

APLIKASI SISTEM KONTROL SUDUT DENGAN METODE PID PADA ARM FLIP FOLDING MACHINE MENGGUNAKAN LEGO MINDSTORM EV3

Wahyu S. Pambudi¹, Titiek Suheta², dan Jamal Muhammad³

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya^{1,2,3}

email : wahyusp@itats.ac.id

ABSTRACT

Proportional Integral Derivative (PID) controllers are the most common form of feedback used in control systems for various Industrial functions. One of the applications used here is to control the angular position of the DC motor. Controlling the angular position of the DC motor is very important because any small change can lead to instability of the closed loop system. The Research aims to control the angular position of a DC motor by using PID algorithm that is implemented on LEGO Mindstorms EV3 Robot. The PID attempts to correct the error between the measured angular position and the desired angular position (setpoint) by calculating the error and then outputting a pulse width modulated voltage that can adjust the angular position appropriately. PID parameters adjusted to the optimal value by trial and error method. The LEGO Mindstorms EV3 robot is programmed by adding the finely tuned PID algorithm to control the angular position of DC motor. PID controller parameters for the angular position system on large motor LEGO modeling at setpoint 100 ° has the best result using $K_p=14.8$, $K_i=3.2$, $K_d=0.63$, with rise time 0.0511s, settling time 0.185s, overshoot 9.57% and steady state error 1.8%. The use of $K_p=4$, $K_i=2$, $K_d=15.5$ on the real plant has the best result with rise time 0.140s, settling time 0.345s, 0% overshoot and steady state error 4.28%.

Kata kunci: PID, angular position, DC motor, LEGO EV3 Robot.

ABSTRAK

Proportional Integral Derivative (PID) kontroler adalah bentuk umpan balik yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol untuk berbagai fungsi Industri. Salah satu aplikasi yang digunakan di sini adalah mengendalikan posisi sudut motor DC. Mengontrol posisi sudut motor DC penting dilakukan karena setiap perubahan kecil dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem loop tertutup. Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan posisi sudut motor DC dengan menggunakan algoritma PID yang diimplementasikan pada Robot LEGO Mindstorms EV3. PID berupaya untuk memperbaiki kesalahan antara posisi sudut yang diukur dan posisi sudut yang diinginkan (setpoint) dengan menghitung kesalahan dan kemudian mengeluarkan tegangan modulasi lebar pulsa yang dapat menyesuaikan posisi sudut yang sesuai. Parameter PID disesuaikan dengan nilai optimal dengan metode trial and error. Robot LEGO Mindstorms EV3 diprogram dengan menambahkan algoritma PID yang diatur dengan tepat untuk mengendalikan posisi sudut motor DC. Parameter pengontrol PID untuk sistem kontrol sudut pada pemodelan large motor LEGO saat setpoint 100° didapatkan hasil terbaik pada $K_p=14.8$, $K_i=3.2$, $K_d=0.63$, dengan rise time 0.0511s, settling time 0.185s, overshoot 9.57% dan error steady state 1.8%. Penggunaan $K_p=4$, $K_i=2$, $K_d=15.5$ pada real plant menunjukkan hasil terbaik dengan rise time 0.140s, settling time 0.345s, overshoot 0% dan error steady state 4.28%.

Kata kunci: PID, Posisi Sudut, motor DC, Robot LEGO EV3.

