



PROYEK AKHIR

PENGEMBANGAN SISTEM STABILISATOR TITIK TETAP PADA KURSI MOBIL KHUSUS BAYI 2 SUMBU BERBASIS KALMAN FILTER

*DEVELOPMENT OF STEADY POINT STABILIZER SYSTEM OF 2
AXIS BABY CAR SEAT BASED ON KALMAN FILTER*

Oleh:

**Sayuna Ulfa Yakin
NRP. 1110195022**

Dosen Pembimbing :

**Ardik Wijayanto, S.T., M.T.
NIP. 197706202002121002**

**Eru Puspita, S.T., M. Kom
NIP. 196912311995011001**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK ELEKTRONIKA NEGERI SURABAYA
2021**



PROYEK AKHIR

PENGEMBANGAN SISTEM STABILISATOR TITIK TETAP PADA KURSI MOBIL KHUSUS BAYI 2 SUMBU BERBASIS KALMAN FILTER

*DEVELOPMENT OF STEADY POINT STABILIZER
SYSTEM OF 2 AXIS BABY CAR SEAT BASED ON
KALMAN FILTER*

Oleh:

Sayuna Ulfa Yakin
NRP. 1110195022

Dosen Pembimbing :

Ardik Wijavanto, S.T., M.T.
NIP. 197706202002121002

Eru Puspita, S.T., M. Kom
NIP. 196912311995011001

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK ELEKTRONIKA NEGERI SURABAYA
2021**

PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya selaku penulis menyatakan bahwa Proyek Akhir ini adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, dan semua sumber/referensi baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Surabaya, Juli 2021
Penulis yang menyatakan,

Sayuna Ulfa Yakin
NRP. 1110195022

**PENGEMBANGAN SISTEM STABILISATOR TITIK TETAP
PADA KURSI MOBIL KHUSUS BAYI 2 SUMBU BERBASIS
KALMAN FILTER**

Oleh :

SAYUNA ULFA YAKIN
NRP. 1110195022

Proyek Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Disetujui dan disahkan

oleh:

Dosen Penguji Proyek Akhir :

Dosen Pembimbing:

1.

1.

Ardik Wijayanto, S.T., M.T.
NIP. 197706202002121002

2.

2.

Eru Puspita, S.T., M. Kom
NIP. 196912311995011001

3.

Mengetahui :

Ketua Program Studi D4 Teknik Elektronika

Dr. Ing. Arif Irwansyah, ST., M. Eng.
NIP. 1977031182001121002

ABSTRAK

Transportasi adalah kebutuhan dasar bagi masyarakat. Mobil merupakan contoh alat transportasi darat yang banyak kita jumpai. Pengendara mobil tidak terbatas pada usia, bahkan orang tua seringkali membawa anak atau bayi mereka berkendara. Kondisi mobil yang terguncang keras ketika melaju sangat berbahaya bagi bayi. Kondisi tersebut dapat menimbulkan *shaken baby syndrome* yang dapat mengancam kesehatan bayi. Berdasarkan permasalahan diatas, pada proyek akhir ini akan dibuat suatu kursi mobil khusus bayi yang dapat menjaga posisi bayi tetap tegak lurus terhadap pusat gravitasi. Kondisi kursi yang stabil dalam mempertahankan posisinya terhadap *setpoint* akan tercipta dengan menggunakan metode kontrol *Neural Network*. Pengambilan data dari sensor *accelerometer* dan *gyroscope* diketahui bahwa respon dari sensor sangat baik, ketika sensor digerakkan pada sumbu X maka hanya terjadi perubahan data pada sumbu x, dan begitu juga dengan sumbu Y. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan sudut di setiap sumbu tidak mempengaruhi pada sumbu yang lain. Data *accelerometer* dan *gyroscope* masih mengandung *noise* direduksi menggunakan *kalman filter*. Setelah proses pengujian, diketahui bahwa *filter* yang digunakan dapat mereduksi pengaruh *noise*. Untuk linieritas dari motor sendiri dapat diketahui bahwa setiap penambahan 5° pada program maka pada sudut aktual motor akan bertambah sebesar 10° dan terdapat simpangan antara sudut pada program dengan sudut yang dihasilkan oleh motor dengan rata-rata sebesar 1.94°.

Kata kunci : kursi mobil khusus bayi, metode *neural network*, *kalman filter*

ABSTRACT

Transportation is a basic need for society. Cars are examples of land transportation that we often encounter. Car drivers are not limited by age, even parents often bring their child or baby to drive. The condition of the car that is shaken hard when driving is very dangerous for the baby. This condition can cause shaken baby syndrome which can threaten the health of the baby. Based on the above problems, this final project will build a special car seat for babies that can keep the baby's position perpendicular to the center of gravity. A stable seat condition in maintaining its position against the setpoint will be created using the Neural Network control method. Taking of data from the accelerometer and gyroscope sensors shows that the response from the sensor is very good, when the sensor is moved on the X axis, only the data changes on the X axis, and so does the Y axis. This shows that changes in the angle on each axis do not affect the another axis. Accelerometer and gyroscope data still contain noise reduced using a kalman filter. After the testing process, it is known that the filter used can reduce the effect of noise. For the linearity of the motor itself, it can be seen that every 5° increase in the program, the actual angle of the motor will increase by 10° and there is a deviation between the angle in the program and the angle generated by the motor with an average of 1.94°.

Keyword: baby car seats, neural network method, kalman filter

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji syukur bagi Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul :

PENGEMBANGAN SISTEM STABILISATOR TITIK TETAP PADA KURSI MOBIL KHUSUS BAYI 2 SUMBU BERBASIS KALMAN FILTER

Pembuatan dan penyusunan proyek akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Diploma-4 (D4) dan memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) di jurusan Elektronika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)

Penulis berusaha secara optimal dengan segala pengetahuan dan informasi yang didapatkan dalam menyusun laporan proyek akhir ini. Namun, penulis menyadari berbagai keterbatasannya, karena itu penulis memohon maaf atas keterbatasan materi laporan proyek akhir ini. Penulis sangat mengharapkan masukan berupa saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan proyek akhir ini.

Demikian besar harapan penulis agar laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya dalam mempelajari sistem stabilisator *steady point* kursi mobil khusus bayi 2 sumbu berbasis kalman filter.

Surabaya, Juli 2021

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah S.W.T dan tanpa menghilangkan rasa hormat yang mendalam, saya selaku penyusun dan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Untuk **Bapak, Ibu, adik dan keluarga tercinta** yang selalu mendoakan dan memberi banyak dukungan.
2. Bapak **Dr. Zainal Arif, S.T., M.T.**, selaku Direktur PENS.
3. Bapak **Dr. Eng I Gede Puja A, S.T., M.T.**, selaku Kepala Departemen Teknik Elektro PENS.
4. Bapak **Dr. Ing. Arif Irwansyah, S.T., M. Eng.**, selaku Ketua Program Studi Diploma 4 Teknik Elektronika PENS.
5. Bapak **Ardik Wijayanto, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing proyek akhir penulis yang telah membantu penulis dalam banyak hal. Serta nasehat dan saran yang telah diberikan pada penulis selama kuliah.
6. Bapak **Eru Puspita, S.T., M.Kom**, selaku dosen pembimbing proyek akhir yang telah membantu penulis dalam banyak hal
7. Rekan-rekan **D4 LANJUT JENJANG TEKNIK 2020** yang telah membantu motivasi dan semangat penulis selama di kampus tercinta, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).
8. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing dan membekali ilmu kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan di kampus tercinta, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).
9. Semua pihak yang telah membantu penulis hingga terselesaikannya proyek akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah S.W.T selalu memberikan perlindungan, rahmat dan nikmat-Nya bagi kita semua. Aamiin

PERSETUJUAN PUBLIKASI TERBATAS

Sebagai civitas akademik Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sayuna Ulfa Yakin
NRP : 1110195022
Program Studi : D4 LJ Teknik Elektronika
Departemen : Teknik Elektro

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas proyek akhir saya yang berjudul:

PENGEMBANGAN SISTEM STABILISATOR TITIK TETAP PADA KURSI MOBIL KHUSUS BAYI 2 SUMBU BERBASIS KALMAN FILTER

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), yang oleh karenanya Politeknik Elektronika Negeri Surabaya dengan ini berhak menyimpan, mengalih-media-kan atau mengalih-format-kan, mengelola dalam pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, Juli 2021
Penulis

Sayuna Ulfa Yakin

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN ORISINILITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
PERSETUJUAN PUBLIKASI TERBATAS	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Perumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB II TEORI PENUNJANG	
2.1 Permodelan Gimbal	5
2.2 Implementasi Filter Kalman pada Sistem Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) Quadcopter	6
2.3 Shaken Baby Syndrome	6
2.4 Produk Pencegahan Shaken Baby Syndrome Terhadap Guncangan Mobil	7
2.5 <i>Neural Network</i>	8
2.6 Penelitian Terkait	12
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM	
3.1 Perencanaan Sistem	15
3.2 Perancangan Mekanik	20
3.2.1 Desain Kerangka	20
3.2.2 Permodelan Mekanik	21
3.3 Perancangan Perangkat Keras	24
3.3.1 Teensyduino 4.0	24
3.3.2 Sensor MPU 6050	25

3.3.3 Driver Motor	26
3.4 Perancangan Perangkat Lunak	27
3.4.1 <i>Flow Chart Program</i>	27
3.5 Prosedur Pengambilan Data	28
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	
4.1 Pengujian Linieritas Motor	29
4.2 Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i>	30
4.3 Pengujian Sensor <i>Gyroscope</i>	32
4.4 Pengujian <i>Filter</i>	33
4.5 Pengujian Sistem Menggunakan Metode Neural Network	35
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambaran <i>Shaken Baby Syndrome</i>	7
Gambar 2.2	Produk Kursi Khusus Bayi di Pasaran	8
Gambar 2.2	Syaraf Secara Biologi	9
Gambar 2.2	Struktur <i>Neural Network</i>	11
Gambar 3.1	Desain Sistem	15
Gambar 3.2	Persamaan Pembaharuan dan Prediksi <i>Kalman Filter</i> .	17
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> Metode <i>Kalman Filter</i>	19
Gambar 3.4	Blok Diagram Sistem Kontrol	20
Gambar 3.5	Desain Mekanik Kursi Mobil Khusus Bayi	20
Gambar 3.6	Kursi Tampak Depan	21
Gambar 3.7	Kursi Tampak Samping	22
Gambar 3.8	Board Teensyduino 4.0	24
Gambar 3.9	Board MPU 6050	25
Gambar 3.10	Driver Motor ASMC-04	26
Gambar 3.11	<i>Flow Chart Program</i>	27
Gambar 3.12	Permodelan <i>Neural Network</i> yang Digunakan	27
Gambar 4.1	Grafik Pengujian Linieritas Motor.....	30
Gambar 4.2	Grafik Pengujian <i>Accelerometer</i>	31
Gambar 4.3	Grafik Pengujian <i>Gyroscope</i>	33
Gambar 4.4	Grafik Pengujian <i>Complementary Filter</i> dan <i>Kalman Filter</i> Sumbu X.....	34
Gambar 4.5	Grafik Pengujian <i>Complementary Filter</i> dan <i>Kalman Filter</i> Sumbu Y	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Register</i> MPU 6050	25
Tabel 3.2 Skema Pengujian Alat	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi telah menjadi kebutuhan dasar bagi masyarakat. Hingga saat ini kebutuhan akan transportasi semakin meningkat dari waktu ke waktu. Transportasi digunakan untuk memudahkan manusia dalam melakukan kegiatan sehari – hari. Kendaraan bermotor merupakan salah satu contoh alat transportasi darat. Pengendara kendaraan bermotor tidak terbatas pada usia, bahkan para orang tua seringkali membawa anak atau bayi mereka berkendara. Di era modern ini kemajuan teknologi dibidang transportasi semakin pesat untuk menciptakan transportasi yang aman dan nyaman sehingga menurunkan angka kecelakaan. Kecelakaan lalu lintas dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantara faktor tersebut faktor manusia merupakan penyebab paling tinggi. Berdasarkan data korlantas polri tentang jumlah kecelakaan kendaraan bermotor periode 2017 telah terjadi 6.280 kasus kecelakaan mobil di seluruh Indonesia dengan jumlah korban berumur 0 sampai 4 bulan berjumlah 525 jiwa[1].

Sebagian besar orang di Indonesia belum familiar dengan penggunaan *child car seat*. Tidak adanya aturan yang mewajibkan penggunaan *child car seat* di Indonesia menyebabkan banyak orang tua tidak aware dengan keberadaan benda ini. *Child car seat* adalah kursi khusus bagi anak anak usia tertentu untuk melindungi mereka selama berada di atas mobil. Website resmi Alodokter mengatakan bahwa menempatkan bayi dalam *child car seat* dapat mengurangi resiko cedera dan meninggal hingga 70 persen akibat kecelakaan. Mengapa perlu kursi khusus, karena sabuk pengaman orang dewasa tidak sesuai untuk dikenakan bayi dan anak usia dibawah 5 tahun (balita). Sehingga sabuk pengaman standar tidak akan melindungi, jika sewaktu – waktu mobil berhenti mendadak atau mengalami benturan keras.

Dipasaran sudah ada produk *child car seat* dengan fitur sabuk pengaman dan bahan yang lembut, namun kursi tersebut belum mampu mengurangi guncangan pada bayi jika terlalu keras. Pada penelitian sebelumnya, membahas tentang sistem stabilisator titik tetap pada kursi

mobil khusus bayi 2 sumbu dengan metode logika fuzzy. Sehingga pada proyek akhir ini akan dibuat suatu pengembangan kursi mobil khusus bayi yang dapat mempertahankan posisi bayi sehingga tetap tegak lurus. Dengan menggunakan prinsip gimbal dan metode kontrol *neural network* sehingga putaran motor dapat sesuai dengan data yang diperoleh.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari proyek akhir ini adalah pengembangan sebuah *prototype baby car seat* yang telah dibuat untuk dapat mengurangi guncangan saat kendaraan berjalan.

