

Realisasi Kontrol Hirarki Untuk Pengaturan Kecepatan Kursi Roda Elektrik Berdasarkan *Subject Intension* Menggunakan *Bioelectrical Impedance*

Arizal Mujibtamala Nanda Imron^{1,*}, Achmad Arifin¹, Djoko Purwanto¹

¹ Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya

* E-mail : nanda13@mhs.ee.its.ac.id

Abstrak. Makalah ini menjelaskan metode kontrol kecepatan kursi roda elektrik, yang didedikasikan untuk orang dengan keterbatasan alat gerak tangan dan kaki. Pada penelitian sebelumnya, *bioelectrical impedance* digunakan sebagai perintah kontrol kecepatan kursi roda elektrik. Penelitian ini dikembangkan kontrol kecepatan yang dapat direalisasikan pada jalan datar, berdasarkan keinginan subjek. Instrumentasi *bioelectrical impedance* digunakan sebagai sistem untuk membaca keinginan pengguna kursi roda elektrik melalui perubahan impedansi pada otot trapezius, 3 elektroda disposable digunakan sebagai interface antara tubuh subjek dan instrumentasi *bioelectrical impedance*, dimana masing-masing elektroda diletakkan pada bahu kanan, bahu kiri dan tepat di bagian tulang belakang, perubahan impedansi pada masing-masing bahu akan diterjemahkan oleh kontrol hirarki sehingga dapat dibaca oleh sistem mikrokontroler untuk menggerakkan kursi roda elektrik. Perintah kontrol belok kanan, belok kiri, maju dengan kecepatan 1, kecepatan 2 dan kecepatan 3 masing masing didapat ketika ada perubahan impedansi yang melebihi threshold pada bahu kiri, bahu kanan dan kedua bahu digerakkan ke depan secara trigger untuk meningkatkan kecepatan kursi roda elektrik saat berjalan maju. Variabel kecepatan maju masing-masing sebesar 20, 30 dan 40 RPM, sedangkan untuk perintah kontrol berhenti, dilakukan dengan menggerakkan kedua bahu ke depan dan ditahan selama 1,5 detik. Hasil percobaan menunjukkan persentase keberhasilan sebesar 75% pada pengujian jalan datar. Percobaan dilakukan pada 4 orang subjek normal dengan masing-masing subjek melakukan percobaan sebanyak 5 kali.

Kata Kunci: Bioelectrical Impedance, Kontrol Kecepatan, Kursi Roda Elektrik

1. Pendahuluan

Kelumpuhan atau paralisis adalah hilangnya fungsi otot pada manusia. Banyak hal yang dapat menyebabkan kelumpuhan, mulai dari terganggunya sistem syaraf hingga kelumpuhan yang terjadi akibat kecelakaan. Kelumpuhan pada alat gerak akan membuat seseorang kesulitan dalam beraktivitas khususnya dalam fungsi mobilitas manusia.

Alat bantu untuk penderita kelumpuhan dapat berupa tongkat kruk atau kursi roda, dimana kebutuhan alat bantu tersebut disesuaikan dengan tingkat kelumpuhan seseorang. Bagi penderita kelumpuhan pada bagian tangan dan kaki, alat bantu konvensional yang ada tidak dapat digunakan sehingga dibutuhkan alat bantu khusus berupa kursi roda elektrik. Dalam beberapa penelitian dikembangkan kursi roda elektrik yang berbasis hands free, salah satunya adalah dengan *bioelectrical impedance* [1], *bioelectrical impedance* digunakan untuk mendeteksi perintah kontrol yang di berikan subjek [2][3], sehingga kursi roda dapat digerakkan berdasarkan perubahan impedansi pada tubuh manusia [4][5].

