

SKRIPSI

**SIMULASI HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR UNTUK TUNING
DAN UJI SISTEM KENDALI PADA KEADAAN STATIONER**

**HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR SIMULATION FOR CONTROL
SYSTEM TUNING AND TESTING IN STATIONER CONDITION**



NOVELIO PUTRA INDARTO

19/442386/PA/19135

**PROGRAM STUDI S1 ELEKTRONIKA DAN INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER DAN ELEKTRONIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2023**

SKRIPSI

SIMULASI HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR UNTUK TUNING DAN UJI SISTEM KENDALI PADA KEADAAN STATIONER

HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR SIMULATION FOR CONTROL SYSTEM TUNING AND TESTING IN STATIONER CONDITION

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Sarjana Sains
Program Studi Elektronika dan Instrumentasi



NOVELIO PUTRA INDARTO

19/442386/PA/19135

PROGRAM STUDI S1 ELEKTRONIKA DAN INSTRUMENTASI

DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER DAN ELEKTRONIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS GADJAH MADA

YOGYAKARTA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

SIMULASI HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR UNTUK TUNING
DAN UJI SISTEM KENDALI PADA KEADAAN STATIONER

Telah dipersiapkan dan disusun oleh

Novelio Putra Indarto

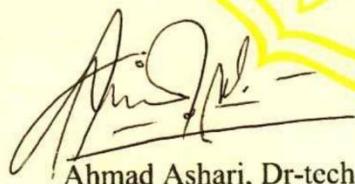
19/442386/PA/19135

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 22 Juni 2023

Susunan Tim Penguji

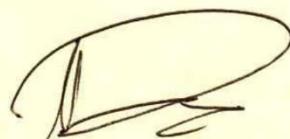
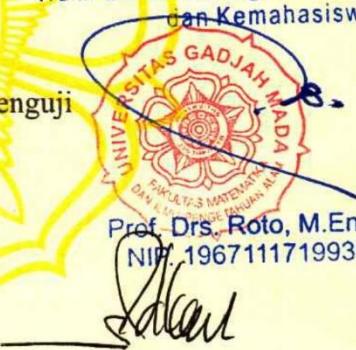
Mengetahui,
a.n. Dekan FMIPA UGM
Wakil Dekan Bidang Pendidikan, Pengajaran
dan Kemahasiswaan

Prof. Drs. Roto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 196711171993031020



Ahmad Ashari, Dr-tech
Ketua Penguji

Idham Ananta Timur, ST. M.Kom
Anggota Penguji



Andi Dharmawan, S.Si., M.Cs., Dr.
Pembimbing Pertama



Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU, ASEAN Eng.,
Prof., Dr., Ir.

Pembimbing Kedua

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Novelio Putra Indarto
 NIM : 19/442386/PA/19135
 Tahun terdaftar : 2019
 Program Studi : Elektronika dan Instrumentasi
 Fakultas/Sekolah : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/ lembaga lain, kecuali yang secara tertulis di sitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsurunsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Skripsi ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 31 Mei 2023



Novelio Putra Indarto

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan karunia dan tuntunan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi *Hardware-in-the-loop Quadrotor* untuk *Tuning* dan Uji Sistem Kendali pada Keadaan *Stationer*”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S1 Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta, bapak Nova Hadi Indarto, ibu Novita Arief, serta yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Andi Dharmawan, S.Si., M.Cs. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah bersabar dan meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan ide serta bertukar pikiran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik baiknya.
3. Dosen-dosen program studi Elektronika dan Instrumentasi yang telah membimbing dan memberikan ilmunya.
4. Febiola Cindy Cynthiarani yang selalu setia menemani dan memberikan dukungan serta motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Zaky Nur Ihsan dan Ariesa Budi Zakaria yang telah membantu dan memberikan saran serta masukan dalam proses penelitian sehingga dapat melewati segala kendala yang ada.
6. Keluarga besar Gadjah Mada Flying Object Research Center dan Elins Research Center yang sangat banyak memberikan ilmu dan saran kepada penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

7. Teman-teman grup “Pkj” yang senantiasa memberikan motivasi dengan menanyakan kapan penulis melakukan ujian serta kelulusan, jika membaca tulisan ini berarti semua hal tersebut telah terlaksana.
8. Seluruh keluarga ELINS Angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan kebersamaan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
9. Semua pihak yang memberikan bantuan, semangat dan motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan kesalahan dalam penelitian skripsi ini yang dikarenakan keterbatasan ilmu dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan.

Yogyakarta, 31 Mei 2023



Novelio Putra Indarto

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III LANDASAN TEORI	7
3.1 Quadrotor	7
3.2 Gazebo	8
3.3 Robot Operating System (ROS)	9
3.4 Simulasi Hardware-in-the-loop	10
3.5 Linear Quadratic Regulator (LQR)	11
3.6 <i>Digital Motion Processing (DMP)</i>	12
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	14
4.1 Alat dan Bahan	14
4.2 Tahapan Penelitian	16
4.3 Analisis Sistem	16

4.3.1	Analisis Lingkungan Simulasi	19
4.3.2	Analisis Model <i>Quadrotor</i>	20
4.4	Rancangan Sistem Kendali	22
4.5	Arsitektur Sistem	25
4.6	Rancangan Pengujian Sistem.....	26
BAB V IMPLEMENTASI	28
5.1	Implementasi Sistem Simulasi	28
5.2	Implementasi Perangkat Keras	31
5.3	Implementasi Algoritma Komunikasi Data	32
5.4	Pengujian Sikap Wahana saat <i>Stationer</i>	33
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	37
6.1	Hasil Pengujian Tuning Wahana pada Simulator	37
6.1.1	Hasil Pengujian Mempertahankan Posisi pada Sumbu Z	37
6.1.2	Hasil Pengujian Sudut	39
6.2	Hasil Pengujian Tuning Wahana pada Lingkungan Asli	42
6.3	Hasil Pengujian Kemiripan Simulator dengan Lingkungan Asli.....	49
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	51
7.1	Kesimpulan	51
7.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Model quadrotor (Khan dan Kadri, 2014)	7
Gambar 3.2 Model sistem kendali yang didesain menggunakan simulasi komputer (Bacic, 2005)	10
Gambar 3.3 Arsitektur sensor IMU dengan DMP (Nasiri et al., 2010).....	13
Gambar 4.1 Tahapan penelitian.....	16
Gambar 4.2 Sistem pada lingkungan nyata	17
Gambar 4.3 Rancangan sistem simulasi	18
Gambar 4.4 Ilustrasi model lingkungan	19
Gambar 4.5 Model quadrotor	22
Gambar 4.6 Diagram blok sistem kendali	24
Gambar 4.7 Arsitektur sistem.....	25
Gambar 4.8 Alur pengujian tuning wahana.....	26
Gambar 5.1 Kode program penggunaan <i>plugin</i> sensor IMU pada Gazebo.....	28
Gambar 5.2 Kode program penggunaan <i>plugin</i> sensor sonar pada Gazebo	29
Gambar 5.3 Perbandingan sensor pada simulator dan sensor asli	29
Gambar 5.4 Kode program <i>launch</i> lingkungan simulasi	30
Gambar 5.5 Kode program simulasi hembusan angin.....	30
Gambar 5.6 Model <i>quadrotor</i> pada simulasi	31
Gambar 5.7 Flight Controller	32
Gambar 5.8 Format pengiriman data antara simulator dengan <i>flight controller</i> ... <td>32</td>	32
Gambar 5.9 Program pengiriman data sensor dari simulator ke <i>flight controller</i> . <td>33</td>	33
Gambar 5.10 Program penetapan gain pada <i>flight controller</i> yang dikirim dari simulator	34
Gambar 5.11 Program sistem kendali LQR.....	35
Gambar 5.12 Program inti <i>hardware-in-the-loop</i> pada <i>flight controller</i>	36
Gambar 6. 1 Hasil pengujian respon kendali posisi pada sumbu z pada simulator	38
Gambar 6.2 Hasil pengujian respon kendali (a) <i>roll</i> , (b) <i>pitch</i> , dan (c) <i>yaw</i> pada simulator	41
Gambar 6.3 Hasil pengujian respons kendali (a) posisi pada sumbu z, (b) <i>roll</i> , (c) <i>pitch</i> , dan (d) <i>yaw</i> pada lingkungan nyata menggunakan gain simulator.....	44

Gambar 6.4 Perbaningan respon kendali (a) posisi pada sumbu z, (b) *roll*, (c) *pitch*, dan (d) *yaw* menggunakan gain hasil *tuning* pada simulasi dengan hasil *tuning* lanjutan 48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi penelitian.....	6
Tabel 4.1 Daftar bahan	14
Tabel 4.2 Daftar alat	15
Tabel 4.3 Rancangan pengujian sistem	27
Tabel 6. 1 Konversi nilai Qz dan Qvz ke K.....	38
Tabel 6.2 Konversi nilai Qϕ , Qθ , Qψ , Qp , Qq , dan Qr ke K.....	39
Tabel 6.3 Hasil <i>tuning</i> gain K pada lingkungan asli	45
Tabel 6.4 Perbandingan gain K hasil <i>tuning</i> pada simulator dan lingkungan nyata	49

INTISARI

SIMULASI HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR UNTUK TUNING DAN UJI SISTEM KENDALI PADA KEADAAN STATIONER

Oleh
Novelio Putra Indarto
19/442386/PA/19135

Quadrotor membutuhkan sistem kontrol yang stabil untuk mempertahankan posisinya. Namun, pemilihan nilai parameter secara langsung untuk *tuning* dapat menyebabkan ketidakstabilan *quadrotor* dan memiliki kemungkinan untuk jatuh. Dalam mengatasi hal tersebut, kami mengusulkan pendekatan berbasis simulasi menggunakan Gazebo sebagai platform dan ROS sebagai perantara. Dengan menghubungkan lingkungan simulasi dan *flight controller*, penelitian ini dapat merepresentasikan kondisi dunia nyata dan menyimulasikan proses *tuning*.

Dalam penelitian ini, sensor virtual di Gazebo secara akurat mendeteksi perubahan dalam gerakan model *quadrotor* 3D. Data dari sensor-sensor ini kemudian dikirim ke *flight controller* dan dikonversi menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM), yang menstabilkan quadrotor pada titik referensi tertentu. Metode simulasi ini mencapai representasi yang mendekati lingkungan nyata, dengan perbedaan penguatan maksimum 3 untuk setiap *state*. Secara khusus, perbedaan gain untuk posisi dan kecepatan sumbu z adalah 0 dan 2,03, untuk sudut roll dan kecepatan sudutnya adalah 2 dan 0,84, untuk sudut *pitch* dan kecepatan sudutnya adalah 1,47 dan 0,32, dan untuk sudut *yaw* dan kecepatan sudutnya adalah 0,08 dan 0,34. Baik nilai gain simulator maupun lingkungan nyata secara efektif menjaga sikap *stationer quadrotor*.

Kata kunci: simulasi, *flight controller*, Gazebo, ROS

ABSTRACT

HARDWARE-IN-THE-LOOP QUADROTOR SIMULATION FOR CONTROL SYSTEM TUNING AND TESTING IN STATIONER CONDITION

By

Novelio Putra Indarto

19/442386/PA/19135

Quadrotors require a stable control system to maintain position. However, directly selecting parameter values for tuning can lead to quadrotor instability and potential crashes. To address this, we propose a simulation-based approach using Gazebo as the platform and ROS as the middleware. By connecting the simulation environment with the flight controller, this research can replicate real-world conditions and simulate the tuning process.

In this research, virtual sensors in Gazebo accurately detect changes in the 3D quadrotor model's motion. The data from these sensors is then transmitted to the flight controller and converted into a Pulse Width Modulation (PWM) signal, which stabilizes the quadrotor at a specified reference point. This simulation method achieves a close representation of the real environment, with a maximum gain difference of 3 for each state. Specifically, the gain difference for position and velocity in the z-axis is 0 and 2.03, for roll angle and angular velocity it is 2 and 0.84, for pitch angle and angular velocity it is 1.47 and 0.32, and for yaw angle and angular velocity it is 0.08 and 0.34. Both the simulator and the real environment's gain values effectively maintain the quadrotor's stationary attitude.

Keywords: simulation, flight controller, Gazebo, ROS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Quadrotor adalah salah satu jenis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang memiliki empat buah rotor sebagai sumber penggerak. *Quadrotor* memiliki keunggulan yang dapat digunakan untuk menjangkau wilayah yang sulit dijangkau oleh jenis UAV lainnya (Omar, 2022).

Banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan terbang *quadrotor*. Beberapa penelitian dilakukan untuk mendapatkan teknik kendali yang *robust* (Roy et al, 2021). Oleh karena itu, banyak literatur telah membahas sistem kendali *quadrotor*, dengan banyak pendekatan yang tersedia menggunakan teknik kendali yang berbeda (Bayrakceken et al, 2011).

Meskipun sistem kendali yang digunakan memiliki kompleksitas dan efektivitas yang tinggi, tantangan sebenarnya terletak pada pemilihan (tuning) parameter yang tepat agar *quadrotor* dapat terbang dengan stabil (Babu et al, 2017). Nilai parameter yang tidak sesuai dapat mengakibatkan ketidakstabilan *quadrotor* yang dapat berujung pada jatuhnya wahana jika dilakukan secara langsung. Dalam beberapa kasus hal tersebut sangat berbahaya karena dapat menimbulkan kerusakan dan cedera.