1.3 Perumusan Masalah

Dari uraian singkat diatas, maka perumusan masalah dalam proposal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bagaimana menerapkembangkan kalman filter untuk meningkatkan luaran sinyal yang dihasilkan.
2. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap system kontrol.
3. Bagaimana cara mengaplikasikan kontrol *neural network* terhadap proses stabilisaasi.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dibuat agar dalam pengerjaan proyek akhir ini dapat berjalan dengan baik adalah:

1. Bayi yang menjadi objek adalah umur 2 hingga 5 bulan dengan asumsi kondisi fisik bayi ideal (standar berat badan terlampir).
2. *Stabilizer* yang dibuat dengan memiliki 2 axis dengan 1 motor penggerak di setiap *axis*.
3. Mobil yang digunakan dalam pengujian adalah merek fortuner.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang didapat dari program ini adalah

1. Mempermudah orang tua dalam menjaga bayi ketika berkendara menggunakan mobil.
2. Membantu meningkatkan kenyamanan bagi si bayi dan mengurangi resiko *shaken baby syndrome*.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dikerjakan melalui beberapa tahap. Adapun metodologi yang akan digunakan dalam pengerjaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1.6.1 Pemahaman Materi

Pada tahap ini dilakukan upaya memahami materi dari beberapa literatur yang digunakan baik berupa buku, website atau jurnal ilmiah tentang sensor gyroscope dan accelerometer, kalman filter, dan lain-lain yang dapat membantu penyelesaian proyek akhir ini.

1.6.2 Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem akan dibuat konsep kerja sistem yang akan diterapkan yakni mulai dari perancangan hardware, software, proses pengiriman data hasil identifikasi sensor sehingga tercipta sebuah sistem untuk kursi khusus bayi yang digunakan di dalam mobil.

1.6.3 Pembuatan Program

Pada tahap ini yang dilakukan adalah membuat perancangan program yaitu menyusun algoritma pembacaan data sensor dan pengolahan data menggunakan filter.

1.6.4 Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan uji coba program untuk mengetahui hasil dari program yang telah dibuat serta melakukan perbaikan apabila terjadi kesalahan pada program.

1.6.5 Analisa dan Kesimpulan

Setelah dilakukan integrasi sistem dan pengujian sistem, maka akan dilakukan analisa yang meliputi keakuratan hasil data sensor, performansi identifikasi keputusan menggunakan metode neural network. Dari analisis pada parameter-parameter tersebut nantinya akan dilakukan penyimpulan akhir untuk menentukan performa sistem.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dari proyek akhir ini direncanakan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi penelitian, serta sistematika pembahasan dari proyek akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penyelesaian proyek akhir, yang didapatkan dari berbagai macam buku serta sumber-sumber terkait lainnya yang berhubungan dengan pembuatan proyek akhir ini.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

Bab ini membahas mengenai perencanaan dan proses perencanaan sistem dari perencanaan bagian sistem, hingga proses integrasi antar bagian sistem untuk menjadi satu sistem yang terintegrasi.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Berisi bahasan tentang implementasi secara keseluruhan, pengujian setiap elemen-elemen pembangun, pengujian elemen terintegrasi dan analisis dari pengujian dan metode yang digunakan.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran-saran bagi pengembangan Tugas Akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini akan dibahas tentang teori – teori yang menunjang dalam menyelesaikan proyek akhir ini. Beberapa teori penunjang pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

2.1 Permodelan Gimbal

2.1.1. Modelling and Control of An Advanced Camera Gimbal

Jakob Johansson pada tahun 2012 melalui jurnal yang ditulisnya mengungkapkan bahwa pemodelan gimbal yang dibuat tidak sama dengan perilaku gimbal sebenarnya. Namun sudah cukup untuk membangun struktur kontrol karena masih menyerupai perilaku gimbal yang sesungguhnya. Dalam proses pemodelan bagian tersulit terdapat pada memastikan kebenaran transformasi antar koordinat frame yang berbeda. Pada penelitian ini Jacob menggunakan proses pemodelan kinematik dan dinamika. Kinematika digunakan untuk menginterpretasikan sensor yang juga digunakan dalam pemodelan secara dinamika. Penggunaan sampling rate yang lebih tinggi dapat meningkatkan performa gimbal karena rentang waktu antar eksekusi lebih kecil sehingga gerakan motor lebih halus. Penggunaan sistem umpan balik juga mengurangi osilasi yang tidak stabil disebabkan oleh sistem kontrol[2].

2.1.2. Design and Control of a Three Axis Gimbal

Penelitian yang dilakukan oleh Stephan van Nispen, S.H.M. pada tahun 2016 memiliki tujuan untuk merancang membuat model dan mengontrol gimbal untuk mendapatkan kontrol penuh atas kemampuan gimbal. Proses pemodelan yang berhasil dilakukan yaitu kinematika, dinamika serta pemodelan untuk IMU. Sensor yang digunakan adalah MPU-6050, untuk pemrosesan data menggunakan Arduino Nano V3.0 dan motor *brushless DC*. Keuntungan motor ini dapat mempercepat akselerasi dan perlambatan. Namun motor ini juga memiliki kelemahan yaitu agak susah dikontrol dari pada motor servo. Dikarenakan motor

brushless DC tidak memiliki umpan balik berupa letak posisi dari motor tersebut. Maka sistem yang digunakan dibagi 2, yaitu *close loop* dan *open loop*. *Open loop* digunakan untuk control motor, *close loop* digunakan untuk memproses data dari sensor. Menggunakan metode control PID pada sistem *close-loop* yang di-tuning dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols. Dengan menggunakan sistem tersebut, gimbal dapat bekerja sesuai data pada saat simulasi. Kekurangan dari penelitian ini yaitu sudut roll masih mengalami *stuttering*[3].

2.2. Implementasi Filter Kalman pada Sistem Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) Quadcopter

Pada jurnal yang ditulis oleh Nico Jonathan dan Ferry Rippun dijelaskan bahwa, menggunakan sensor MPU 6050 merupakan salah satu sensor yang tergolong dalam *Inertial Measurement Unit* (IMU), sensor ini merupakan gabungan dari 3-axis gyroscope dan 3-axis accelerometer. Pada penggunaannya, sensor ini dapat memberikan keluaran sudut kemiringan pada sumbu X dan Y yang dapat digunakan untuk navigasi pada sistem quadcopter. Pada saat quadcopter bergerak, data keluaran sensor ini memiliki banyak noise yang sangat mengganggu pembacaan sensor. Oleh karena itu digunakanlah filter kalman untuk mengolah data dari sensor yang memiliki banyak noise agar dapat mengestimasi data sebenarnya dari sensor tersebut. Perancangan Filter Kalman dilakukan dengan menggabungkan data pembacaan dari *accelerometer* dan *gyroscope* yang kemudian diolah untuk menghasilkan sudut kemiringan yang sebenarnya pada sumbu X dan Y. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, Kalman Filter berhasil menggabungkan data *accelerometer* dan *gyroscope* dengan keluaran yang meleset $1-2^\circ$ [4].

2.3. Shaken Baby Syndrome

Shaken baby syndrome adalah kondisi dimana anak mendapat guncangan pada kepala dengan keras yang menyebabkan pendarahan retina dan pendarahan otak. Kebiasaan orang tua dalam membawa bayi saat berkendara merupakan kegiatan yang dapat membahayakan kesehatan bayi. Bayi yang terguncang saat mobil melaju dalam medan

yang buruk dapat menyebabkan *shaken baby syndrome*. Syndrome ini merupakan salah satu penyebab utama kematian dan gangguan saraf pada anak akibat kekerasan atau guncangan. Guncangan dapat disengaja, misalnya oleh orang dewasa yang tidak sabar terhadap bayi yang rewel, maupun tidak sengaja dan timbul karena cara bermain yang menyebabkan guncangan hebat pada kepala, misalnya dengan diayun atau dilempar ke udara. Guncangan pada badan juga dapat berakibat cedera pada otak karena perubahan posisi kepala terhadap leher yang drastic dan mendadak.

Spektrum gejala *shaken baby syndrome* sangat luas, dari gejala ringan sampai sangat berat. Gejala ringan yang tidak spesifik umumnya tidak disadari dan membaik seiring waktu. Sindrom yang sangat berat dapat menyebabkan penurunan kesadaran, kejang, sampai kematian. Sesaat setelah guncangan hebat, anak umumnya menjadi rewel atau cenderung banyak tidur, muntah - muntah, dan tidak mau makan. Gejala ini dapat menetap selama beberapa hari atau beberapa minggu. Perdarahan otak dapat menyebabkan penurunan kesadaran, kejang, muntah, malas menyusui, dan kontak yang berkurang. Kerusakan otak berat dapat menyebabkan gangguan pernapasan sampai henti napas. Gejala yang tidak spesifik dan kerusakan otak yang tidak terdeteksi dapat berlangsung lama tanpa diketahui namun menyebabkan gangguan belajar atau gangguan perilaku saat anak lebih besar[5].



Gambar 2.1 Gambaran *Shaken Baby Syndrome*[5]

2.4. Produk Pencegahan Shaken Baby Syndrome Terhadap Guncangan Mobil

Dipasaran telah ada produk yang mampu mengurangi resiko *shaken baby syndrome* saat berkendara berupa kursi mobil khusus bayi konvensional yang tidak dapat melakukan *stabilizing*. Produk tersebut telah banyak digunakan oleh masyarakat bahkan perusahaan produsen mobil juga menyediakan kursi khusus bayi yang tertanam pada mobil secara langsung. Namun jika terjadi guncangan yang *ekstreeme* kursi tersebut tidak mampu meredamnya dengan baik.



Gambar 2.2 Produk Kursi Mobil Khusus Bayi di Pasaran[5]

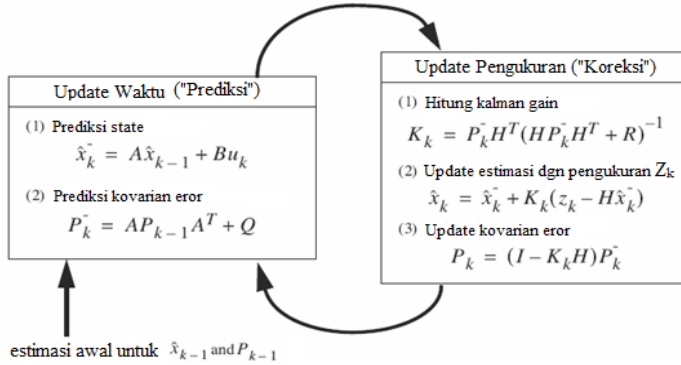
Kelemahan dari produk yang ada di pasaran saat ini yaitu dalam kondisi medan yang cukup buruk, bayi masih mendapatkan guncangan serta teromban-ambing seiring dengan kondisi yang diperoleh mobil saat berjalan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu produk yang mampu menyetabilkan posisi bayi sehingga meskipun mobil dalam kondisi naik, turun atau berguncang bayi masih dalam kondisi yang stabil terhadap pusat gravitasi.

2.5 *Kalman Filter*

Filter Kalman pada dasarnya adalah satu set persamaan matematika yang menerapkan estimator jenis prediktor-korektor yang optimal dalam artian dapat meminimalkan estimasi dari eror kovarian ketika beberapa kondisi yang diperkirakan sudah terpenuhi [13]. Filter

Kalman melakukan estimasi terhadap perubahan *state* karena gangguan dari *noise* secara *real time*. Filter ini memiliki dua bagian utama pada prosesnya, prediksi dan koreksi yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Langkah pertama dari Kalman Filter adalah memprediksi state awal, yang diperlihatkan pada Persamaan 2.1.



Gambar 2.3 Proses Kalman Filter [13]

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k \quad 2.1$$

Keterangan :

- A, B adalah model dari matriks transisi
- k adalah indeks waktu
- \hat{x}_k^- adalah prediksi state dari sistem pada waktu k
- \hat{x}_{k-1} adalah state dari sistem pada waktu k-1
- u adalah input dari sensor.

Rumus untuk mencari sudut ditunjukkan pada Persamaan 2.2.

$$\theta = \theta + \Delta t (\dot{\theta} - \dot{\theta}_b) \quad 2.2$$

Berdasarkan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 maka didapatkan penjabaran rumus dari Persamaan 2.1 yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3.

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_k \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} \Delta t \\ 0 \end{bmatrix} \dot{\theta}_k \quad 2.3$$

Keterangan :

- θ adalah sudut ($^{\circ}$)
- $\dot{\theta}_b$ adalah sudut dari bias gyroscope setiap detik ($^{\circ}/s$)
- ΔT adalah selisih waktu (s)
- $\dot{\theta}_k$ adalah output dari sensor gyroscope ($^{\circ}/s$)
- k adalah indeks waktu.

Langkah kedua adalah memprediksi kovarian eror yang ditunjukkan pada Persamaan 2.4.

$$P_k^- = A P_{k-1} A^T + Q \quad 2.4$$

Keterangan:

- A adalah model dari matriks transisi
- k adalah indeks waktu
 - P_k^- adalah prediksi kovarian eror pada waktu k
 - P_{k-1} adalah kovarian eror pada waktu k-1
 - Q adalah *noise* kovarian eror.

Berdasarkan Persamaan 2.4 maka didapatkan penjabaran rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 2.5.

$$\begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_{k-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\Delta t & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_{\theta} & 0 \\ 0 & Q_{\dot{\theta}_b} \end{bmatrix} \Delta t \quad 2.5$$

Keterangan

- P adalah kovarian eror
- Q_{θ} adalah *noise* dari perkiraan sudut
- $Q_{\dot{\theta}_b}$ adalah *noise* dari perkiraan sudut bias
- k adalah indeks waktu
- ΔT adalah selisih waktu (s).

