

Desain Perancangan dan Algoritma Robot Tari Humanoid ERISA versi 1.0

Adnan Rachmat Anom Besari, Dwi Kurnia Basuki, Gigih Prabowo
Reza Hilman Milzam, Nuril Esti Khomariah, Dewi Rahma Wati, Tri Suliswanto

Abstract -- Paper ini berisi tentang desain perancangan dan algoritma robot tari humanoid ERISA versi 1.0. yang merupakan singkatan dari EEPIS Robotics Intelligent in Sense of Art. Desain perancangannya meliputi desain mekanik, aktuator, sensor, kontroler, serta algoritma pemrograman. Desain mekanika yang dibuat menggunakan 27 derajat kebebasan dimana 12 untuk kaki dan 15 untuk badan, lengan dan kepala. Sistem sensor yang dipakai adalah sensor filter suara dan sensor kemiringan. Penelitian ini merupakan penelitian awal dalam membuat robot tari humanoid, khususnya penerapan kontrol keseimbangan dengan feedback sensor IMU (inertial measurement unit) digunakan untuk menjaga kestabilan robot saat posisi kritis akan jatuh. Hasil pengujian menunjukkan robot dapat menjaga kestabilan pada saat diberikan gangguan dorongan ketika berjalan ke depan atau ke samping.

Kata Kunci - kontrol keseimbangan, robot tari humanoid, Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI).

I. PENDAHULUAN

Robot humanoid adalah robot yang dibentuk berdasarkan penampakan tubuh manusia. Secara umum robot humanoid memiliki bagian tubuh seperti kepala, badan, dua buah lengan dan dua kaki. Robot humanoid pada umumnya dibuat untuk melakukan primitive behaviour dari manusia. Diantaranya berjalan, berlari, melompat, memegang, melempar, mengambil dan memindahkan objek serta pekerjaan-pekerjaan yang memerlukan ketelitian seperti kemampuan yang dimiliki manusia. Salah satu kemampuan manusia yang ingin diadopsi oleh robot humanoid adalah menari. Menari adalah pekerjaan yang tidak semua manusia memiliki kecakapan atau bakat untuk melakukannya.

Seorang penari memerlukan latihan berkali-kali untuk dapat menampilkan tarian dengan baik. Jika ingin membuat sebuah robot yang memiliki kemampuan menari seperti manusia diperlukan gabungan banyak cabang penelitian ilmu robotika. Diantaranya adalah cabang ilmu mekatronika yang dapat menunjang pemilihan aktuator dan desain mekanika gerak robot *humanoid* agar dapat membuat gerakan yang luwes seperti manusia menari.

Cabang ilmu elektronika khususnya teknik kontrol yang

dapat menunjang bagaimana desain controller yang mampu mensinkronkan semua gerakan motor yang ada pada tiap-tiap joint robot. Dan juga bagaimana memilih sensor yang tepat untuk memberikan feedback pada robot agar robot dapat menjaga tetap dalam posisi seimbang. Kemudian teknologi pemrosesan signal digital (digital signal processing) diperlukan untuk dapat mengidentifikasi beat-beat lagu pengiring agar sesuaikan dengan gerakan robot [1].

Tahun 2009 adalah awal sejarah perkembangan robot tari di tanah air, dimana dimulainya Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) pertama kali. KRSI merupakan ajang kompetisi robot humanoid yang disertai dengan unsur seni dan budaya bangsa. Sampai sekarang KRSI telah diadakan sebanyak 4 kali dan tahun ini (2013) adalah kali kelima kontes robot seni dilaksanakan di Indonesia. Sesuai dengan peraturan lomba, robot harus dapat menari di atas arena persegi panjang berwarna merah atau biru berukuran (3000 x 2000) mm. Tidak hanya menari, robot juga diharuskan untuk berjalan dari satu tempat ke tempat lain dan juga menghindari daerah tertentu. Disamping itu gerakan robot harus sinkron dengan irama musik pengiring dan hanya diperbolehkan melakukan gerakan tari saat ada musik saja. Robot diharuskan berjalan dan menari dari zona awal sampai zona akhir. Robot diberikan poinalti pengurangan poin ketika robot jatuh atau keluar dari zona. Peraturan yang sekarang agak berbeda dibanding dengan tahun sebelumnya, yaitu adanya ketentuan minimal jumlah derajat kebebasan / DOF (*degree of freedom*) yang dimiliki robot sebanyak 21 sendi. Robot ERISA yang merupakan singkatan dari EEPIS Robotics Intelligent in Sense of Art (robot cerdas dengan cita rasa seni) dibuat sesuai dengan tema KRSI sehingga harus menyerupai gerakan dalam tarian tersebut.