PENDAHULUAN

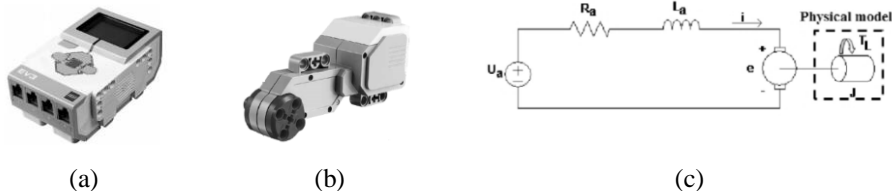
Pada proses aplikasi sistem kontrol memerlukan tahapan desain yang terstruktur. Sebelum dibuat sistem kontrol sebaiknya dibuat dalam model simulasi. Salah satu sistem kontrol yang bisa dibuat dengan simulasi adalah *Proportional Integral Derivative* (PID) [1]. Sistem kontrol PID memiliki respon terhadap sinyal input cepat dengan kesalahan kecil dan dapat meredam osilasi. *Overshoot* dari sistem pengendalian posisi lebih kecil daripada *overshoot* dengan menggunakan sistem tanpa pengontrol PID [2]. Pada aplikasi PID untuk kontrol posisi sudut motor DC baik secara simulasi maupun penerapan pada pompa hidrolik memiliki keunggulan baik dalam reduksi *noise* maupun reduksi osilasi dan sistem kontrol berjalan dengan baik [1][2]. Respon optimal PID ini bisa dilakukan dengan mengatur parameter K_p , K_i dan K_d ,

hal ini akan mempengaruhi *rise time*, *settling time*, *overshoot* dan *error steady state*. Hasil pengaturan parameter PID bisa mendapatkan respon optimal dalam model simulasi untuk menggerakkan *arm flip* pada *folding machine*, dimana *rise time* kecil dan tidak memiliki *overshoot* maupun *error steady state*. Hasil ini tentu berdeda apabila model simulasi diterapkan pada *real plant* kontrol posisi sudut *arm flip folding machine* [1]. *Arm flip folding machine* ini merupakan bentuk sederhana dari teknologi robot *arm manipulator* dengan 1 DOF (*degree of freedom*), sehingga untuk membuat sistem aslinya tidak akan kesulitan apabila menggunakan modul robot yang ada dipasaran. Salah satu modul robot yang bisa digunakan adalah LEGO Mindstorms EV3. LEGO Mindstorms EV3 sudah dilengkapi dengan *actuator* berupa motor DC dan sensor sehingga lebih mudah untuk perancangan sistem kontrol otomatis yang ada pada teknologi robot [3]. LEGO sebagai produsen Mindstorms EV3 sudah menyediakan tool LEGO Mindstorms EV3 (*Home Edition*) dengan *programming blocks*. Selain itu juga masih banyak tool lain dari pihak ketiga yang menggunakan bahasa C, seperti NBC, ROBOTC, BrixCC, leJOS, dan sebagainya. CPU yang digunakan pada LEGO Mindstorms EV3 berupa EV3 Brick dengan spesifikasi *Operating System* LINUX, 300 MHz ARM9 *Controller*, *Flash Memory* 16 MB, RAM 64 MB serta komunikasi USB [4]. Penggunaan LEGO Mindstorms EV3 pada simulasi dan pemrograman sistem kontrol PID robot *line follower* mampu menekan biaya meskipun yang dikerjakan mendekati masalah yang sebenarnya. Hal ini karena LEGO Mindstorms EV3 memiliki komponen perangkat keras yang dibutuhkan untuk mensimulasikan, memprogram dan menguji aplikasi mini industri. Kontrol PID menggunakan LEGO Mindstorms EV3 memiliki dua cara untuk menyesuaikan parameter pengendali PID, yaitu metode *trial-and-error* dan metode *Ziegler-Nichols* [5].

TINJAUAN PUSTAKA

Motor EV3 (Large Motor)

Actuator pada modul LEGO Mindstorms EV3, menggunakan motor DC *large motor* dan *medium motor*. Model *large motor* ini (gambar 1.b), di desain khusus agar bisa di pasang dengan mudah ke LEGO *brick* dan mekanik modul LEGO Mindstorms EV3. Motor ini sudah memiliki *Rotation Sensor built-in* dengan resolusi 1 derajat untuk menghasilkan kepresisian dalam pengendalian [4]. Motor DC *large motor*, ini memiliki pemodelan motor seperti pada gambar 1.c, dimana U_a = tegangan *armature*, R_a = resistansi *armature*, L_a = induktansi *armature* dan e = *electromotive force* (emf) *voltage* [6]. Pada tabel 1 ini merupakan parameter motor yang didapatkan dari pengujian *large motor* LEGO [7][8]. Hasil pemodelan ini dapat digunakan untuk simulasi pendekatan sistem kontrolnya, sehingga dapat diketahui respon kontrol yang optimal [9].



