

## **ABSTRAK**

# **REGULASI COM-ZMP DENGAN KOMPENSASI GRAVITASI DAN KENDALI POSTUR BERDASARKAN STRATEGI RASIO PINGGUL-PERGELANGAN KAKI PADA ROBOT BIPEDAL**

Oleh

**RIYANTO**

**NIM: 33215017**

**(Program Studi Doktor Teknik Elektro dan Informatika)**

Kemampuan robot berkaki dua untuk berjalan stabil di lingkungan dengan kondisi heterogen menjadi jaminan tambahan bahwa robot berkaki dua mampu beroperasi di lingkungan manusia. Lingkungan manusia merupakan tantangan terbesar bagi robot yang menyerupai manusia, karena lingkungan berjalan manusia memiliki hambatan dan rintangan yang rumit seperti jenis permukaan dan tingkat kemiringan yang sangat heterogen. Tantangan robot berkaki dua yang lain adalah untuk mengatasi adanya gangguan tambahan berupa dorongan maupun tarikan yang disebabkan oleh lingkungan maupun disebabkan karena tugas yang harus dilakukan oleh robot.

Regulasi CoM-ZMP merupakan penggunaan posisi pusat massa (CoM) dan titik moment nol (ZMP) pada robot sebagai parameter pembangkit pola berjalan pada robot bipedal, dan selisih hasil pengukuran terhadap nilai referensi yang direncanakan digunakan sebagai parameter kendali keseimbangan robot bipedal selama berjalan. Pada penelitian ini regulasi CoM-ZMP digunakan pada pembangkit pola berjalan RB yang dibangun oleh penulis.

Kompensasi gravitasi merupakan pemberian nilai koreksi terhadap dampak dari gravitasi terhadap postur dan gerak berjalan robot bipedal. Perencanaan nilai kompensasi gravitasi dalam penelitian ini dilakukan pada postur berjalan robot bipedal yang telah dibangun, berupa nilai koreksi sudut torso terhadap beban permanen tubuh yang selanjutnya disebut sebagai kompensasi gravitasi jenis 1, dan berupa modifikasi lintasan ayunan kaki dengan melakukan pemutaran lintasan telapak kaki yang berupa fungsi sikloid terhadap sumbu-x untuk menghindari terjadinya penumpukan telapak kaki yang sedang mengayun terhadap telapak kaki yang sedang bertumpu yang disebut sebagai kompensasi gravitasi jenis 2.

Kendali postur merupakan pemeliharaan atau pengaturan keseimbangan selama postur statis maupun aktivitas dinamis apa pun untuk menjaga stabilitas dan orientasi. Strategi kendali postur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kombinasi dari strategi pinggul dan pergelangan kaki dengan perbandingan kontribusi sebesar 25% : 75%

terhadap gangguan eksternal berupa perubahan tingkat kemiringan permukaan jalan dan penambahan beban tarikan pada torso. Estimasi nilai masukan pada kendali postur memanfaatkan penggabungan sensor-sensor pada robot, yaitu berupa sebuah sensor IMU pada bagian pelvis robot dan sensor posisi yang terdapat pada setiap aktuator robot.

Kendali berjalan robot bipedal pada penelitian ini terdiri dari dua sub sistem kendali, yaitu bagian pertama pembangkit pola berjalan yang sekaligus sebagai pengendali keseimbangan dengan regulasi posisi CoM dan ZMP robot, serta bagian kedua berupa kendali postur yang memanfaatkan nilai estimasi kemiringan permukaan jalan sebagai masukan kendali yang diperoleh dengan fusi sensor, dan keluarannya berupa pemberian koreksi pada sendi pinggul dan pergelangan kaki robot pada bidang *sagittal* dengan rasio tertentu. Strategi pinggul dan pergelangan kaki juga dilengkapi dengan strategi waktu jeda dan strategi kecepatan untuk menambah kehandalan robot bipedal dalam rangka menolak gangguan eksternal.