Robot ERISA versi 1.0 didesain menyerupai struktur tubuh manusia dengan dua tangan, dua kaki dan satu kepala. Robot didesain sedemikian rupa agar dapat bergerak leluasa menyerupai gerakan penari yang sebenarnya. Dalam menyelesaikan tugas menari, robot dilengkapi sensor filter suara yang mendukung gerakan robot agar selaras dengan irama musik. Sensor kemiringan digunakan untuk menjaga kestabilan robot agar dapat berdiri dan berjalan dengan seimbang, mengantisipasi agar tidak jatuh dan pada akhirnya dapat mencapai finish.

II. DESAIN PERANCANGAN

Perancangan sistem pada robot tari humanoid ERISA versi 1.0 meliputi desain mekanik, aktuator, sistem sensor

Penelitian ini didanai dan didukung oleh EEPIS Robotics Research Center (ER2C) dan Laboratorium Robotika di Program Studi Teknik Komputer -Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).

All author are with EEPIS Robotics Research Center (ER2C) Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

Correspondent author : anom@eeepis-its.edu

kontroler, algoritma pemrograman dan kontrol. Berikut ini akan dibahas pada bagian berikut ini:

A. Desain Mekanik dan Aktuator

Mekanik robot ERISA versi 1.0 didesain menyerupai postur tubuh manusia yang memiliki dua tangan, dua kaki dan satu kepala. Untuk dapat mendukung pergerakan pada saat menari, robot menggunakan penggerak / aktuator berupa motor servo. Robot ERISA versi 1.0 memiliki 27 derajat kebebasan, yaitu 12 sendi pada kedua kaki, 12 sendi pada kedua tangan dan bahu, 1 sendi untuk badan serta 2 sendi untuk kepala. Untuk membuat mekanik robot dan komponen pendukung lainnya, dibutuhkan beberapa macam bahan Aluminium digunakan sebagai rangka robot karena kuat, ringan dan mudah dibentuk sesuai kebutuhan. Akrilik digunakan sebagai telapak tangan dan alas kaki dari robot untuk menyesuaikan dengan lintasan robot. Karet digunakan untuk lapisan badan dan kepala robot dikarenakan bahan karet yang ringan. Nilon digunakan sebagai bahan dari baju robot. Robot ERISA versi 1.0 ditampilkan pada KRSI 2012 dengan tema “Robot Tari Piring” dengan meraih penghargaan Desain Artistik Terbaik. Robot ERISA versi 1.0 beserta desain artistiknya dapat dilihat pada Gambar 1.

Jenis aktuator yang digunakan robot ERISA adalah motor servo. Mekanik robot ERISA mengkombinasikan 2 tipe



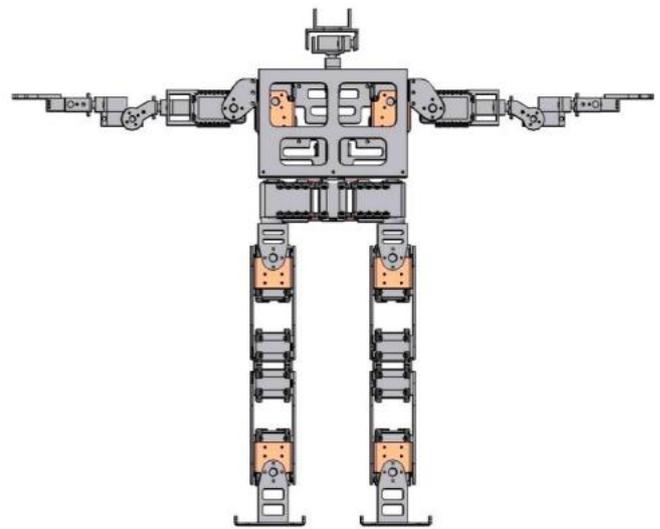
Gambar 1. Desain artistik ERISA versi 1.0