Berdasarkan hal tersebut, dalam mengembangkan sistem *quadrotor* secara utuh diperlukan adanya sistem yang dapat merepresentasikan lingkungan nyata untuk melakukan simulasi proses tuning secara virtual tanpa menggunakan *quadrotor* secara langsung. Terdapat dua metode simulasi sistem kendali UAV, yaitu simulasi *Software-in-the-loop* (SITL) dan *Hardware-in-the-loop* (HITL). SITL akan menjalankan algoritma kendali pada komputer yang sama dengan model wahana yang disimulasikan sehingga algoritme kendali dapat diuji secara cepat dengan kecepatan simulasi yang lebih cepat dari keadaan nyata. Hal tersebut dapat mengurangi kredibilitas simulasi karena algoritme tidak berjalan pada perangkat keras yang sebenarnya (Dai et al, 2021).

Untuk meningkatkan kualitas simulasi, HITL digunakan dengan menyertakan perangkat keras *flight controller* pada sistem komputer. Hal tersebut membuat simulasi HITL sangat diperlukan untuk menguji perangkat keras pengendali yang sebenarnya (Khan dan Kadri, 2014).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, maka dapat dirumuskan bahwa pengaturan nilai parameter yang tidak sesuai pada sistem kendali *quadrotor* secara langsung dapat mengakibatkan *quadrotor* tidak stabil sehingga menyebabkan jatuhnya wahana. Sedangkan proses simulasi tanpa menyertakan perangkat keras kurang mencerminkan keadaan sebenarnya.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Wahana yang digunakan adalah model *quadrotor* dengan konfigurasi X. Memiliki 4 buah motor penggerak yang statis.
2. Kerangka *quadrotor* yang digunakan adalah DJI F450 dengan panjang diagonal 450mm.
3. Pengujian terbang wahana dilakukan pada perangkat komputer dengan spesifikasi pemroses AMD Ryzen 7 3750H, memori RAM 8 GB, dan GPU Nvidia GTX 1660Ti.
4. Sistem kendali yang digunakan adalah *Linear Quadratic Regulator* (LQR).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah membuat sistem simulasi *Hardware-in-the-loop* yang dapat mencerminkan keadaan sebenarnya dan mencegah jatuhnya wahana dalam proses penyetelan nilai parameter pada sistem kendali *quadrotor*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah melakukan simulasi tanpa wahana menggunakan perangkat keras secara langsung untuk melakukan penyetelan parameter sistem kendali *quadrotor* sehingga lebih akurat.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi masalah-masalah yang ada untuk mencari topik yang akan diselesaikan pada penelitian ini. Penulis berkonsultasi dengan dosen pembimbing proposal dalam penentuan topik penelitian.
2. Menganalisis permasalahan untuk ditemukan kemungkinan solusinya. Kemungkinan solusi yang ada dari permasalahan tersebut dapat digunakan untuk merumuskan tujuan dari sistem yang akan dibuat.
3. Studi literatur dilakukan untuk pengkajian dan pembelajaran lebih lanjut terhadap sistem yang akan dibuat, yaitu dengan cara:
 - a. Pengumpulan dan menganalisis literatur seperti jurnal, buku, dan karya ilmiah terkait *quadrotor*, *Hardware-in-the-loop*, sistem kendali *quadrotor*, serta perangkat pemroses atau pengendali *quadrotor*.
 - b. Konsultasi dengan dosen pembimbing maupun dosen lain yang memiliki kompetensi yang terkait dengan rancangan sistem simulasi.
4. Rancangan sistem untuk penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian:
 - a. Perancangan mekanik, yaitu perancangan model kerangka wahana *quadrotor*.
 - b. Perancangan elektronik, yaitu perancangan sistem elektronik yang meliputi perangkat keras seperti Teensy 4.1 dan *shield* pendukungnya.
 - c. Perancangan perangkat lunak, yaitu pembuatan program simulasi menggunakan ROS dan Gazebo serta program kendali wahana *quadrotor* menggunakan Visual Studio Code dengan bahasa pemrograman C/C++.
5. Analisa dan pengujian terhadap sistem yang telah dirancang dengan menguji kestabilan wahana pada simulasi *hardware-in-the-loop*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah yang akan dikaji, tujuan penelitian, batasan masalah pada penelitian, metodologi penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian-penelitian terdahulu mengenai simulasi *Hardware-in-the-loop*.

BAB III LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang dasar teori yang mencakup teori-teori mengenai media simulasi ROS dan Gazebo, serta sistem kendali *quadrotor*.

BAB IV METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai rancangan sistem secara keseluruhan meliputi perangkat penelitian arsitektur sistem, rancangan sistem elektronik, rancangan mekanik, diagram blok sistem, rancangan algoritme perangkat lunak simulasi, dan rancangan pengujian sistem.

BAB V IMPLEMENTASI

Bab ini berisi implementasi sistem simulasi *Hardware-in-the-loop* dan sistem *quadrotor* dari hasil analisis dan perancangan sistem pada BAB IV.

BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian dan pembahasan hasil penelitian yang didapatkan dari pengujian yang telah dilakukan.

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Simulasi *Hardware-in-the-loop* dapat dilakukan menggunakan perangkat keras yang terhubung pada perangkat komputer. Sebagai perangkat keras yang berkomunikasi secara serial menerima data sudut *roll*, sudut *pitch*, sudut *yaw*, jarak X, jarak Y, jarak Z, dan kecepatan Z lalu memberikan hasil perhitungan sistem kendali berupa keempat sinyal kecepatan motor (Khan dan Kadri, 2014). Hasil dari penelitian yang dilakukan masih terdapat kekurangan dimana lingkungan simulasi tidak memperhitungkan saat *quadrotor* terkena gangguan angin dari luar serta gangguan pada setiap sensor yang digunakan.

Penelitian seputar simulasi *Hardware-in-the-loop* telah dilakukan untuk menguji kestabilan *quadrotor* pada perangkat simulator sebelum dilakukan tes pada lingkungan nyata. simulasi *Hardware-in-the-loop* digunakan untuk memverifikasi stabilitas sistem pada lingkungan yang aman (Saif dan Eminoğlu, 2022). Hasil simulasi menunjukkan bahwa simulasi *Hardware-in-the-loop* dapat merepresentasikan lingkungan nyata serta mengurangi kemungkinan risiko dari pengujian yang dilakukan secara langsung.

Untuk mendapatkan kondisi yang mendekati lingkungan sebenarnya pada sistem simulasi *hardware-in-the-loop*, terdapat sebuah penelitian yang mampu menggambarkan kondisi sensor serta lingkungan menggunakan Robot Operating System (ROS) dan Gazebo (Odelga et al, 2015). Simulasi dilakukan dengan pewaktuan eksekusi algoritme yang sesuai dengan kelayakan komputasi langsung pada perangkat keras *quadrotor*.

Penambahan gangguan eksternal sebagai bentuk pendekatan representasi lingkungan nyata pada simulator perlu dilakukan. Simulasi hembusan angin dipilih sebagai bentuk gangguan eksternal. Hembusan angin dapat menyebabkan gaya *lift* dan *drag* berubah sehingga memungkinkan jatuhnya wahana *quadrotor*. Oleh karena itu, respons kendali *quadrotor* perlu diinvestigasi di bawah gangguan eksternal alam (Wan dan Tsai, 2021).

Dalam mempertahankan sikap *stationer*, *quadrotor* memerlukan sistem kendali yang dapat mempertahankan ketinggian dan melakukan *hovering*, dimana tidak terjadi Gerakan rotasi pada *roll*, *pitch*, maupun *yaw* (Dharmawan et al, 2019). Pada penelitian ini digunakan *Linear Quadratic Regulator* (LQR) untuk mendapatkan gain K pada sistem kendali *full-state feedback*. pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, metode kendali LQR mampu menghasilkan gain dengan menyertakan karakteristik *quadrotor*.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, peneliti mengusulkan penelitian mengenai simulasi *Hardware-in-the-loop* dengan ROS dan Gazebo untuk melakukan proses perhitungan dan pemilihan nilai parameter sistem kendali LQR. Hal tersebut dikarenakan ROS dan Gazebo dianggap memiliki keunggulan dalam merepresentasikan lingkungan dan kondisi sebenarnya dalam sistem simulasi.

Rangkuman perbandingan penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Korelasi penelitian

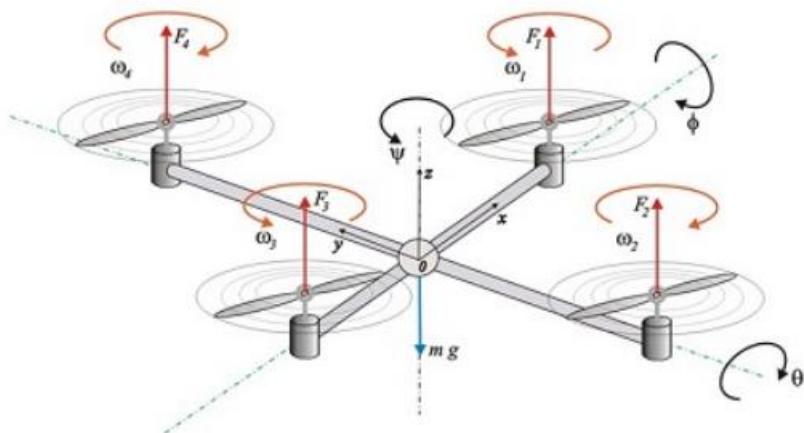
No.	Peneliti	Judul	Keterangan
1	(Khan dan Kadri, 2014)	<i>Position Control of Quadrotor by Embedded PID Control with Hardware in Loop Simulation</i>	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan simulasi <i>Hardware-in-the-loop</i> Sistem simulasi menggunakan ROS dan Gazebo
2	(Odelga et al, 2015)	<i>A Setup for Multi-UAV Hardware-in-the-Loop Simulations</i>	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan simulasi <i>Hardware-in-the-loop</i> Sistem simulasi menggunakan ROS dan Gazebo
3	(Saif dan Ilyas, 2022)	<i>Modelling of quad-rotor dynamics and Hardware-in-the-Loop simulation</i>	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan simulasi <i>Hardware-in-the-loop</i> untuk menguji stabilitas <i>quadrotor</i>
4	(Wan dan Tsai, 2021)	<i>Numerical Study of Quadrotor Aircraft Performance Under Adverse Situations</i>	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan pemodelan hembusan angin Melakukan uji <i>quadrotor</i> di bawah gangguan eksternal
5	(Dharmawan et al, 2019)	<i>Attitude and Horizontal Speed Control System on Unmanned Aerial Vehicle Using LQR</i>	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan sistem kendali LQR

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Quadrotor

Quadrotor dapat terbang dengan cara mengatur kecepatan putar tiap motornya sehingga menghasilkan gaya dan torsi. *Quadrotor* terdiri dari 2 baling-baling yang berputar searah jarum jam (*clockwise*) dan 2 baling-baling yang berputar berlawanan arah jarum jam (*counter-clockwise*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Sehingga momen yang dihasilkan dapat saling berlawanan. Pergerakan dasar yang dapat dilakukan oleh *Quadrotor* adalah *rolling*, *pitching*, dan *yawing* yang didapatkan dengan mengombinasikan gaya dan torsi putaran motor.



Gambar 3.1 Model quadrotor (Khan dan Kadri, 2014)

Quadrotor memiliki 6 derajat kebebasan, untuk mendapatkan kinematika gerak *Quadrotor* digunakan persamaan Euler-Langrange dan persamaan Newton-Euler. Kinematika gerak *Quadrotor* digunakan untuk merancang sistem kendali untuk mengatur sikap (*attitude*) dan ketinggian (*altitude*) dari *quadrotor*. Ada 2 konfigurasi kerangka *quadrotor*, jenis kerangka + (*plus*) dan kerangka X (*cross*).

Sinyal kendali pada *quadrotor* dapat dihitung dengan persamaan (3.1), (3.2), (3.3) dan (3.4). Sinyal kendali U_1 merupakan total *thrust* *quadrotor*. U_2 dan

U_3 merupakan sinyal kendali untuk *roll* (ϕ) dan *pitch* (θ). Sedangkan sinyal kendali U_4 merupakan *yaw* (φ).

$$U_1 = b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (3.1)$$

$$U_2 = b \cdot l(\omega_4^2 - \omega_2^2) \quad (3.2)$$

$$U_3 = b \cdot l(\omega_3^2 - \omega_1^2) \quad (3.3)$$

$$U_4 = d(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (3.4)$$

Dimana:

b = Koefisien *thrust*

d = Koefisien *drag*

l = Panjang lengan *quadrotor*

ω = Kecepatan putar rotor

3.2 Gazebo

Mengutip pada Robotic Simulation Service (2021) Gazebo adalah *platform* yang dapat digunakan untuk simulasi perangkat lunak robot dan sensor di lingkungan tiga dimensi baik dalam atau luar ruangan. Gazebo memiliki arsitektur *Client/Server* dan memiliki model komunikasi antar proses *Publish/Subscribe* yang berbasis *Topic*.

