepatan dan torsi motor dapat diatur melalui potensiometer. Perbedaan tampak pada GAMBAR 3 (b) yang memutuskan salah satu kaki potensiometer. Hasil yang didapat bahwa rangkaian konfigurasi 2 seperti pada GAMBAR 3(b) menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi 1 seperti pada GAMBAR 3(a). Hal ini dikarenakan rangkaian konfigurasi 2 menghasilkan disipasi daya yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi 1. Keuntungan pada bentuk perancangan kedua rangkaian tersebut berupa kemudahan implementasi atau rangkaian yang sederhana sedangkan kelemahannya berupa rugi-rugi daya pada resistor variabel atau potensiometer sehingga menyebabkan efisiensi tidak akan mencapai 100%.

Rangkaian konfigurasi 3 yang ada pada GAMBAR 4(a) hampir mirip dengan GAMBAR 3(a) dan 3(b). Perbedaan ada pada penambahan transistor sebagai saklar elektronis. Dibandingkan dengan konfigurasi 1 dan 2, rangkaian ini memiliki disipasi daya yang lebih rendah sehingga memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Begitupula konfigurasi 4 yang ada pada GAMBAR 4(b) dan konfigurasi 5 yang sesuai dengan GAMBAR 3(c) memiliki bentuk rangkaian yang mirip dengan konfigurasi 3.

Berdasarkan TABEL 2, konfigurasi 4 memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi 3 dikarenakan pada konfigurasi 4 memiliki transistor yang dipasang paralel untuk meningkatkan efisiensi. Keunggulan lain pada konfigurasi 4, panas transistor lebih rendah dikarenakan disipasi daya pada transistor menurun. Selain itu, transistor mampu meningkatkan penguatan yang akan membantu meningkatkan efisiensi. Pada konfigurasi 5, memiliki ketidakefektifan dikarenakan keluaran motor berada di kaki kolektor transistor sehingga efisiensi lebih rendah dibandingkan konfigurasi 4 tetapi lebih efisien dibandingkan konfigurasi 3. Keunggulan konfigurasi 3, memiliki bentuk rangkaian yang lebih sederhana dibandingkan konfigurasi 4 dan 5.

TABEL 3 menunjukkan data dari konfigurasi rangkaian 6 yang sesuai dengan GAMBAR 5(a) dan konfigurasi 7 yang ada pada GAMBAR 5(b). Rangkaian tersebut menggunakan *oscillator* untuk menghasilkan sinyal kotak (pulsa) yang digunakan sebagai *driver* ke transistor. Jika dilihat berdasarkan efisiensi penggunaan daya, konfigurasi rangkaian 7 menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi 6. Keunggulan pada konfigurasi 6, rangkaian lebih efektif dibandingkan dengan konfigurasi 3 karena menggunakan sistem *switching* sehingga rugi-rugi daya pada basis atau resistor basis kecil. Beban dihubungkan dengan emitor dari transistor sehingga dapat diformulasikan dengan Persamaan (5) sebagai berikut.

$$I_o = I_E + I_B \tag{5}$$

keterangan:

I_o = Arus keluaran

I_E = Arus emitter

I_B = Arus basis

Selain memiliki kelebihan, konfigurasi 6 memiliki kelemahan berupa arus basis yang masih kecil sehingga rangkaian tidak dapat mengendalikan motor dengan torsi yang tinggi. Kemudian diperlukan resistor *pull up* untuk memastikan sinyal pulsa tetap *switching*.

Pada konfigurasi 7, rangkaian ini memiliki resistor *pull up* dengan keunggulan berupa arus basis transistor lebih besar sehingga memungkinkan rangkaian dapat mengendalikan beban dengan torsi yang lebih tinggi. Selanjutnya tegangan *switching* selalu tetap karena ada *pull up* pada transistor. Kelemahan konfigurasi rangkaian tersebut berupa rugi-rugi daya pada basis transistor lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi 6 dan akan lebih baik apabila beban dihubungkan dengan emitor.

Konfigurasi rangkaian 8 merupakan rangkaian H-Bridge dengan menggunakan prinsip pengaturan *switching* transistor. Kombinasi transistor akan mengatur arah putaran beban (motor). Berdasarkan GAMBAR 10, jika T_A dan T_D berada pada posisi saklar ON, maka motor DC akan berputar searah jarum jam sedangkan jika T_B dan T_C yang berada pada posisi saklar ON, maka motor DC akan berputar berlawanan dengan arah jarum jam. TABEL 5 memperlihatkan hasil dari prinsip kerja yang ada pada rangkaian GAMBAR 6.

TABEL 5. Pengaturan posisi saklar untuk arah putaran motor.

T_A	T_B	T_C	T_D	Arah
ON	OFF	OFF	ON	Searah jarum jam
OFF	ON	ON	OFF	Berlawanan arah jarum jam

Keunggulan pada rangkaian ini, memiliki efisiensi dalam mengatur beban motor dengan mudah dan masukan pada *gate* dengan rendah. Kemudian kelemahannya berupa masih terdapat rugi-rugi daya karena efek *switching*. Sebaiknya diberikan *heatsink* sebagai penghantar dalam mengurangi panas transistor. Penambahan dioda secara paralel diperlukan untuk menghindari arus balik dari beban. Tidak dapat mengatur torsi motor dikarenakan arus yang dialiri tergantung beban.

SIMPULAN

Penggunaan resistor sebagai pembagi tegangan menjadikan rangkaian pengendali motor lebih mudah untuk diimplementasikan tetapi memiliki efisiensi yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan disipasi daya berupa panas pada resistor cukup besar. Pada kelompok konfigurasi berikutnya menggunakan kombinasi antara resistor dan transistor yang pada prinsipnya digunakan sebagai penguat arus dan *switching*. Penggunaan transistor menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi rangkaian pembagi tegangan menggunakan resistor variabel/potensiometer. Bentuk konfigurasi rangkaian H-Bridge dengan menggunakan konsep *switching* transistor, menghasilkan keunggulan yang lebih baik berupa hasil efisiensi yang lebih mendekati 100% dan dapat melakukan pengaturan arah putaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih atas dukungan Dr. Iyas Munawar, M. Si sebagai dosen Mekatronika ITB yang bersedia menjadi rekan diskusi dalam menyusun penelitian variasi rangkaian pengendali motor DC. Ucapan terimakasih juga disampaikan atas dukungan Laboratorium Sistem Kendali dan Komputer (LSKK) STEI ITB dalam membantu penyediaan fasilitas untuk pembuatan sistem menggunakan Proteus dan pengukuran

REFERENSI

- [1] N. S. Nise. "Control System Engineering," in *John Wiley & Sons, Inc.*, 6 ed. USA. 2011. pp. 79-80.

- [2] Anonim. (2017). *DC Motor Speed: System Modeling*. Available: [http://
http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorSpeed§ion=SystemModeling](http://http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorSpeed§ion=SystemModeling)
- [3] D. Handaya *et al.* “Simulasi Mesin Cuci Industri Tekstil Berbasis Kendali Fuzzy dan Interface LabVIEW 2014,” in *Proceedings of the 2016 Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, Bandung Institute of Technology. 2017, pp. 177-183.
- [4] Cahyono BN, Setiyono B. “Self-Balancing Scooter Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral Derivatif,”. in *Journal of TRANSMISI*, Diponegoro University, 2013, 15(4), pp. 164-169.
- [5] S. Yahya, “Kendali Putaran Motor DC dengan PWM,” *Electrical Engineering.*, Bandung State of Polytechnic, Sept. 2009