

## PENGEMBANGAN *BIOELECTRICAL IMPEDANCE* SEBAGAI *CONTROL COMMANDS* PENGATURAN KECEPATAN GERAK KURSI RODA DENGAN METODA *PID CONTROLLER*

Juli Sardi \*, Ali Basrah Pulungan\*\*

\*Jurusan Teknik Elektro UNP, Padang25171, e-mail: juli\_sardi@yahoo.com

\*\*Jurusan Teknik Elektro UNP, Padang25171, e-mail: alibp@ft.unp.ac.id

**Abstrak** - Penelitian ini memanfaatkan sinyal *bioimpedance* tubuh untuk mengatur kecepatan gerak kursi roda. *Bioimpedance* adalah bagian elektrik pasif yang terdapat pada jaringan tubuh. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu solusi bagi penderita kelumpuhan untuk membantu mobilisasi. Penelitian ini diawali dengan perancangan sistem yang meliputi alat ukur *bioimpedance* dan desain mekanik dari kursi roda. Pengukuran *bioimpedance* dilakukan dengan menginjeksikan sumber arus sinusoidal sebesar 0,5 mA<sub>rms</sub> dengan frekuensi 50 kHz ke jaringan otot tubuh (punggung) sehingga didapatkan tegangan keluaran yang berkisar antara 0 – 5 Vdc. Dengan metode *impulse* dan *manual thresholding*, tegangan diklasifikasikan menjadi beberapa sinyal kontrol untuk mengatur kecepatan dan arah kursi roda berdasarkan metode *PID Controller*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah terrealisasikannya sinyal *bioimpedance* yang digunakan sebagai referensi dalam mengontrol arah dan kecepatan dari kursi roda dengan tingkat keberhasilan 86.7 %. Kecepatan gerak kursi roda diklasifikasikan kedalam tiga jenis kecepatan, yaitu kecepatan lambat, sedang dan cepat. Kecepatan lambat memiliki nilai kecepatan sebesar 30 Cm/s. Kecepatan sedang memiliki nilai kecepatan sebesar 40 Cm/s. Sedangkan kecepatan cepat memiliki nilai kecepatan sebesar 50 Cm/s. Selain bergerak lurus, kursi roda juga bisa berbelok ke arah kiri dan kanan sesuai dengan keinginan dari pengguna kursi roda.

*Kata Kunci* : *Bioimpedance, Kursi Roda, PID Controller*

**Abstract** - In the present study, bioimpedance signals of human body was utilized to control speed of a wheelchair movement. A bioimpedance is electrically passive part contained the body tissues. The research is one of alternative solutions for patients with paralysis of the upper and lower limb. Firstly, design of system of the research consisted of bioimpedance measuring instruments and a mechanical design of the wheelchair. Bioimpedance measurement was performed by injecting a sinusoidal current source of 0.5 mA<sub>rms</sub> with a frequency of 50 kHz to muscle tissue (shoulder) to obtain the output voltage in the range of 0-5 Vdc. With impulse and manual thresholding methods, the voltage signal was classified into several controls command to adjust the speed and direction of the wheelchair control based on PID Controller. The experimental result of the research was realization of bioimpedance signal that used as a reference to control the direction and speed of the wheelchair with a success rate of 86.7 %. A wheelchair velocity was classified into three types of motion, namely slow, medium and fast. Slow speed has a rated speed of 30 Cm/s, medium speed value speed of 40 Cm/s and fast speed value of 50 Cm/s. The wheelchair can also turn to the left and the right in accordance with the wishes of wheelchair user beside to moving forward.

*Keywords* : *Bioimpedance, Wheel Chair, PID Controller*

### I. PENDAHULUAN

Penderita kelumpuhan akan kesulitan dalam melakukan mobilisasi, maka untuk berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain, penderita memerlukan suatu alat bantu. Alat bantu yang sering digunakan yaitu kursi roda. Namun, bagi penderita yang mengalami disfungsi alat gerak bagian atas dan bawah (*upper limb dan lower limb*), kursi roda konvensional tidak lagi bisa membantu karena penderita tidak mampu menggunakan

lengannya untuk menggerakkan kursi roda tersebut. Oleh sebab itu, perlu dipikirkan cara lain untuk membantu penderita yang mengalami kelumpuhan tersebut agar bisa melakukan mobilisasi dengan menggunakan kursi roda.