Client pada Gazebo dapat mengakses data menggunakan memori bersama. Setiap objek simulasi pada Gazebo dapat diasosiasikan dengan satu atau lebih pengendali yang memproses perintah untuk mengontrol objek dan menghasilkan *state*. Data yang dihasilkan oleh pengontrol di-*Publish* ke memori bersama menggunakan antarmuka Gazebo (Ifaces). Ifaces dari proses lain dapat membaca data dari memori tersebut, sehingga memungkinkan komunikasi antar proses perangkat lunak pengendali robot dan Gazebo. Dalam proses simulasi dinamis, Gazebo dapat mengakses *physics engines* berkinerja tinggi seperti Open Dynamics Engine (ODE), Bullet, Simbody, dan Dynamic Animation and Robotics Toolkit (DART) yang digunakan untuk simulasi fisika benda tegar. Object-Oriented Graphics Rendering Engine (OGRE) menyediakan grafis 3D untuk lingkungan pada Gazebo (Takaya, 2016).

Pada penelitian ini gazebo akan digunakan sebagai lingkungan simulasi dimana *Client* mengirimkan data kendali dan koordinat objek yang disimulasikan ke *Server* yang melakukan pengendalian secara *real-time* dari robot yang disimulasikan. Oleh sebab itu, *Client* dan *Server* dapat ditempatkan pada mesin yang berbeda untuk melakukan simulasi terdistribusi. Penggunaan *Plugin* ROS untuk Gazebo membantu mengimplementasikan antarmuka komunikasi secara langsung dengan ROS, sehingga robot simulasi dan robot nyata dapat dikendalikan menggunakan perangkat lunak yang sama (Bernardeschi et al, 2019). Hal tersebut membuat Gazebo menjadi media simulasi yang efektif untuk pengujian dan pengembangan sistem robot nyata.

3.3 Robot Operating System (ROS)

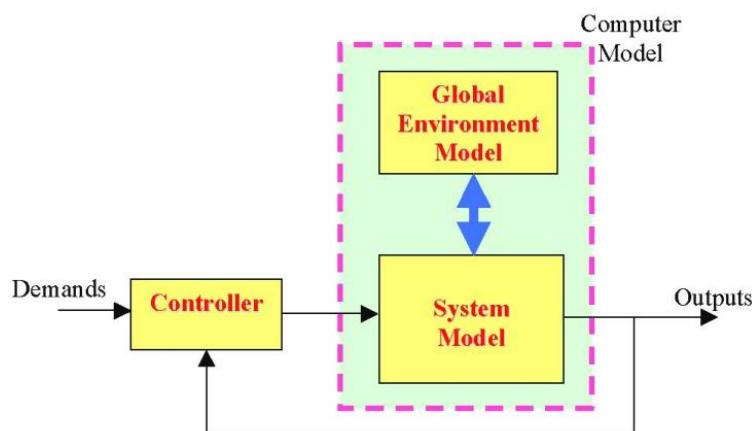
ROS adalah kumpulan *libraries*, *drivers*, dan *tools* untuk pengembangan dan pembuatan sistem robot secara efektif. ROS memiliki *command tool* layaknya Linux, sistem komunikasi antar proses, dan banyak *package* terkait aplikasinya. Proses eksekusi pada ROS disebut dengan *Node*, sedangkan komunikasi antar proses menggunakan model *Publish/Subscribe*. Data pada komunikasi dinamakan *Topic*. Proses *Publish* dapat mengirim satu atau lebih *Topic*, sedangkan proses yang melakukan *Subscribe* dapat menerima data tersebut. ROS menggunakan bahasa pemrograman C++, Python, dan LISP serta memiliki *library* percobaan menggunakan bahasa pemrograman Java dan Lua (Takaya, 2016).

Dalam penggunaannya, proses pada ROS diatur dan dijadwalkan oleh *Master Server*. *Package* pada ROS berisi *driver* sensor, *tools* untuk navigasi, pemetaan lingkungan, *path planning*, *tools* untuk visualisasi komunikasi antar proses serta lingkungan 3D, dan lain-lain. ROS dapat digunakan untuk pengembangan sistem robot secara efektif. Penelitian ini menggunakan ROS sebagai *middleware* untuk menghubungkan komunikasi antara simulator dengan *flight controller* (Takaya, 2016).

3.4 Simulasi Hardware-in-the-loop

Simulasi *Hardware-in-the-loop* merupakan sebuah teknik yang digunakan dalam mendesain dan mengevaluasi suatu sistem kendali *quadrotor* serta melakukan penyetelan parameter sistem secara *real-time*. Konsep dasar pada simulasi *Hardware-in-the-loop* adalah dengan menyertakan perangkat keras yang digunakan pada proses simulasi alih-alih melakukan pengujian algoritme kendali menggunakan model matematika murni dari sistem sehingga memungkinkan pemodelan sistem yang lebih akurat (Bacic, 2005).

Sistem kendali yang didesain menggunakan simulasi komputer pada umumnya memiliki komponen seperti pada Gambar 3.2. Model sistem terdiri dari dua komponen yaitu, model *plant fisik* seperti UAV dan hubungannya terhadap lingkungan seperti aerodinamika dan *drag*.



Gambar 3.2 Model sistem kendali yang didesain menggunakan simulasi komputer (Bacic, 2005)

Sistem *hardware-in-the-loop* akan dibuat menggunakan Gazebo dan ROS sebagai simulator dimana terdapat model lingkungan 3D dan model *quadrotor*. Simulator tersebut akan terhubung pada *flight controller* yang digunakan sebagai pemroses yang berisi sistem kendali untuk menggerakkan model *quadrotor* berdasarkan data keadaan yang didapatkan dari simulator.

3.5 Linear Quadratic Regulator (LQR)

LQR merupakan pengembangan dari metode *pole placement* dan *Hamilton Jacobi Belmann* (HJB) dengan meregulasi *state* sistem menjadi nol dengan meminimalisir *cost function*. *Cost function* merupakan fungsi kuadratik yang didefinisikan sebagai penjumlahan dari simpangan pengukuran pokok terhadap nilai yang diinginkannya. Model yang linear didapatkan dengan menerapkan model matematika dari sistem berorde tinggi kemudian dipecah menjadi beberapa satuan orde yang dimasukkan ke dalam *state space*. Persamaan tersebut selanjutnya dapat diproses oleh sistem secara bersamaan dalam satu waktu.

Suatu persamaan sistem linear, dapat digambarkan dengan persamaan *state space* yang ditunjukkan pada persamaan (3.5) dan (3.6)

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \quad (3.5)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} \quad (3.6)$$

Dimana,

\mathbf{x} = *State* yang dipantau

\mathbf{u} = Masukan sistem

\mathbf{y} = Output proses

\mathbf{A} = Matriks hubungan *state* dengan turunan *state*

\mathbf{B} = Matriks hubungan masukan dengan *state* sistem

\mathbf{C} = Matriks hubungan *state* dengan output sistem

LQR adalah suatu metode kendali umpan balik pada keadaan yang ditunjukkan oleh persamaan (3.7). Dimana masukan sistem (\mathbf{u}) merupakan hasil perkalian negatif penguatan/gain (\mathbf{K}) dengan *state* (\mathbf{x}).

$$\mathbf{u} = -\mathbf{Kx} \quad (3.7)$$

Untuk meminimalisir *cost function* dalam interval $[t_0, t_\infty]$ didefinisikan pada persamaan (3.8)

$$J = \int_{t_0}^{t_\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \quad (3.8)$$

Dimana,

J = *Cost function*

t_0 = Waktu awal

t_∞ = Waktu akhir

\mathbf{Q} = Bobot *state* luaran berupa matriks semidefinit positif

\mathbf{R} = Bobot masukan proses berupa matiks definit positif

$\mathbf{x}^T = \mathbf{x}$ transpose

$\mathbf{u}^T = \mathbf{u}$ transpose

Matriks penguatan umpan balik optimal \mathbf{K} dapat diperoleh dari persamaan

(3.9)

$$\mathbf{K} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \quad (3.9)$$

Dimana matriks \mathbf{P} adalah solusi dari persamaan Riccati yang ditunjukkan pada persamaan (3.10).

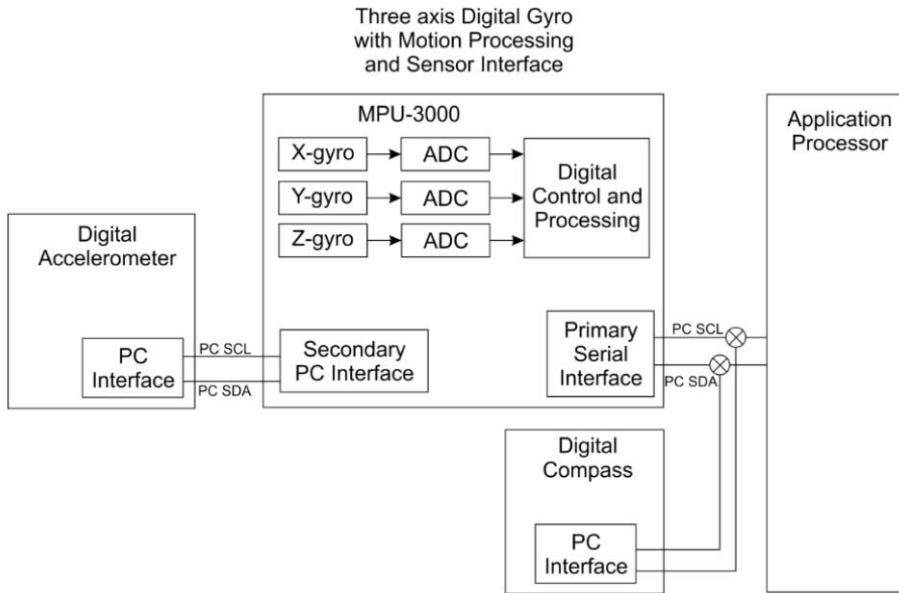
$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} + \mathbf{Q} = 0 \quad (3.10)$$

Dengan demikian, pembobotan nilai \mathbf{Q} dan \mathbf{R} dapat berpedoman pada:

1. Matriks \mathbf{Q} digunakan untuk mengatur performa atau pengaruh masing-masing *state plant* terhadap sistem. Semakin besar nilai \mathbf{Q} , maka semakin memperbesar nilai penguatan \mathbf{K} sehingga mempercepat sistem untuk mencapai keadaan stabil.
2. Nilai \mathbf{R} digunakan untuk mengatur seberapa besar aksi sebagai luaran yang mempengaruhi sistem. semakin besar nilai \mathbf{R} , akan memperkecil nilai penguatan \mathbf{K} dan memperlambat keadaan tunak.

3.6 Digital Motion Processing (DMP)

DMP adalah bagian dari perangkat IMU (*Inertia Measurement Unit*) yang mengolah sinyal secara digital. DMP menerima masukan dari akselerometer dan giroskop melalui antarmuka I2C untuk melakukan filtrasi data sensor dan pengolahan gerakan. Informasi gerakan tersebut kemudian diproses dan dikirimkan ke prosesor seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Arsitektur sensor IMU dengan DMP (Nasiri et al., 2010)

Salah satu keunggulan penggunaan DMP adalah adanya data keluaran untuk sampel data giroskop dengan frekuensi tinggi. Di sisi lain, penggabungan sensor dan pengolahan gerakan dapat diakses melalui algoritme yang terintegrasi pada prosesor dengan menggunakan *library* pengolahan gerakan yang dikenal sebagai *motion processing library* (Nasiri et al., 2010).

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan komponen yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Komponen tersebut digunakan untuk merangkai sebuah *quadrotor* yang dapat melakukan tugas sesuai dengan skenario penelitian. Serta beberapa peralatan penunjang yang berfungsi untuk merancang sistem kendali wahana.

Pada penelitian ini, *quadrotor* menggunakan mikrokontroler Teensy 4.1 sebagai pusat kendali. Mikrokontroler terhubung pada sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang terdiri dari sensor akselerometer, sensor giroskop, dan sensor magnetometer, serta terhubung pada sensor sonar. Data dari sensor-sensor tersebut akan digunakan sebagai pengukur umpan balik kendali *quadrotor* yang nantinya didapatkan data berupa *risetime* maksimal, *overshoot* maksimal dan nilai *steady-state error* setelah melakukan *recovery*. Unit penggerak utama pada *quadrotor* menggunakan motor *brushless* yang memerlukan *Electronic Speed Controller* (ESC) untuk mengontrol kecepatan motor. Sumber daya motor dan komponen elektronik menggunakan baterai LiPo.