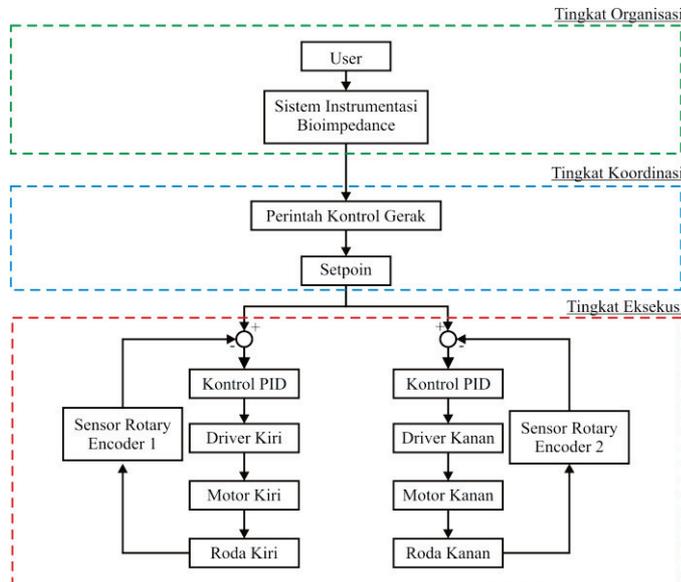
Makalah ini akan menjelaskan metode kontrol kecepatan kursi roda elektrik menggunakan *bioelectrical impedance* sebagai sistem untuk membaca perubahan impedansi pada otot trapezius. Perubahan impedansi tersebut akan diterjemahkan oleh kontrol hirarki untuk diuraikan sebagai perintah kontrol gerak kursi roda elektrik, sedangkan untuk kestabilan kecepatan kursi roda elektrik digunakan kontrol PID.

2. Desain kontrol kecepatan.

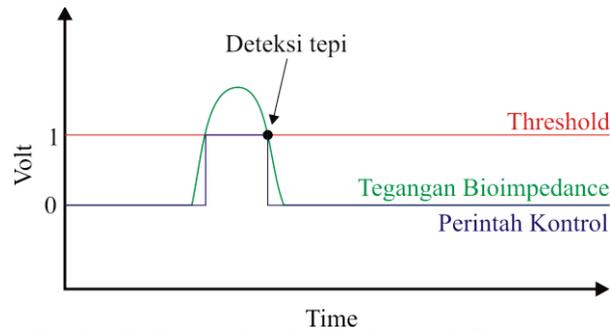
Desain perintah kontrol didasarkan perubahan impedansi pada otot trapezius. Pengukuran impedansi menggunakan *bioelectrical impedance* dengan 3 elektroda yang masing masing terpasang pada bahu kanan, bahu kiri dan tepat di tengah pada tulang belakang [3]. Impedansi otot trapezius dapat berubah ketika otot trapezius bergerak, nilai impedansi akan semakin besar ketika otot memanjang dan akan semakin kecil ketika otot memendek.

Perubahan impedansi pada otot trapezius dimanfaatkan sebagai perintah kontrol dengan cara memberikan *threshold* pada keluaran *bioelectrical impedance*. Ketika nilai tegangan yang terukur lebih besar daripada *threshold* yang ditentukan, maka gerakan otot trapezius diartikan sebagai perintah kontrol, dimana pendeteksian tersebut menggunakan deteksi tepi, seperti pada gambar 2. *Threshold* merupakan cara kontrol hirarki untuk menerjemahkan perubahan impedansi sebagai perintah kontrol gerak sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler. Blok diagram kontrol hirarki ditunjukkan pada Gambar 1.

Perintah kontrol didesain dengan sederhana sehingga tidak mempersulit subjek dalam menggerakkan kursi roda *elektrik*. Klasifikasi perintah kontrol ditunjukkan pada Tabel 1. Pada klasifikasi tersebut dijelaskan cara untuk memberi perintah kontrol gerak sehingga kursi roda elektrik dapat digerakkan sesuai dengan keinginan subjek. Berdasarkan klasifikasi perintah kontrol gerak kursi roda elektrik, kursi roda elektrik dapat diperintah untuk bergerak belok kanan, belok kiri dan maju. Terdapat variabel kecepatan sebanyak 3 tingkat pada gerakan maju yaitu kecepatan 1, kecepatan 2 dan kecepatan 3. Masing-masing alur kontrol gerakan dari kursi roda elektrik dapat ditunjukkan seperti Gambar 3. Dimulai dari keadaan diam, kursi roda dapat digerakkan belok kanan, belok kiri dan maju dengan kecepatan 1, dari keadaan belok kanan maupun belok kiri, kursi roda hanya dapat diberi perintah untuk berhenti, sedangkan pada keadaan bergerak maju, kursi roda dapat meningkatkan kecepatan hingga kecepatan tertinggi dan berbelok ke kanan maupun ke kiri. Selain itu kursi roda juga dapat diberi perintah berhenti pada semua keadaan, akan tetapi kursi roda tidak dapat menurunkan kecepatan secara langsung, melainkan melalui perintah berhenti terlebih dahulu.



