Perencanaan Gerakan Tendangan Robot *Humanoid* Sepak Bola Berdasarkan Kurva *Bezier* Kubik Dengan Optimasi Neural Network

Muhammad Azriel Rizqifadhiilah, Mochammad Sahal, dan Rusdhianto Effendi Abdul Kadir  
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
*E-mail*: azriel.imanto@gmail.com, sahal@ee.its.ac.id, ditto@ee.its.ac.id

*Abstrak*— Robot sepak bola *humanoid* merupakan robot yang memiliki kemampuan bermain sepak bola sama seperti manusia seperti berjalan, menendang, dan berdiri, serta menunjukkan keterampilan sepak bola seperti menggiring bola, mengoper, dan bermain tim. Kualitas akurasi tendangan robot dapat di lihat dari perencanaan menendang pada saat menendang. Penggunaan metode kurva *bezier* kubik dapat memudahkan untuk membangun perencanaan menendang dengan baik maka dirancang agar dapat melakukan pergerakan menendang dengan pergerakan dinamis. Konstruksi perencanaan berupa kurva dengan dimensi X, Y, Z yang telah diinterpolasi, setelah itu *inverse kinematics* dilakukan sehingga diperoleh nilai perubahan sudut setiap *joint* kaki kanan robot. Perencanaan tendangan juga dioptimalkan untuk membuat bola menyentuh garis gawang dengan waktu tercepat. Dengan perkembangan ini menghasilkan perencanaan yang efektif menggunakan *neural network optimization*. Dari hasil tes tersebut, ditemukan bahwa waktu pergerakan 25 mili detik dan 10 mili detik mencatat waktu ketika bola menyentuh garis gawang 1 mili detik 836 mili detik, sedangkan waktu 50 mili detik mengangkat kakinya dan 15 mili detik dengan waktu 2 detik 208 mili-detik untuk mencapai garis gawang. Setelah optimasi kedua variasi waktu dilakukan, akurasi 0,7% diperoleh dengan MSE 16,8657 dan MAE 3,5966 untuk nilai akurasi 25-10 sebesar 0,4% dengan MSE 16,9844 dan MAE 3,6157 untuk 50-15.

*Kata Kunci*— *Robot Humanoid, Kurva Bezier Kubik, Motion Planning, Neural Network, Inverse Kinematics.*

# PENDAHULUAN

D

alam beberapa tahun terakhir, semakin banyak kompetisi robot telah dimulai di seluruh dunia. Kontes ini bertujuan untuk memotivasi mahasiswa dalam bidang robotika dan teknologi. Dalam pengembangan sains, tujuan dari kontes ini adalah untuk mendorong siswa memperoleh teknologi baru dan keterampilan memecahkan masalah. Beberapa kompetisi telah dimulai untuk memajukan penelitian dalam robotika. Berbagai ilmuan robot menyadari pentingnya kompetisi untuk kemajuan ilmiah [1].

Model dan kontrol robot *humanoid* memberikan pandangan sistematis model yang digunakan untuk analisis, desain, dan kontrol robot *humanoid* [2]. Terdapat beberapa kategori dalam kompetisi, salah satunya adalah robot *humanoid* sepak bola. Robot *humanoid* sepak bola dirancang untuk menunjukkan keterampilan bermain sepak bola layaknya manusia, seperti berjalan, menendang dan berdiri serta keterampilan menggiring bola, mengoper bola, menendang bola, dan bekerja sama dengan tim. Di mana salah kegiatan mengoper bola dan menendang bola robot diharuskan memiliki keahlian menendang yang baik. Supaya dapat memiliki keahlianmenendang dan mengoper yang baik maka dibutuhkan *motion planning.*

Dengan mengembangkan *motion planning* untuk kegiatan robot *humanoid* bermain sepak bola dibutuhkan perencanaan titik-titik dan bentuk pergerakan yang optimal, maka dari itu optimasi dengan dilatih tingkat pertama dapat diwujudkan dengan menggunakan jarak linier setelah perencanaan titik-titik dan waktu yang diperlukan untuk mendapatkan berapa lama waktu dihabiskan untuk sebuah bentuk pergerakan. Tingkat optimasi yang dicapai dapat menggunakan hasil dari keseimbangan badan dari pusat gravitasi robot dan *feedback* giroskop kamera [3]. Penggunaan *motion planning* dengan menggunakan kurva *bezier* kubikdirasa dapat dikembangkan untuk robot *Humanoid* sepak bola dan optimal kestabilan menggunakan kurva terhadap titik-titik perencanaan bentuk pergerakan.