Gambar 1. (a) EV3 Brick (b) Large motor LEGO (c) Pemodelan Motor DC

Sumber : LEGO.com dan Goncalves J. et al. 2010

Tabel 1. Parameter *large motor* LEGO

Variable	Value	Unit	Description
R_a	6.832749059810827	Ohm	armature resistance
L_a	0.00494	H	armature inductance
K_T	0.304766706036738	(N.m/A)	torque constant
K_b	0.459965726538748	(V/(rad/sec))	back electromotive force coefficient

Variable	Value	Unit	Description
B	0.000726962269165	(N.m/(rad/s))	viscosity resistance coefficient
J	0.001502739083882	(kg.m ²)	rotor's moment of inertia
A_r	0.007776695904018	(N.m)	dry friction force

Sumber : <http://nxt-unroller.blogspot.co.id>

Proportional Integral Derivative (PID)

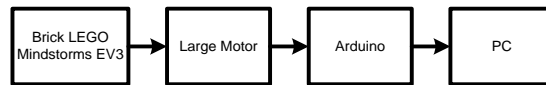
PID merupakan kontroler *close loop* yang umum digunakan dalam aplikasi pada sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinu menghitung nilai *error* sebagai beda antara *setpoint* dengan nilai *actual* yang terukur. Kontroler PID mencoba untuk meminimalkan nilai *error* setiap waktu dengan mengatur proporsional *error*, integral *error* dan perubahan *error* atau differensial *error* pada *plant* [1][2].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dr + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

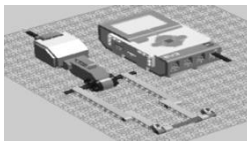
dimana $u(t)$ adalah sinyal control dan $e(t)$ adalah sinyal *error* dan nilai K_p , K_i serta K_d merupakan parameter yang akan diatur untuk mendapatkan respon kontrol yang optimal.

METODE

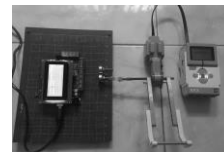
Pada penelitian ini blok sistem terdiri dari 4 bagian, arduino berfungsi untuk mengukur sudut dan mengirim datanya ke *personal computer* (PC) sedangkan PC berguna untuk menampilkan hasil respon kontrol, blok sistem alat seperti pada gambar 2, gambar 3.a desain *arm flip folding machine* sedangkan gambar 3.b model pengujian *arm flip folding machine* menggunakan LEGO Mindstorms EV3 serta arduino.



Gambar 2. Blok Sistem

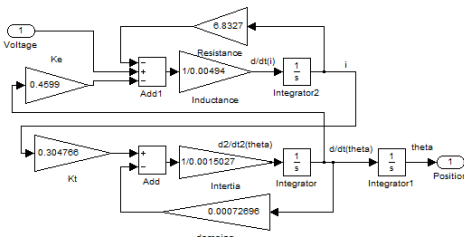


(a)

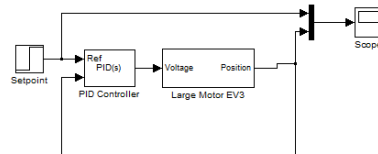


(b)

Gambar 3. (a) Desain *Arm Flip Folding Machine* (b) Pengujian PID kontrol sudut menggunakan LEGO Mindstorms EV3 serta arduino



(a)



(b).

Gambar 4. (a) Pemodelan sistem *large motor* LEGO EV3 (b) Blok PID untuk kontrol sudut

Nilai *setpoint* akan ditentukan ke dalam Brick LEGO, kemudian akan meneruskan sinyal tersebut ke *large motor* LEGO untuk menggerakkan *arm flip*. Ketika *arm flip* sudah mencapai posisi *setpoint*, maka aktuatur akan berhenti bergerak dan tetap pada posisi tersebut. Sebagai tahapan

awal untuk menentukan nilai parameter PID, agar lebih memudahkan maka perlu menggunakan simulasi PID kontrol posisi dengan *plant* pemodelan *large motor* LEGO seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.a. Gambar 4.b blok PID untuk kontrol sudut dengan *plant* pemodelan *large motor*.