Tabel 4.1 Daftar bahan

No	Nama	Fungsi
1	Mikrokontroler	Pusat kendali <i>quadrotor</i>
2	Motor <i>Brushless</i>	Penggerak utama <i>quadrotor</i>
3	<i>Electronic Speed Controller</i> (ESC)	Pengatur kecepatan putar motor <i>quadrotor</i>
4	Baterai LiPo	Sumber daya <i>quadrotor</i>
5	<i>Receiver remote control</i>	Penerima masukan kendali dari <i>remote control</i>
6	Sensor IMU	Pengukur percepatan linear (akselerometer) dan kecepatan sudut (giroskop)
7	Sensor sonar	Pengukur ketinggian saat terbang
8	Radio Frekuensi	Untuk melakukan komunikasi data antara <i>quadrotor</i> dengan komputer secara <i>wireless</i>
9	Kabel <i>Universal Serial Bus</i> (USB)	Untuk melakukan komunikasi data antara mikrokontroler dengan komputer secara <i>wired</i>

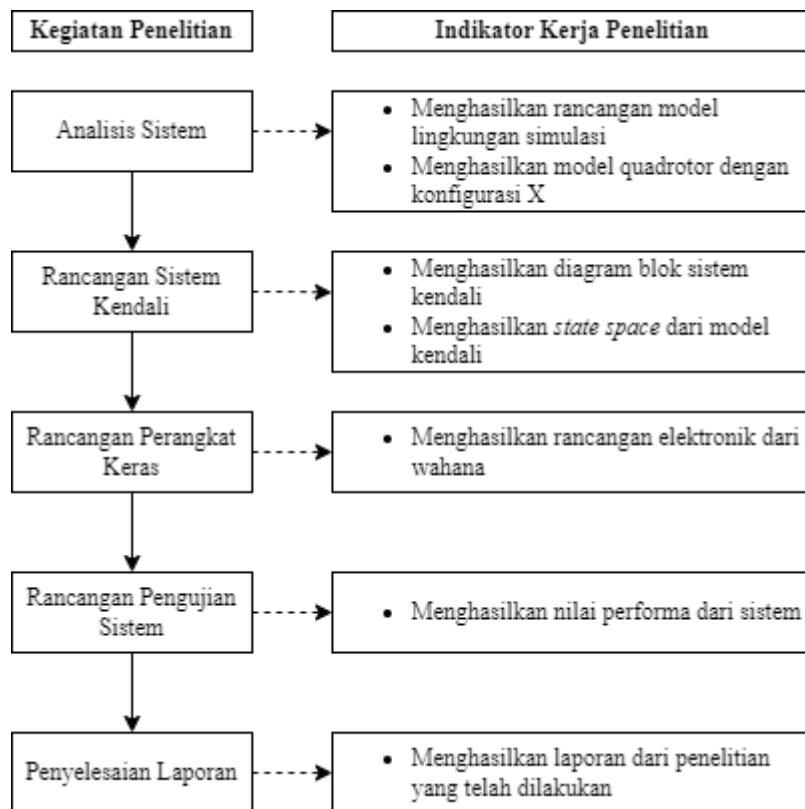
Visual Studio Code merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk menulis program kendali dan meng-*compile* program tersebut. Program yang telah di-*compile* akan diunggah pada mikrokontroler menggunakan Linux Terminal. Linux Terminal juga digunakan untuk menjalankan perintah program simulasi ROS dan Gazebo. Timbangan dan *tachometer* digunakan untuk mendapatkan parameter fisis *quadrotor*. Timbangan digunakan untuk mengukur massa tiap komponen yang digunakan pada sistem. *Tachometer* digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi motor dari perputaran *propeller*. Anemometer akan digunakan untuk menghitung rata-rata kecepatan angin sebagai referensi simulasi hembusan angin pada simulator. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Daftar alat

No	Alat	Fungsi
1	Visual Studio Code	Perangkat lunak untuk meng- <i>compile</i> program
2	Linux Terminal	Perangkat lunak untuk meng- <i>upload</i> program pada mikrokontroler dan menjalankan program simulasi
3	Timbangan	Alat untuk mengukur massa seluruh komponen
4	<i>Tachometer</i>	Alat untuk mengukur kecepatan rotasi motor
5	Anemometer	Alat untuk mengukur kecepatan angin

4.2 Tahapan Penelitian

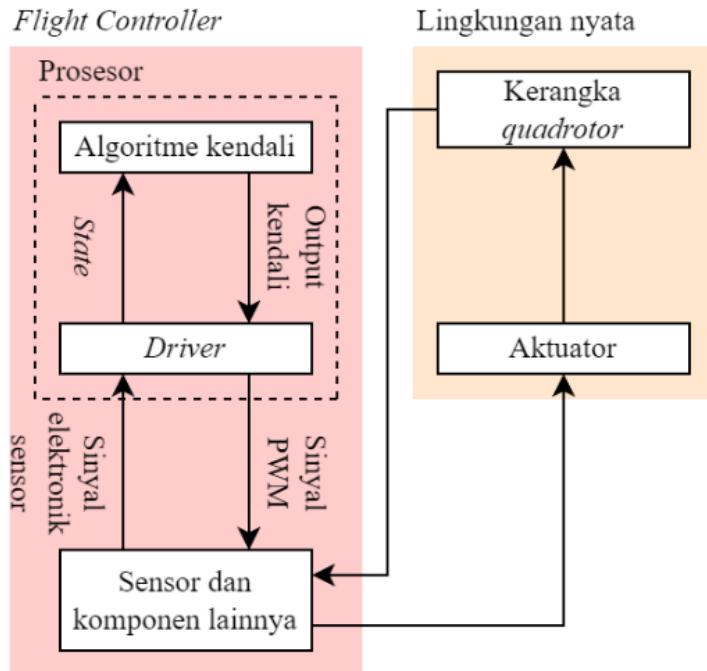
Penelitian ini memerlukan beberapa tahapan yang terbagi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tahapan penelitian

4.3 Analisis Sistem

Quadrotor memiliki empat motor dengan baling-baling (propeler) yang terpasang pada kerangka tetap (Six et al, 2020). Setiap motor pada *quadrotor* berperan dalam memberikan *thrust* dan torsi terhadap titik pusat rotasinya. Setiap motor harus memiliki kecepatan putar yang seimbang agar *quadrotor* dapat terbang mendekati sikap *stationer*. Untuk mencapai keseimbangan tersebut, diperlukan sistem kendali yang baik.



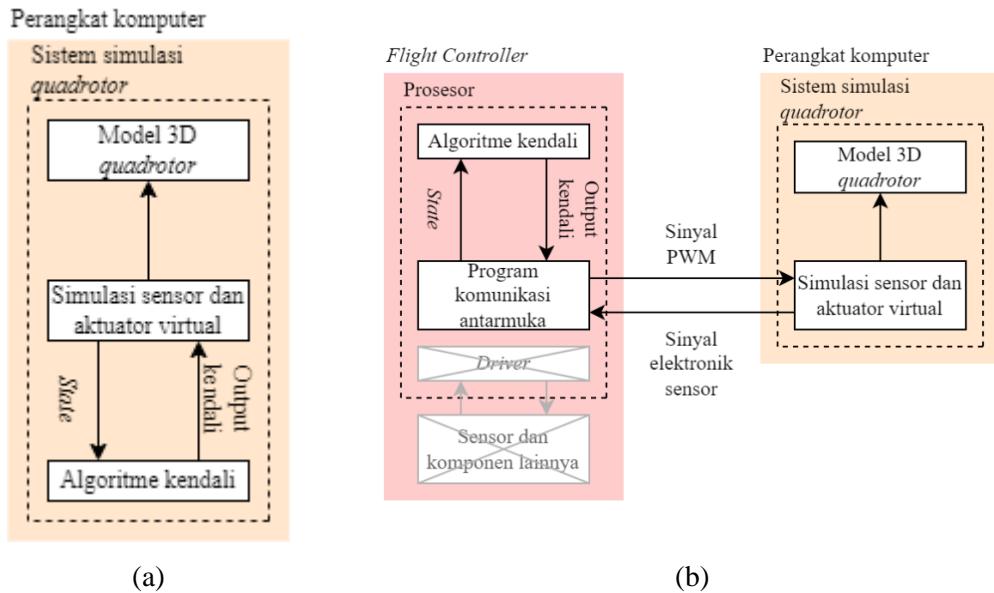
Gambar 4.2 Sistem pada lingkungan nyata

Pada lingkungan nyata, *flight controller* atau perangkat *autopilot* akan mengendalikan *quadrotor* menggunakan *state* dari hasil bacaan sensor. Pada Gambar 4.2 perangkat *autopilot* melakukan komunikasi pada sensor dan komponen lainnya kemudian algoritme kendali akan menghitung sinyal output untuk menggerakkan aktuator sehingga *quadrotor* dapat bergerak sesuai dengan nilai referensi yang diberikan.

Untuk melakukan simulasi, nilai sensor akan didapatkan dari simulasi sensor virtual yang dijalankan pada perangkat komputer menggunakan ROS dan Gazebo. Terdapat dua macam metode simulasi yaitu *Software-in-the-loop* dan *Hardware-in-the-loop*. Simulator *Software-in-the-loop* ditunjukkan pada Gambar 4.3 (a) dimana algoritma kendali dijalankan pada perangkat komputer yang sama dengan model *quadrotor*. Hal tersebut dapat mengurangi kesesuaian pada pengujian lingkungan nyata karena pengendali pada lingkungan nyata menggunakan mikrokontroler yang memiliki memori dan kemampuan memproses jauh lebih rendah dibandingkan perangkat keras.

Oleh karena itu, penambahan perangkat pemroses *flight controller* ditambahkan untuk meningkatkan kualitas simulasi. Pada Gambar 4.3 (b)

ditunjukkan rancangan sistem simulasi *Hardware-in-the-loop*. Simulasi ini bekerja dengan cara mengirim data dari model simulasi sensor ke *flight controller* yang terhubung. Data tersebut akan digunakan sebagai *feedback* sistem kendali yang akan memberikan keluaran berupa sinyal PWM sehingga menggerakkan model *quadrotor* pada simulator.



Gambar 4.3 Rancangan sistem simulasi

Pada simulasi HITL diperlukan adanya lingkungan simulasi dan model wahana yang digunakan. Lingkungan simulasi akan menggambarkan lingkungan sebenarnya dengan memberikan gangguan berupa hembusan angin dan gangguan dari pilot menggunakan *remote control*. Kemudian proses tuning akan dilakukan untuk melihat respons kendali pada *quadrotor* yang berada di bawah pengaruh gangguan.

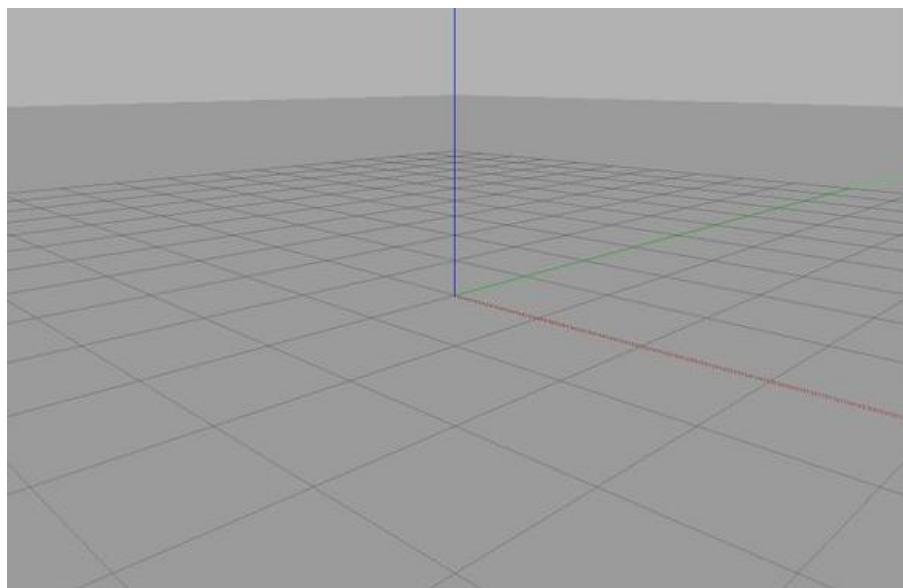
Terdapat beberapa parameter yang menjadi acuan untuk menentukan tingkat keberhasilan penelitian ini (Dharmawan et al, 2019), yaitu sebagai berikut:

1. Waktu *risetime* maksimal yang dihasilkan untuk melakukan *recovery* pada sudut *roll* dan *pitch* setelah diberi gangguan adalah 1 detik dan untuk sudut *yaw* serta posisi z 2 detik.
2. *Overshoot* maksimal untuk nilai *roll* dan *pitch* ketika melakukan *recovery* adalah 20% serta 25% untuk sudut *yaw* dan posisi z.

3. Nilai *steady-state error* di bawah batas toleransi 5% dari nilai maksimal 90° untuk sudut roll dan pitch, serta 180° untuk sudut yaw. Sehingga untuk sudut *roll* dan *pitch* memiliki batas toleransi $\pm 4,5^\circ$ dan $\pm 9^\circ$.
4. Sistem dapat mempertahankan ketinggian dengan referensi *state* posisi z 1 meter dari permukaan tanah dengan nilai *steady-state error* dengan batas toleransi ± 5 cm.
5. Perbedaan gain (K) hasil tuning setiap *state* pada simulasi dengan gain yang digunakan pada percobaan terbang wahana tidak lebih dari ± 3 .

4.3.1 Analisis Lingkungan Simulasi

Lingkungan simulasi yang digunakan pada penelitian ini berupa tanah datar tanpa adanya halangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Untuk membuat lingkungan tampak lebih nyata, diberikan gangguan berupa hembusan angin yang bekerja dengan cara menambahkan kecepatan linear pada kerangka model simulasi di tiap sumbu.