Robot *humanoid* adalah robot yang tampilan umumnya bergantung pada tubuh manusia, dan mampu berinteraksi dengan peralatan dan lingkungan yang dirancang untuk manusia. Pada umumnya robot mirip manusia memiliki tubuh yang memiliki kepala, lengan, dan kaki, meskipun ada beberapa bentuk robot mirip manusia yang hanya membentuk bagian tubuh manusia saja, misalnya dari pinggang ke atas. Rencana gerak ideal robot *humanoid* untuk berjalan normal harus mengonsumsi energi paling sedikit seperti tubuh manusia. Untuk alasan ini, studi tentang dinamika dan kontrol struktur seperti itu menjadi lebih penting. Untuk menjaga keseimbangan dinamis selama berjalan, robot membutuhkan informasi tentang gaya kontak saat ini dan gerakan yang diperlukan. Pemecahan masalah ini bertumpu pada konsep utama *Zero Moment Point* (ZMP) [4].

Pada penelitian [5] dan [6] yang telah dilakukan sebelumnya dilakukan bagaimana robot *humanoid* sepak bola melihat, berjalan, dan menendang dengan beberapa pergerakan sesuai dengan tantangan yang diinginkan. Pada penelitian [7] dilakukan pembangunan *motion planning* pada robot dengan merepresentasikan pada gerak manusia. Untuk merepresentasikan robot *motion* *planning* salah satu yang penting sehingga pada penelitian [8] dan penelitian [9] dikembangkan *motion planning* dengan mengurangi waktu dan penyesuaian ketidakstabilan secara manual. Dalam sistem pergerakan robot, efek lengan dapat diabaikan dan kepala, lengan, dan lengan bawah didefinisikan sebagai massa yang terletak di pusat geometris pada robot, sehingga robot dapat disederhanakan menjadi model *twelve-links* yang menghubungkan setiap sambungan. Penyesuaian gerakan ke-12 link dapat menyelesaikan gerakan robot [10]. Seperti Gambar 1. 1.

Chart

Description automatically generated

Gambar 1. 1. Sistem Gerak Robot Twelve-links

# PERENCANAAN GERAK MENENDANG

Robot *humanoid* sepak bola memiliki 20 *degree of freedom* (DOF), 12 DOF untuk kaki, 6 DOF untuk tangan, dan 2 DOF untuk kepala. Untuk setiap DOF yang dimiliki dapat bergerak menggunakan motor *servo.* Robot ini dilengkapi dengan penggerak berupa *servo motors* *Dinamixel* MX-28, *Dinamixel* MX-64, dan *Dinamixel* MX-106. *Servo* ini memiliki keunggulan memiliki sistem Multi-drop yang dapat dikontrol secara bersamaan secara berurutan pada satu waktu. Penggunaan *servo motor* jenis ini karena kecepatan transmisi data yang tinggi hingga 3Mbps dan kemampuan *servo* untuk melacak kecepatan, suhu, posisi poros, tegangan, dan beban yang diangkat *servo*. Jenis *servo* ini juga dilengkapi dengan kontrol PID, yang digunakan untuk mengatur posisi poros masing-masing *servo,* dan kecepatan serta keluaran dari motor *servo* ini dapat disesuaikan. Daftar spesifikasi motor *servo* yang di pakai pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1. Spesifikasi Dynamixel Servo

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Model *Servo*** | **Berat (g)** | **Torsi (Kg.cm)** | **Kecepatan (RPM)** |
| MX-28 | 72 | 31.6 | 67 |
| MX-64 | 126 | 74 | 78 |
| MX-106 | 153 | 102 | 55 |