servo yang berbeda yaitu servo Dynamixel dan servo mini Hitec. Pemilihan jenis servo telah disesuaikan berdasarkan kebutuhan torsi dan ukurannya. Untuk bagian kaki robot menggunakan motor servo Dinamixel tipe AX-18 karena mempunyai torsi yang cukup besar untuk menahan berat robot keseluruhan ketika diam ataupun bergerak. Servo Dynamixel ini lebih banyak digunakan pada bagian-bagian robot yang membutuhkan torsi yang cukup besar seperti pada kaki serta pundak tangan. Hal ini dilakukan agar saat

robot melakukan pergerakan, motor servo tidak kelebihan beban sehingga dapat bergerak dengan bebas. Untuk servo *dynamixel* ini cara pengaksesannya dilakukan dengan data serial dan dirangkai secara seri dengan ID yang berbeda. Servo ini ditempatkan pada bagian lutut kaki, pinggul, pergelangan kaki dan bahu tangan yang merupakan titik-titik yang menopang berat paling banyak. Servo mini *Hitec* memiliki ukuran yang lebih kecil serta torsi yang tidak begitu kuat dibandingkan dengan servo *Dynamixel*. Servo ini digunakan karena pada bagian tangan robot diperlukan servo dengan ukuran yang kecil dan torsi yang tidak begitu besar. Kecepatan maksimal dari servo ini adalah 0.11 sec/600. Servo ini dapat beroperasi 180° ketika diberi sinyal pulsa mulai dari 600 μ sec ke 2400 μ sec.

Berdasarkan kebutuhan servo yang dilihat dari ukuran, robot menggunakan dua tipe servo mini yaitu *Hitec HS-85MG+ Mighty Micro* yang ditempatkan pada bagian lengan dan siku tangan dan servo *Hitec HS-65HB+ Mighty Feather* yang ditempatkan pada pergelangan tangan robot yang memang memerlukan servo dengan ukuran yang kecil.

Pada desain mekanik tangan, masing-masing terdapat enam buah motor servo yang terdiri dari dua tipe, yaitu 2



Gambar 2. Desain mekanik ERISA versi 1.0

buah servo Dynamixel AX-18 dan 4 buah servo mini Hitec. Pada bagian bahu robot menggunakan servo dynamixel type AX-18 dikarenakan besar torsi servo ini cukup untuk menopang bagian di sepanjang tangan robot serta beberapa servo mini penggerakannya. Untuk lengan, siku dan pergelangan tangan robot digunakan 4 buah servo mini Hitec. Servo ini memiliki ukuran dan torsi yang lebih kecil.

Desain seperti ini bertujuan untuk membuat gerakan tangan yang leluasa menyerupai gerakan manusia dengan memperbanyak sendi / dof (degree of freedom). Tetapi tetap menjaga ukuran tangan agar terlihat seimbang dengan ukuran tubuh robot secara keseluruhan. Desain mekanik

robot dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Desain Kontroler dan Sensor

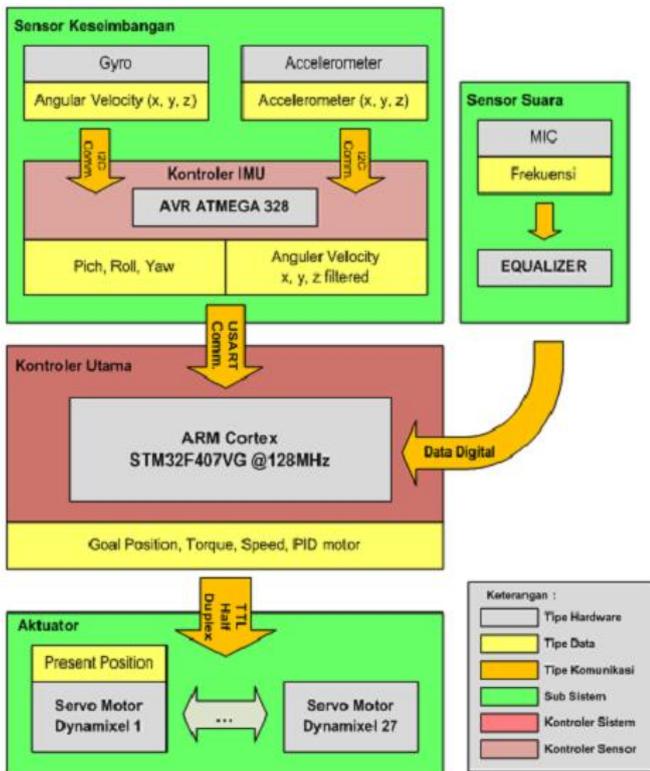
Kontroler digunakan untuk memproses data dari sensor sehingga menghasilkan output ke aktuator yang merupakan respon robot berupa gerakan. Untuk memproses dan mengontrol semua sistem yang ada pada robot ERISA versi 1.0, digunakan satu jenis mikrokontroler yaitu ARM Cortex M4. Mikrokontroler ini yang akan menjadi pusat dari semua sistem robot. Mikrokontroler ini digunakan untuk memproses data yang diperoleh dari beberapa sensor pada robot. Dari data tersebut kemudian diproses kembali oleh mikrokontroler untuk menentukan bagaimana gerakan robot selanjutnya melalui aktuator (servo). Blok diagram sistem kontrol dari robot ERISA ditunjukkan seperti pada Gambar 3.