Salah satu alternatif yang bisa digunakan adalah dengan memanfaatkan sinyal *bioimpedance* tubuh untuk mengontrol gerakan kursi roda. Perubahan nilai *bioimpedance* ini bergantung pada pergerakan yang dilakukan

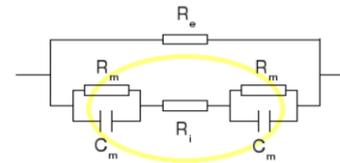
oleh bagian tubuh tertentu. Dengan adanya perubahan nilai *bioimpedance*, kita bisa menggunakannya sebagai input atau referensi pada suatu sistem. Oleh karena itu, potensi penggunaan sinyal *bioimpedance* sebagai perintah kontrol (*control commands*) untuk mengendalikan kursi roda menggantikan peran tangan manusia sangat besar.

Belakangan ini telah dilakukan berbagai penelitian terkait dengan sinyal *bioimpedance* tubuh. Salah satu pencapaian yang didapatkan adalah sinyal *bioimpedance* ini telah berhasil digunakan untuk menggerakkan kursi roda dengan beberapa gerakan sederhana, seperti gerakan maju, belok kiri dan belok kanan [2]. Namun, masih terdapat berbagai permasalahan sehingga belum layak digunakan oleh penderita yang mengalami kelumpuhan. Pada penelitian ini, kami mencoba menampilkan hasil eksperimen terhadap output sinyal *bioimpedance* yang dijadikan perintah kontrol (*control commands*) untuk mengatur kecepatan dari kursi roda.

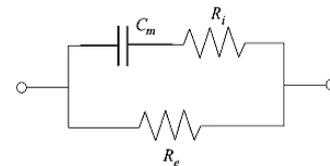
## II. LANDASAN TEORI

Seluruh material, termasuk jaringan tubuh, memiliki sejumlah sifat listrik yang berbeda-beda. *Bioimpedance* mengacu pada perlawanan dari aliran arus yang melalui jaringan tubuh [3]. Sel tubuh terdiri dari dua bagian yaitu intraseluler dan ekstraseluler. Membran sel dalam kumpulan intraseluler menentukan besar reaktansi. Model pendekatan rangkaian elektronika dari tiap sel dapat dilihat seperti Gambar 1 [3]. Jaringan tubuh merupakan gabungan dari banyak sel dengan besar dan komposisi yang berbeda menjadi sebuah *ionic salt dissolution*. Model pendekatan elektronik dari suatu jaringan tubuh seperti pada Gambar 2 [3]. Bagian elektrik pasif yang terdapat pada jaringan tubuh disebut dengan *bioimpedance*. Untuk mengukur besarnya *bioimpedance*, pada bagian tubuh tertentu harus dialiri arus listrik yang kecil melalui suatu elektroda. Besar *bioimpedance* yang terukur bisa diketahui dengan menggunakan hukum Ohm [3].

$$Z = \frac{V}{I}, \text{ Dimana } V \text{ adalah tegangan dan } I \text{ adalah arus} \quad (1)$$



**Gambar 1.** Model pendekatan rangkaian elektronika dari sel



**Gambar 2:** Model pendekatan elektronika dari suatu jaringan tubuh

Keterangan :

$R_i$  : *Intracellular Resistance*

$C_m$  : *Intracellular Reactance*

$R_e$  : *Extracellular Resistance*

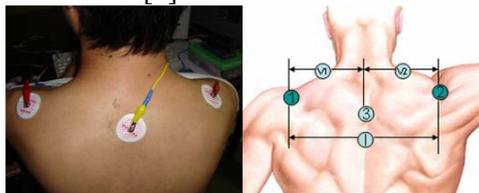
## III. METODA

### A. Pengukuran Bioimpedance

Pengukuran *bioimpedance* dilakukan pada bagian bahu (punggung), karena pengukuran *bioimpedance* yang paling optimal terdapat pada bagian tersebut [2]. Metode pengukuran *bioimpedance* yang dilakukan yaitu dengan metode empat elektroda, tetapi terdapat sedikit modifikasi. Pada umumnya metode empat elektroda memerlukan 6 buah elektroda untuk dua kanal, namun pada aplikasi ini hanya akan digunakan tiga buah elektroda. Elektroda 1 dan 2 digunakan untuk stimulasi arus dan masing-masing juga digunakan sebagai detektor tegangan. Elektroda nomor 3 bertindak sebagai *ground* dari kedua kanal [4]. Konfigurasi pemasangan elektroda diperlihatkan pada Gambar 3 [4].