Langkah ketiga adalah menghitung kalman gain. Kalman gain berfungsi untuk menentukan seberapa banyak bagian dari prediksi dan seberapa banyak bagian dari pengukuran yang akan digunakan dan digabungkan untuk memperbarui *state* pada bagian koreksi yang ditunjukkan pada Persamaan 2.6.

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad 2.6$$

Keterangan:

- P_k^- adalah prediksi kovarian error pada waktu k
- K adalah kalman gain
- H adalah model matriks transisi
- R adalah error dari pengukuran
- k adalah indeks waktu

Berdasarkan Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.6 maka didapatkan penjabaran rumus Persamaan 2.6 yang ditunjukkan pada Persamaan 2.7.

$$\begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + R \right)^{-1} \quad 2.7$$

Keterangan :

- K adalah kalman gain
- P adalah kovarian error
- R adalah error dari pengukuran
- k adalah indeks waktu

Langkah keempat adalah menghitung *state* akhir. *State* ini merupakan *state* yang telah diperbarui oleh kalman gain sehingga *state* ini sudah mengandung data dari prediksi awal dan pengukuran sensor yang ditunjukkan pada Persamaan 2.8.

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k (Z_k - H \hat{X}_k^-) \quad 2.8$$

Keterangan:

- \hat{X}_k^- adalah prediksi *state* dari sistem pada waktu k
- \hat{X}_k adalah *state* dari sistem pada waktu k
- K adalah kalman gain
- Z adalah pengukuran dari sensor
- H adalah model matriks transisi
- k adalah indeks waktu

Berdasarkan Persamaan 2.1, Persamaan 2.6, dan Persamaan 2.8 maka didapatkan penjabaran rumus Persamaan 2.8 yang ditunjukkan pada Persamaan 2.9.

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \end{bmatrix}_k \left(Z_k - \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k \right) \quad 2.9$$

Keterangan:

- θ adalah sudut ($^\circ$)
- $\dot{\theta}_b$ adalah sudut dari bias gyroscope ($^\circ/\text{s}$)
- K adalah kalman gain
- Z adalah pengukuran dari sensor
- k adalah indeks waktu.

Langkah terakhir adalah menghitung kovarian eror akhir yang ditunjukkan pada Persamaan 2.10.

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad 2.10$$

Keterangan:

- P_k adalah kovarian eror pada waktu k
- P_k^- adalah prediksi kovarian eror pada waktu k
- K adalah kalman gain
- I adalah matriks identitas
- H adalah model matriks transisi
- k adalah indeks waktu.

Berdasarkan Persamaan 2.4, Persamaan 2.6, dan Persamaan 2.10 maka didapatkan penjabaran rumus Persamaan 2.10 yang ditunjukkan pada Persamaan 2.11.

$$\begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k = \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k \quad 2.11$$

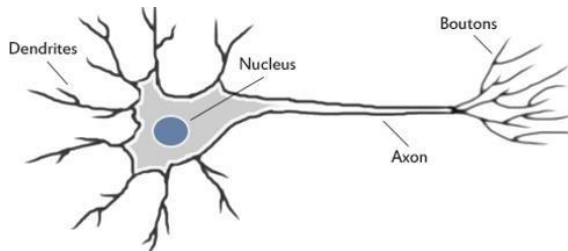
Keterangan:

- P adalah kovarian eror
- K adalah kalman gain
- k adalah indeks waktu

2.6 *Neural Network*

Neural Network (NN) atau Jaringan Saraf Tiruan (JST) adalah salah satu kategori ilmu *soft computing* yang diadopsi dari kemampuan otak manusia yang mampu memberikan stimulasi/rangsangan, melakukan proses, dan memberikan output. Output diperoleh dari variasi stimulasi dan proses yang terjadi dalam otak manusia [12]. Elemen mendasar dari paradigma tersebut adalah struktur yang baru dari sistem pemrosesan informasi. JST merupakan suatu sistem yang memiliki pengetahuan dalam menganalisa suatu masalah dan melakukan pekerjaan-pekerjaan klasifikasi pola, me metakan pola yang didapat dari input kedalam pola baru output, penyimpan pola yang akan dipanggil kembali, memetakan pola yang sejenis, pengoptimasi permasalahan, dan prediksi. NN merupakan bagian dari sistem kecerdasan buatan yang digunakan untuk memproses informasi yang didesain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan masalah dengan melakukan proses belajar melalui perubahan bobot sinapsisnya. Pada penunjukkan salah satu contoh syaraf secara biologis dimana setiap sel syaraf (Neuron) akan memiliki satu inti sel yang bertugas untuk melakukan pemrosesan informasi. Informasi yang datang akan diterima oleh dendrit.

Selain menerima informasi, Dendrit juga menyertai Axon sebagai keluaran dari suatu pemrosesan informasi. Informasi hasil olahan ini akan menjadi masukan bagi Neuron lain dimana antar Dendrit kedua sel tersebut dipertemukan dengan sinapsisnya. Informasi yang dikirimkan antar Neuron ini berupa rangsangan yang dilewatkan melalui Dendrit. Informasi yang datang dan diterima oleh Dendrit akan dijumlahkan dan dikirim melalui Axon lain. Informasi ini akan diterima oleh Neuron lain jika memenuhi batasan tertentu dikenal dengan nilai ambang (threshold) yang dikatakan teraktivasi.



Gambar 2.4 Syaraf Secara Biologi[12]

Pada Gambar 2.3 menunjukkan gambaran syaraf secara biologi. Pada umumnya JST memiliki tiga lapisan, yaitu input layer, hidden layer, dan output layer. Berikut penjelasan mengenai layer pada NN.

1. *Input Layer*

Lapisan ini berisi Neuron-Neuron yang masing-masing menyimpan sebuah nilai masukan yang tidak berubah pada fase latih dan hanya bisa berubah jika diberikan nilai masukan baru. Neuron pada lapisan ini tergantung pada banyaknya vektor input dari suatu pola.

2. *Hidden Layer*

Lapisan ini tidak pernah muncul sehingga dinamakan hidden layer. Akan tetapi semua proses pada fase pelatihan dan fase pengenalan dijalankan di lapisan ini. Jumlah lapisan ini tergantung dari arsitektur yang akan dirancang, tetapi pada umumnya terdiri dari satu lapisan hidden layer.

3. *Output Layer*

Output layer berfungsi untuk menampilkan hasil perhitungan sistem oleh fungsi aktivasi pada lapisan hidden layer berdasarkan input yang diterima.

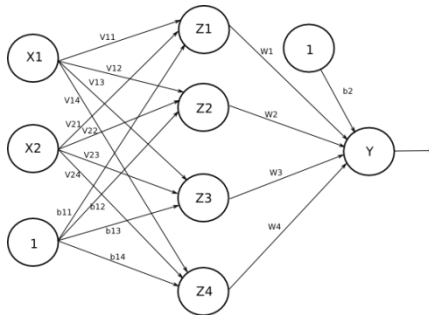
Backpropagation adalah algoritma pembelajaran untuk memperkecil tingkat error dengan cara menyesuaikan bobot berdasarkan perbedaan output dan target yang diinginkan. Backpropagation juga merupakan sebuah metode sistematis untuk pelatihan multilayer JST. Backpropagation dikatakan sebagai algoritma pelatihan multilayer karena struktur backpropagation seperti pada Gambar 2.3 memiliki tiga layer dalam proses pelatihannya, yaitu input layer, hidden layer dan output

layer, dimana backpropagation ini merupakan perkembangan dari single layer network (Jaringan Layar Tunggal) yang memiliki dua layer, yaitu input layer dan output layer. Dengan adanya hidden layer pada backpropagation dapat menyebabkan besarnya tingkat error pada backpropagation lebih kecil dibanding tingkat error pada single layer network. Hal tersebut dikarenakan hidden layer pada backpropagation berfungsi sebagai tempat untuk mengupdate dan menyesuaikan bobot, sehingga didapatkan nilai bobot yang baru yang bisa diarahkan mendekati dengan target output yang diinginkan. Ada beberapa hal yang wajib diperhatikan dalam memahami metode ini, yaitu :

1. Epoch yaitu iterasi/perulangan.
2. Laju Pemahaman/learning rate digunakan untuk memberi toleransi pembelajaran. Dalam uji coba yang telah kami lakukan, semakin besar nilainya semakin sedikit epoch yang muncul.
3. Target Error/Threshold digunakan untuk memberi batasan MSE

Algoritma backpropagation adalah sebuah algoritma untuk memperkecil tingkat error dengan menyesuaikan bobot berdasarkan perbedaan output dan target yang diinginkan. Arsitektur algoritma backpropagation terdiri dari tiga layer yaitu input layer, hidden layer dan output layer. Pada input layer tidak terjadi proses komputasi, namun pada input layer terjadi pengiriman sinyal input X ke hidden layer. Pada hidden dan output layer terjadi proses komputasi terhadap bobot dan bias dan dihitung pula besarnya output dari hidden dan output layer tersebut berdasarkan fungsi aktivasi tertentu.

Dalam algoritma backpropagation digunakan fungsi aktivasi sigmoid biner karena output yang diharapkan bernilai antara 0 sampai 1. Pada pengambilan input, terlebih dahulu dilakukan inisialisasi bobot, kemudian masuk ke dalam algoritma proses backpropagation yang terdiri dari komputasi maju yang bertujuan untuk menelusuri besarnya error dan komputasi balik untuk mengupdate dan menyesuaikan bobot.



Gambar 2.5 Struktur *Neural Network*

Algoritma yang harus dilakukan adalah inialisasi bobot, komputasi feed forward dan backpropagation dan inialisasi kondisi stopping berdasarkan nilai batas error atau jumlah batas epoch.

Epoch merupakan rangkaian langkah dalam pembelajaran NN. Satu epoch diartikan sebagai satu kali pembelajaran NN. Pada dasarnya proses algoritma backpropagation terdiri dari komputasi maju (*feed forward*) dan komputasi balik (*backpropagation*). Komputasi maju digunakan sebagai algoritma untuk menghitung nilai aktivasi yang ada pada semua neuron baik yang ada di lapis tersembunyi atau hidden layer taupun lapis keluaran atau output layer. Berikut ini merupakan algoritma yang digunakan dalam komputasi maju :

1. Neuron yang berada pada lapisan tersembunyi melakukan perhitungan nilai total masukan dari lapisan tersembunyi dengan cara menjumlahkan perkalian sinyal masukan dengan bobot antara lapisan masukan (input layer) dan lapisan tersembunyi (hidden layer) dan nilai bias.
2. Neuron tersebut melakukan perhitungan nilai aktivasi.
3. Sinyal keluaran dari lapisan tersembunyi berguna sebagai lapisan masukan pada lapisan keluaran. Kemudian neuron yang berada pada lapisan keluaran melakukan perhitungan untuk menghitung nilai keluaran.
4. Neuron keluaran tersebut menghitung nilai aktivitas dengan

menerapkan fungsi aktivasi pada lapisan keluarannya.

2.6 Motor Servo

2.6.1 Driver Motor

Driver motor yang digunakan pada sistem ini adalah seri ASMC-04. Kelebihan dari driver motor ini adalah mudah untuk di install kuat dan tahan lama. Driver motor ini juga mampu mengendalikan jarak jauh, dan mengendalikan potensiometer. Selain itu mampu melakukan penyesuaian arus dan sudut. Bekerja pada tegangan 12-24 V DC. Memiliki sudut rotasi 0-300°. Tegangan output yang dihasilkan 12-24V. Memiliki akurasi control sebesar 0.32°. driver motor ini sering diaplikasikan untuk robot, lengan mekanik, control akurat dari sudut katup, dll[10].



Gambar 2.6 Driver Motor ASMC-04[10]

2.7 Penelitian Terkait

Alexis D. LaMott pada jurnalnya yang berjudul “Design of Smart Seat Car Safety System to Prevent child Vehicular Heat Stroke” dijelaskan bahwa alat tersebut memiliki fungsi untuk memonitoring kursi bayi dan suhu didalam mobil. Menggunakan NTC sebagai pengukur suhu. Mikrokontroler yang digunakan adalah microchip PIC 18F87J11 sebagai konfersi analog ke digital. Pada alat ini terdapat alarm, alarm akan berbunyi ketika bayi ditinggalkan saat suhu mobil panas, dan juga anak dicurigai mengalami heatstroke.

Pada tahun 2015 Sakurako Hamatani dan Toshiyuku Murakami dari Keio University dengan jurnal yang berjudul “A Novel Steering Mechanism of Two-Wheeled Wheel Chair for Stability Improvement”. Menjelaskan tentang sistem kemudi untuk meningkatkan stabilitas static kursi, dengan sudut pengemudi dikontrol sesuai sudut pitch tubuh. Pada penelitian ini berfokus pada peningkatan stabilitas kursi sehinggadigunakan teori stabilisasi Lyapunov untuk menganalisis efek sudut untuk sistem stabilisasi, sudut kemudi dikendalikan tergantung sudut pitch tubuh. Menggunakan sensor gyro sebagai control motor, dan sensor IMU sebagai pengukur pitch tubuh.

Angga Putra Pratama pada penelitiannya membuat kursi mobil khusus bayi untuk menjaga posisi bayi agar tegak lurus terhadap pusat gravitasi. Dengan menggunakan prinsip gimbali yang dikontrol dengan menggunakan metode logika fuzzy. Sistem yang telah dibuat dapat mempertahankan posisi dengan simpangan maksimum yaitu 12 derajat dan -18 derajat, pada kondisi gangguan rotasi maksimal pada sudut 47 derajat dan -40 derajat. Permasalahan pada alat ini yaitu masih terdapat osilasi pada awal proses stabilisasi dikarenakan sistem mekanik yang tidak sempurna serta gaya pada sumbu motor.