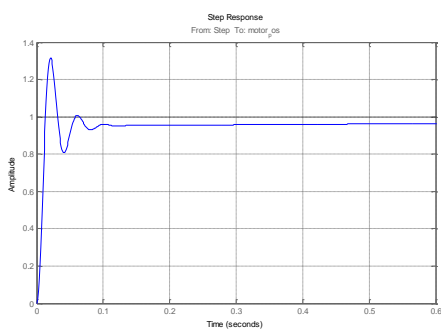
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan Data

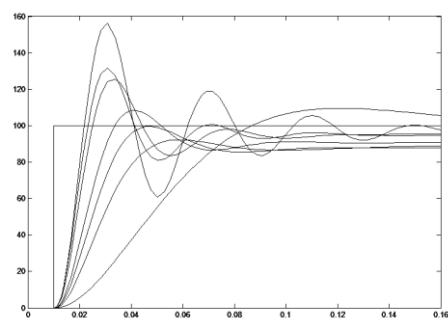
Pada saat posisi start, alat ini akan menginisialisasi data yang akan di proses, ketika tombol ditekan maka motor akan bergerak dan motor akan dikontrol oleh sistem kontrol PID apakah *setpoint* yang dimasukan sesuai dengan sudut aktual, kalau posisi sudut belum sesuai maka kontrol PID akan mengulangi terus-menerus sampai sudut aktual mendekati setpoint atau nilai *error* mendekati 0. Desain untuk membuat *arm flip* pada motor DC ini cukup sederhana, dengan menyusun beberapa komponen mekanik LEGO Mindstorm EV3, karena *large motor* EV3 sendiri di desain khusus untuk *brick set* LEGO Mindstorm EV3. Pada salah satu pengujian digunakan parameter pengendali $K_p= 5$, $K_i= 2$, dan $K_d= 8.5$ dan sinyal *step* sebagai masukan dalam *close loop*. Gambar 5.a menunjukkan hasil respon sistem kontrol posisi sudut *large motor* LEGO dengan PID terhadap masukan sinyal *step*. Didapat bahwa, waktu naik sebesar 0.00889 detik, nilai *overshoot* maksimum sebesar 31.7 %, dan memiliki *error steady state* rendah sebesar 3.5%. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan pengendali PID dengan parameter K_p , K_i , K_d yang diujikan masih belum dapat mengendalikan dengan baik. Untuk itu perlu dilakukan penyesuaian nilai parameter kendali K_p , K_i dan K_d agar didapatkan respon sistem yang lebih baik. Hasil pengujian secara simulasi dengan menggunakan pemodelan *large motor* dan PID kontrol sudut, respon kontrolnya seperti pada gambar 5.a, sedangkan secara lengkap hasilnya pada gambar 5.b, lebih lengkap tentang hasil pengujian terdapat pada tabel 2. Proses tuning dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas autotuning dari Matlab dan *trial and error*. Hasil parameter pengendali PID yang didapatkan adalah $K_p = 14.8268$, $K_i = 3.2644$, $K_d = 0.63078$, dimana *rise time* 0.0511s, *settling time* 0.185s, *overshoot* 9.57% dan *error steady state* 1.89%, seperti pada gambar 6.

Tabel 2. Hasil simulasi PID kontrol sudut dengan pemodelan *large motor*

K_p	K_i	K_d	Rise time (s)	Settling time (s)	Overshoot (%)	Error Steady State (%)
2	0.1	3	0.0234	2.83	0.256	15.5
3	0.1	4	0.0215	2.25	8.26	10.2
6	0.1	7	0.00979	1.34	25.8	4.5
5	2	8.5	0.00889	1.2	31.7	2.7
6	2	2	0.033	0.647	1.72	6
4	2	15.5	0.000819	1.09	56.1	3.5
14.8	3.2	0.63	0.0511	0.185	9.57	1.8