Elektroda akan diletakkan di daerah punggung, tepatnya yaitu pada jaringan otot trapezius (titik v1 dan v2). Titik 3 digunakan sebagai referensi. Tegangan yang akan diukur oleh rangkaian instrumentasi yaitu antara titik v1 dan 3 dan titik v2 dan 3. Elektroda tersebut terintegrasi dengan rangkain pengolah *bioimpedance*. Penggunaan frekuensi kerja sebesar 50 kHz didasarkan pada hasil uji coba respon *bioimpedance* pada pundak terhadap

bermacam-macam frekuensi arus yang distimulasikan [5].



**Gambar 3.** Konfigurasi pemasangan elektroda

### B. Sistem Pengolah Bioimpedance

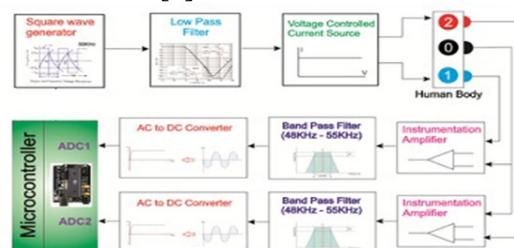
Sinyal *bioimpedance* akan diukur dengan menggunakan dua bagian rangkaian yang terintegrasi, yaitu rangkaian stimulasi dan rangkaian instrumentasi. Rangkaian stimulasi merupakan rangkaian pembangkit sumber arus bolak-balik dengan frekuensi 50 kHz dan amplitudo maksimum sebesar  $0,5 \text{ mA}_{\text{rms}}$  [2]. Sumber arus ini kemudian akan diinjeksikan ke tubuh melalui elektroda. Bagian yang lainnya yaitu rangkaian instrumentasi. Rangkaian ini digunakan untuk mengukur beda potensial pada tubuh yang distimulasi. Besar tegangan yang terukur tersebut mewakili besarnya *bioimpedance*. Sistem ini dinamakan dengan sistem pengolah *bioimpedance*. Output dari rangkaian ini akan dikirim ke ADC mikrokontroler. Blok diagram dari sistem tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.

Stimulasi yang diberikan yaitu berupa sumber arus sinusoidal sebesar  $0,5 \text{ mA}_{\text{rms}}$  dengan frekuensi 50 kHz. Sumber arus ini dibangkitkan oleh rangkaian *sine wave generator* yang terhubung ke rangkaian *Voltage Controlled Current Source* (VCCS). Rangkaian *sine wave generator* terdiri dari pembangkit gelombang kotak dengan frekuensi 50 kHz, *low pass filter* dengan frekuensi *cut-off* 50 kHz, dan *non-inverting amplifier*. Tegangan sinusoidal yang dihasilkan dari rangkaian *sine wave generator* kemudian dimasukkan ke rangkaian VCCS jembatan arus Howland yang dimodifikasi. Rangkaian ini akan mengubah tegangan sinus menjadi arus. Frekuensi arus sama dengan frekuensi tegangan input, sedangkan besar arusnya diatur dengan menggunakan resistor variabel yang terpasang pada rangkaian.

Perubahan *bioimpedance* didapat dari besar tegangan elektroda positif ( $v_2$ ) terhadap referensi dan elektroda negatif ( $v_1$ ) terhadap

referensi. Kedua tegangan tersebut kemudian dikuatkan dengan seperangkat rangkaian *instrumentation amplifier* yang memiliki *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR) yang tinggi. Karena hasil perubahan *bioimpedance* dimodulasi pada frekuensi 50 kHz, pasti akan terdapat gangguan pada frekuensi rendah akibat dari adanya sinyal otot (EMG) yang ikut terukur dan pergerakan-pergerakan artefak. Untuk memperbaikinya, tegangan yang terukur dimasukkan ke rangkaian *band pass filter* dengan frekuensi *center*-nya terletak di sekitar 50 kHz. Nilai absolut dari *bioimpedance* akan dihasilkan dengan menggunakan rangkaian *rectifier*. Rangkaian penguat tegangan akhir juga dipasang setelah rangkaian *rectifier* sebagai kalibrator tegangan agar didapatkan range tegangan keluaran antara 0 sampai 5 Volt.