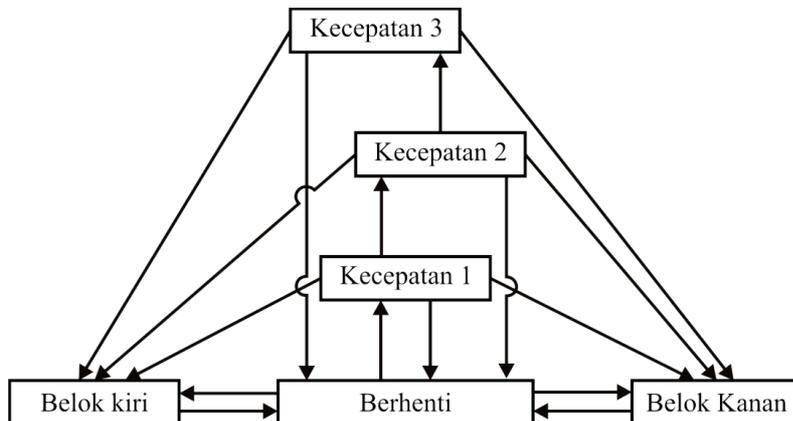
Gambar 1. Diagram Blok kontrol Hirarki.



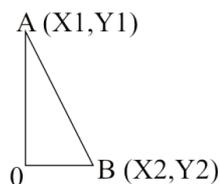
Gambar2. Proses Pemberian Perintah Kecepatan

Tabel 1. Perintah kontrol kecepatan kursi roda elektrik

No	Perintah kontrol gerak	Gerakan Bahu	Kecepatan (RPM)
1	Belok kanan	Bahu kiri digerakkan kedepan dan ditahan selama belok kanan	10
2	Belok kiri	Bahu kanan digerakkan kedepan dan ditahan selama belok kiri	10
3	Maju dengan kecepatan 1	Dari keadaan diam, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 1 kali	20
4	Maju dengan kecepatan 2	Dari keadaan diam, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 2 kali. Dari kecepatan 1, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 1 kali.	30
5	Maju dengan kecepatan 3	Dari keadaan diam, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 3 kali. Dari kecepatan 1, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 2 kali. Dari kecepatan 2, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 1 kali.	40
6	Berhenti	Bahu kanan dan kiri digerakkan maju secara bersama-sama dan ditahan selama 1,5 detik.	0



Gambar 3. State diagram kontrol gerak kursi roda elektrik.



Gambar 4. Perubahan *set point* saat berhenti

Perintah berhenti diberikan untuk menghentikan gerakan kursi roda elektrik, dimana saat menghentikan gerakan kursi roda elektrik, *set point* yang digunakan akan turun secara perlahan hingga menjadi nol, perubahan *set point* tersebut berjalan selama satu detik, yang ditunjukkan pada gambar 4. Perubahan *set point* tersebut didesain demi kenyamanan pengemudi. Penentuan *set point* pada perintah berhenti menggunakan persamaan garis lurus melalui dua titik, yang ditunjukkan pada persamaan 1 dengan gradien seperti persamaan 2. Titik A adalah titik dimana *set point* sebelumnya berada, misal ketika dari kecepatan 2 selanjutnya diberi perintah kontrol berhenti, maka titik A adalah (0,30) dan titik B adalah titik dimana kursi roda akan berhenti dalam waktu satu detik, sehingga dapat dituliskan B (1,0), dengan x adalah waktu dan y adalah perubahan *set point*.