Posisi motor *servo* untuk robot *humanoid* sepak bola dapat di lihat pada Gambar 2. 1.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Gambar 2. 1. Posisi Servo dan Gerak Setiap Join Terhadap Sumbu XYZ

## Kurva Bezier Kubik

Kurva *bezier* sangat penting untuk pemodelan geometris dan grafik komputer. Kurva *bezier* memiliki banyak properti yang berguna dan menyediakan pengguna dengan alat intuitif untuk memanipulasi bentuk kurva *polinomial* *parametrik*. Kurva *bezier* dapat dilampirkan ke sejumlah titik kontrol. Jumlah titik kontrol yang akan didekati dan posisi relatifnya menentukan derajat *polinomial* *bezier*. Seperti *splines* interpolasi, kurva *bezier* dapat ditentukan oleh kondisi batas, matriks fitur, atau fungsi pencampuran. Kurva *bezier* dari derajat *n*  yang direpresentasikan

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Diagram

Description automatically generated

Gambar 2. 2. Kurva Bezier Dengan Polygon Control

koefisien adalah point pengaturan atau point *bezier* dan selalu bersama dengan fungsi basis dari bentuk kurva yang ditentukan. kontrol dan fleksibilitas dapat dicapai dengan menetapkan parameter bentuk ke setiap titik kontrol dan mempertimbangkan kurva *bezier* yang rasional, yang memiliki manfaat tambahan karena dapat secara akurat mewakili semua bagian kerucut [11]. Kurva *bezier* bersama dengan poligon kontrolnya di gambarkan pada Gambar 2. 2.

## Perancangan Kurva Bezier Kubik

Melakukan perancangan kurva *bezier* pertama kali yang dilakukan untuk melakukan perancangan perencanaan pergerakan adalah menentukan model matematika dari kurva *bezier* dengan persamaan umum *bezier* adalah

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |
|  | (3) |
|  | (4) |

dengan persamaan di atas dirancang dua pergerakan menendang bola, pertama adalah gerakan mengangkat kaki sebelum menendang dan kedua pergerakan menendang. Pergerakan mengangkat kaki pergerakan tersebut dirancang menggunakan titik kontrol untuk kurva dapat di lihat pada Tabel 2. 2. Nilai X, Y, Z ini didapatkan pada posisi dari *central of mass* pada telapak kaki kanan robot untuk nilai *central of mass* koordinat frame untuk menentukan *inverse kinematics.*

Tabel 2. 2. Titik Poin Angkat Kaki

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **X** | **Y** | **Z** |
| 0 | -7.5 | 0 |
| 0 | -7.5 | 3.38 |
| -8 | -7.5 | 3.38 |
| -12 | -7.5 | 9 |
| -12 | -7.5 | 13.5 |

Pergerakan ini di proyeksikan terhadap sumbu X, Y, Z yang dimulai dari nilai sehingga dari hasil proyeksikan terhadap sumbu-sumbu tersebut didapatkan hasil lintasan (*Interpolasi*) yang akan dilalui oleh kaki robot sebagai pergerakan menendang dari kurva *bezier*. Selanjutnya adalah pergerakan menendang bola, pergerakan ini tidak beda jauh dengan pergerakan mengangkat kaki, pergerakan ini membutuhkan 4 titik kontrol yang mana titik kontrol dapat dilihat pada Tabel 2. 3 perencanaan titik ini juga di proyeksikan terhadap sumbu X, Y, Z. Dari nilai titik kontrol menendang ini dimulai pada titik .

Tabel 2. 3. Titik Poin Menendang

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **X** | **Y** | **Z** |
| -12 | -7.5 | 13.5 |
| -8 | -7.5 | 6.5 |
| -1.34 | -7.5 | 5.45 |
| 20 | -7.5 | 6.5 |

Hasil dari titik poin di atas di dapatkan grafik hasil interpolasi dan sampling untuk lintasan setelah interpolasi, di tunjukan pada Gambar 2. 3.