Output dari rangkaian sistem pengolah *bioimpedance* tersebut dijadikan input oleh sistem minimum Mikrokontroler. Hasil pengukuran *bioimpedance* ini kemudian dikirim ke sistem mikrokontroler dengan menggunakan 10 bit *Analog to Digital Converter* (ADC). Hasil pengukuran tersebut dikirim ke PC dengan menggunakan *USB to Serial* dengan Frekuensi *sampling* ADC diatur sebesar 100 hz [1].

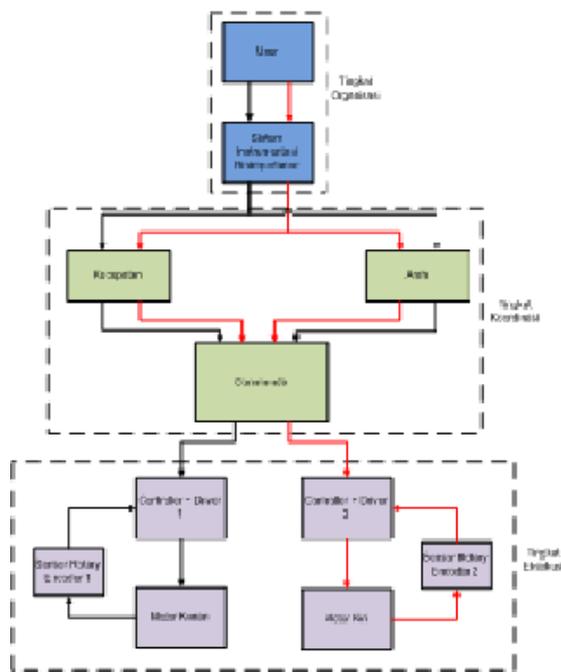


**Gambar 4.** Diagram blok sistem instrumentasi pengukuran *bioimpedance*.

### C. PID Controller dan Pengaturan Kecepatan Kursi Roda

Hasil pembacaan tegangan *bioimpedance* oleh ADC internal mikrokontroler akan digunakan sebagai *set point* pada kontroler PID untuk mengatur pergerakan motor DC yang terpasang pada kursi roda. Kontroler ini berguna untuk menstabilkan kecepatan motor saat diberi beban yang berbeda-beda, sehingga kursi roda mampu bergerak sesuai dengan mode kecepatan yang diinginkan. Kontroler PID yang digunakan adalah PID digital yang sudah

terintegrasi di dalam program mikrokontroler. Kontroler PID membutuhkan *feedback* untuk menjalankan fungsi kontrolnya. Karena yang dikontrol adalah kecepatan, maka sebuah sensor *rotary encoder* dipasang pada poros motor untuk mendeteksi kecepatan putaran motor. Keluaran dari sensor ini yaitu berupa gelombang kotak yang frekuensinya berubah-ubah sesuai dengan besar kecepatan putaran motor. Untuk mengukur kecepatan dari putaran motor, keluaran dari sensor ini bisa langsung dihubungkan ke mikrokontroler dan dihitung besar frekuensinya. Namun untuk mempermudah kerja mikrokontroler, keluaran gelombang kotak dari sensor ini diubah menjadi tegangan DC terlebih dahulu dengan menggunakan rangkaian *frequency to voltage converter (f to v)*. Tegangan keluaran dari rangkaian ini kemudian diubah menjadi data digital dengan menggunakan ADC. Diagram blok keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



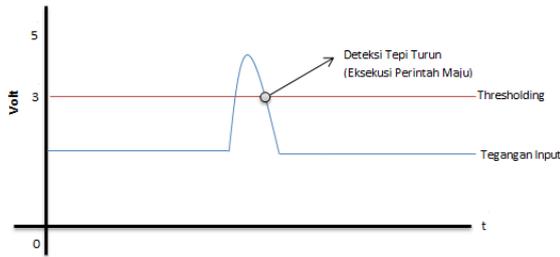
Gambar 5. Diagram blok keseluruhan sistem

*Bioimpedance* tubuh ini akan diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal, sehingga di hasilkan tegangan keluaran sebesar 0 - 5 Volt. Tegangan tersebut akan dijadikan input oleh mikrokontroler untuk mengendalikan gerak

dari kursi roda. Masing-masing bahu akan menghasilkan satu tegangan input. Tegangan keluaran tersebut akan diklasifikasikan menjadi beberapa sinyal kontrol untuk kecepatan dan arah dari kursi roda. Sehingga akan didapatkan tiga jenis pengklasifikasian kecepatan gerak dari kursi roda, yaitu kursi roda dengan kecepatan lambat, sedang dan cepat.