Kontroler utama digunakan untuk memproses dan mengontrol semua sistem yang ada pada robot. Robot

pada robot ERISA versi 1.0 didesain dapat memberikan informasi kondisi robot dan lingkungan disekitarnya, seperti posisi kemiringan robot dengan sensor IMU (inertial measurement unit) khususnya data kemiringan (gyroscope). Juga bagaimana mendeteksi musik pengiring sedang dimainkan atau tidak dengan menggunakan sensor filter suara.

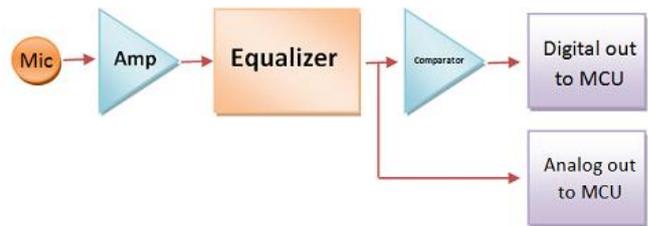
Pada sistem perlombaan KRSI, robot boleh melakukan gerakan tari hanya saat terdengar suara musik pengiring saja. Oleh karena itu diperlukan sensor suara sebagai pendeteksi adanya suara musik atau tidak. Sensor filter suara digunakan untuk mendeteksi beat lagu pada musik pengiring tarian. Yang dimaksud dengan beat pada lagu pengiring adalah alat musik yang terdengar dominan dalam musik pengiring tarian. Biasanya yang dipilih adalah beat yang sering muncul dan suaranya khas. Cara kerja dari sensor filter suara ini adalah dengan mengubah besaran suara menjadi besaran listrik yang akan menjadi input pada mikrokontroler. Blok diagram sensor filter suara dapat dilihat pada Gambar 4.

MIC digunakan sebagai sensor suara yang mengubah



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Kontrol Robot ERISA

ERISA versi 1.0 menggunakan ARM STM32F407VG sebagai mikrokontroler utama karena memiliki frekuensi yang cepat yaitu 168 MHz. Kelebihan mikrokontroler ini dapat mengakses data sensor melalui USART dengan mudah. Sensor digunakan untuk mengetahui keadaan sekitar robot dengan begitu robot akan mengetahui gerakan apa yang seharusnya dilakukan mengacu pada keadaan yang di dapat tadi. Dibutuhkan lebih dari satu sensor untuk mengetahui keadaan sekitar robot secara maksimal. Sensor



Gambar 4. Blok diagram rangkaian sensor filter suara

energi akustik (suara) menjadi energi listrik. Lalu data outputnya masuk ke pre-Amp atau penguat awal. Pre-Amp merupakan penguat awal dari rangkaian audio dimana berfungsi untuk menguatkan output yang diberikan oleh mic kondensator sebelum masuk filter dan amplifier. Output dari Pre-Amp masuk ke dalam rangkaian equalizer dengan tipe BA3812L. Tipe ini memiliki 5 channel frekuensi yang berbeda – beda, yaitu 100 Hz, 300 Hz, 1KHz, 3KHz, dan 10 KHz. Output dari rangkaian equalizer akan masuk pada komparator untuk mengkonversi data analog menjadi data digital. Selain masuk ke komparator data juga masuk langsung ke ADC mikrokontroller untuk kemudian dilakukan pemrosesan sinyal.