Dengan mengacu pada proyek akhir yang telah dikerjakan sebelumnya, maka akan dilakukan optimalisasi pada alat. Pada tugas akhir yang pernah dibuat sebelumnya memiliki kelemahan pada pengolahan sinyal secara mendalam tidak difokuskan maka pada saat proses *complementary filter* menggunakan nilai α yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 0.98 dan menghasilkan data dengan *noise* yang cukup besar, maka untuk memperoleh sinyal yang lebih baik akan diterapkembangkan proses filterisasi menggunakan *kalman filter* sebagai pembacaan sensor *accelerometer* dan *gyroscope*. Dengan metode *Neural Network (NN)*.

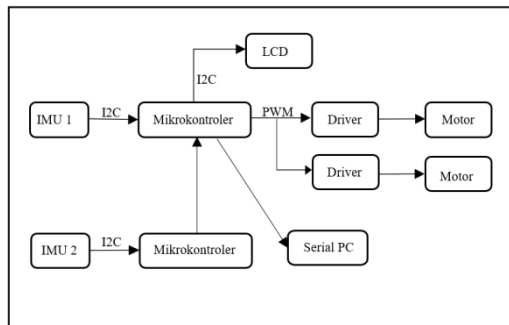
BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM

Pembahasan materi dalam bab ketiga ini diarahkan pada langkah-langkah perencanaan penelitian yang meliputi perencanaan perangkat keras dan perangkat lunak secara keseluruhan, yang meliputi pokok bahasan utama Penelitian.

3.1 Perencanaan Sistem

Secara keseluruhan gambaran perencanaan sistem dijelaskan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Desain Sistem

Sistem yang digunakan untuk melakukan *stabilizing* terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope* sebagai sensor, mikrokontroler, dua driver motor dan dua motor. Saat pertama berjalan sistem inisialisasi pada sensor untuk memastikan sensor dapat bekerja. Mikrokontroler memberikan instruksi untuk melakukan pembacaan data pada *accelerometer* dan *gyroscope*. *Accelerometer* digunakan untuk mengukur perubahan sudut, sedangkan *gyroscope* digunakan untuk mengukur sudut dari proses integral kecepatan sudut tetapi dipengaruhi oleh sinyal *drift* frekuensi rendah. Data accelerometer mentah yang dikirim sensor memiliki sensitifitas *default*, yaitu sebesar $\pm 2g$ yang berarti *accelerometer* dapat

membaca data dengan perubahan nilai $\pm 2g$ atau ± 16384 . Data tersebut masih belum dalam satuan derajat, maka kami harus melakukan konversi terlebih dahulu. Cara untuk mengkonversi data dari sensor *accelerometer* yaitu dengan membagi data tersebut dengan 16384.0 sesuai dengan *datasheet* [9]. Setelah data menjadi bentuk radian, data harus dikonversi lagi kedalam satuan derajat dengan menggunakan formula euler seperti berikut.

$$Pitch = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{(A_x)^2 + (A_z)^2}}\right) \quad 3.1$$

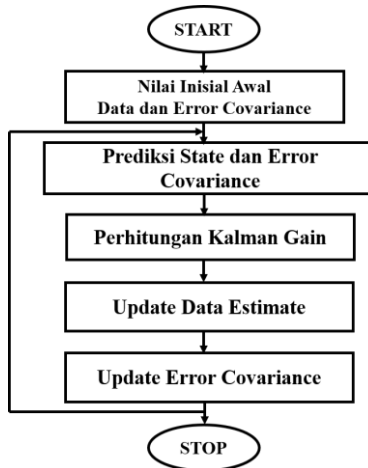
$$Roll = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{(A_x)^2 + (A_z)^2}}\right) \quad 3.2$$

Proses selanjutnya yaitu pembacaan data sensor *gyroscope*, yang memiliki kesamaan proses dengan saat pembacaan data *accelerometer*. Perbedaannya terdapat pada alamat register setiap sensor yang berbeda. Untuk *accelerometer* memiliki alamat register 0x3B-0x40 dan 0x43-0x48 untuk alamat register *gyroscope*. Secara *default* *gyroscope* menggunakan sensitifitas sebesar 131 LSB/°/s sehingga untuk mengubah menjadi satuan °/s harus dibagi dengan 131 LSB.

Setelah pembacaan data selesai dilanjutkan dengan pemilahan data dari *noise* dengan menggunakan *filter*. Filter yang dipakai yaitu *Kalman filter*. Kalman filter adalah algoritma filter kompleks yang mengambil hasil pengukuran yang masih terdapat noise. *Kalman filter* memiliki dua langkah, yaitu memperbarui dan memprediksi. Pada langkah pertama yaitu memprediksi data, *kalman filter* memberikan perkiraan. Langkah kedua yaitu memperbaharui, pada langkah ini *kalman filter* mengambil data terbaru kemudian akan dibandingkan antara hasil data yang diperbaharui dengan hasil data prakiraan dengan kalman gain [6]. Perbedaan antara keadaan juga terdiri dari perkiraan kebisingan (Q) dan kesalahan pengukuran dalam sistem (R). Adapun estimasi pada *Kalman filter* ini adalah keluaran dari proses *update*. Sehingga selanjutnya keluaran dari tahap estimasi kemudian digunakan untuk memprediksi keadaan selama pembaruan waktu berikutnya, lalu siklus tersebut berulang.

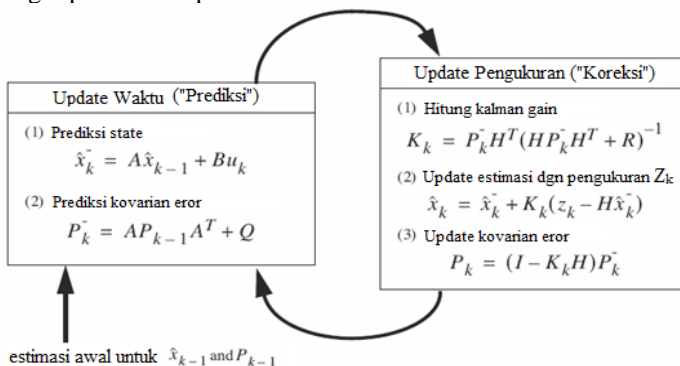
Dalam metode *Kalman filter* ini, ada beberapa konstanta yang harus di-*tuning*, yaitu Q dan R. Sehingga dari persamaan-persamaan yang

telah dijabarkan, maka bisa dijadikan sebuah *flowchart* untuk pemrograman metode ini. Berikut merupakan flowchart dari metode ini, dimana ditunjukkan oleh gambar 3.3.



Gambar 3.2 *Flowchart Metode Kalman Filter*

Langkah pertama dari Kalman Filter adalah memprediksi state awal, yang diperlihatkan pada Persamaan 3.3.



Gambar 3.3 Proses Kalman Filter [13]

$$\hat{X}_k^- = A\hat{X}_{k-1} + Bu_k \quad 3.3$$

Keterangan :

- A, B adalah model dari matriks transisi
- k adalah indeks waktu
- \hat{X}_k^- adalah prediksi state dari sistem pada waktu k
- \hat{X}_{k-1} adalah state dari sistem pada waktu k-1
- u adalah input dari sensor.

Rumus untuk mencari sudut ditunjukkan pada Persamaan 3.4.

$$\theta = \theta + \Delta t (\dot{\theta} - \dot{\theta}_b) \quad 3.4$$

Berdasarkan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 maka didapatkan penjabaran rumus dari Persamaan 3.3 yang ditunjukkan pada Persamaan 3.5.

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_k \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} \Delta t \\ 0 \end{bmatrix} \dot{\theta}_k \quad 3.5$$

Keterangan :

- θ adalah sudut ($^\circ$)
- $\dot{\theta}_b$ adalah sudut dari bias gyroscope setiap detik ($^\circ/s$)
- Δt adalah selisih waktu (s)
- $\dot{\theta}_k$ adalah output dari sensor gyroscope ($^\circ/s$)
- k adalah indeks waktu.

Langkah kedua adalah memprediksi kovarian eror yang ditunjukkan pada Persamaan 3.6.

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad 3.6$$

Keterangan:

- A adalah model dari matriks transisi
- k adalah indeks waktu
 - P_k^- adalah prediksi kovarian eror pada waktu k
 - P_{k-1} adalah kovarian eror pada waktu k-1
 - Q adalah *noise* kovarian eror.

Berdasarkan Persamaan 3.6 maka didapatkan penjabaran rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 3.7.

$$\begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_{k-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\Delta t & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_{\theta} & 0 \\ 0 & Q_{\theta_b} \end{bmatrix} \Delta t \quad 3.7$$

Keterangan

- P adalah kovarian error
- Q_{θ} adalah *noise* dari perkiraan sudut
- Q_{θ_b} adalah *noise* dari perkiraan sudut bias
- k adalah indeks waktu
- ΔT adalah selisih waktu (s).

Langkah ketiga adalah menghitung kalman gain. Kalman gain berfungsi untuk menentukan seberapa banyak bagian dari prediksi dan seberapa banyak bagian dari pengukuran yang akan digunakan dan digabungkan untuk memperbarui *state* pada bagian koreksi yang ditunjukkan pada Persamaan 3.8.

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad 3.8$$

Keterangan:

- P_k^- adalah prediksi kovarian error pada waktu k
- K adalah kalman gain
- H adalah model matriks transisi
- R adalah error dari pengukuran
- k adalah indeks waktu

Berdasarkan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.8 maka didapatkan penjabaran rumus Persamaan 3.8 yang ditunjukkan pada Persamaan 3.9.

$$\begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + R \right)^{-1} \quad 3.9$$

Keterangan :

- K adalah kalman gain
- P adalah kovarian error
- R adalah error dari pengukuran

- k adalah indeks waktu

Langkah keempat adalah menghitung *state* akhir. *State* ini merupakan *state* yang telah diperbarui oleh kalman gain sehingga *state* ini sudah mengandung data dari prediksi awal dan pengukuran sensor yang ditunjukkan pada Persamaan 3.10.

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k (Z_k - H\hat{X}_k^-) \quad 3.10$$

Keterangan:

- \hat{X}_k^- adalah prediksi *state* dari sistem pada waktu k
- \hat{X}_k adalah *state* dari sistem pada waktu k
- K adalah kalman gain
- Z adalah pengukuran dari sensor
- H adalah model matriks transisi
- k adalah indeks waktu

Berdasarkan Persamaan 3.3, Persamaan 3.8, dan Persamaan 3.10 maka didapatkan penjabaran rumus Persamaan 3.10 yang ditunjukkan pada Persamaan 3.11.

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \end{bmatrix}_k \left(Z_k - [1 \quad 0] \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta}_b \end{bmatrix}_k \right) \quad 3.11$$

Keterangan:

- θ adalah sudut (°)
- $\dot{\theta}_b$ adalah sudut dari bias gyroscope (°/s)
- K adalah kalman gain
- Z adalah pengukuran dari sensor
- k adalah indeks waktu.

Langkah terakhir adalah menghitung kovarian eror akhir yang ditunjukkan pada Persamaan 3.12.

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad 3.12$$

Keterangan:

- P_k adalah kovarian eror pada waktu k
- P_k^- adalah prediksi kovarian eror pada waktu k

- K adalah kalman gain
- I adalah matriks identitas
- H adalah model matriks transisi
- k adalah indeks waktu.

Berdasarkan Persamaan 3.6, Persamaan 3.8, dan Persamaan 3.12 maka didapatkan penjabaran rumus Persamaan 3.12 yang ditunjukkan pada Persamaan 3.13.

$$\begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k = \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}_k \quad 3.13$$

Keterangan:

- P adalah kovarian error
- K adalah kalman gain
- k adalah indeks waktu

Kemudian data akan diproses dengan menggunakan metode *neural network* untuk menentukan keputusan akhir yang akan digunakan untuk menggerakkan motor. Pemasangan *accelerometer* dan *gyroscope* pada body yang dikontrol sehingga data yang terbaca menggunakan umpan balik pada sistem. Proses kontrol yang dilakukan pada proyek akhir ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Kontrol

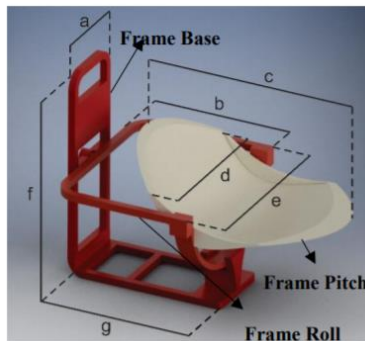
3.2 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik ini merupakan proses pembuatan desain kursi mobil khusus bayi yang paling baik. Proses perancangan mekanik

dibagi menjadi dua bagian yaitu desain kerangka dan pemodelan mekanik.

3.2.1 Desain Kerangka

Pada proyek akhir ini, mekanik menggunakan prinsip kerja gimbal sehingga memungkinkan *payload* yang mana pada hal ini ialah bayi usia 2-5 bulan dapat bergerak bebas agar dapat terlindungi dari kondisi luar. Menurut Ikatan Dokter Indonesia (IDI) tinggi rata - rata bayi usia 2-5 bulan setinggi 61 cm, sehingga ditentukan dimensi prototype adalah seperti berikut. Desain rangka mekanik dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Desain Mekanik Kursi Mobil Khusus Bayi

Keterangan ukuran :

a = 20 cm

b = 40 cm

c = 60 cm

d = 45 cm

e = 50 cm

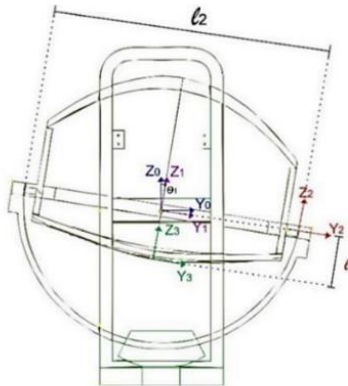
f = 60 cm

g = 48 cm

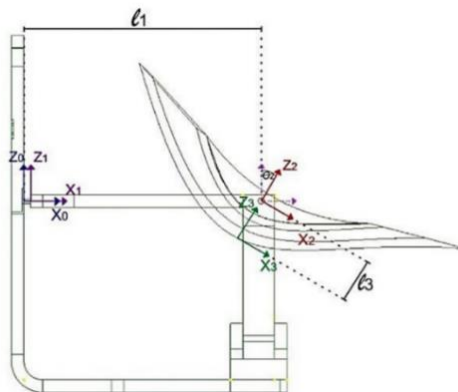
Kerangka diatas memiliki tiga *frame* utama yaitu *frame base*, *frame roll*, *frame pitch* yang setiap *framenya* dihubungkan dengan *joint*, yang setiap *joint* digerakkan oleh motor. Bayi sebagai beban diletakkan di tengah *frame pitch* sehingga bayi dapat bergerak secara *roll* dan *pitch* dalam waktu yang sama. Mobil yang bergerak di bidang yang tidak rata akan mengalami gangguan rotasi.