Chart, radar chart

Description automatically generated

Gambar 2. 3. Rancangan Pergerakan Menendang

## Kinematika Robot Menendang

Metode kurva *bezier,* di mana adaptasi metode ke dalam robot *humanoid* dalam bentuk posisi motor *servo* sehingga perlu adanya proses *inverse kinematics.* Menggabungkan matriks transformasi R (rotasi), matriks posisi atau translasi, dan faktor skala dalam satu matriks mewakili konsep transformasi homogen, yang merupakan bagian penting dari pemahaman pergerakan robot, dalam kaitannya dengan sistem koordinat ketika mewakili posisi dan orientasi objek [12]. Ada tiga jenis gerakan rotasi dan translasi anggota badan, yaitu gerakan rotasi dan translasi terhadap sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Matriks rotasi dan translasi terhadap sumbu x, sumbu y, dan sumbu z berturut-turut.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |
|  | (6) |
|  | (7) |

Matrix translasi menggunakan persamaan matriks sebagai berikut

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |
|  | (9) |
|  | (10) |

Nilai *inverse kinematic* didapatkan pada Tabel 2. 4, hasil berikut berupa nilai sampling sebanyak 9 sampling, data yang di pakai memiliki data sebanyak 22 data untuk gerakan angkat kaki. Pergerakan menendang dapat di lihat pada Tabel 2. 5

Tabel 2. 4. Nilai Inverse Kinematik Pergerakan Mengangkat Kaki Dengan 9 Sampling

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **hip yaw** | **hip roll** | **hip pitch** | **knee** | **angkle roll** | **ankle pitch** |
| 0.000000 | 0.495015 | -0.033352 | -0.067389 | 0.864926 | 0.034036 |
| 0.000000 | 0.495029 | -0.044672 | -0.090879 | 0.864961 | 0.046206 |
| 0.000000 | 0.495041 | -0.051840 | -0.107092 | 0.864991 | 0.055251 |
| 0.000000 | 0.495051 | -0.056638 | -0.119447 | 0.865018 | 0.062808 |
| 0.000000 | 0.495051 | -0.056638 | -0.119447 | 0.865018 | 0.062808 |
| 0.000000 | 0.495416 | -0.131787 | -0.330768 | 0.865955 | 0.198980 |
| 0.000000 | 0.495489 | -0.145122 | -0.358854 | 0.866143 | 0.213731 |
| 0.000000 | 0.495574 | -0.133619 | -0.380124 | 0.866360 | 0.246504 |

Tabel 2. 5. Nilai Inverse Kinematik Pergerakan Menendang

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **hip yaw** | **hip roll** | **hip pitch** | **knee** | **angkle roll** | **ankle pitch** |
| 0.000000 | 0.495574 | 0.133619 | 0.380124 | 0.866360 | 0.246504 |
| 0.000000 | 0.495461 | 0.127262 | 0.344250 | 0.866071 | 0.216987 |
| 0.000000 | 0.495373 | 0.129273 | 0.314648 | 0.865845 | 0.185375 |
| 0.000000 | 0.495307 | 0.137504 | 0.289267 | 0.865676 | 0.151763 |
| 0.000000 | 0.495262 | 0.149499 | 0.265426 | 0.865560 | 0.115926 |
| 0.000000 | 0.495236 | 0.162763 | 0.240359 | 0.865494 | 0.077595 |
| 0.000000 | 0.495228 | 0.174969 | 0.211650 | 0.865473 | 0.036680 |
| 0.000000 | 0.495237 | 0.184082 | 0.177460 | 0.865495 | 0.006621 |
| 0.000000 | 0.495260 | 0.188407 | 0.136616 | 0.865555 | 0.051790 |

# OPTIMASI NEURAL NETWORK

## Neural Network

*Neural network* adalah salah satu kemajuan dalam pembelajaran mesin, dan banyak peneliti telah bekerja pada *neural network* untuk memecahkan masalah optimasi, dan telah terbukti bahwa masalah dapat diselesaikan tanpa pemrograman lebih spesifik dan efisien. Penelitian telah dikembangkan dengan beberapa metode optimasi dengan menggunakan *neural network* salah satunya adalah Tank dan Hopfield [13] di mana Hopfield menggunakan dalam percobaan *linear programming circuit*, hingga saat ini metode dipakai untuk setiap proses optimasi dengan *neural.* Dengan Hopfield *neural network* dipercaya dapat menyelesaikan permasalahan optimasi linear dan non-linear, sehingga optimasi Hopfield *neural network* dapat digunakan untuk robot *humanoid* yang mana adalah non-linear.