Data dari sensor IMU yang berupa posisi kemiringan (gyroscope) berfungsi untuk mengukur kecepatan perubahan sudut objek. Sensor tersebut memiliki output yang peka terhadap kecepatan sudut dari arah sumbu x yang nantinya akan menjadi sumbu phi (roll), sumbu y menjadi sudut theta (pitch) dan sumbu z menjadi sudut psi (yaw). Data keluaran sensor ini digunakan untuk menjaga posisi robot tetap dalam keadaan seimbang. Sensor IMU diletakkan pada COG (center of gravity) pada robot, biasanya posisinya terletak pada bagian tengah robot yang memisahkan badan keatas

dan kaki ke bawah. Tetapi dianjurkan untuk menimbang berat bagian atas dan bagian bawah robot untuk mengetahui dengan pasti letak COG dari robot. Dengan demikian, saat data sensor menunjukkan robot dalam posisi miring, program akan secara otomatis mengubah posisi robot pada bagian kaki sampai kembali ke keadaan seimbang [2]. Hal ini dilakukan agar tidak terjatuh selama melakukan gerakan tarian. Secara khusus penjelasan sensor kemiringan akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

III. ALGORITMA GERAK DAN KONTROL KESEIMBANGAN

Berdasarkan aturan KRSI, robot hanya diperbolehkan melakukan gerakan saat terdengar suara musik. Oleh karenanya digunakan pengaturan suara secara on-off, caranya sebelum melakukan 1 step gerakan tari, robot akan melakukan pengecekan apakah ada suara musik atau tidak. Jika tidak ada suara musik, maka robot akan diam dan mengecek terus sampai terdengar musik. Agar lebih mudah dipahami, algoritma secara umum dideskripsikan dalam bentuk flowchart pada Gambar 5.

Algoritma gerakan yang dibuat pertama kali adalah sinkronisasi antara gerakan kaki (servo *Dynamixel*) dengan



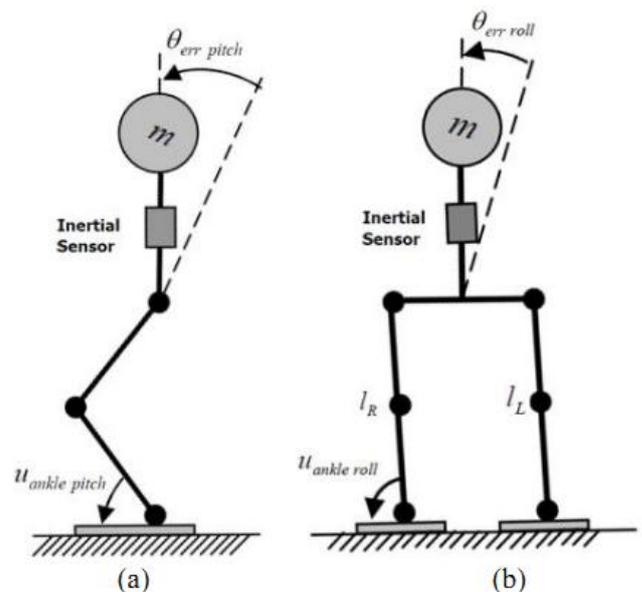
Gambar 5. Flowchart Gerakan Robot

gerakan tangan (servo mini *Hitec*). Satu gerakan robot terdiri dari 8 step. Masing-masing step tersebut memiliki kecepatan yang berbeda-beda. Untuk menentukan kecepatan gerak masing-masing servo agar bisa start dan finish bersamaan, dapat menggunakan rumus berikut:

$$\omega_{servo} = \frac{\theta_{target} - \theta_{actual}}{t_{step}} \tag{1}$$

Kecepatan angular servo (ω_{servo}) didapatkan dengan cara membagi selisih sudut ($\theta_{target} - \theta_{actual}$) dengan waktu setiap langkah (t_{step}). Dengan mengatur waktu setiap langkah servo dapat mensinkronkan antara gerak servo *Dynamixel* dengan servo mini *Hitec*.