$$y - y_1 = m(x - x_1) \tag{1}$$

$$m = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) \tag{2}$$

3. Kontrol PID

Kontrol PID digunakan untuk menjaga kestabilan kecepatan kursi roda pada jalan datar, tanjakan dan turunan. Pengambilan parameter PID menggunakan metode Ziegler Nichols, dimana penentuan parameter dilakukan dengan cara eksperimental, yang ditunjukkan pada Gambar 5. Percobaan secara *open loop* dilakukan pada *plan* berupa kursi roda elektrik untuk mendapatkan parameter-parameter kontrol PID. Dari percobaan tersebut, didapat nilai K, L dan T masing-masing sebesar 45, 0,15 dan 0,68. Nilai R dihitung berdasarkan persamaan 3 dan menghasilkan nilai sebesar 66,54, sedangkan parameter kontrol PID dapat dihitung berdasarkan persamaan 4, 5 dan 6. Dengan persamaan tersebut diperoleh parameter K_p, T_i dan T_d masing-masing sebesar 0,12, 0,3 dan 0,075. Respon kursi roda dengan parameter-parameter tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.

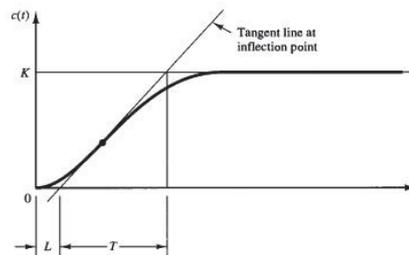
$$R = K/T \tag{3}$$

$$K_p = 1,2/RL \tag{4}$$

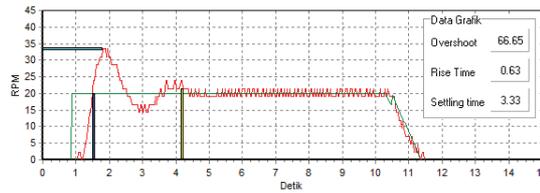
$$T_i = 2L \tag{5}$$

$$T_d = 0,5L \tag{6}$$

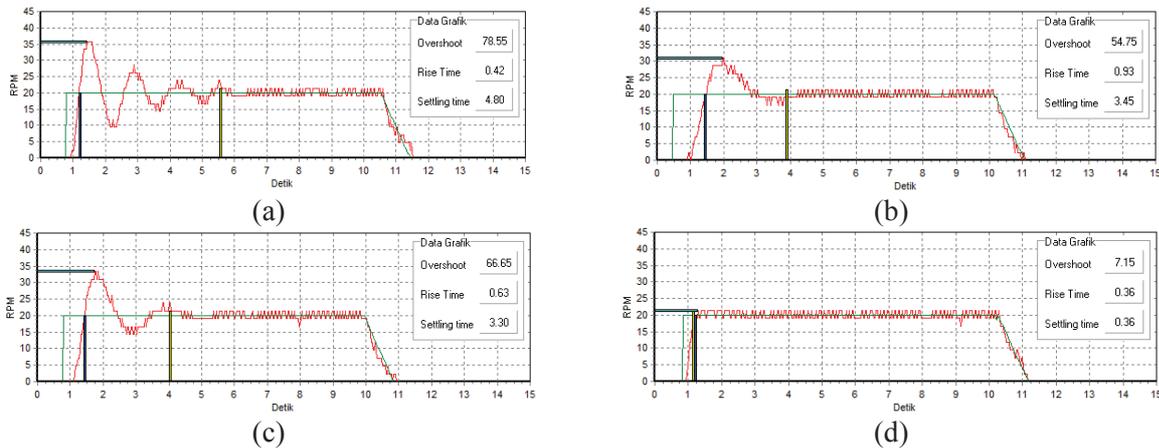
Tuning parameter dilakukan kembali, hal ini dikarenakan respon *plan* terhadap parameter dari metode Ziegler-Nichols kurang maksimal. *Tuning parameter* kedua dilakukan berdasarkan hasil dari perhitungan sebelumnya, *tuning* dilakukan dengan cara menaikkan satu persatu nilai parameter kontrol PID untuk mengetahui respon *plan*. Diawali dengan menaikkan nilai K_p dua kali dari nilai K_p sebelumnya sebesar 0,24 dengan nilai T_i dan T_d tetap seperti hasil perhitungan metode Ziegler-Nichols. Hasil dari perubahan nilai K_p ditunjukkan pada Gambar 7 (a) dengan *rise time* lebih cepat dari respon semula. Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai T_i dan T_d, maka dilakukan hal yang sama dengan menaikkan masing-masing parameter dan melihat perubahan respon dari *plan*. Masing-masing perubahan respon dari *plan* ditunjukkan pada Gambar 7 (b) untuk perubahan parameter T_i dan Gambar 7 (c) untuk perubahan parameter T_d. Pada Gambar 7 (b), parameter T_i dinaikkan dua kali dari nilai awal sebesar 0,6 sedangkan nilai K_p dan T_d tetap. Dari perubahan nilai T_i, akan dihasilkan *overshoot* yang lebih kecil dan tidak ada perubahan yang mencolok untuk parameter T_d meskipun telah dinaikkan sepuluh kali dari nilai awal sebesar 0,75.