3.2.2 Pemodelan Mekanik

Permodelan mekanik atau kinematika adalah posisi translasi dan posisi angular yang hanya memperhitungkan geometri [7]



Gambar 3.6 Kursi Tampak Depan



Gambar 3.7 Kursi Tampak Samping

Kinematika dari *multi-body system* (MSB) menggambarkan gerakan kerangka dalam bingkai koordinat yang diletakkan pada kerangka lain menggunakan aljabar matriks [2]. Dengan menggunakan parameter pada design yang telah dibuat yaitu l_1 , l_2 , l_3 , θ_1 dan θ_2 pada gambar 3.6 dan 3.7.

3.3 Perencanaan Perangkat Keras

3.3.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan dalam Proyek Akhir ini adalah Arduino Mega 2560 dimana mikrokontroler ini difungsikan sebagai pengolah data yang dikirimkan dari semua input dan akan dikeluarkan ke output. Bentuk mikrokontroler Arduino mega dapat dilihat pada **Gambar 3.8** [8].

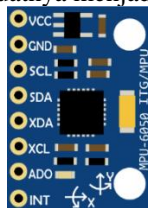


Gambar 3.8 Arduino Mega 2560 [8]

3.3.2 Sensor MPU 6050 (*Inertial Measurement Unit*)

Prototype ini membutuhkan sensor yang dapat mendeteksi perubahan sudut pada sumbu X dan Y, sehingga penulis menggunakan sensor MPU 6050 (IMU) yang dipasang pada prototype ini.

MPU 6050 adalah perangkat *MotionTracking* pertama yang memiliki 6-axis dengan mengombinasikan 3-axis *gyroscope*, 3-axis *accelerometer*, dan sebuah *Digital Motion Processor* dalam sebuah perangkat kecil yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dilengkapi dengan I^2C sensor bus, yang dapat menerima input langsung dari perangkat eksternal 3-axis *compass* untuk membuatnya menjadi 9-axis *output*[9].



Gambar 3.9 Board MPU 6050[9]

MPU 6050 memiliki tiga 16-bit analog to digital (ADCs) untuk mendigitalkan keluaran dari *gyroscope* dan tiga 16-bit analog to digital

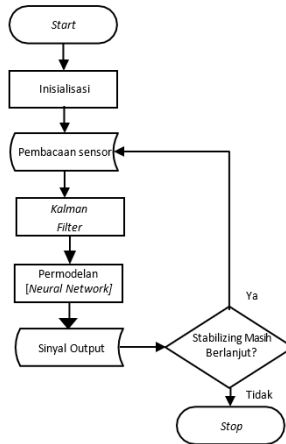
(ADCs) untuk mendigitalkan keluaran dari *accelerometer*. Untuk pembacaan yang presisi baik gerakan cepat maupun lambat, perangkat ini memiliki fitur *user-programmable* untuk *full-scale range gyroscope* dari ± 250 , ± 500 , ± 1000 , dan ± 2000 °/sec dan *user-programmable* untuk *full-scale range accelerometer* dari $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, dan $\pm 16g$ [8]. Register – register yang umumnya digunakan pada MPU 6050 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3.1 *Register MPU 6050* [9]

<i>Add. (Hex)</i>	Fungsi	<i>Add. (Hex)</i>	Fungsi
1B	<i>Gyro config</i>	43	<i>GyroX Out H</i>
1C	<i>Accel config</i>	44	<i>GyroX Out L</i>
3B	<i>AccelX Out H</i>	45	<i>GyroY Out H</i>
3C	<i>AccelX Out L</i>	46	<i>GyroY Out L</i>
3D	<i>AccelY Out H</i>	47	<i>GyroZ Out H</i>
3E	<i>AccelY Out L</i>	48	<i>GyroZ Out L</i>
3F	<i>AccelZ Out H</i>	75	<i>Who am I</i>
40	<i>AccelZ Out L</i>		

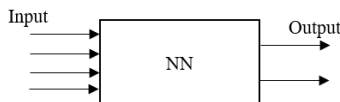
3.4 Perancangan Perangkat Lunak

3.4.1 Flow Chart Program



Gambar 3.11 Flow Chart Program

Program yang dibuat untuk melakukan *stabilizing* mengikuti *flowchart* diatas. Ketika sistem dihidupkan dengan menekan tombol *start* maka akan dilakukan inisialisasi terlebih dahulu. Setelah proses inisialisasi selesai dan *hardware* dalam kondisi baik maka proses *stabilizing* dapat dilakukan. Hal pertama yang dilakukan adalah mengukur posisi kursi dengan menggunakan sensor IMU. Dikarenakan data dari *accelerometer* dan *gyroscope* masih memiliki noise, maka harus difilter dengan menggunakan *kalman filter*. Untuk perodelan *neural network* sendiri dapat dilihat pada gambar 3.11.

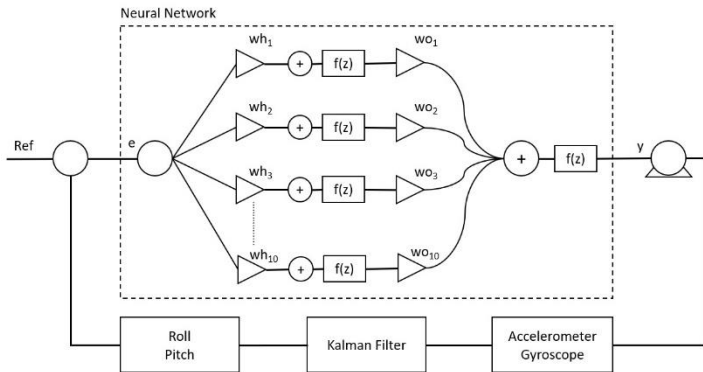


Gambar 3.12 Permodelan *Neural Network* yang Digunakan

Dapat dilihat bahwa terdapat 4 input yang didapatkan dari nilai sensor yang telah melalui tahap filter, yaitu *Accelerometer* sudut X,

Accelerometer sudut Y, *Gyroscope* sudut X dan *Gyroscope* sudut Y. Sedangkan untuk keluaran dari *Neural Network* ini berupa nilai *pitch* dan *roll*. Setelah melalui proses permodelan maka didapatkan sinyal output untuk menjalankan aktuator. Selama tombol *stop* tidak ditekan maka proses *stabilizing* akan terus berlanjut.

3.4.2 Perancangan dan Implementasi Kalman Filter



Gambar 3.13 Flowgraph Hubungan antara Kalman Filter dan *Neural Network*

Flowgraph diatas merupakan diagram proses kontrol motor servo menggunakan *Neural Network*. Terdapat data referensi berupa sudut yang menjadi inputan NN untuk mengontrol output berupa motor servo. Data percepatan dan kecepatan sudut dari motor servo diambil oleh sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope*. Data dari kedua sensor ini masih berupa data mentah yang harus diolah menggunakan *Kalman Filter* sehingga menghasilkan data *Roll* dan *Pitch* yang menjadi input feedback yang akan dibandingkan dengan nilai referensi awal. Selama nilai feedback tidak sesuai dengan nilai referensi, program akan terus menjalankan iterasi NN sampai nilainya sesuai dengan referensi.

3.5 Prosedur Pengambilan Data

Pengujian yang dilakukan pada proyek akhir ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang diciptakan dapat bekerja dengan sesuai target. Tolak ukur keberhasilan pada proses ini yaitu keberhasilan program dalam menjaga kursi tetap tegak lurus terhadap pusat gravitasi.

Skema pengujian alat yang dilakukan terdapat 4 tahapan seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Skema Pengujian Alat

Skema	Perlakuan 1	Perlakuan 2	Perlakuan 3
1	Tanpa beban	Tidak terpasang pada kursi mobil	Diberikan perubahan sudut tertentu
2	Dengan beban	Tidak terpasang pada kursi mobil	Diberikan perubahan sudut tertentu
3	Tanpa beban	Terpasang pada kursi mobil	Mobil melewati kondisi jalan dengan kecepatan tertentu
4	Dengan beban	Terpasang pada kursi mobil	Mobil melewati kondisi jalan dengan kecepatan tertentu

Keterangan:

1. Beban mengacu kepada batasan masalah.
2. Kondisi jalan meliputi gundukan, cekungan, tanjakan dan turunan.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan dilakukan pengujian dan analisa terhadap algoritma yang telah dirancang dan diimplementasikan pada bab sebelumnya.

4.1. Pengujian Linieritas Motor

4.1.1 Tujuan

Untuk mengetahui akurasi pergerakan motor berdasarkan perintah yang diberikan pada program

4.1.2 Peralatan

- 1) Busur derajat
- 2) Motor servo
- 3) *Power supply*
- 4) Mikrokontroler
- 5) Kabel *power* dan *downloader*

4.1.3 Prosedur Pengujian

- 1) Menyiapkan Perangkat pengujian
- 2) Memasang busur pada tembok dengan sudut referensi 0° pada motor
- 3) Membuat perintah pada program untuk menggerakkan motor dari sudut 0° ke sudut 10° sampai 180° pada Arduino.ino
- 4) Menghubungkan mikrokontroler dengan laptop upload program
- 5) Menjalankan program uji
- 6) Mencatat nilai yang tampil

4.1.4 Hasil dan Analisa

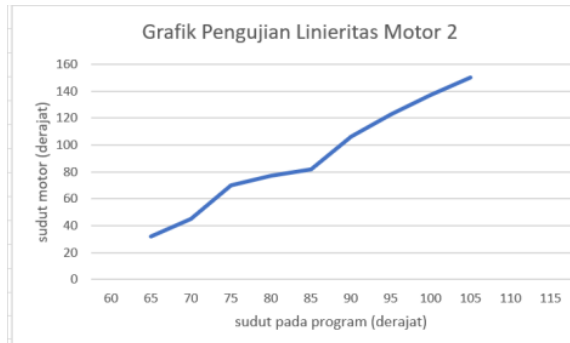
Hasil pengujian motor dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini. Untuk Motor 2 bergerak pada sumbu X, sedangkan Motor 1 bergerak pada sumbu Y.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Linieritas Motor

Sudut Program	Motor 2	Motor 1
60		0
65	32	5
70	45	20
75	70	35
80	77	51
85	82	71
90	106	90
95	123	104
100	137	120
105	150	140
110		160
115		178

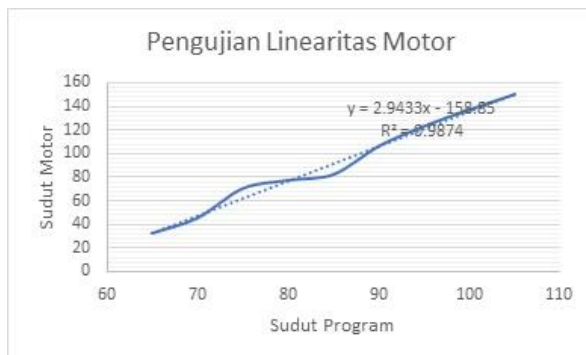


Gambar 4.1a Grafik Pengujian Linieritas Motor 1



Gambar 4.1a Grafik Pengujian Linieritas Motor 2

Berdasarkan gambar 4.1. grafik pengujian linieritas dilakukan pada 2 motor yang dimiliki. Pada motor 1 dapat diketahui bahwa untuk membuat sudut 5° maka pada program diberikan perintah untuk menggerakkan motor sebesar 65° . Dan untuk menggerakkan motor sebesar 20° maka pada program harus diberikan perintah untuk menggerakkan motor sebesar 70° . Sedangkan pada motor 2 dapat ketika program diberikan perintah 65° maka pada motor 2 bergerak sebesar 32° , ketika diberi perintah 70° maka motor akan bergerak sebesar 45° . Sehingga dapat dikatakan bahwa setiap pertambahan 5° pada program maka terdapat rata – rata selisih 15° pada motor.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Sinyal PWM terhadap Sudut Motor

Merujuk dari tabel pengujian, didapatkan graphic pada gambar xxx dan didapatkan persamaan

$$y = 2,9433 x - 158,85$$

Dimana

y = Sudut Motor

x = Sudut pada Program

Merujuk **Tabel 4.1** hasil pengujian linieritas motor titik tengah dari Motor 1 dan Motor 2 adalah sebagai berikut:

Motor 1 (Sudut Motor)

$$= ((\text{Sudut_max} - \text{Sudut_min}) / 2) + \text{Sudut_min}$$

$$= ((178 - 0) / 2) + 0$$

$$= 89^\circ$$

Motor 2

$$= ((\text{Sudut_max} - \text{Sudut_min}) / 2) + \text{Sudut_min}$$

$$= ((150 - 32) / 2) + 32$$

$$= 91^\circ$$

Sudut Tengah ini menjadi setpoint dari sistem yang dibuat

4.2 Pengujian Sensor *Accelerometer*

4.2.1 Tujuan

Mengetahui respon sensor *accelerometer* terhadap perubahan percepatan sudut

4.2.2 Peralatan

- 1) Arduino Uno
- 2) Sensor MPU6050
- 3) Kabel I2C dan *downloader*
- 4) Modul SD Card

4.2.3. Prosedur Pengujian

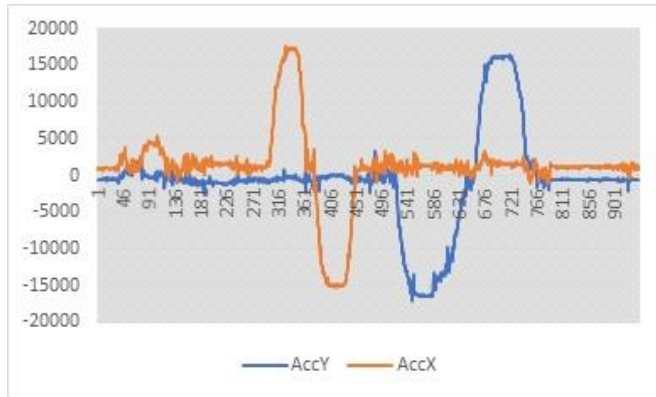
- 1) Menyiapkan perangkat pengujian
- 2) Mengetik program untuk pembacaan data *accelerometer* dan pengiriman data ke PC secara serial
- 3) Menghubungkan Arduino pada laptop upload program
- 4) Menjalankan program
- 5) Memutar sensor secara berlawanan dan searah jarum jam

sebesar $\pm 80^\circ$

6) Mengambil data menggunakan module sd card

4.2.4 Hasil dan Analisa

Data hasil pengujian *accelerometer* ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.2.