Gambar 4.4 Ilustrasi model lingkungan

Hembusan angin merupakan variasi kecepatan angin dalam waktu yang singkat. Dengan durasi kurang dari 20 detik (Wan dan Tsai, 2021). Hembusan terjadi sebagai bagian dari ketidaktetapan alami kecepatan angin dalam periode 10 menit dari kondisi angin yang tenang sehingga tidak berdampak pada kecepatan angin rata-rata. Persamaan aliran bebas kecepatan angin yang dinyatakan dengan $V(t)$ ditunjukkan pada persamaan (4.1) dimana A menyatakan magnitudo dan f_g menyatakan frekuensi hembusan.

$$V(t) = V_\infty \left(1 + A \sin(2\pi f_g t) \right) \quad (4.1)$$

Hembusan angin yang realistik memiliki perbedaan pada arah vertikal dan horizontal yang disebabkan oleh karakteristik atmosfer. Referensi kecepatan angin diambil dari daerah sekitar tempat pengujian dilakukan dengan nilai rata-rata sebesar 1 m/s. Persamaan aliran kecepatan angin dapat dijabarkan menjadi fungsi hembusan angin realistik seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4.2).

$$\begin{aligned} V(t) = 1 & (1 + 0.3(\sin(0.5t) + \cos(0.25t) + \sin(0.35t) + \cos(t) \\ & + \sin(0.1t))) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Arah hembusan angin akan divariasikan secara acak setiap simulasi dijalankan. Lingkungan diasumsikan berupa bola dengan kerangka *quadrotor* dipusatnya sehingga arah angin ditentukan menggunakan koordinat sudut vertikal (φ) dan horizontal (λ). Kecepatan angin merupakan resultan dari tiga kecepatan pada tiap sumbu yaitu x, y, dan z sehingga untuk menentukan kecepatan angin pada tiap sumbu (V_x , V_y , dan V_z) dapat menggunakan persamaan (4.3).

$$\begin{aligned} V_x &= V(t) \cos(\varphi) \cos(\lambda) \\ V_y &= V(t) \cos(\varphi) \sin(\lambda) \\ V_z &= \sin(\lambda) \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.3.2 Analisis Model *Quadrotor*

Pada penelitian ini, *quadrotor* yang digunakan memiliki konfigurasi *cross* (X). Motor yang bersilangan memiliki arah putar yang sama. *Quadrotor* dapat terbang secara otonom dengan menggunakan masukan sensor IMU dan sonar

yang terdapat pada perangkat simulasi dan diolah menggunakan algoritme LQR agar dapat terbang dengan stabil.

Persamaan (4.4) merupakan penjabaran dari persamaan (3.5) dan (3.6), persamaan tersebut menunjukkan model *state space quadrotor* yang memiliki beberapa parameter yang dapat mempengaruhi terbang *quadrotor*. Parameter tersebut adalah *throttle*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. *Throttle* mempengaruhi kecepatan tiap motor sehingga *quadrotor* dapat bergerak vertikal. *Roll* dan *pitch* mempengaruhi kemiringan dari *quadrotor* sehingga dapat bergerak secara horizontal. Gerak *yaw* mempengaruhi *heading quadrotor* terhadap utara. Setiap motor pada *quadrotor* berperan dalam menghasilkan *thrust* dan torsi terhadap titik pusat rotasinya, sehingga menghasilkan gaya angkat.

$$\begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{v}_z \\ \dot{\phi} \\ \dot{p} \\ \dot{\theta} \\ \dot{q} \\ \dot{\psi} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ v_z \\ \phi \\ p \\ \theta \\ q \\ \psi \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{I_{xx}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_{yy}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{I_{zz}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

x **A** **x** **B** **u**

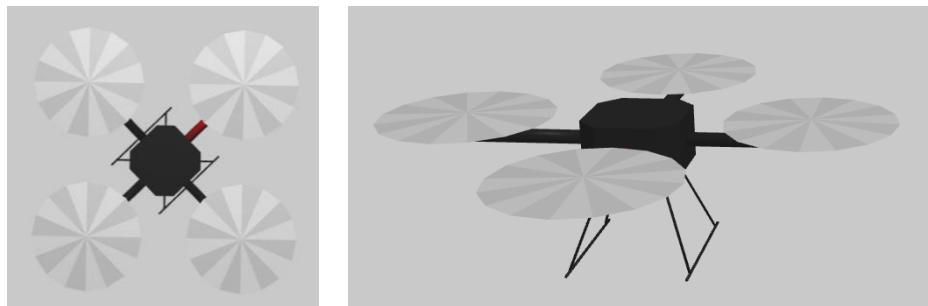
$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ v_z \\ \phi \\ p \\ \theta \\ q \\ \psi \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix}$$

x **A** **x** **B** **u**

Pada persamaan (4.4) model *quadrotor* dengan massa m yang digunakan pada penelitian ini memiliki 8 *state* yaitu posisi pada sumbu z atau ketinggian (z),

kecepatan linear pada sumbu z (v_z), sudut *roll* (ϕ), kecepatan sudut *roll* (p), sudut *pitch* (θ), kecepatan sudut *pitch* (q), sudut *yaw* (ψ), dan kecepatan sudut *yaw* (r). Selain itu terdapat momen inersia dari sistem yang dilambangkan dengan I_{xx} , I_{yy} , dan I_{zz} .

Model *quadrotor* ditulis dalam *Unified Robot Description Format* (URDF) untuk mendeskripsikan model pada Gazebo. Parameter fisik wahana seperti massa, momen inersia, dan lainnya didefinisikan pada URDF sehingga model memiliki karakteristik yang sama dengan wahana aslinya. Model *quadrotor* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Model quadrotor

4.4 Rancangan Sistem Kendali

Pada penelitian ini, sistem kendali yang akan digunakan adalah LQR. Kendali LQR merupakan sistem kendali yang optimal untuk diimplementasikan dalam bentuk *state space* (Guardéño et al, 2019). Penggunaan sistem kendali LQR pada *quadrotor* dapat dilihat pada Gambar 4.5. Kendali LQR memiliki tujuan untuk mencari gain \mathbf{K} sebagai gain *fullstate feedback* untuk mengoptimalkan sistem kendali. Kendali LQR digunakan pada model *state space quadrotor* dengan meminimalisir *cost function* pada persamaan (3.8).

Kendali LQR bekerja berdasarkan pembobotan matriks \mathbf{Q} dan \mathbf{R} yang tepat sehingga menghasilkan respons kendali sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Menggunakan nilai \mathbf{Q} dan \mathbf{R} didapatkan gain \mathbf{K} melalui persamaan (3.9). Semakin besar nilai \mathbf{Q} semakin besar pula gain \mathbf{K} yang dihasilkan. Sedangkan semakin besar nilai \mathbf{R} , nilai \mathbf{K} yang dihasilkan akan semakin kecil

sehingga semakin tidak berpengaruh pada sistem. Oleh karena itu, pembobotan nilai hanya dilakukan pada matriks \mathbf{Q} dan matriks \mathbf{R} hanya diberi nilai 1 agar tidak memengaruhi hasil gain \mathbf{K} .

Pembobotan nilai \mathbf{Q} dan \mathbf{R} dimulai dengan persamaan (4.5) kemudian ditambah atau dikurangi sesuai dengan spesifikasi respons kendali yang diinginkan.

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

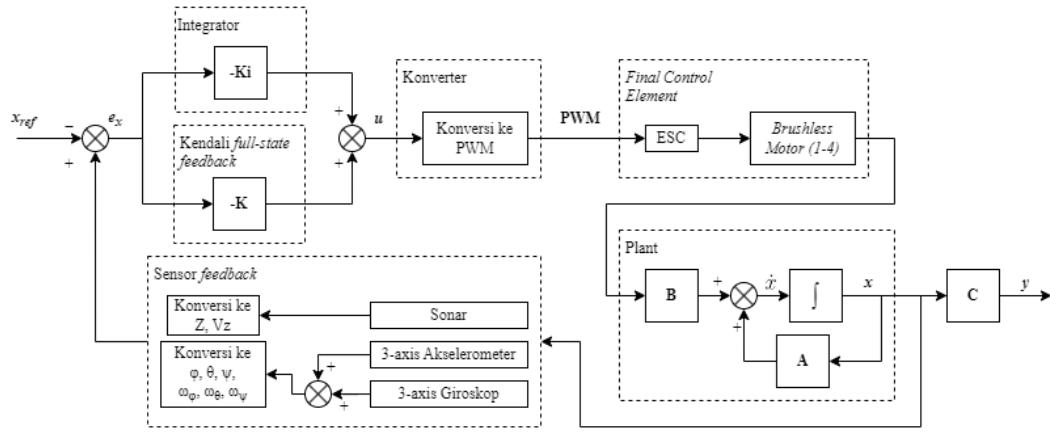
$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sensor digunakan untuk mendapatkan nilai *roll*, *pitch*, *yaw*, kecepatan *roll*, kecepatan *pitch*, kecepatan *yaw*, posisi z, dan kecepatan posisi z. Nilai yang didapatkan dari sensor tersebut akan digunakan sebagai *state* pada sistem LQR. Sehingga hubungan matriks \mathbf{Q} terhadap setiap *state* ditunjukkan pada persamaan (4.6).

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{Q}_{v_z} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{Q}_\phi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{Q}_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{Q}_\theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{Q}_q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{Q}_\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{Q}_r \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Nilai *state* akan dibandingkan dengan *setpoint*. Perbedaan nilai antara hasil pengukuran dan *setpoint* merupakan *error* yang akan digunakan sebagai acuan dalam memberikan respons pada sistem. Respons tersebut akan mempengaruhi

kendali *quadrotor*. Gambar 4.6 berikut merupakan blok diagram kendali LQR menggunakan penguatan \mathbf{K} .



Gambar 4.6 Diagram blok sistem kendali

Dimana,

x_{ref} = state reference matriks (8x1)

x = matriks state (8x1)

\mathbf{K} = fullstate feedback gain (4x8)

K_i = integrator gain

\mathbf{A} = Matriks hubungan state dengan turunan state (8x8)

\mathbf{B} = Matriks hubungan masukan dengan state sistem (8x4)

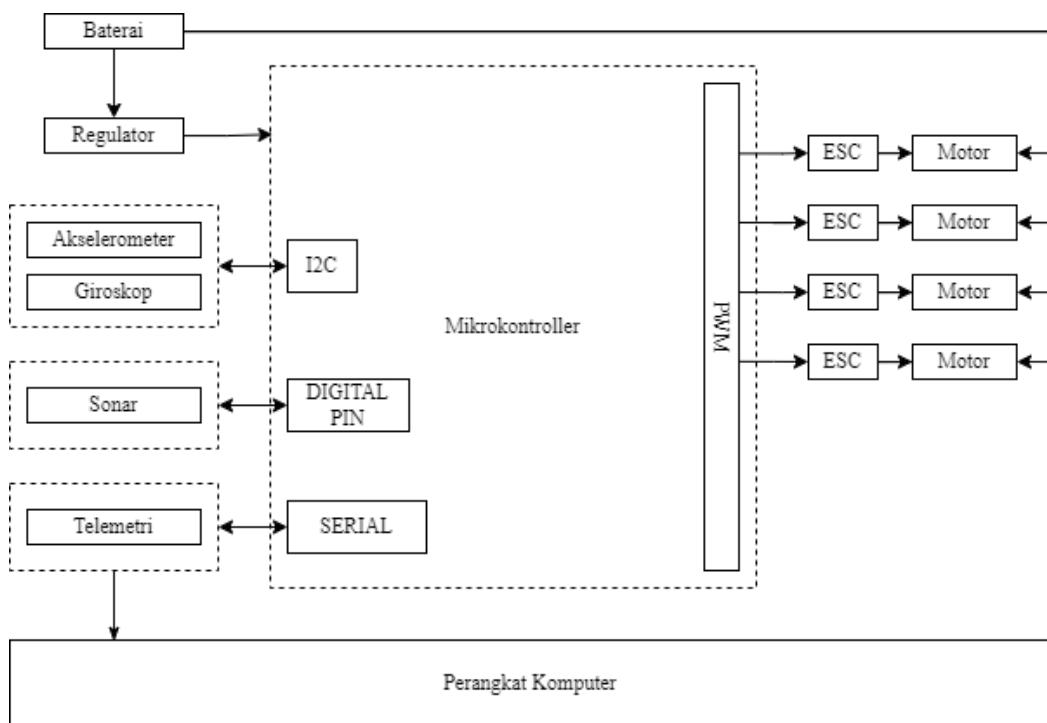
\mathbf{C} = Matriks hubungan state dengan output sistem (4x8)

y = output matriks (8x8)

4.5 Arsitektur Sistem

Penelitian ini menggunakan beberapa sensor, yaitu sensor IMU dan sensor sonar. Sensor IMU yang akan digunakan adalah sensor MPU 6050 yang memiliki 9-DOF (*Degree of Freedom*) yang terdiri dari 3 DOF akselerometer dan 3 DOF giroskop. Sensor tersebut akan digunakan untuk menghitung sudut *roll*, *pitch*, yaw dan kecepatan sudut *roll*, *pitch*, *yaw*. Selain itu, sensor sonar HC-SR04 akan digunakan untuk menghitung ketinggian relatif dan kecepatan linear pada sumbu z. Komponen elektronik lain yang dibutuhkan adalah Teensy 4.1 sebagai mikrokontroler. Mikrokontroler akan memberikan perintah untuk menggerakkan motor agar wahana dapat terbang dengan stabil. Sinyal PWM untuk menggerakkan motor pada simulasi dikirimkan pada perangkat komputer melalui serial. Untuk perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Perangkat komputer yang digunakan memiliki spesifikasi pemroses AMD Ryzen 7 3750H dan memori RAM 8 GB. Perangkat komputer juga dilengkapi dengan GPU Nvidia GTX 1660Ti untuk membantu dalam menjalankan simulasi agar proses *render* 3D pada simulator dapat berjalan dengan lancar.