Gambar 5. Penentuan Parameter dengan metode Ziegler Nichols.



Gambar 6. Respon motor terhadap perhitungan parameter PID Ziegler Nichols



Gambar 7. (a) Respon motor dengan nilai $K_p = 0,24$, $T_i = 0,3$ dan $T_D = 0,075$, (b) Respon motor dengan nilai $K_p = 0,12$, $T_i = 0,6$ dan $T_D = 0,075$, (c) Respon motor dengan nilai $K_p = 0,12$, $T_i = 0,3$ dan $T_D = 0,75$, (d) Respon motor dengan nilai $K_p = 2,4$, $T_i = 6$ dan $T_D = 0,075$

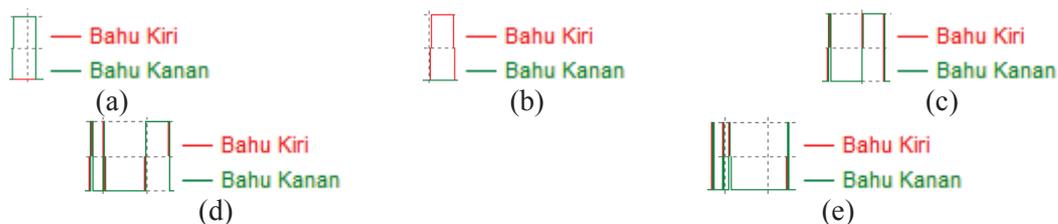
Parameter kontrol PID diubah berdasarkan respon *plan* terhadap perubahan dari masing-masing parameter. Kombinasi perubahan parameter dilakukan untuk mendapatkan respon terbaik dari *plan*, dimana kombinasi terbaik dari parameter kontrol PID yaitu dengan menaikkan nilai K_p dan T_i dua puluh kali dari nilai awal dan T_d tetap. Respon *plan* terhadap parameter tersebut ditunjukkan pada Gambar 7 (d) dengan *overshoot* sebesar 7,15, *rise time* dan *settling time* sebesar 0,36.

4. Pengujian

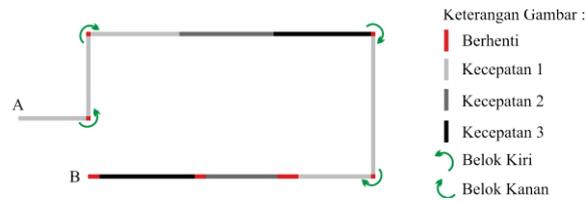
Pengujian dilakukan pada 4 orang subjek normal dengan berat badan 45 kg sampai dengan 67 kg dan setiap subjek melakukan 5 kali percobaan untuk masing-masing jenis pengujian.