Persamaan node dalam jaringan waktu kontinu dengan *N*-neuron diberikan oleh:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |
|  | (12) |

Di mana adalah keadaan saat ini dari *neuron* ke *i*-th, 𝑣𝑖(𝑡) keluaran dari *neuron i*-th, 𝑖𝑏 adalah ofset bias dari *neuron i*-th, 𝜂𝑢𝑖(𝑡) adalah istilah peluruhan pasif, 𝑇𝑖𝑗 adalah koneksi berat *j*-th *Neuron* ke *i*-th *neuron* [14]. Menentukan jika fungsi pada titik kesetimbangan pada jaringan sesuai dengan nilai maka persamaan terpenuhi adalah

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

## Perancangan Optimasi Neural Network

Dari persamaan (5) dan (6) maka, didapatkan desain optimasi dengan *neural network* dengan 6 *input* layer dan 2 *output* layer, sedangkan untuk menggunakan 2 hiden layer pada *hidden*  layer pertama berisi 12 hiden layer, dan *hidden*  layer kedua berisi 12 *hidden*  layer, dapat dilihat pada Gambar 3. 1.

Pada proses *hidden*  layer data di latih menggunakan algoritma penurunan gradien stokastik sesuai dengan *learning rate.* Penurunan gradien stokastik adalah algoritma optimasi yang menggunakan contoh data set untuk di latih sehingga dapat memperkirakan model keadaan kesalahan gradien saat ini, dan kemudian menggunakan algoritma propagasi balik dari hasil kesalahan dari data latih, di mana propagasi balik melakukan pembaharuan model untuk mendapatkan hasil latih yang baik. Jumlah dari bobot ditingkatkan selama proses latih yang telah ditentukan besaran *langkah* atau disebut *learning rate.* Secara spesifik, *learning rate* konfigurasi parameter digunakan dalam pelatihan *neural network* yang mempunyai nilai kecil positif antara 0 sampai 1.

Pembelajaran di atas adalah pembelajaran dalam satu iterasikarena data set yang digunakan terbatas untuk proses latih dan mengoptimalkan pembelajaran grafik menggunakan *gradient descent* merupakan proses iteratif sehingga membutuhkan banyak iterasiuntuk melakukan proses latih pada data yang ada. Semakin banyak iterasiyang digunakan   
maka tingkat akurasi, *mean squared error* (MSE), *mean absolute error* (MAE) dari data latih dan data tes semakin baik, nilai error semakin kecil, tetapi proses latih menjadi lama.

Diagram

Description automatically generated

Gambar 3. 1. Optimasi Neural Network

# PENGUJIAN PERGERAKAN MENENDANG

Pengujian hasil kurva *bezier* kubik dengan menggunakan simulator dengan keadaan bola statis dengan keadaan tendangan penaltidengan tujuan agar robot dapat mencetak gol dengan baik ketika tendangan penalti*.* Pada hasil perencanaan tendangan di uji dengan beberapa variasi jeda waktu untuk mendapatkan hasil tendangan agar sesuai dengan tujuan penelitian ini. Pergerakan dilakukan dalam simulator dengan dua kondisi untuk menendang menggunakan kaki kanan. Dengan pengujian beberapa waktu dengan setiap waktu kecepatan waktu 25 mili-mili detik dan 50 mili-mili detik untuk mengangkat kaki sedangkan untuk gerakan menendang bola 10 mili-mili detik dan 15 mili-detik. Hasil dari pergerakan dapat dilihat pada Gambar 4. 1

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Pergerakan keadaan siap   A picture containing text  Description automatically generated | 1. Pergerakan angkat kaki   A picture containing text  Description automatically generated |
| 1. Pergerakan menendang   A picture containing text, net  Description automatically generated | 1. Pergerakan keadaan siap   A screenshot of a football game  Description automatically generated with medium confidence |

Gambar 4. 1. Hasil Pergerakan Menendang Menggunakan Kurva Bezier Kubik

untuk nilai *servo* di setiap langkah awal pergerakan dapat dilihat pada Tabel 4. 1, Tabel 4. 2, dan Tabel 4. 3.