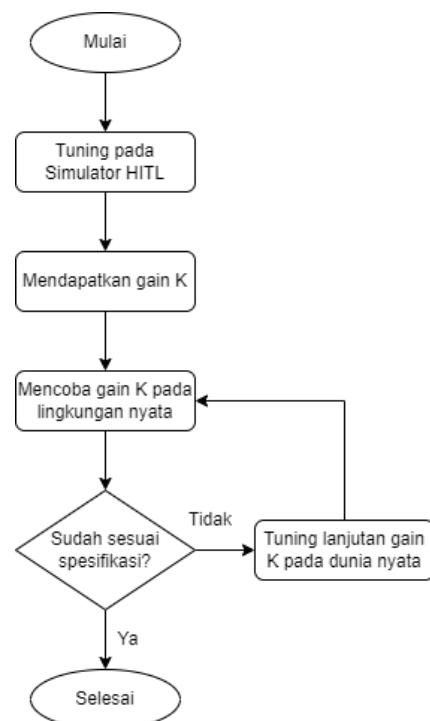


Gambar 4.7 Arsitektur sistem

4.6 Rancangan Pengujian Sistem

Terdapat tiga pengujian yang akan dilakukan, yaitu pengujian *tuning* wahana pada simulator, pengujian *tuning* wahana pada lingkungan asli, dan pengujian kemiripan simulator dengan lingkungan asli.

Pengujian tuning wahana pada simulator dilakukan dengan mengubah nilai matriks **Q** untuk mendapatkan nilai **K** (*fullstate feedback gain*) yang optimal. Kemudian dilakukan pengamatan dengan uji *hover* untuk mengetahui sikap wahana dalam keadaan *stationer*. Uji *hover* dilakukan untuk memvalidasi sikap terbang dari *quadrotor* yang telah dilakukan *tuning* sebelumnya dengan mengamati respons dari sistem kendali LQR untuk menjaga kestabilan *quadrotor*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menerbangkan model *quadrotor*, dengan ketinggian tertentu dan dalam posisi *hovering* yang kemudian akan diberikan gangguan lalu dilakukan pengamatan pada nilai *risetime* maksimal, *overshoot* maksimal, dan *steady-state error* untuk sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. indikator keberhasilan dalam pengujian ini adalah didapatkan gain **K** yang optimal untuk melakukan *recovery* terhadap gangguan yang diberikan pada simulator.



Gambar 4.8 Alur pengujian tuning wahana

Gambar 4.8 merupakan alur pengujian *tuning* wahana dimana gain **K** yang telah didapatkan akan digunakan sebagai titik awal pengujian *tuning* wahana pada lingkungan asli. Apabila hasil pengamatan respons kendali ketika uji *hover* serta pemberian gangguan belum sesuai dengan kriteria sistem yang diinginkan, akan dilakukan *tuning* lanjutan yang dilakukan langsung pada lingkungan asli.

Pengujian kemiripan simulator dengan lingkungan asli dilakukan dengan membandingkan nilai gain hasil *tuning* pada simulator dengan hasil tuning lanjutan pada lingkungan nyata. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa efektif penerapan simulasi *Hardware-in-the-loop* untuk *tuning* wahana *quadrotor*. Ketiga rancangan pengujian sistem yang telah dijabarkan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rancangan pengujian sistem

No	Rencana Pengujian	Tujuan Pengujian
1	Pengujian tuning wahana pada simulator	Mendapatkan gain K yang memenuhi kriteria sistem yang diinginkan.
2	Pengujian tuning wahana pada lingkungan asli	Mengetahui sikap wahana pada lingkungan nyata dalam keadaan <i>stationer</i> .
3	Pengujian kemiripan simulator dengan lingkungan asli	Membandingkan hasil tuning wahana dalam keadaan <i>stationer</i> pada simulator dengan lingkungan asli.

BAB V

IMPLEMENTASI

5.1 Implementasi Sistem Simulasi

5.1.1 Implementasi Sensor Virtual

Pada sistem simulasi diperlukan sensor virtual yang dapat memberikan nilai layaknya sensor pada dunia nyata. Gazebo telah menyediakan *plugin* sensor yang dapat digunakan untuk mengukur gerak dari model *quadrotor*. Untuk membuat lingkungan yang lebih realistik, perlu ditambahkan *noise* secara eksplisit pada data yang dihasilkan oleh sensor Gazebo. Nilai parameter untuk *noise* disesuaikan dengan *noise* pada sensor yang digunakan di keadaan nyata. Gambar 5.1 dan 5.2 adalah program yang digunakan untuk menggunakan sensor IMU dan sensor sonar pada simulasi Gazebo.

7	...
8	<code><plugin name="quadrotor_imu_sim" filename="libhector_gazebo_ros_imu.so"></code>
9	<code><updateRate> 100.0 </updateRate></code>
10	<code><bodyName> base_link </bodyName></code>
11	<code><frameId> \$(arg base_link_frame) </frameId></code>
12	<code><topicName> raw_imu </topicName></code>
13	<code><rpyOffset> 0 0 0 </rpyOffset></code>
14	<code><gaussianNoise> 0 </gaussianNoise></code>
15	<code><accelDrift> 0.5 0.5 0.5 </accelDrift></code>
16	<code><accelGaussianNoise> 0.35 0.35 0.3 </accelGaussianNoise></code>
17	<code><rateDrift> 0.1 0.1 0.1 </rateDrift></code>
18	<code><rateGaussianNoise> 0.05 0.05 0.015 </rateGaussianNoise></code>
19	<code></plugin></code>
20	...

Gambar 5.1 Kode program penggunaan *plugin* sensor IMU pada Gazebo

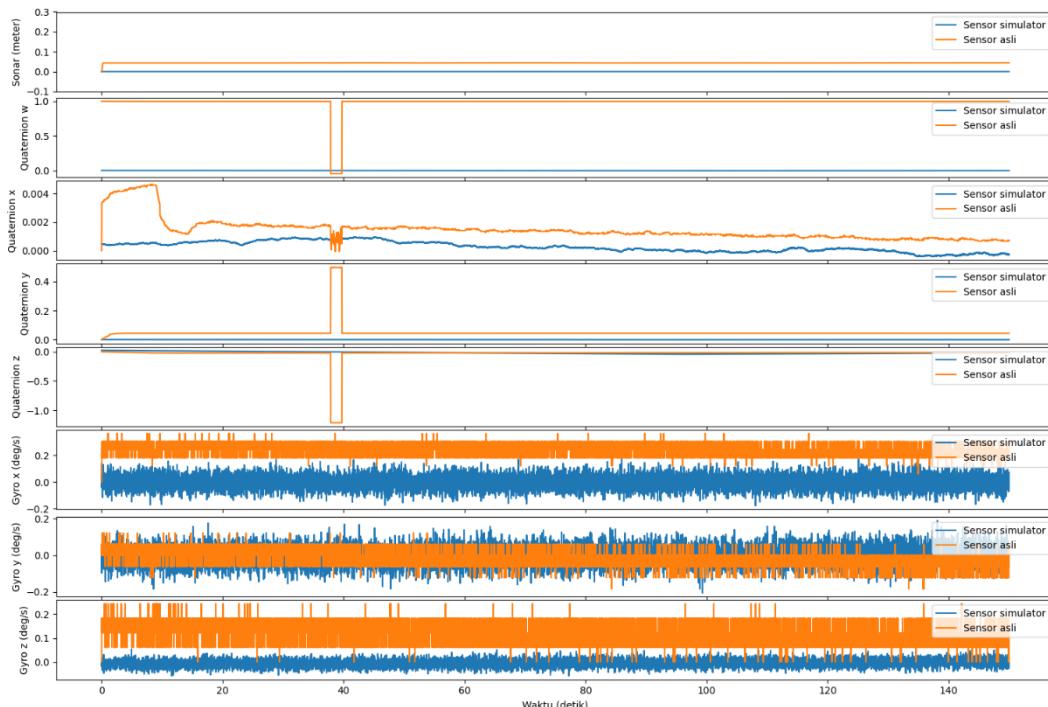
```

32 ...
33 <xacro:sonar_sensor name="sonar" parent="base_link"
34   ros_topic="sonar_height" update_rate="10" min_range="0.03"
35   max_range="3.0" field_of_view="${40*pi/180}" ray_count="3">
36   <origin xyz="-0.16 0.0 -0.012" rpy="0 ${90*pi/180} 0"/>
37 </xacro:sonar_sensor>
38 ...

```

Gambar 5.2 Kode program penggunaan *plugin* sensor sonar pada Gazebo

Simulasi sensor tidak sepenuhnya menyerupai nilai sensor sesungguhnya. Pada keadaan nyata terdapat ketidakpastian berupa sinyal yang tidak diinginkan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh komponen elektronik, faktor lingkungan, dan keterbatasan kemampuan sensor itu sendiri. Perbandingan antara sensor pada simulator dan sensor asli ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Perbandingan sensor pada simulator dan sensor asli

5.1.2 Implementasi Lingkungan Simulasi

Lingkungan simulasi berupa bidang kosong tanpa halangan. Lingkungan ini telah disediakan oleh Gazebo dan dapat digunakan dengan cara menggunakan program yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.

```

4 ...
5 <include file="$(find gazebo_ros)/launch/empty_world.launch">
6     <arg name="use_sim_time" value="true"/>
7     <arg name="gui" value="true"/>
8     <arg name="debug" value="false"/>
9 </include>
10 ...

```

Gambar 5.4 Kode program *launch* lingkungan simulasi

Lingkungan simulasi dilengkapi dengan gangguan berupa hembusan angin. Gangguan angin ditambahkan dengan cara menerapkan kecepatan angin pada gerak translasi wahana. kecepatan angin akan di-*publish* menggunakan topik /wind pada ROS dengan kecepatan 10Hz. Implementasi program simulasi hembusan angin dapat dilihat pada Gambar 5.5.

```

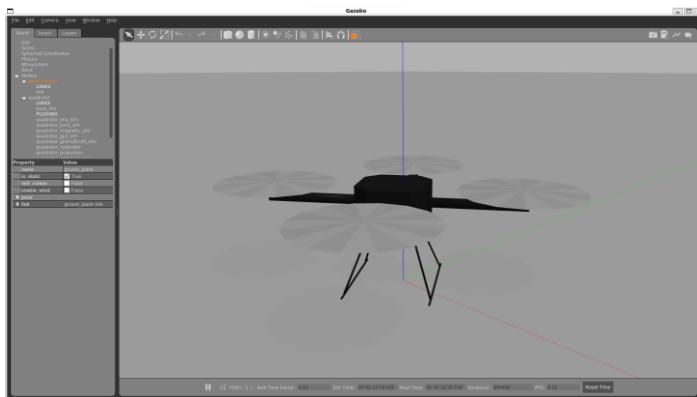
15 ...
16 def update(self, mean_v, A, t):
17     V = mean_v * (1 + A * (np.sin(0.5*t) * np.cos(0.25*t) *
18     np.sin(0.35*t) * np.cos(t) * np.sin(0.1*t)))
19
20     self.wind.x = V * np.cos(self.ver_angle) * np.cos(self.hor_angle)
21     self.wind.y = V * np.cos(self.ver_angle) * np.sin(self.hor_angle)
22     self.wind.z = V * np.sin(self.ver_angle)
23
24     self.wind_pub.publish(self.wind)
...
31 while not rospy.is_shutdown():
32     t = rospy.get_time()
33     wind.update(1, 0, 1, t)
34     rate.sleep()

```

Gambar 5.5 Kode program simulasi hembusan angin

5.1.3 Implementasi Model *Quadrotor*

Model *quadrotor* yang digunakan pada simulasi memiliki massa dan inersia yang dapat disesuaikan dengan *quadrotor* pada lingkungan nyata. Model *quadrotor* terdiri dari beberapa blok yang dibentuk dan disusun sedemikian rupa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6.