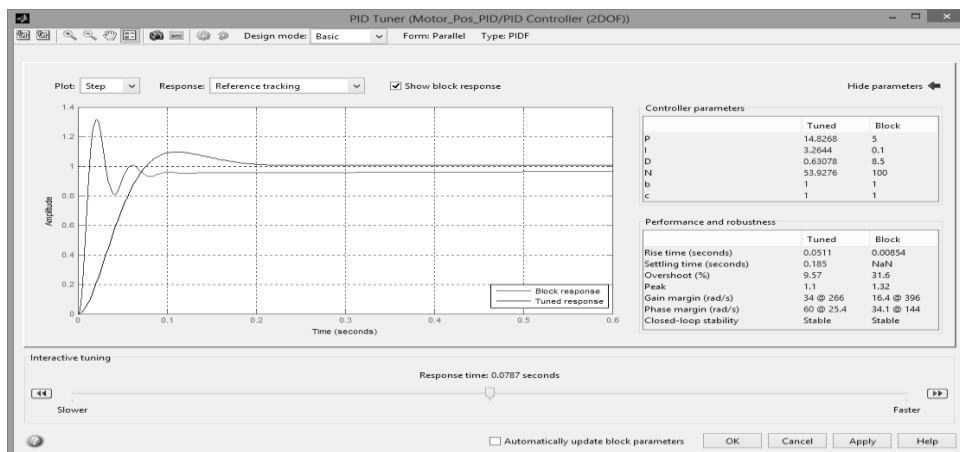


(a)



(b)

Gambar 5. Respon *step* sistem pengendali posisi sudut dengan pemodelan *large motor* LEGO
 (a) Pada saat $K_p= 5$, $K_i= 2$, dan $K_d= 8.5$ (b) Hasil respon secara keseluruhan.

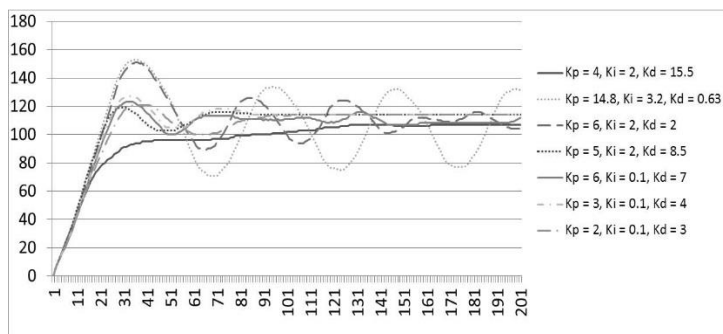


Gambar 6. Hasil autotuning sistem kontrol posisi sudut *large motor* EV3

Pengujian PID kontrol sudut dengan *arm flip* yang dibangun dengan modul robot LEGO Mindstorms EV3, maka hasilnya seperti pada tabel 3 dan grafik respon seperti pada gambar 7.

Tabel 3. Hasil pengujian PID kontrol sudut dengan LEGO Mindstorms EV3

Kp	Ki	Kd	Rise time (s)	Settling time (s)	Overshoot (%)	Error Steady State (%)
2	0.1	3	0.120	0.365	9	12.24
3	0.1	4	0.105	0.550	10	14.31
6	0.1	7	0.110	0.310	3	10.23
5	2	8.5	0.115	0.380	2	13
6	2	2	Berosilasi / Tidak Stabil			
4	2	15.5	0.140	0.345	0	4.28
14.8	3.2	0.63	Berosilasi / Tidak Stabil			



Gambar 7. Respon simulasi PID kontrol sudut dengan dengan LEGO Mindstorms EV3

Apabila dibandingkan antara hasil simulasi pemodelan sistem dengan penerapan pada *arm flip folding machine* ada perbedaan. Pengaturan yang optimal pada simulasi pemodelan sistem menggunakan $K_p=14.8268$, $K_i=3.2644$, $K_d=0.63078$, jika parameter ini masukkan ke PID kontrol sudut pada *arm flip folding machine* respon kontrolnya tidak stabil atau berosilasi. Pengaturan parameter yang paling optimal menggunakan $K_p=4$, $K_i=2$, $K_d=15.5$, dimana *rise time* 0.140s, *settling time* 0.345s, *overshoot* 0% dan *error steady state* 4.28 %. Jika dengan parameter yang sama digunakan untuk simulasi pemodelan sistem seting parameter ini menghasilkan nilai *rise time* 0.000819s, *settling time* 1.09s, *overshoot* 56% dan *error steady state* 3.5 %. Nilai *error steady state* hampir sama, dimana dengan simulasi 4.28% sedangkan pada *arm flip folding*

machine 3.5%, tetapi dari kedua model pengujian ini ada perbedaan pada nilai *rise time*, *settling time* dan *overshoot*. Hal ini karena dalam pemodelan sistem ada beberapa nilai yang dianggap ideal.