Pengaturan kecepatan dari kursi roda ini dirancang berdasarkan keinginan (*intentions*) dari subjek yang akan menjalankan kursi roda. Dari percobaan awal yang dilakukan didapatkan kecepatan minimal dari kursi roda sebesar 24 Cm/s dan kecepatan maksimal dari kursi roda sebesar 58 Cm/s. Dari range kecepatan yang dihasilkan tersebut, maka di buat 3 klasifikasi (mode) kecepatan dari kursi roda. Kecepatan mode 1 (lambat) dengan range kecepatan 30 Cm/s, kecepatan mode 2 (sedang) dengan range kecepatan 40 Cm/s dan kecepatan mode 3 (cepat) dengan range kecepatan 50 Cm/s.

Proses diawali dengan inialisasi yang bertujuan untuk membuat setingan awal terhadap sistem. Kemudian dilakukan proses pengukuran dan pembacaan dari *bioimpedance* tubuh. *Bioimpedance* ini akan dijadikan input dalam mengontrol gerakan kursi roda. Perintah untuk maju dan belok berbeda. Perintah maju menggunakan kedua bahu sedangkan perintah belok hanya menggunakan satu bahu. Apabila kedua output *bioimpedance* dari masing-masing bahu yang diberikan besar dari *threshold* maka kursi roda bergerak maju dengan tingkatan kecepatan yang telah ditentukan. Proses yang sama juga digunakan untuk menambah kecepatan kursi roda. Sedangkan apabila hanya satu output *bioimpedance* dari salah satu bahu yang melebihi *threshold* dan lamanya besar dari 3 detik maka akan terdeteksi sebagai perintah belok dari kursi roda. Pada penelitian ini diberikan *threshold* sebesar 3 Volt. Mikrokontroler akan mengeksekusi perintah ketika tegangan input lebih besar dari 3 volt. Dan untuk menghasilkan sinyal impulse dilakukan deteksi tepi turun. Untuk lebih jelasnya mengenai proses perintah maju bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses Eksekusi Perintah Maju

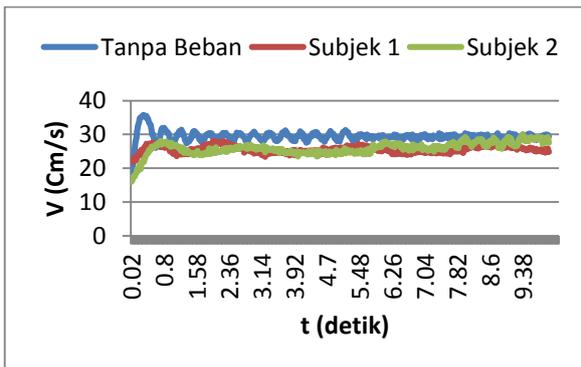
Untuk menghitung besarnya kecepatan motor digunakan rumus sebagai berikut:

$$V = \omega R; V = 2\pi fR \quad (2)$$

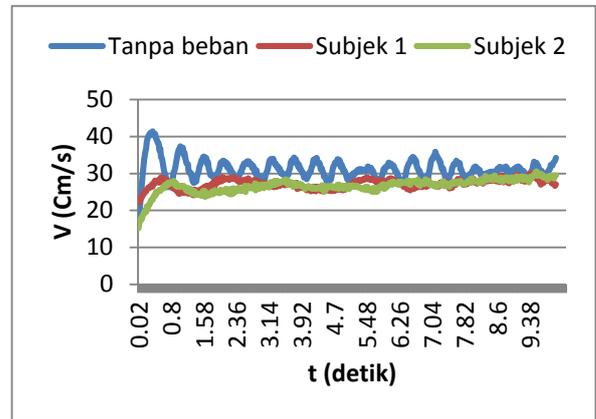
F merupakan frekuensi yang didapatkan dari output sensor rotary encoder yang dipasang sebagai feedback pada motor DC, sedangkan R merupakan jari-jari dari kursi roda.