Keterangan:

Garis berwarna merah adalah sinyal *accelerometer* pada sumbu x sedangkan garis berwarna biru adalah sinyal *accelerometer* pada sumbu y.

Gambar 4.3 Grafik Pengujian *Accelerometer*

Pada gambar 4.3 hasil pengujian *accelerometer*, dapat diketahui bahwa didapatkan sinyal *output* sesuai dengan perlakuan yang diberikan. Ketika sensor digerakkan pada sumbu x, maka hanya terjadi perubahan data pada sumbu x, dan begitu juga dengan sumbu y. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan sudut di setiap sumbu tidak mempengaruhi pada sumbu yang lain. Namun pengaruh dari frekuensi tinggi pada *accelerometer* menjadikan sinyal yang dikeluarkan mengandung *noise* [11]. Pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa terdapat grafik naik dan turun, itu disebabkan pergerakan dari sensor sendiri. Apabila sensor digerakkan sesuai arah jarum jam, maka data akan bergerak pada nilai positif, sedangkan ketika sensor bergerak berlawanan arah jarum jam, maka nilai yang didapat akan negatif. Pada gambar 4.2 dapat dilihat sumbu x dan sumbu y masih mengandung *noise* sehingga pada proses selanjutnya harus dilakukan *filtering* sesuai dengan perencanaan sistem yang telah dibuat.

4.3 Pengujian Sensor Gyroscope

4.3.1 Tujuan

Mengetahui respon sensor *gyroscope* terhadap perubahan kecepatan sudut

4.3.2 Peralatan

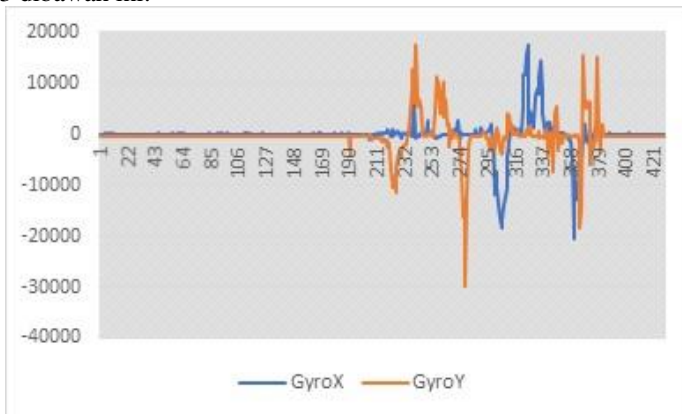
- 1) Arduino Uno
- 2) Sensor MPU6050
- 3) Kabel I2C dan *downloader*
- 4) Modul SD Card

4.3.3 Prosedur

- 1) Menyiapkan perangkat pengujian
- 2) Mengetik program untuk pembacaan data *gyroscope* dan pengiriman data ke PC secara serial
- 3) Menghubungkan Arduino pada laptop upload program
- 4) Menjalankan program
- 5) Memutar sensor secara berlawanan dan searah jarum jam
- 6) Mengambil data menggunakan module sd card

4.3.4 Hasil dan Analisa

Hasil pengujian sensor *gyroscope* ditunjukkan pada gambar 4.3 dibawah ini.



Keterangan:

Garis berwarna merah adalah sinyal *gyroscope* pada sumbu x sedangkan garis berwarna biru adalah sinyal *gyroscope* pada sumbu y.

Gambar 4.4 Grafik Pengujian Gyroscope

Berdasarkan gambar 4.4 dapat diketahui bahwa proses pembacaan sensor *gyroscope* sudah dapat dilakukan dan didapatkan sinyal *output* sesuai dengan perlakuan yang diberikan. Dengan memutar sensor *gyroscope* maka akan memberikan perubahan kecepatan sudut pada sensor dan tegangan yang dikeluarkan oleh sensor akan berubah sesuai dengan arah dan besar perubahan kecepatan sudut yang diberikan. Apabila sensor digerakkan sesuai arah jarum jam, maka data akan bergerak pada nilai positif, sedangkan ketika sensor bergerak berlawanan arah jarum jam, maka nilai yang didapat akan negative. Sensor dapat membaca sudut positif dan sudut negatif dengan baik serta perlakuan pada sumbu x dan y tidak saling terkait satu sama lain. Namun pengaruh dari frekuensi rendah pada *gyroscope* menjadikan sinyal yang dikeluarkan mengandung *noise* [11]. Sehingga pada proses selanjutnya harus dilakukan *filtering* sesuai dengan perencanaan sistem yang telah dibuat.

4.4 Pengujian Filter

4.4.1 Tujuan

Mengetahui keberhasilan *complementary filter* dan *Kalman filter* dalam menghilangkan efek *noise* terhadap *gyroscope* dan *accelerometer* sesuai dengan karakteristik masing-masing sensor

4.4.2 Peralatan

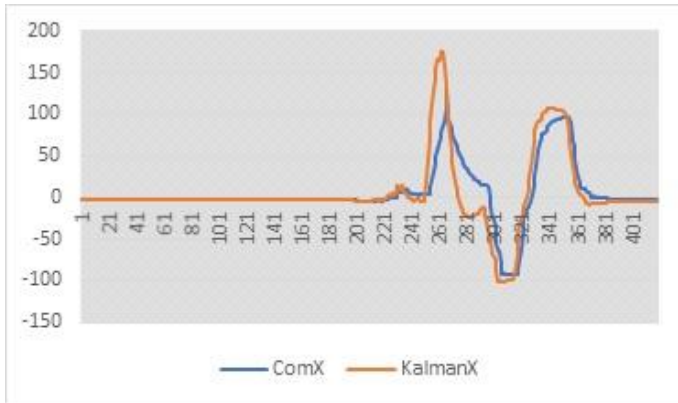
- 1) Teensyduino 4.0
- 2) Sensor MPU6050
- 3) Program *complementary filter* dan *kalman filter*

4.4.3 Prosedur

- 1) Menyiapkan perangkat pengujian
- 2) Mengetik program untuk pembacaan data *gyroscope*, *accelerometer*, perhitungan *complementary filter*, perhitungan *kalman filter* dan pengiriman data ke PC secara serial
- 3) Menghubungkan Teensyduino pada laptop upload program
- 4) Menjalankan program
- 5) Memutar sensor *accelerometer* dan *gyroscope* searah dan berlawanan arah jarum jam
- 6) Mengambil data menggunakan module sd card

4.4.4 Hasil dan Analisa

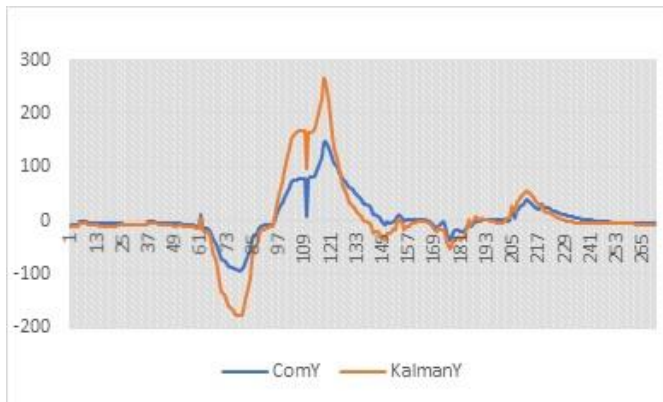
Data hasil pengujian *complementary filter* dan *kalman filter* dapat dilihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5.



Keterangan:

Garis berwarna orange adalah sinyal hasil perhitungan *Kalman filter*, garis berwarna biru adalah sinyal *complementary filter*

Gambar 4.5 Grafik Pengujian *Complementary Filter* dan *Kalman Filter* Sumbu X



Keterangan:

Garis berwarna biru adalah sinyal hasil perhitungan *complementary filter*, garis berwarna orange adalah sinyal *Kalman filter*.

Gambar 4.6 Grafik Pengujian *Complementary Filter* dan *Kalman Filter* Sumbu Y

Berdasarkan gambar 4.5 dan 4.6 kita dapat membandingkan data *accelerometer* dan *gyroscope* dengan menggunakan dua *filter*. Pertama

menggunakan *complementary filter*, dan yang kedua menggunakan *kalman filter*. Dapat dilihat grafik dari *kalman filter* lebih bagus dari pada data dari *complementary filter*. Dikarenakan *kalman filter* dapat memperkirakan keadaan suatu proses dengan cara meminimalkan kesalahan kuadrat rata – rata (*mean square error*) baik keadaan sebelumnya, saat ini dan yang akan datang. Setelah melalui mekanisme kontrol umpan-balik, sehingga dapat mengestimasi keadaan kemudian didapatkan hasil pengukuran yang bercampur *noise*. Sedangkan *Complementary filter* selalu melakukan *upgrade* dengan hasil kalkulasi sebelumnya sehingga hasil kalkulasi antara dua data yang berdekatan tidak akan terlalu jauh berbeda dengan kata lain tidak akan ada *spike* yang terjadi. Berdasarkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa ketika sensor diberikan perlakuan maka didapatkan sinyal keluaran sesuai dengan perlakuan yang diberikan.

4.6 Pengujian Sistem Menggunakan Metode Neural Network

4.6.1 Pengujian Sistem Skema 1

4.6.1.1 Tujuan

Mengetahui respon sistem keseluruhan terhadap gangguan rotasi secara manual dengan tenaga manusia ketika tidak diberikan beban.

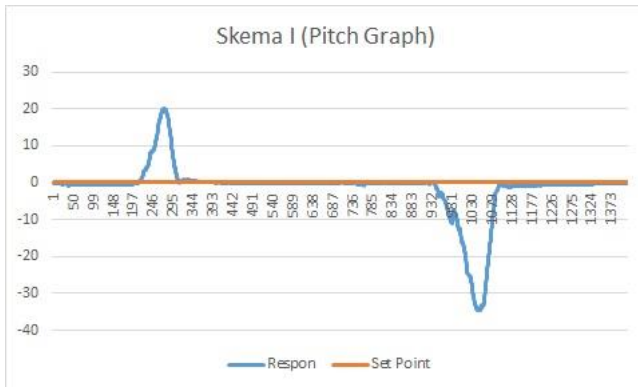
4.6.1.2 Peralatan

1. Rangka mekanik
2. Mikrokontroler
3. Baterai 12 Volt
4. Motor servo
5. Sensor MPU6050
6. Program *Neural Network*

4.6.1.3 Prosedur Pengujian

1. Menyiapkan perangkat pengujian
2. Menghubungkan rangkaian mekanik dan mikrokontroler
3. Menghubungkan motor servo dengan baterai
4. Memberi gangguan rotasi dengan tenaga manusia pada frame base sumbu x (roll) dan sumbu y (pitch) dalam kondisi tidak ada beban
5. Mengambil data dengan graphical user interface secara serial dan ditampilkan

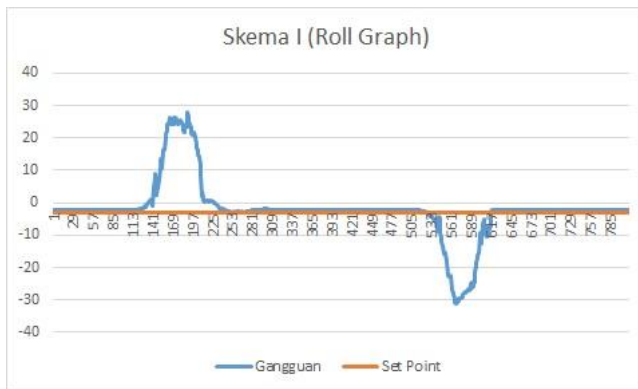
4.6.1.4 Hasil dan Analisa



Keterangan:

Garis berwarna merah adalah set point sedangkan garis berwarna biru adalah sinyal respon ketika diberi gangguan

Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian *pitch* skema 1



Keterangan:

Garis berwarna merah adalah set point sedangkan garis berwarna biru adalah sinyal respon ketika diberi gangguan

Gambar 4.8 Grafik hasil pengujian *roll* skema 1

Berdasarkan gambar 4.7 dan gambar 4.8 dapat kita ketahui mengenai respon dari pengujian *pitch* dan *roll* pada skema ini pertama yaitu pengujian tanpa menggunakan beban. Pada pengujian tanpa beban

ini, ketika terjadi gangguan rotasi pada *frame base* maka sistem akan menstabilkan posisi agar tetap seimbang. Dapat kita lihat pada grafik diatas ketika diberikan gangguan, maka sistem akan kembali mendekati nilai set point meskipun ada terdapat titik yang masih mengalami sedikit osilasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengambilan data pada sistem ini dengan metode *neural network* sudah mencapai titik stabil. Simpangan maksimum pada sumbu *pitch* yang didapat sebesar 20° dan -34° sedangkan pada sumbu *roll* simpangan maksimum yang didapatkan sebesar 28° dan -31° .