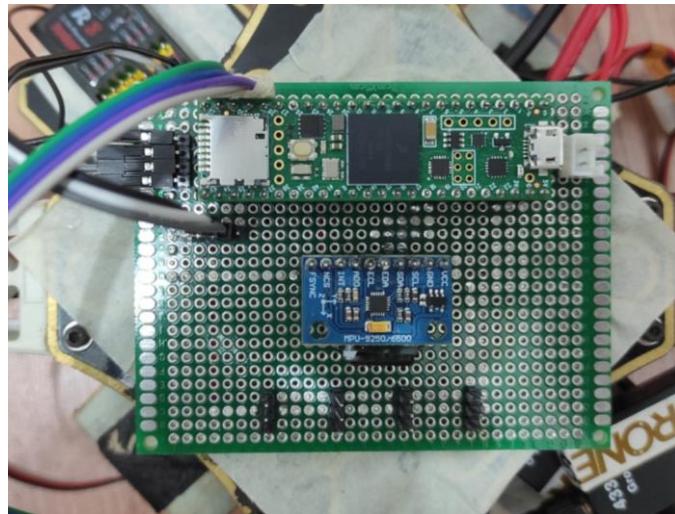


Gambar 5.6 Model *quadrotor* pada simulasi

Motor pada *quadrotor* menggunakan *propulsion plugin* untuk menyimulasikan hubungan antara gaya *thrust* dan torsi dengan tegangan serta arus pada motor seperti pada keadaan nyata.

5.2 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras pada wahana terdiri dari mikrokontroler, sensor IMU dan sensor sonar. Implementasi elektronik ini diawali dengan pembuatan desain *board*. *Board* berisikan rangkaian yang menghubungkan Teensy dan perangkat lainnya dengan sumber tegangan 5V dari UBEC yang terhubung pada baterai. *Board* akan dibuat pada papan PCB berlubang dengan memasang *pin header* untuk setiap komponen. Setelah *pin header* terpasang maka komponen pendukung seperti Mikrokontroler, IMU, sonar, *receiver remote*, serta telemetri dipasang pada *board*. *Board* ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Flight Controller

5.3 Implementasi Algoritma Komunikasi Data

Keluaran dari sensor virtual IMU dan sonar akan dikirim pada *flight controller* untuk mendapatkan nilai *state*. Pengiriman dilakukan menggunakan Protobuf secara serial. Untuk memastikan data yang dikirim sesuai dengan yang diterima, digunakan format pengiriman data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8. Format pengiriman data terdiri dari STX sebagai indikator bahwa terdapat paket data yang diterima, ukuran *message* data untuk membatasi data yang diterima agar sesuai dengan ukuran datanya, data yang berisi paket data utama seperti data sensor dari simulator atau PWM dari mikrokontroler, dan yang terakhir adalah *checksum* untuk memastikan data yang diterima telah sesuai. *Checksum* dilakukan dengan melakukan operasi XOR pada tiap data yang diterima. Program pengiriman data ditunjukkan pada Gambar 5.9.

STX (0xFE) 1 byte	Message Size (n) 2 bytes	Message n bytes	Checksum 1 byte
----------------------	-----------------------------	--------------------	--------------------

Gambar 5.8 Format pengiriman data antara simulator dengan *flight controller*

```

4 ...
5 msg = sensors()
6 msg.system_state = 1
7 comm.write(msg)
8 ...
37 ...
38 def write(self, message):
39     buffer = message.SerializeToString()
40     message_length = len(buffer)
41
42     self._serial.write(STX)
43     self._serial.write((message_length >> 8).to_bytes(1, 'big'))
44     self._serial.write((message_length & 0xFF).to_bytes(1, 'big'))
45     self._serial.write(buffer)
46
47     checksum = 0x00
48     for i in range(message_length):
49         checksum ^= buffer[i]
50     cb = checksum.to_bytes(1, 'big')
51     self._serial.write(cb)
52     self._serial.flush()
53 ...

```

Gambar 5.9 Program pengiriman data sensor dari simulator ke *flight controller*

5.4 Pengujian Sikap Wahana saat *Stationer*

Nilai *state* yang diterima dari simulator akan diproses menggunakan kendali *state feedback* dengan gain umpan balik yang didapatkan melalui tuning LQR. Nilai umpan balik tersebut akan digunakan untuk melakukan koreksi pada *state* sudut dan ketinggian *quadrotor*.

Pengujian kendali untuk mendapatkan respons sistem yang diinginkan dilakukan dengan menerbangkan wahana pada ketinggian 1 meter dari permukaan tanah, kemudian respons sistem tersebut diamati pada keadaan *stationer*. Pengujian dilakukan dengan penalaan pada elemen matriks **Q**, sehingga didapatkan nilai gain **K** yang disimpan pada masin-masing variabel gain. Gain **K** tidak disimpan dalam bentuk matriks, hal tersebut dimaksudkan untuk menghemat

memori yang terbatas pada mikrokontroler. Gain **K** yang telah dihitung pada simulator akan dikirimkan pada *flight controller* pada awal program seperti pada Gambar 5.10 untuk kemudian digunakan sebagai gain sistem kendali yang terdapat di dalam *flight controller*.

```

14 void setup() {
...
27     if (receive_message()) {
28         if (msg.system_state == HWIL_msg_SystemState_POWERUP) {
29             k_alt = msg.gain.z
30             k_alt_rate = msg.gain.vz
31             k_roll = msg.gain.roll
32             k_roll_rate = msg.gain.p
33             k_pitch = msg.gain.pitch
34             k_pitch_rate = msg.gain.q
35             k_yaw = msg.gain.yaw
36             k_yaw_rate = msg.gain.r
37         }
38     ...

```

Gambar 5.10 Program penetapan gain pada *flight controller* yang dikirim dari simulator

Pengujian respons sistem saat keadaan *stationer* dilakukan dengan melakukan penalaan pada nilai matriks **Q**, kemudian mengamati wahana dalam melakukan koreksi *error* sudut wahana saat terbang. Nilai **Q** terbaik adalah ketika *quadrotor* mampu mempertahankan ketinggiannya saat terbang serta minimnya perubahan posisi pada sumbu x dan y. Algoritme sistem kendali LQR untuk mempertahankan ketinggian diimplementasikan pada mode terbang *altitude hold*. Mode terbang *altitude hold* ditunjukkan oleh kondisi (*alt_hold_mode*) pada program sistem kendali LQR yang terdapat pada Gambar 5.11. Jika mode *altitude hold* tidak diaktifkan maka sistem hanya melakukan koreksi pada sudut.

```

76 ...
77 if (alt_hold_mode) {
78     u1=(-k_alt*alt_error)+(-k_alt_rate*alt_rate_sensor))/1'000'000.0f;

```

```

79    u1=constrain(u1,-0.001367f,0.001367f);
80 } else {
81     u1=0.0f;
82 }
83 u2=(-k_roll*roll_error)+(-k_roll_rate*roll_rate_sensor)+(-k_roll_i+
roll_integrator)/1'000'000.0f;
84 u3=(-k_pitch*pitch_error)+(-k_pitch_rate*pitch_rate_sensor)+(-k_pitch_i
+pitch_integrator)/1'000'000.0f;
85 u4=(-k_yaw*yaw_error)+(-k_yaw_rate*yaw_rate_sensor))/1'000'000.0f;
86 if (ch_throttle > 1800)
87     ch_throttle = 1800; // Limit the throttle to 1800us.
88 omega2[0]=(A_invers[0][0]*u1+A_invers[0][1]*u2+A_invers[0][2]*
u3+A_invers[0][3]*u4);
89 omega2[1]=(A_invers[1][0]*u1+A_invers[1][1]*u2+A_invers[1][2]*
u3+A_invers[1][3]*u4);
90 omega2[2]=(A_invers[2][0]*u1+A_invers[2][1]*u2+A_invers[2][2]*
u3+A_invers[2][3]*u4);
91 omega2[3]=(A_invers[3][0]*u1+A_invers[3][1]*u2+A_invers[3][2]*
u3+A_invers[3][3]*u4);
92 ...

```

Gambar 5.11 Program sistem kendali LQR

Nilai *error* didapatkan dari hasil pengurangan nilai sensor terhadap *setpoint*. Nilai *error* tersebut akan dikalikan dengan konstanta gain **K**. Hasil dari perkalian tersebut merupakan nilai masukan kendali **u**. Nilai masukan yang didapatkan akan mempengaruhi *thrust* yang dihasilkan setiap rotor untuk mempertahankan posisi pada sumbu z serta mempertahankan sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* pada referensi yang telah ditentukan. Pada Gambar 5.12 menunjukkan program inti *flight controller* saat menjalankan simulasi *Hardware-in-the-loop*.

```

70 ...
71 void loop() {
...
86     control_fsfb();
87
88     msg = HWIL_msg_init_zero;
89
90     msg.command.u1 = u1;
91     msg.command.u2 = u2;
92     msg.command.u3 = u3;
93     msg.command.u4 = u4;
94     msg.command.motor1.pwm = (uint32_t) constrain(omega2[0]/fr, 0, 250);
95     msg.command.motor2.pwm = (uint32_t) constrain(omega2[1]/br, 0, 250);
96     msg.command.motor3.pwm = (uint32_t) constrain(omega2[2]/bl, 0, 250);
97     msg.command.motor4.pwm = (uint32_t) constrain(omega2[3]/f1, 0, 250);
98     msg.command.has_u1 = true;
99     msg.command.has_u2 = true;
100    msg.command.has_u3 = true;
101    msg.command.has_u4 = true;
102    msg.has_command = true;
103
104    send_message(msg);
105 }
106
107 while (micros() - loop_timer < 10000) {}
108 loop_timer = micros();
109 }
110 ...

```

Gambar 5.12 Program inti *hardware-in-the-loop* pada *flight controller*

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Hasil Pengujian Tuning Wahana pada Simulator

Pengujian *tuning* wahana pada simulator dilakukan untuk memprediksi respons sistem wahana pada lingkungan asli. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan gain dengan respons sistem yang mendekati keadaan *stationer*. Pada tahap ini dilakukan pengujian untuk menentukan nilai \mathbf{Q} pada masing-masing *state*. Respons sistem yang terdiri dari *rise time*, *overshoot* dan nilai *steady-state error* menjadi dasar penentuan nilai \mathbf{Q} . Nilai matriks \mathbf{Q} yang meliputi \mathbf{Q} posisi linear pada sumbu z, dan \mathbf{Q} kecepatan linear pada sumbu z, \mathbf{Q} sudut, dan \mathbf{Q} kecepatan sudut akan divariasikan untuk memperoleh hasil gain dengan respons sistem yang mendekati keadaan *stationer*.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan mikrokontroler simulator menggunakan kabel USB. Simulator akan mengirimkan data sensor virtual IMU dan sonar. Setelah data diterima, algoritme sistem kendali pada mikrokontroler akan menghasilkan keluaran berupa sinyal PWM. Sinyal PWM tersebut akan dikirim balik untuk mengendalikan sikap wahana pada simulator dengan mengatur kecepatan putar tiap motornya.

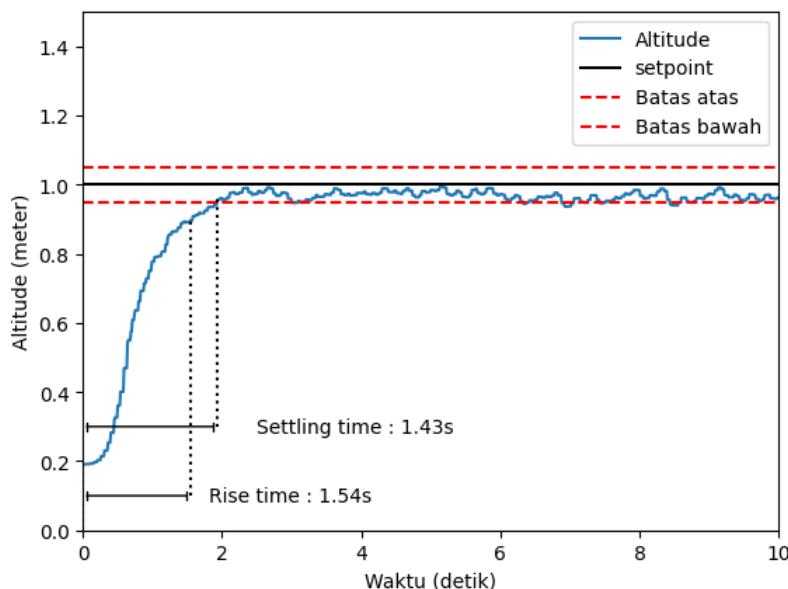
6.1.1 Hasil Pengujian Mempertahankan Posisi pada Sumbu Z

Pengujian kendali *quadrotor* pada sumbu z dilakukan dengan penalaan nilai \mathbf{Q} *altitude* atau ketinggian untuk mempertahankan posisi pada sumbu z saat *quadrotor* melakukan *hovering*. Penalaan dilakukan pada elemen \mathbf{Q}_z dan \mathbf{Q}_{v_z} . Variasi nilai terbaik didapatkan ketika wahana dapat mempertahankan posisinya dengan titik referensi 1 meter. Pada Tabel 6.1 ditunjukkan hasil penalaan nilai \mathbf{Q}_z dan \mathbf{Q}_{v_z} terbaik dikarenakan hasil respon menggunakan nilai tersebut sesuai dengan kriteria pada penelitian ini.

Tabel 6. 1 Konversi nilai Q_z dan Q_{v_z} ke K

Q	K
$Q_z = 100$	$K_{z,F} = 10,00$
$Q_{v_z} = 1$	$K_{v_z,F} = 5,53$

Hasil variasi terbaik untuk kendali *altitude* didapatkan dengan nilai Q_z sebesar 100 dan Q_{v_z} sebesar 1. Nilai **Q** tersebut dikonversi menjadi gain **K** dengan nilai 10,00 dan 5,53. Hasil respons kendali *altitude* untuk mempertahankan posisi pada sumbu z terhadap titik referensi ditunjukkan pada Gambar 6.1.