Untuk melihat respon *Controller PID* yang digunakan, pengambilan data kecepatan kursi roda dilakukan saat kondisi kursi roda tanpa beban dan saat kursi roda diberi beban dengan menggunakan dua orang subjek untuk menjalankan kursi roda secara bergantian. Percobaan tanpa beban dan berbeban masing-masing dilakukan sepuluh kali percobaan. Setelah dilakukan kalibrasi, subjek diminta untuk menjalankan kursi roda dengan memanfaatkan sinyal *bioimpedance* tubuh sebagai perintah kontrol dengan berbagai jenis kecepatan yang ada. Kemudian data kecepatan kursi roda tersebut dikirim ke PC melalui komunikasi serial yang ada pada sistem minimum mikrokontroler. Waktu pengambilan data selama 10 detik untuk setiap percobaan dengan frekuensi sampling 50 Hz. Semua data tersebut disimpan dalam format TXT.

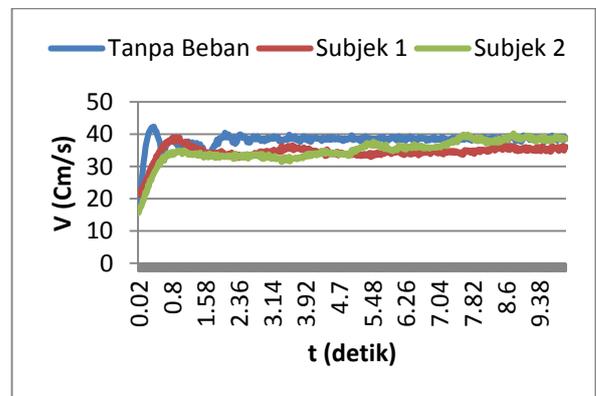
IV. HASIL PENELITIAN



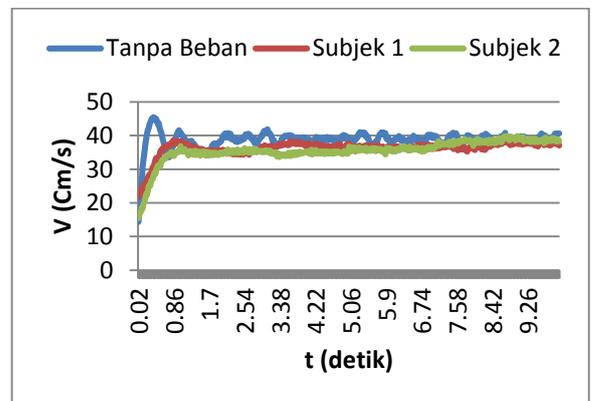
Gambar 7. Hasil Kecepatan Mode 1 (Lambat) Roda Sebelah Kanan



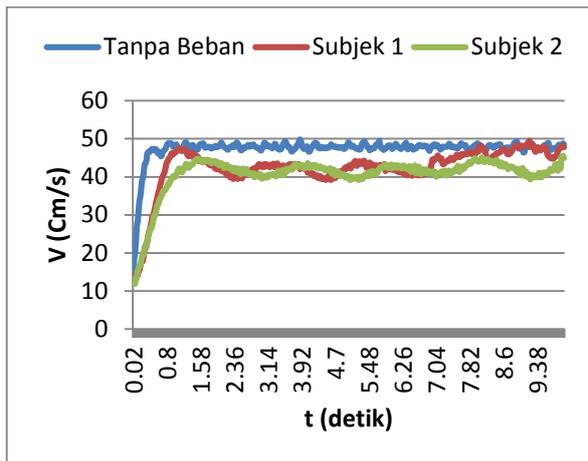
Gambar 8. Hasil Kecepatan Mode 1 (Lambat) Roda Sebelah Kiri