Tabel 4. 1. Nilai Servo Untuk Nilai Awal Pada Pergerakan Mengangkat Kaki

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **hip yaw** | **hip roll** | **hip pitch** | **knee** | **angkle**  **roll** | **angkle pitch** |
| 0.000000 | 0.495015 | -0.033352 | -0.067389 | 0.864926 | 0.034036 |

Tabel 4. 2. Nilai Servo Untuk Nilai Akhir Pada Pergerakan Mengangkat Kaki

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **hip yaw** | **hip roll** | **hip pitch** | **knee** | **angkle**  **roll** | **angkle pitch** |
| 0.000000 | 0.495574 | -0.133619 | -0.380124 | 0.866360 | 0.246504 |

Tabel 4. 3. Nilai Akhir Posisi Motor Servo Untuk Pergerakan Menendang

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **hip yaw** | **hip roll** | **hip pitch** | **knee** | **angkle roll** | **ankle pitch** |
| 0.000000 | 0.495260 | 0.188407 | 0.136616 | 0.865555 | 0.051790 |

# PEMBAHASAN

Penelitian perencanaan pergerakan menendang robot dilakukan dengan dua variasi waktu. Pemilihan variasi waktu di pertimbangkan dengan waktu yang di rasa stabil dengan waktu tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat. Ketika melakukan pergerakan pertama adalah 20 mili-mili detik untuk pergerakan mengangkat kaki dan 10 mili-mili detik untuk pergerakan menendang, kedua adalah 25 mili-mili detik untuk pergerakan mengangkat kaki dan 15 mili-mili detik untuk pergerakan menendang, penggunaan waktu yang lebih cepat akan membuat robot jatuh ketika menendang bola, sedangkan untuk penggunaan waktu yang lebih lambat pergerakan kaki robot tidak memiliki tenaga yang cukup untuk mendorong bola. Dari dua variasi ini memiliki perbedaan pada saat bola telah ditendang oleh robot sampai dengan garis gawang.

Waktu adalah 20 mili-mili detik untuk pergerakan mengangkat kaki dan 10 mili-mili detik untuk pergerakan menendang pada saat melakukan tendangan penalti antara kaki dan bola ketika menyentuh maka bola akan melaju dengan cepat sehingga kerasnya tendangan terlihat dengan mudah masuk ke dalam gawang. Waktu yang dibutuhkan bola untuk sampai tercipta gol atau telah menyentuh garis gawang dalam waktu 1 mili detik 836 mili detik ketika bola telah masuk ke gawang atau menyentuh garis gawang. Sedangkan untuk waktu 25 mili detik untuk pergerakan mengangkat kaki dan 15 mili detik untuk pergerakan menendang memiliki waktu lebih lambat 5 mili-mili detik akibat dari perbedaan waktu tersebut, pada saat kaki menyentuh bola tenaga ayunan dari kaki lebih lambat 5 mili-mili detik sehingga bola melaju ke gawang lebih lambat dengan waktu 2 detik 208 mili detik untuk mencapai garis gawang. Perubahan waktu ini di ambil yang terbaik dilihat dari hasil uji coba dari 2 variasi waktu, sehingga setelah dilakukan simulasi dapat dilihat pada variasi waktu 20 mili-mili detik dan 10 mili-mili detik memiliki langkah pergerakan yang cepat dan gol tercipta juga dalam waktu cepat sehingga, ketika bertanding waktu yang digunakan dapat lebih efisien untuk menciptakan gol.