KESIMPULAN

Konsep pada robot *arm manipulator* 1 DOF yang digunakan untuk *arm flip folding machine* dengan kontrol PID untuk posisi sudut, baik dengan simulasi pemodelan sistem dan aplikasi *arm flip folding machine* telah diterapkan pada penelitian ini. Pada proses pengujian terjadi perbedaan antara simulasi dengan *arm flip folding machine*, dimana pada saat parameter $K_p=14.8$, $K_i=3.2$, $K_d=0.63$, *rise time* 0.0511s, *settling time* 0.185s, *overshoot* 9.57% dan *error steady state* 1.8%. Pada aplikasi *arm flip folding machine* dengan parameter PID yang sama, respon kontrolnya beresilasi atau tidak stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan sistem tidak bisa langsung diterapkan karena terdapat beberapa nilai dalam pemodelan sistem yang dianggap stabil. Hasil pengaturan parameter PID paling optimal untuk *arm flip folding machine* adalah saat $K_p=4$, $K_i=2$, $K_d=15.5$, dimana *rise time* 0.140s, *settling time* 0.345s, *overshoot* 0% dan *error steady state* 4.28%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan sehingga paper luaran Program Hibah Penelitian Produk Terapan 2017 ini bisa terselesaikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada oleh DRPM, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristek Dikti yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan pengembangan ilmu pengetahuan melalui kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pambudi W. S et al., “*Simulasi Folding Machine Dengan PID, P, PI, PD dan Fuzzy-Pd (Proportional Differential)*”, Jurnal Sains dan Teknologi, Poiteknik Negeri Tanah Laut Kalimantan Selatan, ISSN: 2460-173X, vol. 1, no. 1, p. 25, Juni. 2015.
- [2] Sailan K. et al, “*DC Motor Angular Position Control using PID Controller for the porpuse of controlling the Hydraulic Pump* “, International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT’13), Proceedings Engineering & Technology, vol.1,pp. 22, 26, 2013.
- [3] M Eke E. et al, “*Using Simulink, Matlab, and LEGO Mindstorms to teach a Project-Based Control Systems Design Course* “, 122nd ASSE Annual Conference & Exposition, Paper ID #1981, 14 – 17 Juni 2015.
- [4] LEGO, “*LEGO Mindstorms EV3 User Guide.*” [Online]. Available: <https://www.lego.com/en-us/mindstorms/downloads/user-guide>. [Accessed: 01-Aug-2017].
- [5] Popelka M. et al, “*Lego Mindstorms as a Simulation of Robotic Systems* “, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, vol. 8, no. 7, p. 1196, 2014.
- [6] Goncalves J. et al, “*Sensor and actuator stochastic modeling of the Lego Mindstorms NXT educational Kit*”, Proc. of the 10th Int. Conf. on Mobile Robots and Competitions (ROBÓTICA2010), p.11, Leiria, Portugal, March 24th, 2010.
- [7] Philohome.com, “*LEGO 9V Technic Motors compared characteristics*” [Online]. Available:<http://www.philohome.com/motors/motorcomp.htm>. [Accessed: 02-Aug-2017].
- [8] NXT LEGO Mindstorms programming, “*Mathematical Model of Lego EV3 Motor*”, [Online]. Available:<http://nxt-unroller.blogspot.co.id/2015/03/mathematical-model-of-lego-ev3-motor.html> [Accessed: 02-Aug-2017].
- [9] Mitchell, Ashley C. “*Modeling and Control of a Motor System Using the Lego EV3 Robot*”. Master of Science (Electrical Engineering), University Of North Texas, August 2015.