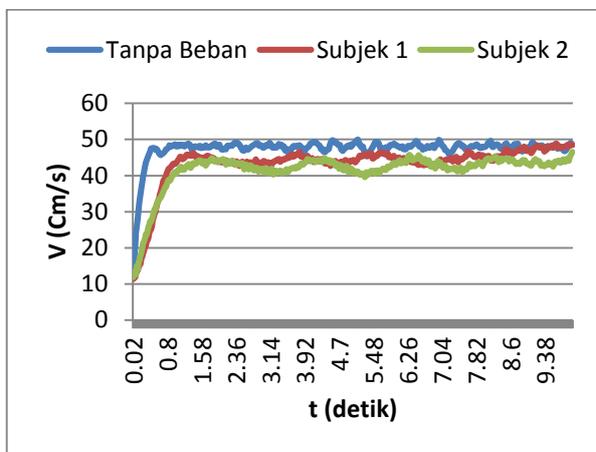
Gambar 9. Hasil Kecepatan Mode 2 (Sedang) Roda Sebelah Kanan



Gambar 10. Hasil Kecepatan Mode 2 (Sedang) Roda Sebelah Kiri



Gambar 11. Hasil Kecepatan Mode 3 (Cepat) Roda Sebelah Kanan



Gambar 12. Hasil Kecepatan Mode 3 (Cepat) Roda Sebelah Kiri

## V. PEMBAHASAN

### A. Kecepatan Mode 1 (Lambat)

Kecepatan kursi roda dengan mode 1 (lambat) ini merupakan klasifikasi jenis kecepatan yang pertama dari kursi roda. Apabila kedua bahu digerakan kedepan selama sesaat dan mengakibatkan tegangan input melebihi *threshold*, kemudian bahu kita kembalikan ke posisi awal maka kursi roda akan bergerak dengan kecepatan mode 1. Kursi roda akan terus bergerak dengan kecepatan ini sampai ada perintah selanjutnya yang kita berikan. Kecepatan mode 1 ini merupakan

kecepatan yang paling lambat jenis kecepatan kursi roda lainnya. Dari hasil eksperimen yang dilakukan, didapatkan hasil kecepatan kursi roda seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Nilai kecepatan kursi roda mode 1 ini diatur sebesar 30 Cm/s. dari hasil percobaan yang dilakukan terlihat respon kecepatan dari kursi roda. Dimana kecepatan kursi roda perlahan menuju nilai target (*steady state*) yang telah ditentukan baik disaat kondisi tanpa beban dan ketika kursi roda diberi beban. Nilai eror rata-rata kecepatan kursi roda mode 1 (lambat) saat Tanpa Beban selama 10 detik adalah sebesar 0.576 Cm/s untuk roda kanan dan 1.213 Cm/s untuk roda kiri. Untuk Subjek 1, eror rata-rata kecepatan kursi roda adalah sebesar 4.46 Cm/s untuk roda kanan dan 2.807 untuk roda kiri. Eror rata-rata kecepatan kursi roda untuk Subjek 3 adalah sebesar 4.107 Cm/s untuk roda kanan dan 3.322 Cm/s untuk roda kiri. Terdapat perbedaan nilai eror kecepatan kursi roda karena pengaruh berat beban dari kursi roda.

### B. Kecepatan Mode 2 (Sedang)

Kecepatan kursi roda mode 2 merupakan jenis kecepatan kursi roda yang kedua dari klasifikasi jenis kecepatan kursi roda yang ada. Kecepatan dengan mode 2 ini baru bisa terjadi setelah melalui kecepatan mode 1. Ketika kursi roda bergerak dengan kecepatan mode 1 maka untuk meningkatkan kecepatannya menjadi mode 2 kedua bahu digerakan lagi kedepan selama sesaat dan mengakibatkan tegangan input melebihi *threshold*, kemudian bahu kita kembalikan ke posisi awal maka kursi roda akan bergerak dengan kecepatan mode 2. Kursi roda akan terus bergerak dengan kecepatan ini sampai ada perintah selanjutnya yang kita berikan. Dari hasil eksperimen yang dilakukan, didapatkan hasil kecepatan kursi roda seperti pada gambar 9 dan 10.