4.6.2 Pengujian Sistem Skema 2

4.6.2.1 Tujuan

Mengetahui respon sistem keseluruhan terhadap gangguan rotasi secara manual dengan tenaga manusia ketika diberikan beban.

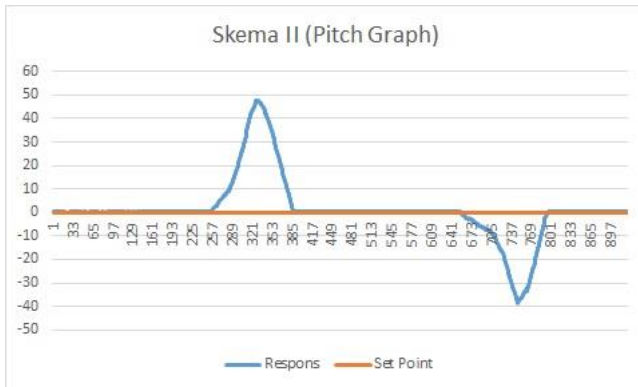
4.6.2.2 Peralatan

1. Rangka mekanik
2. Mikrokontroler
3. Baterai 12 Volt
4. Motor servo
5. Sensor MPU6050
6. Program *Neural Network*
7. Beras sebagai beban dengan berat 6 kg

4.6.2.3 Prosedur Pengujian

1. Menyiapkan perangkat pengujian
2. Menghubungkan rangkaian mekanik dan mikrokontroler
3. Menghubungkan motor servo dengan baterai
4. Memberi gangguan rotasi dengan tenaga manusia pada frame base sumbu x (roll) dan sumbu y (pitch) dalam kondisi ada beban
5. Mengambil data dengan graphical user interface secara serial dan ditampilkan

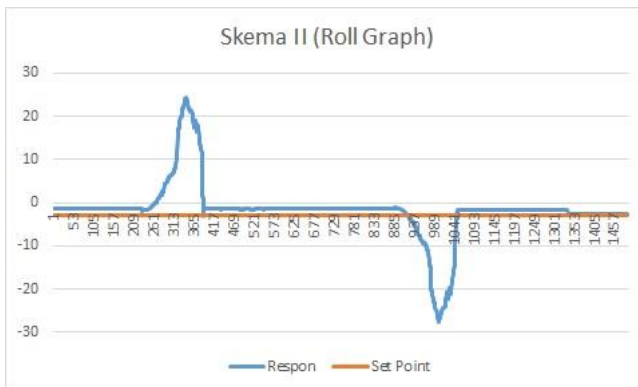
4.6.2.4 Hasil dan Analisa



Keterangan:

Garis berwarna merah adalah set point sedangkan garis berwarna biru adalah sinyal respon ketika diberi gangguan

Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian *pitch* skema 2



Keterangan:

Garis berwarna merah adalah set point sedangkan garis berwarna biru adalah sinyal respon ketika diberi gangguan

Gambar 4.10 Grafik hasil pengujian *roll* skema 2

Berdasarkan gambar 4.9 dan gambar 4.10 dapat kita ketahui bahwa kontrol yang digunakan dapat mengurangi gangguan rotasi pada sistem ketika diberi beban sebesar 5 kg. Hasil pengujian dengan beban ini kurang

lebih sama dengan pengujian tanpa beban. Perbedaannya pada pengujian dengan beban ini motor cenderung bertahan pada posisinya karena mendapatkan gaya berat sehingga gangguan mekanis pada sumbu motor dapat dikurangi dan lebih mudah untuk kembali stabil. Simpangan maksimum pada sumbu *pitch* yang didapat sebesar 46° dan -38° sedangkan pada sumbu *roll* simpangan maksimum yang didapatkan sebesar 23° dan -26° .

4.6.3 Pengujian Sistem Skema 3

4.6.3.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem keseluruhan terhadap gangguan rotasi pada mobil ketika tidak diberikan beban.

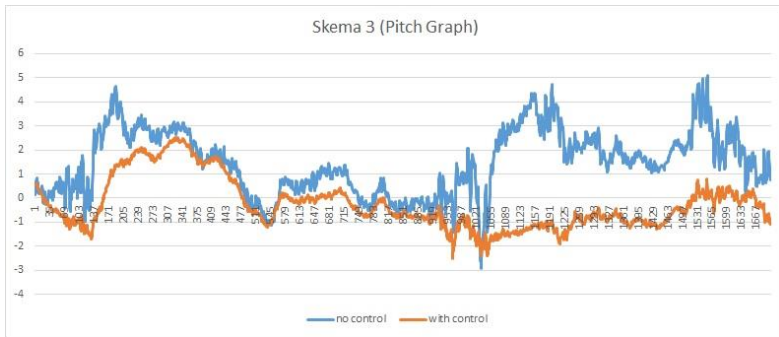
4.6.3.2 Peralatan

1. Rangka mekanik
2. Mikrokontroler
3. Accu
4. Motor servo
5. Sensor MPU6050
6. Program *Neural Network*
7. Mobil

4.6.3.3 Prosedur Pengujian

1. Menyiapkan perangkat pengujian
2. Menghubungkan rangkaian mekanik dan mikrokontroler
3. Menghubungkan motor servo dengan accu
4. Meletakkan alat pada kursi mobil
5. Memberi menggerakkan mobil sehingga didapatkan gangguan rotasi dengan pada frame base sumbu x (roll) dan sumbu y (pitch) dalam kondisi tanpa beban
6. Mengambil data dengan graphical user interface secara serial dan ditampilkan

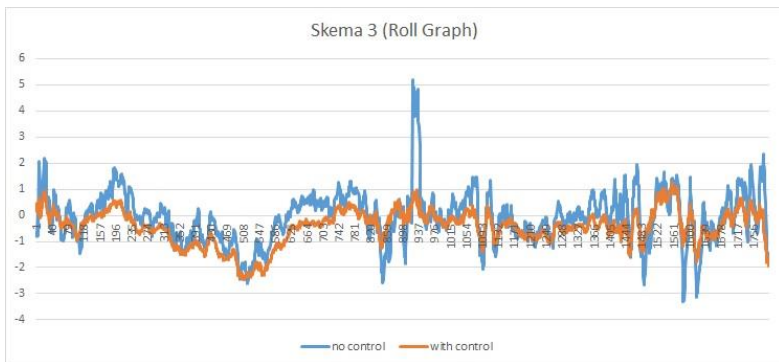
4.6.3.4 Hasil dan Analisa



Keterangan:

Garis berwarna biru adalah sinyal yang tidak distabilkan sedangkan garis berwarna merah adalah sinyal yang telah distabilkan.

Gambar 4.11 Grafik hasil pengujian *pitch* skema 3



Keterangan:

Garis berwarna biru adalah sinyal yang tidak distabilkan sedangkan garis berwarna merah adalah sinyal yang telah distabilkan.

Gambar 4.12 Grafik hasil pengujian *roll* skema 3

Berdasarkan gambar 4.11 dan gambar 4.12 dapat diketahui bahwa sebelum adanya penyetabilan, gangguan rotasi yang dilalui mobil untuk pitch tidak melebihi $\pm 5.11^\circ$ sedangkan gangguan rotasi untuk roll paling maksimal adalah $\pm 5.21^\circ$ untuk sudut positif ataupun sudut negatif. Sesudah adanya penyetabilan oleh kontrol neural network yang digunakan, simpangan paling maksimum gangguan rotasi adalah sebesar

$\pm 2.49^\circ$ untuk pitch dan $\pm 2.47^\circ$ untuk roll baik sudut positif maupun negatif. Jika dibandingkan nilai antara menggunakan kontrol dan tidak menggunakan kontrol, dapat dilihat bahwa sistem dengan menggunakan kontrol lebih stabil dan dapat mengurangi gangguan rotasi.

4.6.4 Pengujian Sistem Skema 4

4.6.4.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem keseluruhan terhadap gangguan rotasi pada mobil ketika diberikan beban.

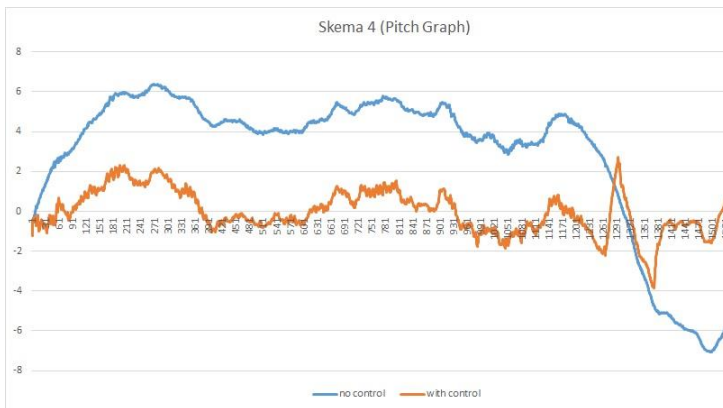
4.6.4.2 Peralatan

1. Rangka mekanik
2. Mikrokontroler
3. Accu
4. Motor servo
5. Sensor MPU6050
6. Beras 6 kg
7. Program *Neural Network*
8. Mobil

4.6.4.3 Prosedur Pengujian

1. Menyiapkan perangkat pengujian
2. Menghubungkan rangkaian mekanik dan mikrokontroler
3. Menghubungkan motor servo dengan accu
4. Meletakkan alat pada kursi mobil
5. Memberi menggerakkan mobil sehingga didapatkan gangguan rotasi dengan pada frame base sumbu x (roll) dan sumbu y (pitch) dalam kondisi tanpa beban
6. Mengambil data dengan graphical user interface secara serial dan ditampilkan

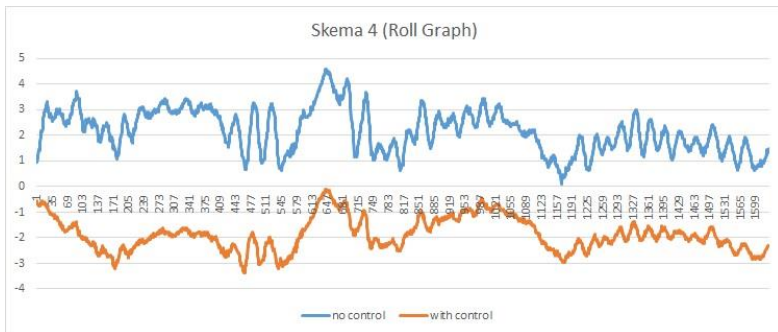
4.6.4.4 Hasil dan Analisa



Keterangan:

Garis berwarna biru adalah sinyal pada *frame base* yang tidak distabilkan sedangkan garis berwarna merah adalah sinyal pada *frame* yang telah distabilkan.

Gambar 4.13 Grafik hasil pengujian *pitch* skema 4



Keterangan:

Garis berwarna biru adalah sinyal pada *frame base* yang tidak distabilkan sedangkan garis berwarna merah adalah sinyal pada *frame* yang telah distabilkan.

Gambar 4.14 Grafik hasil pengujian *roll* skema 4

Berdasarkan gambar 4.13 dan gambar 4.14 dapat diketahui bahwa sebelum adanya penyetabilan, gangguan rotasi yang dilalui mobil untuk pitch tidak melebihi $\pm 7.06^\circ$ sedangkan gangguan rotasi untuk roll paling maksimal adalah $\pm 4.48^\circ$ untuk sudut positif ataupun sudut negatif.

Sesudah adanya penyetabilan oleh kontrol neural network yang digunakan, simpangan paling maksimum gangguan rotasi adalah sebesar $\pm 3.8^\circ$ untuk pitch dan $\pm 3.38^\circ$ untuk roll baik sudut positif maupun negatif. Jika dibandingkan nilai antara menggunakan kontrol dan tidak menggunakan kontrol, dapat dilihat bahwa sistem dengan menggunakan kontrol lebih stabil dan dapat mengurangi gangguan rotasi.

(Halaman ini Sengaja Dikosongka)

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan tahap perancangan dan pembuatan sistem yang kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian dan analisa maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian linieritas motor dapat dilihat bahwa setiap pertambahan 5° pada program maka pada sudut aktual motor akan bertambah sebesar 10° . Pada pengujian menunjukkan pula bahwa masih terdapat simpangan antara sudut pada program dengan sudut yang dihasilkan oleh motor dengan rata-rata sebesar 1.94° .
2. Hasil pengujian respon sensor *accelerometer* dan *gyroscope* dapat diketahui bahwa ketika sensor digerakkan pada sumbu x, maka hanya terjadi perubahan data pada sumbu x, dan begitu juga dengan sumbu y. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan sudut di setiap sumbu tidak mempengaruhi pada sumbu yang lain.
3. Hasil pengujian perbandingan filter dapat dilihat pada grafik dari *kalman filter* lebih bagus dari pada data dari *complementary filter*. Dikarenakan *kalman filter* dapat memperkirakan keadaan suatu proses dengan cara meminimalkan kesalahan kuadrat rata – rata (*mean square error*) baik keadaan sebelumnya, saat ini dan yang akan datang. Setelah melalui mekanisme kontrol umpan-balik, sehingga dapat mengestimasi keadaan kemudian didapatkan hasil pengukuran yang bercampur *noise*.

5.2 SARAN

Dari hasil PA ini masih terdapat beberapa kekurangan dan dimungkinkan untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh karenanya penulis merasa perlu untuk memberi saran-saran sebagai berikut :

- Menyelesaikan pengerjaan fisik dari alat sehingga dapat bereksperiment dalam pembuatan sistem kontrol.