Robot diharuskan melakukan gerakan tarian berbeda di setiap zonanya. Dengan demikian, algoritma kontrol keseimbangan diperlukan agar robot dapat menari dan berjalan dengan stabil untuk dapat mencapai setiap zona. Namun, masih sering ditemui robot jatuh ke depan atau ke belakang saat melakukan gerakan tarian maupun berjalan dari satu zona ke zona lainnya. Robot dikatakan jatuh (*falls*) ketika robot gagal melakukan pengaturan keseimbangan ketika masa robot bertumpu pada kaki [3]. Untuk mengatur keseimbangan robot pada saat keadaan berjalan sangat sulit dilakukan ketika masa robot bertumpu pada 1 kaki (*single support*) karena robot berada dalam keadaan dinamis (*dynamic*). Pada penelitian awal ini dilakukan pengaturan keseimbangan yang paling sederhana pada sesaat sebelum robot meletakkan kakinya agar dapat bertumpu dengan 2 kaki (*double support*). Caranya adalah dengan meletakkan sensor kemiringan tepat pada COG (center of gravity) untuk mengetahui sudut kemiringan pada robot. Ketika robot sedang menari atau berjalan, posisi COG berubah-ubah. Sehingga perlu didapatkan data perubahannya untuk



Gambar 6. Skema kontrol pada ankle: (a) pitch control; (b) roll control [4]

mengetahui apakah condong ke depan atau ke belakang. Maupun condong ke samping kiri atau ke samping kanan. Algoritma kontrol keseimbangan yang diterapkan pada robot ERISA versi 1.0 mengatur posisi sudut motor servo pada bagian ankle (mata kaki) seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Dari beberapa percobaan kontrol PI dirasakan cukup efektif untuk mengatur posisi robot kembali dalam keadaan seimbang ketika terjadi gangguan. Berikut ini adalah rumusan untuk mengatur sudut pada bagian *ankle*:

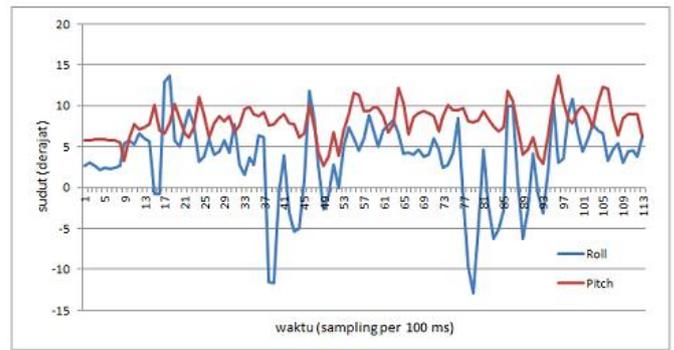
$$u'_{ankle\ pitch} = u_{ankle\ pitch} + \left(Kp + \frac{Ki}{s} \right) \cdot \theta_{error\ pitch} \quad (2)$$

Saat robot melakukan gerakan tari, posisi roll dan pitch akan selalu berubah-ubah. Oleh karena itu diperlukan range yang akan mentoleransi batas tertentu untuk posisi roll dan pitch. Jika kondisi kemiringan sudah melebihi batas maka kontrol keseimbangan akan bekerja. Motor servo bagian ankle terdiri dari $u_{ankle\ pitch}$ untuk mengatur pergerakan ke depan atau belakang, sedangkan $u_{ankle\ roll}$ untuk mengatur pergerakan ke samping kiri atau kanan.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Algoritma gerak dan pengaturan keseimbangan pada robot ERISA versi 1.0 diuji pada dua keadaan, yaitu pada saat berjalan ke depan dan berjalan ke samping. Gerakan berjalan ke depan, yang menjadi parameter adalah pitch, sedangkan gerakan berjalan ke samping yang menjadi parameter adalah roll [5]. Pengambilan data *pitch* dan roll masing-masing diambil pada saat robot berjalan beberapa langkah ke depan maupun ke samping. Grafik hasil pengambilan data *pitch* dan *roll* pada saat robot berjalan ke depan dan ke samping dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Pada grafik tersebut ditampilkan data *pitch* dengan *roll* sekaligus. Sampling data *pitch* dan *roll* diambil setiap 100 ms (milisecond), artinya setiap 1 detik diambil 10 sampel data. Gambar 7 menunjukkan grafik pengujian robot berjalan ke depan, sudut yang menjadi acuan (*set point*) untuk data *pitch* adalah rata-rata data *pitch* yaitu 9,08° dengan toleransi perubahan $\theta_{err-pitch}$ sebesar $\pm 5^\circ$. Sedangkan pada Gambar 8 yang menunjukkan grafik pengujian robot berjalan ke



Gambar 8. Data pengujian robot berjalan ke samping.