Fokus pada penelitian ini adalah untuk membangun sebuah metode yang membuat robot berkaki dua mampu mengatasi tantangan lingkungan kerja sehingga robot berkaki dua sanggup berjalan stabil pada permukaan rata maupun permukaan miring dan dengan maupun tanpa adanya beban tambahan. Metode ini kemudian diujicobakan pada robot berkaki dua yang tersusun dari 12 derajat kebebasan yang terdiri dari sebuah torso dengan dua buah kaki yang masing-masing dilengkapi dengan lutut dan telapak kaki yang dinamakan sebagai RB. Dengan sistem yang dibangun, robot mampu berjalan tanpa terjatuh pada lantai rata berupa keramik dan papan kayu dengan waktu langkah 1,09 detik per satu set langkah serta mencapai kecepatan berjalan 6,8 cm/detik, dan mampu berjalan pada permukaan jalan miring dari papan kayu dengan kemiringan hingga 12,5 derajat, serta mampu membawa beban tarikan tambahan pada bagian belakang torso hingga 1,7 kali berat robot.

Kata kunci: robot bipedal, regulasi CoM-ZMP, pembangkit pola berjalan, strategi pinggul-pergelangan kaki, estimasi gangguan, fusi sensor

## **ABSTRACT**

### **COM-ZMP REGULATION USING GRAVITY COMPENSATION AND POSTURE CONTROL BASED ON HIP-ANKLE RATIO STRATEGY FOR BIPEDAL ROBOT**

By

**RIYANTO**

**NIM: 33215017**

***(Doctoral Program in Electrical Engineering and Informatics)***

*The ability of biped robots to run stably in heterogeneous conditions is an additional guarantee that biped robots are able to operate in the human environment. The human environment is the biggest challenge for robots that resemble humans, because the human walking environment has very complex obstacles such as surface types and slope levels that are very heterogeneous. Another challenge of biped robots is to overcome the additional disturbances in the form of pushes and pulls caused by the environment or caused by tasks that must be performed by robots.*

*CoM-ZMP regulation is the use of the position of the center of mass (CoM) and the zero-moment point (ZMP) on the robot as a parameter for generating walking patterns in the bipedal robot, and the differences in measurement results against the planned reference value are used as parameters in the balance control of the bipedal robot during walking. In this research, CoM-ZMP regulation is used in the walking pattern generator and balance control of the bipedal robot that was built.*

*Gravitational compensation is the provision of a correction value to the impact of gravity on the posture and gait of a bipedal robot. The planning of the gravity compensation value in this research is carried out on the bipedal robot walking posture that has been built, in the form of a torso angle correction value to the body's permanent load, hereinafter referred to as gravity compensation type 1, and in the form of a modified swinging footpath by rotating the footpath in the form of a function cycloid to the x-axis to avoid the buildup of the swinging foot against the stance foot which is called as gravity compensation type 2.*

*Posture control is the maintenance or regulation of balance during static posture or any dynamic activity to maintain stability and orientation. The posture control strategy used in this study is a combination of hip and ankle strategies with a contribution ratio of 25%: 75% to external disturbances in the form of changes in the level of the slope of the road surface and the addition of a tensile load on the torso. The estimated value of the input to the posture control utilizes the sensors fusion on the robot, which is*

*consist of an IMU sensor on the robot's pelvis and position sensors that are contained on each robot's actuator.*

*The bipedal robot walking control in this study consists of two control sub-systems, namely the walking pattern generator as well as the balance controller with the regulation of the robot's CoM and ZMP position, and posture control that utilizes the estimated value of the slope of the road surface as input of control, and the output is in the form of correction of the hip joint and the robot's foot movement in the sagittal plane with a certain ratio. The hip and ankle strategies are also complemented by a time pause strategy and speed strategy to increase the reliability of the bipedal robot in order to resist external interference.*

*The focus of this research is to develop a method that makes biped robots able to overcome the challenges of the work environment so that biped robots are able to run stable on both flat and sloped surfaces and with or without additional burden. This method was then tested on a biped robot composed of 12 degrees of freedom consisting of a torso with two legs, each equipped with knees and soles called RB. With the system built, the robot is able to walk without falling on a flat floor in the form of ceramics and wooden boards with a step time of 1.09 seconds per set of steps and reaches a walking speed of 6.8 cm / sec, and is able to walk on the sloping road surface of a wooden board with a slope up to 12.5 degrees, and able to carry additional pull loads on the back of the torso up to 1.7 times the weight of the robot.*

*Keywords: biped robot, CoM-ZMP regulation, walking pattern generator, hip-ankle strategy, disturbance estimation.*