Nilai kecepatan kursi roda mode 2 ini diatur sebesar 40 Cm/s. dari hasil percobaan yang dilakukan terlihat respon kecepatan dari kursi roda. Dimana kecepatan kursi roda perlahan menuju nilai target (*steady state*) yang telah ditentukan baik disaat kondisi tanpa beban dan ketika kursi roda diberi beban. Nilai eror rata-rata kecepatan kursi roda mode 2 (Sedang) saat Tanpa Beban selama 10 detik

adalah sebesar 1.85 Cm/s untuk roda kanan dan 1.239 Cm/s untuk roda kiri. Untuk Subjek 1, eror rata-rata kecepatan kursi roda adalah sebesar 5.517 Cm/s untuk roda kanan dan 3.779 untuk roda kiri. Eror rata-rata kecepatan kursi roda untuk Subjek 3 adalah sebesar 5.034 Cm/s untuk roda kanan dan 4.41 Cm/s untuk roda kiri. Terdapat perbedaan nilai eror kecepatan kursi roda karena pengaruh berat beban dari kursi roda.

### C. Kecepatan Cepat

kecepatan kursi roda mode 3 merupakan jenis kecepatan kursi roda yang paling cepat dari klasifikasi jenis kecepatan kursi roda yang ada. Kecepatan dengan mode 3 ini baru bisa terjadi setelah melalui kecepatan mode 2. Ketika kursi roda bergerak dengan kecepatan mode 2 maka untuk meningkatkan beban dan ketika kursi roda diberi beban. Nilai eror rata-rata kecepatan kursi roda mode 3 (Cepat) saat Tanpa Beban selama 10 detik adalah sebesar 2.617 Cm/s untuk roda kanan dan 2.513 Cm/s untuk roda kiri. Untuk Subjek 1, eror rata-rata kecepatan kursi roda adalah sebesar 7.593 Cm/s untuk roda kanan dan 6.581 Cm/s untuk roda kiri. Eror rata-rata kecepatan kursi roda untuk Subjek 3 adalah sebesar 9.364 Cm/s untuk roda kanan dan 8.401 Cm/s untuk roda kiri. Terdapat perbedaan nilai eror kecepatan kursi roda karena pengaruh berat beban dari kursi roda.

## VI. KESIMPULAN

Pemanfaatan sinyal bioelectrical impedance atau bioimpedance sebagai control commands pengaturan kecepatan gerak dari kursi roda berhasil direalisasikan pada penelitian ini dengan tingkat keberhasilan 86.7 %. Dengan metode PID Controller, kecepatan gerak dari kursi roda ini diklasifikasikan menjadi 3 jenis kecepatan, yaitu kecepatan Lambat dengan kecepatan sebesar 30 Cm/s, kecepatan Sedang dengan kecepatan 40 Cm/s dan kecepatan Cepat dengan kecepatan 50 Cm/s. Kecepatan kursi roda ini ditentukan berdasarkan keinginan (instentions) dari pengguna kursi roda. Selain bergerak lurus, kursi roda juga bisa berbelok ke arah kiri dan kanan sesuai dengan keinginan dari pengguna kursi roda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bejo, Agus., "C & AVR Rahasia kemudahan Bahasa C Dalam Mikrokontroler ATmega8535", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2008.
- [2]. Ermado, Rico . "Aplikasi Bioelectrical Impedance Sebagai Perintah Kontrol Gerakan Pada Kursi Roda Elektrik", *Tugas Akhir.*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. 2011.
- [3]. Tabuenca, Javier Gracia, "Multichannel Bioimpedance Measuremet, Master science Thesis", Tampere University Of Technology, 2009
- [4]. Yunfei, H. "Wheelchair Control Based on Bioimpedance". International Journal of Applied Biomedical Engineering Vol.3, No.1, pp.13-15, 2010.
- [5]. Y. F. Huang, P. Phukpattaranont, B. Wongkittisuksa, and S. Tanthanuch, "Development of a bioimpedance-based human machine interface for wheelchair control", Proceedings of the ECTI International Conference (ECTI-CON 2009), pp. 1032-1035, Pattaya, Thailand, May 2009.

### Biodata Penulis

**Juli Sardi**, Menamatkan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang (UNP) tahun 2010. Pendidikan S2 bidang Elektronika diselesaikan di Institut teknologi Sepuluh Nopember (ITS) tahun 2013. Saat ini penulis terdaftar sebagai dosen Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.

**Ali Basrah Pulungan**, Menamatkan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara (USU) tahun 1999. Pendidikan S2 bidang Teknik Tenaga Listrik diselesaikan di Universitas Gajah Mada (UGM) tahun 2007. Saat ini penulis terdaftar sebagai dosen Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.