Hasil pergerakan jika validasi dengan perencanaan maka dapat dilihat pada. gambar ini menunjukkan bahwa pergerakan menendang yang sudah direncanakan pada pembahasan sebelumnya, hasil dari pergerakan menendang robot dapat mengikuti rencana pergerakan yang telah direncanakan. garis berwarna biru sebagai perencanaan lintasan sebagai pergerakan mengangkat kaki dan garis berwarna hijau adalah pergerakan lintasan menendang dan garis berwarna merah adalah pergerakan kaki robot ketika mengikuti rencana pergerakan menendang pada

Chart

Description automatically generated

Gambar 5. 1. Hasil Perencanaan Menendang Terhadap Pergerakan Robot

Hasil optimasi menggunakan *neural network* menghasilkan nilai *mean squared error* pada Tabel 5. 1

Tabel 5. 1. Hasil Mean Squared Error Optimasi Neural Network Pergerakan Menendang

|  |  |
| --- | --- |
| *Mean Squared Error* Data Latih 25 mili detik dan 10 mili detik | 17.5446 |
| *Mean Squared Error* Data Latih 50 mili detik dan 15 mili detik | 17.4819 |
| *Mean Squared Error* Data Tes Pergerakan 25 mili detik angkat kaki dan 10 mili detik menendang | 16.8657 |
| *Mean Squared Error* Data Tes Pergerakan 50 mili detik angkat kaki dan 15 mili detik menendang | 16.9844 |

selanjutnya nilai *mean absolute error* dapat dilihat pada Tabel 5. 2

Tabel 5. 2. Hasil Mean Absolute Error Optimasi Neural Network Pergerakan Menendang

|  |  |
| --- | --- |
| *Mean Absolute Error* Data Latih 25 mili detik dan 10 mili detik | 3.6446 |
| *Mean Absolute Error* Data Latih 50 mili detik dan 15 mili detik | 3.5659 |
| *Mean Absolute Error* Data Tes Pergerakan 25 mili detik angkat kaki dan 10 mili detik menendang | 3.5966 |
| *Mean Absolute Error* Data Tes Pergerakan 50 mili detik angkat kaki dan 15 mili detik menendang | 3.6157 |

dari hasil MSE dan MAE didapatkan nilai akurasi dari dua variasi pergerakan menendang, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5. 3.

Tabel 5. 3. Hasil Akurasi Optimasi Neural Network Pergerakan Menendang

|  |  |
| --- | --- |
| Akurasi Data Latih 25 mili detik dan 10 mili detik | 0.6163 |
| Akurasi Data Latih 50 mili detik dan 15 mili detik | 0.4588 |
| Akurasi Data Tes Pergerakan 25 mili detik angkat kaki dan 10 mili detik menendang | 0.7560 |
| Akurasi  Data Tes Pergerakan 50 mili detik angkat kaki dan 15 mili detik menendang | 0.4633 |

Hasil dari tes data dapat dilihat sesuai dengan data latih setiap sudut pergerakan robot maka error yang di dapatkan pada pergerakan kaki robot dengan waktu 25 mili detik mengangkat kaki dan 10 mili detik dengan error 16.8657 dan dengan waktu 50 mili detik mengangkat kaki dan 15 mili detik dengan error 16.9844 sehingga error yang terbesar adalah dengan waktu 25 mili detik dan 10 mili detik karena pergerakan waktu yang semakin cepat berpengaruh terhadap nilai *mean squared error.* Sedangkan untuk penilaian akurasi dari hasil tes data dilihat data tes untuk pergerakan kaki robot dengan waktu 25 mili detik mengangkat kaki dan 10 mili detik mendapatkan nilai akurasi sebesar 0.7% dan untuk waktu 50 mili detik mengangkat kaki dan 15 mili detik mendapatkan akurasi 0.4%