(Halaman ini Sengaja Dikosongka)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsaid, Hidayat; M., Ahsan. 2013. *Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas pada Pengendara Sepeda Motor di Wilayah Polres Kabupaten Malang*. Linkoping.
- [2] J. Johansson. 2012. *Modelling and Control of An Advanced Camera Gimbal*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. Vol. 2, No.1.
- [3] S. V. Nispen. 2016. *Design and Control of A Three Axis Gimbal*. Departement of Mechanical Engineering, Eindhoven.
- [4] Jonathan, Nico dkk. 2016. *Implementasi Filter Kalman pada Sistem Sensor Inertial Measuremen Unit (IMU) Quadcopter*. Jurnal Elektro. Vol.9. No.2.
- [5] Yolanda, Natharina. 2016. *Shaken Baby Syndrome*. <https://www.idai.or.id/artikel/klinik/pengasuhan-anak/shaken-baby-syndrome> (akses pada 12 Januari 2020)
- [6] Yuliani, Siti; Saputra, Hendri Maja, 2016, “Kolaborasi Kalman Filter dengan Complementary Filter untuk Mengoptimasi Hasil Sensor Gyroscope dan Accelerometer”, Bandung, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik.
- [7] R. N. Jazar, 2007, “*Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control, Second Edition*”, London, Springer.
- [8] Robot Shop. *Datasheet Arduino Mega 2560*, Cina.
- [9] Noname. 2019. *Interfacing GY-521/ MPU-6050 Module dengan Arduino*. <https://www.nn-digital.com/blog/2019/05/07/interfacing-gy-521-mpu-6050-module-dengan-arduino/> (akses 6 Juli 2020)
- [10] Roby. 2019. *ASMC-04-High Torque Servo*. <https://deepsouthrobotics.com/2019/08/23/anatomy-of-a-huge-self-driving-mower/asmc-04-high-power-high-torque-servo-12v-24v-specs/> (akses 6 Juli 2020)
- [11] W. Widada. 2015. *Metode Adaptif Frekuensi-Cutoff untuk Complementary Filter pada Accelerometer dan Gyroscope untuk Sudut Pitch dan Roll Wahana Terbang*. Jurnal Teknologi Dirgantara. Vol.13.
- [12] Suhartono, Dewin. 2012. *Dasar Pemahaman Neural Network*. <https://socs.binus.ac.id/2012/07/26/konsep-neural-network/> (diakses pada 17 Juli 2020)
- [13] Welch, G. dan Bishop, G. 2001. *An Introduction to the Kalman Filter*. Chapel Hill: University of North Carolina.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kondisi Ideal Bayi

1. Berat Badan Ideal Menurut Umur

Berat badan merupakan ukuran antropometri yang terpenting pada masa bayi dan balita. Berat badan merupakan hasil peningkatan atau penurunan semua jaringan yang ada pada tubuh. Berat badan dipakai sebagai indikator yang terbaik saat ini untuk mengetahui keadaan gizi dan tumbuh kembang anak, sensitif terhadap perubahan sedikit saja, pengukuran objektif dan dapat diulangi. Berikut merupakan tabel berat badan ideal.

Tabel 1. Standart Berat Badan Menurut Umur

Umur (bulan)	Berat Badan (Kg)						
	-3 SD	-2 SD	-1 SD	Median	1 SD	2 SD	3 SD
0	2.1	2.5	2.9	3.3	3.9	4.4	5.0
1	2.9	3.4	3.9	4.5	5.1	5.8	6.6
2	3.8	4.3	4.9	5.6	6.3	7.1	8.0
3	4.4	5.0	5.7	6.4	7.2	8.0	9.0
4	4.9	5.6	6.2	7.0	7.8	8.7	9.7
5	5.3	6.0	6.7	7.5	8.4	9.3	10.4

Sumber: Keputusan Menteri Kesehatan RI, Nomor 1995/Menkes/SK/XII/2010

2. Panjang Badan Ideal Menurut Umur

Pertumbuhan pada bayi dapat dilihat dari bertambahnya panjang badan. Pertambahan panjang pada bayi tiap bulan tidak selalu sama (non-linear). Namun panjang badan merupakan parameter pertumbuhan yang akurat. Berikut merupakan tabel ukuran panjang bayi.

Tabel 2. Standart Panjang Badan Menurut Umur

Umur (bulan)	Panjang Badan (cm)						
	-3 SD	-2 SD	-1 SD	Median	1 SD	2 SD	3 SD
0	44.2	46.1	48.0	49.9	51.8	53.7	55.6

1	43.9	50.8	52.8	54.7	56.7	58.6	60.6
2	52.4	54.4	56.4	58.4	60.4	62.4	64.4
3	55.3	57.3	59.4	61.4	63.5	65.5	67.6
4	57.6	59.7	61.8	63.9	66.0	68.0	70.1
5	59.6	61.7	63.8	65.9	68.0	70.1	72.2

Sumber: Keputusan Menteri Kesehatan RI, Nomor 1995/Menkes/SK/XII/2010

Lampiran 2. Spesifikasi Motor

High torque servo series ASMC-04 series

RC PULSE/Analog Voltage Control

WINGXINE

ebay ID : wingxine

<http://www.aliexpress.com/store/3255339>

Application: Robot, mechanical arm, production line, the camera haeundae control robot



FEATURES

- + wireless remote control and analog voltage control
- + Metal gear high torque output
- + Current limiting control
- + Easy to install, strong and durable

Application

- + Large arm of the robot joints and heavy load of leg joint movement control
- + Industrial automation production line robot control
- + Accurate control of the valve Angle
- + Large camera haeundae remote control

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Parameter		
Operating Voltage	11V~24V/DC (10V/MIN~30V/MAX)	
No-load current	<400mA	
Limit Angle	$\pm 150^\circ$ or $0^\circ\sim 300^\circ$ (MAX)	
Control mode	R C mode	1ms pulse mode:1ms~2ms(pulse width) 2ms pulse mode:0.5ms~2.5ms(pulse width)
	voltage mode	0V-5V input voltage (0.22V to 0° , 4.78V to 300°)
Material	Gear and shaft: alloy steel; gear box: aluminum	
Weight	550g	
Dimension	95mm*60mm*110mm	
Mechanical Life	> 1,000,000/full load (conservative values)	

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Parameter		
limit input voltage	10V~30V/DC (MAX)	
limited output current	3A \pm 0.2A (MAX)	
limit Angle	$\pm 150^\circ$ or $0^\circ\sim 300^\circ$ (MAX)	
Control mode	R C mode	1ms pulse mode : 1ms~2ms(pulse width) 2ms pulse mode : 0.5ms~2.5ms(pulse width)
	voltage mode	0V-5V input voltage (0.22V to 0° , 4.78V to 300°)
Weight	510g~560g	

Models and Specifications

Models	Starting Torque	Holding Torque	Rated speed(24Vpower)
ASMC-04A	110kg.cm max	90kg.cm max	0.12s/60°MAX
ASMC-04B	180kg.cm max	160kg.cm max	0.5s/60°MAX

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian Motor

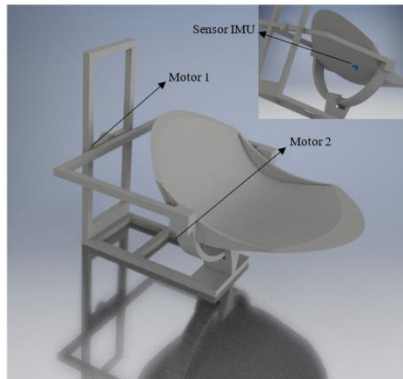
Tabel 3. Tabel hasil pengujian motor

No.	Sudut pada program (derajat)	Sudut motor (1) (derajat)	Sudut motor (2) (derajat)
1	0-55		
2	60	0	
3	65	5	32
4	70	20	45
5	75	35	70
6	80	51	77
7	85	71	82
8	90	90	106
9	95	104	123
10	100	120	137
11	105	140	150
12	110	160	
13	115	178	

Tabel diatas adalah table hasil pengukuran sudut motor terhadap sudut pada program. Tabel diatas telah diubah kedalam bentuk diagram pada gambar 4.1.

Lampiran 4. Desain Mekanik

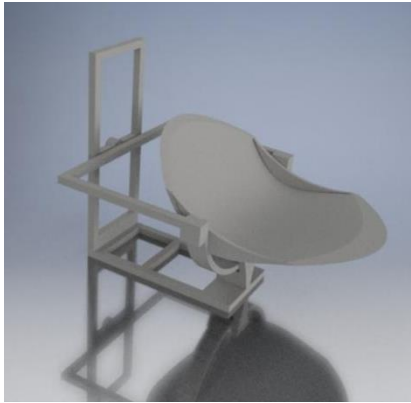
Perancangan mekanik ini merupakan proses pembuatan desain kursi mobil khusus bayi yang paling baik. Proses perancangan mekanik dilakukan dengan menggunakan aplikasi desain 3D yang sudah ada sehingga dapat dilakukan penilaian apakah desain sudah sesuai atau tidak. Setelah itu dilakukan pembuatan mekanik berdasarkan desain 3D yang telah dibuat.



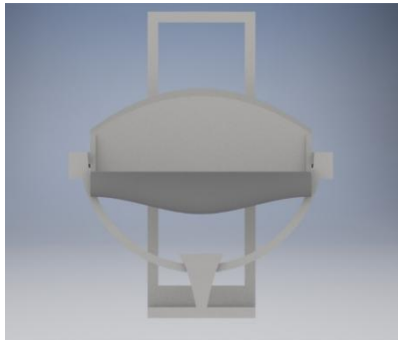
Gambar 1. Gambaran kursi mobil khusus bayi yang akan dibuat

Tabel 4. Desain dan spesifikasi kursi

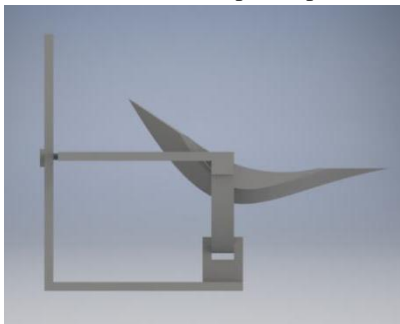
No.	Jenis Spesifikasi Kursi	Ukuran / bahan
1	Panjang Kursi	
	a. Panjang keseluruhan	70 cm
	b. Panjang kabin	57 cm
2	Lebar Kursi	
	a. Lebar keseluruhan	50 cm
	b. Lebar kabin	42 cm
3	Tinggi Kursi	
	a. Tinggi body keseluruhan	72 cm
	b. Tinggi kabin	30 cm
4	Aktuator	Motor servo ASMC-03A
5	Bahan kerangka	Stainless steel dan alumunium



Gambar2. Tampak isometris



Gambar 3. Tampak depan



Gambar 4. Tampak samping

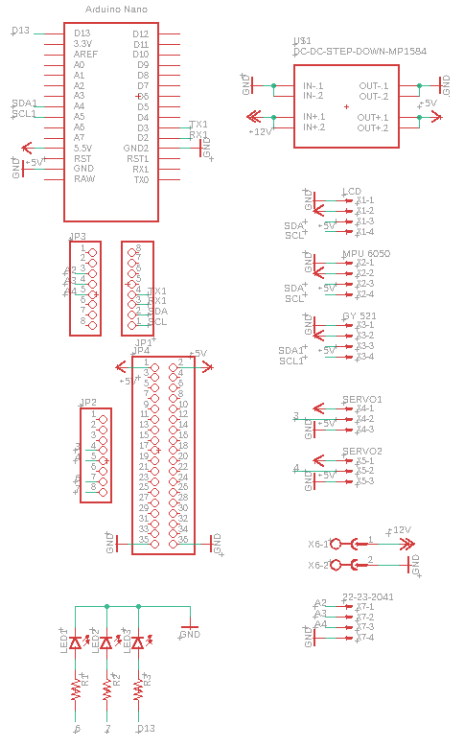


Gambar 5. Tampak Samping



Gambar 6. Tampak Depan

Lampiran 5. Desain Hardware



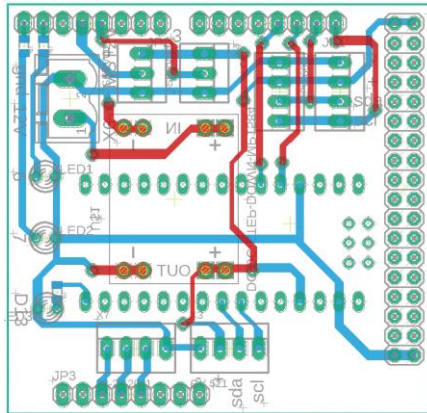
Gambar 7. Schematic main board

Tabel 5. Keterangan schematic main board

Device Mega	No Pin	Keterangan
Servo 1	3	PWM
Servo 2	4	PWM
Led 1	6	Digital
Led 2	7	Digital
MPU 6050	SDA – SCL	I ² C
LCD	SDA – SCL	I ² C
Button 1	A2	
Button 2	A3	
Button 3	A4	
Input Power	12V	

Tabel 6. Keterangan schematic main board

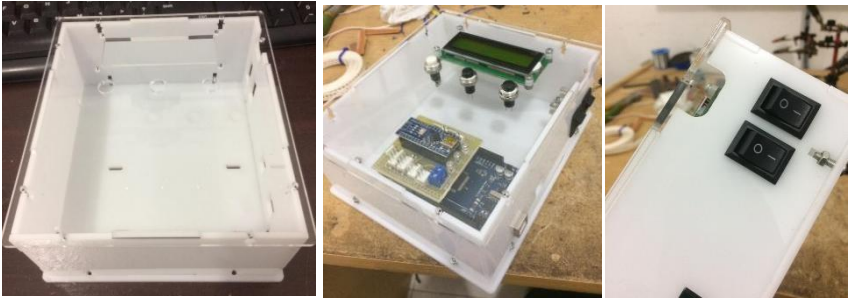
Device Nano	No Pin	Keterangan
GY52`	SDA – SCL	I ² C
Led 3	13	Digital
TX1 (Mega)	3	Digital
RX1 (Mega)	2	Digital



Gambar 8. Desain main board



Gamabr 9. Hasil assamby mainboard



Gambar 10. Box Hardware