a. Pengujian Dasar

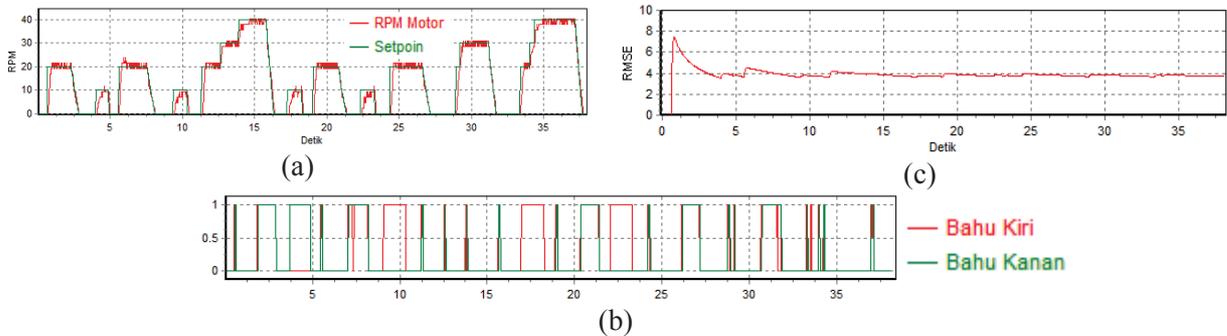
Efektifitas kontrol kecepatan kursi roda elektrik yang diusulkan akan diverifikasi melalui pengujian dasar berupa perintah belok kanan, belok kiri dan perintah maju dengan kecepatan 1 hingga kecepatan tiga. Pengujian dilakukan dengan cara memberi perintah kontrol belok kanan, belok kiri, maju dengan kecepatan 1, maju dengan kecepatan 2 dan maju dengan kecepatan 3 sebanyak 5 kali untuk setiap perintah, Gambar 8 (a) hingga Gambar 8 (e) menunjukkan hasil perintah kontrol gerak kursi roda elektrik yang diberikan oleh subjek A.



Gambar 8. (a) Perintah kontrol untuk belok kiri, (b) Perintah kontrol untuk belok kanan, (c) Perintah kontrol untuk kecepatan 1 dan berhenti, (d) Perintah kontrol untuk kecepatan 2 dan berhenti, (e) Perintah kontrol untuk kecepatan 3 dan berhenti.



Gambar 9. Skema pengujian.



Gambar 10 (a) Grafik set point dan kecepatan kursi roda saat pengujian jalan data, (b) Perintah kontrol saat pengujian jalan datar, (c) Grafik root mean square error (RMSE) antara set point dengan kecepatan kursi roda

b. Pengujian *Jalan Datar*

Percobaan pada jalan datar dilakukan setelah kontrol gerak yang diusulkan bekerja secara efektif. Percobaan pada jalan datar menggunakan lintasan seperti gambar 9. Gambar 10 (a) dan Gambar 10 (b) menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan oleh subjek B. Hasil tersebut menunjukkan kontrol kecepatan kursi roda elektrik dapat mengikuti perintah kontrol yang diberikan oleh pengemudi. Gambar 10 (a) menjelaskan bahwa kursi roda elektrik dapat bergerak sesuai dengan perintah kontrol yang diberikan dan gambar 10 (c) menunjukkan grafik RMSE antara *set point* yang diberikan dengan kecepatan kursi roda elektrik.

5. Kesimpulan

Makalah ini mengusulkan kontrol kecepatan kursi roda elektrik berbasis subject intention menggunakan bioelectrical impedance. Sistem yang diusulkan dapat menggerakkan kursi roda sesuai dengan keinginan pengendara dengan tingkat keberhasilan 75% dengan pengujian pada 4 orang subjek dan masing-masing subjek melakukan percobaan sebanyak 5 kali. Beberapa hasil percobaan diberikan untuk menunjukkan kinerja dari sistem yang diusulkan. Kinerja sistem untuk pengujian jalan tanjakan dan jalan menurun akan dibahas pada penelitian selanjutnya.

6. Daftar Referensi

- [1] Tabuenca, Javier Gracia, "Multichannel Bioimpedance Measurement". Thesis. University Of Technology, 2009.
- [2] Yunfei, Huang. "Development of A Bioimpedance-Based Human Machine Interface for Wheelchair Control". IEEE No.978-1-4244-3388-9/09, 2009.
- [3] Yunfei, Huang. "Wheelchair Control Based on Bioimpedance". International Journal of Applied Biomedical Engineering, Vol.3, No.1, pp.13-15, 2010.
- [4] Ermado, Rico. "Aplikasi Bioelectrical Impedance Sebagai Perintah Kontrol Gerakan Pada Kursi Roda Elektrik". Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [5] Sardi, Juli. "Pengembangan Bioelectrical Impedance Sebagai Control Command Pengaturan Kecepatan Gerak Kursi Roda Dengan Metoda Kontrol Hirarki". Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.