# KESIMPULAN

Dari hasil pengujian pada 2 variasi waktu didapatkan pada pengujian kurva *bezier* kubik sebagai rencana pergerakan menendang dapat mengikuti rencana penendangan yang telah di buat, yang mana hasil dari perancangan dapat bergerak secara dinamis dengan mengubah-ubah bentuk kurva *bezier* kubik. Pergerakan robot pada saat melakukan pergerakan menendang dengan kondisi skema penalti didapatkan optimasi waktu tercepat terhadap perubahan variasi waktu ketika melakukan pergerakan menendang. Pergerakan waktu 25 mili detik dan 10 mili detik memiliki akurasi yang baik ketika melakukan pergerakan menendang hingga mencetak gol dengan kecepatan waktu bola hingga menyentuh garis gawang sebesar 1 detik 836 mili detik, sedangkan pergerakan menendang pada waktu 50 mili detik mengangkat kaki dan 15 mili detik dengan waktu 2 detik 208 mili detik untuk mencapai garis gawang. pada percobaan 25-10 mili detik mendapatkan hasil pergerakan bola yang cepat dan akurasi yang baik. Akurasi waktu 25 mili detik mengangkat kaki dan 10 mili detik mendapatkan nilai akurasi sebesar 0.7% dengan MSE 16.8657 dan MAE 3.5966 dan waktu 50 mili detik mengangkat kaki dan 15 mili detik mendapatkan akurasi 0.4% dengan MSE 16.9844 dan MAE 3.6157.

Dari hasil perancangan simulasi menggunakan kurva *bezier* kubik menghasilkan perencanaan pergerakan menendang dengan gerakan lebih dinamis dari perancangan sebelumnya dan akurasi dari hasil penggerakan menendang memiliki hasil lebih baik dari variasi waktu kedua dengan nilai MSE dan MAE lebih kecil dari variasi waktu kedua.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman tim ICHIRO yang telah membantu dan memberikan saran serta masukan dalam melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. Menegatti, S. Behnke, and C. Zhou, “Humanoid soccer robots,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 57, no. 8, pp. 759–760, 2009, doi: 10.1016/j.robot.2009.03.003.

[2] D. N. Nenchev, A. Konno, and T. Tsujita, “Introduction,” *Humanoid Robots*, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1016/b978-0-12-804560-2.00008-0.

[3] X. Li, Z. Liang, and H. Feng, “Kicking motion planning of Nao robots based on CMA-ES,” *Proceedings of the 2015 27th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2015*, pp. 6158–6161, 2015, doi: 10.1109/CCDC.2015.7161918.

[4] B. P. Putra, G. S. Mahardika, M. Faris, and A. I. Cahyadi, “Humanoid robot pitch axis stabilization using linear quadratic regulator with fuzzy logic and capture point.”

[5] S. Behnke and M. Schreiber, “Humanoid robots start to play soccer,” *Soccer*, pp. 497–503, 2006.

[6] F. Dalla Libera, T. Minato, I. Fasel, H. Ishiguro, E. Pagello, and E. Menegatti, “A new paradigm of humanoid robot motion programming based on touch interpretation,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 57, no. 8, pp. 846–859, 2009, doi: 10.1016/j.robot.2009.03.013.

[7] K. Ayusawa and E. Yoshida, “Motion retargeting for humanoid robots based on simultaneous morphing parameter identification and motion optimization,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 6, pp. 1343–1357, 2017, doi: 10.1109/TRO.2017.2752711.

[8] S. Lengagne, N. Ramdani, and P. Fraisse, “Planning and fast re-planning of safe motions for humanoid robots: Application to a kicking motion,” *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2009*, no. 1, pp. 441–446, 2009, doi: 10.1109/IROS.2009.5354002.

[9] C. H. Sung, T. Kagawa, and Y. Uno, “Planning of Kicking Motion with Via-Point Representation for Humanoid Robots,” pp. 337–342, 2011.

[10] X. Lu and R. Qiu, “The research of motion planning for humanoid robots,” *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, AICI 2009*, vol. 2, pp. 322–326, 2009, doi: 10.1109/AICI.2009.335.

[11] A. Ramanantoanina and K. Hormann, “New shape control tools for rational Bézier curve design,” *Computer Aided Geometric Design*, vol. 88, p. 102003, 2021, doi: 10.1016/j.cagd.2021.102003.

[12] M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, “Robot Modeling and Control First Edition.”

[13] D. Tank and J. Hopfield, “Simple ‘neural’ optimization networks: An A/D converter, signal decision circuit, and a linear programming circuit,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 533–541, May 1986, doi: 10.1109/TCS.1986.1085953.

[14] I. N. da Silva, M. E. Bordon, and A. N. de Souza, “Design and analysis of neural networks for systems optimization,” *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 1, pp. 684–689, 1999, doi: 10.1109/ijcnn.1999.831583.