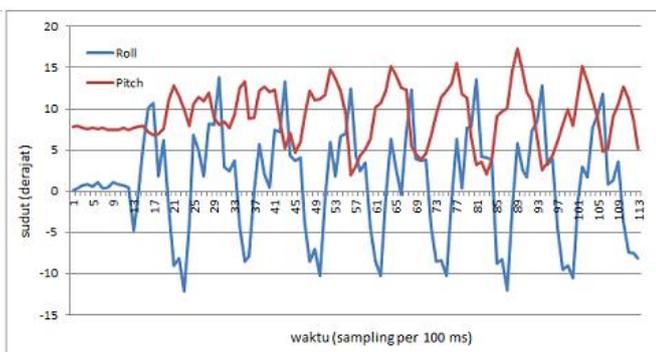
samping, dapat dilihat bahwa sudut yang menjadi acuan untuk data *roll* adalah rata-rata data yaitu 3,41° dengan toleransi perubahan $\theta_{err-roll}$ sebesar $\pm 5^\circ$. Dengan demikian, toleransi perubahan pada setiap data tersebut menjadi acuan. Sehingga ketika data *pitch* dan *roll* diluar sudut toleransi yang ditetapkan akan dikembalikan lagi ke posisi semula.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini merupakan penelitian awal dalam pembuatan desain perancangan robot tari humanoid yang diberi nama ERISA versi 1.0. Desain perancangan meliputi desain mekanik, sistem aktuator, sensor, controller, serta algoritma pemrograman dan kontrol. Khususnya dalam pengaturan keseimbangan. Sistem kontrol yang digunakan adalah kontrol PI dengan *feedback* sensor IMU (*inertial measurement unit*) untuk mendapatkan data kemiringan. Tujuan dari kontrol ini adalah untuk menjaga gerak robot agar tetap dalam posisi stabil ketika berjalan terjadi gangguan dari luar. Dari hasil pengujian menunjukkan pengaturan keseimbangan pada robot yang paling memungkinkan dilakukan ketika masa robot bertumpu pada 2 kaki. Dengan teknik kontrol sederhana cukup dapat menjaga kestabilan robot pada saat berjalan ke depan atau ke samping. Penelitian ini masih tahapan awal untuk mengaplikasikan kontrol keseimbangan pada robot ERISA versi 1.0. Kedepannya, penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan teknik kontrol keseimbangan yang lebih kompleks pada semua gerakan robot baik pada saat masa robot bertumpu pada 1 atau 2 kaki, pada saat robot sedang menari, dengan gangguan dari luar, atau pengujian dapat dilakukan pada bidang miring atau tidak rata.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shinozaki, K., Iwatani, A., and Nakatsu, R., "Construction and Evaluation of a Robot Dance System", Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Technische Universität München, Munich, Germany, August 1-3, pp.366-270, 2008.
- [2] Ramirez, I, "Control Algorithm Stable Walking of Biped Robots", Electrical Engineering Design Seminar and Project, California State University, pp. 1-11, 2012



Gambar 7. Data pengujian robot berjalan ke depan.

- [3] Renner, R. and Behnke, S., "Instability Detection and Fall Avoidance for a Humanoid using Attitude Sensors and Reflexes", Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, October 9 - 15, pp.2967-2973, 2006.
- [4] Kim, J., Park, I., Oh, J., "Walking Control Algorithm of Biped Humanoid Robot on Uneven and Inclined Floor", HUBO Laboratory, Humanoid Robot Research Center, Department of Mechanical Engineering, South Korea.
- [5] Scholz, D., Friedmann, M., and Stryk, O.V., "Fast, Robust and Versatile Humanoid Robot Locomotion with Minimal Sensor Input" Simulation, Systems Optimization and Robotics Group Technische Universität Darmstadt Hochschulstr. 10, 64289 Darmstadt, Germany.