**Gambar 6. 1 Hasil pengujian respon kendali posisi pada sumbu z pada simulator**

Setelah melakukan percobaan menggunakan gain dari hasil variasi nilai **Q**, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa sistem telah mampu mempertahankan posisinya pada sumbu z sesuai dengan nilai referensi yang diberikan dengan *rise time* sebesar 1,54 detik dan *settling time* selama 1,43 detik tanpa adanya *overshoot*. Mendekati nilainya terdapat *steady-state error* rata-rata

sebesar $-0,035$. Nilai *steady-state error* tersebut masih berada dalam batas toleransi sesuai dengan spesifikasi sistem pada sub bab 4.3.

6.1.2 Hasil Pengujian Sudut

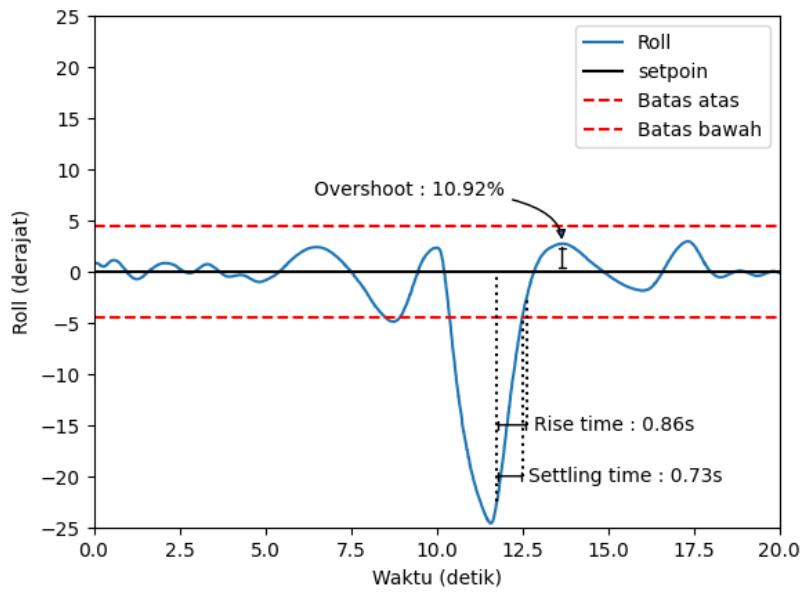
Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan nilai \mathbf{Q} dengan melakukan *tuning* pada elemen Q_ϕ , Q_θ , Q_ψ sebagai \mathbf{Q} sudut dan Q_p , Q_q , Q_r sebagai \mathbf{Q} kecepatan sudut sehingga didapatkan variasi nilai gain K . Variasi nilai \mathbf{Q} sudut akan menghasilkan *rise time* sesuai dengan yang diinginkan, sedangkan nilai \mathbf{Q} kecepatan sudut akan meminimalisir *overshoot*. Hasil variasi pembobotan elemen terbaik menghasilkan nilai mendekati 0° dengan nilai *steady-state error* paling kecil.

Nilai \mathbf{Q} sudut dan \mathbf{Q} kecepatan sudut terbaik pada Tabel 6.2 merupakan nilai *tuning* terbaik dikarenakan hasil respons yang didapatkan dari gain sesuai dengan acuan pada penelitian ini.

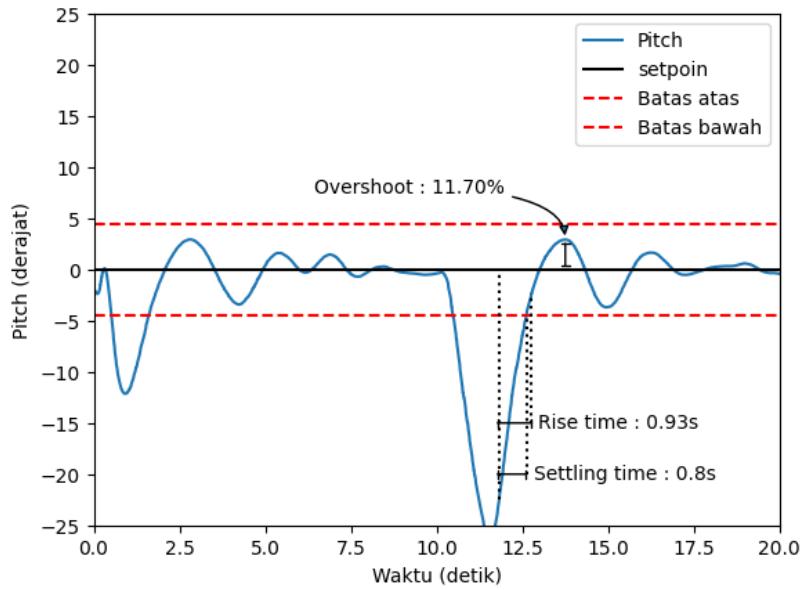
Tabel 6.2 Konversi nilai Q_ϕ , Q_θ , Q_ψ , Q_p , Q_q , dan Q_r ke K

Q	K
$Q_\phi = 25$	$K_{\phi,\tau_\phi} = 5,00$
$Q_p = 17$	$K_{p,\tau_\theta} = 4,14$
$Q_\theta = 20$	$K_{\theta,\tau_\theta} = 4,47$
$Q_q = 13$	$K_{q,\tau_\theta} = 3,62$
$Q_\psi = 4,5$	$K_{\psi,\tau_\psi} = 2,12$
$Q_r = 0,2$	$K_{r,\tau_\psi} = 0,56$

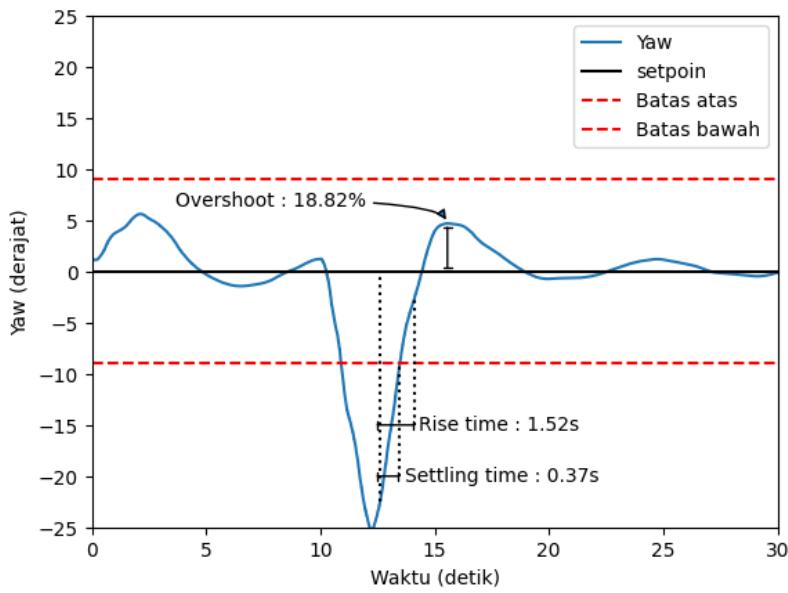
Nilai \mathbf{Q} sudut terbaik adalah 25, 20, dan 4,5 untuk Q_ϕ , Q_θ , dan Q_ψ sedangkan nilai \mathbf{Q} kecepatan sudut terbaik adalah 17, 13, dan 0,2 untuk Q_p , Q_q , dan Q_r . Nilai gain K dari hasil variasi nilai \mathbf{Q} akan digunakan untuk mengendalikan wahana menggunakan program utama. Selain gain K , pengendalian sudut *roll* dan *pitch* menambahkan komponen *integrator* untuk mengatasi *steady-state error* yang terlalu besar. Variasi nilai \mathbf{Q} dan *integrator* tersebut menghasilkan respons kendali yang stabil dan mendekati *stationer* karena paling dekat dengan 0° . Respons kendali *roll*, *pitch*, dan *yaw* ditunjukkan pada Gambar 6.2.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6.2 Hasil pengujian respon kendali (a) *roll*, (b) *pitch*, dan (c) *yaw* pada simulator

Pengujian pada Gambar 6.2 dilakukan dengan memberikan gangguan sebesar 25° searah jarum jam. Variasi nilai \mathbf{Q} dapat membuat perubahan respon sistem kendali pada wahana. Perubahan pada \mathbf{Q} sudut Q_ϕ , Q_θ , dan Q_ψ akan berpengaruh pada *rise time*, semakin tinggi nilai \mathbf{Q} sudut maka kecepatan wahana dalam menangani gangguan akan semakin cepat sehingga memiliki *rise time* yang relatif kecil. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai \mathbf{Q} sudut maka sistem akan memiliki *rise time* yang relatif besar. Peningkatan nilai pada \mathbf{Q} sudut juga berperan dalam meningkatnya osilasi dan *overshoot*. Untuk mengatasi osilasi dan *overshoot* dibutuhkan komponen *damping* untuk meredam kecepatan respon sistem ketika mendekati titik referensi. Komponen *damping* didapatkan dari variasi nilai \mathbf{Q} kecepatan sudut Q_p , Q_q , dan Q_r dimana semakin besar nilai \mathbf{Q} kecepatan sudut semakin besar redaman pada respon wahana sehingga jumlah osilasi semakin sedikit dan *overshoot* yang dihasilkan semakin kecil. Namun, perlu diperhatikan bahwa nilai \mathbf{Q} yang terlalu besar akan menyebabkan sistem *overdamped* sehingga memperbesar *rise time* pada sistem, lebih parahnya nilai \mathbf{Q}

kecepatan sudut yang terlampau besar akan menyebabkan sistem berosilasi secara terus menerus menjauhi nilai referensi.

Selain *rise time* dan *overshoot*, terdapat *steady-state error* yang dapat diatasi dengan memberikan *integrator*. Integrator dapat mengatasi *steady-state error* pada respon kendali sekaligus meningkatkan *rise time* dan meningkatkan osilasi. Oleh karena itu, penggunaan *integrator* perlu dibatasi. Pembatasan ini dilakukan dengan menggunakan *integrator* saat *error* wahana terhadap titik referensi kurang dari 10 derajat. Pada sisitem ini kendali yang memerlukan *integrator* hanyalah kendali sudut *roll* dan *pitch*.

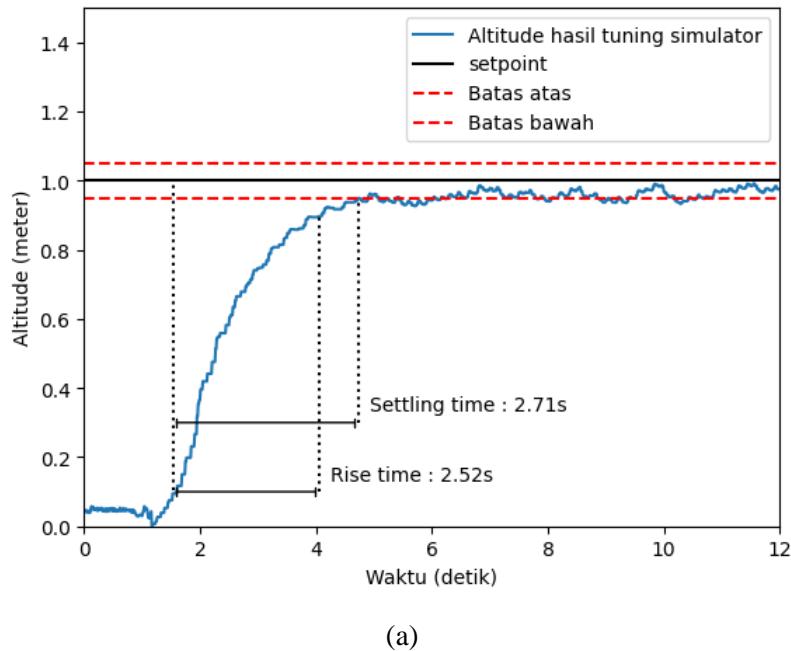
Respon kendali sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* pada Gambar 6.2 telah sesuai dengan spesifikasi sistem pada sub bab 4.3 dengan hasil respon yang memiliki *steady-state error* dibawah batas toleransi. Hasil dari respon kendali *roll* dengan Q_ϕ sebesar 25 dan Q_p sebesar 17 serta *integrator* dengan gain $K_{i.\tau_\phi}$ bernilai 2,5 dapat menghasilkan respon terbaik yang memiliki *rise time* selama 0,86 detik serta *overshoot* sebesar 10,92% dari gangguan yang diberikan. Variasi nilai Q_θ dan Q_q untuk sudut *pitch* menghasilkan nilai terbaik yaitu 20 dan 13 serta gain *integrator* $K_{i.\tau_\theta}$ bernilai 2,5 dengan respon kendali yang memiliki *rise time* selama 0,93 detik dan *overshoot* 11,7% dari gangguan. Sedangkan untuk sudut *yaw* memiliki variasi nilai Q_ψ sebesar 4,5 dan Q_r sebesar 0,2 dengan respon *rise time* selama 1,52 detik dan memiliki *overshoot* sebesar 18,82%.

6.2 Hasil Pengujian Tuning Wahana pada Lingkungan Asli

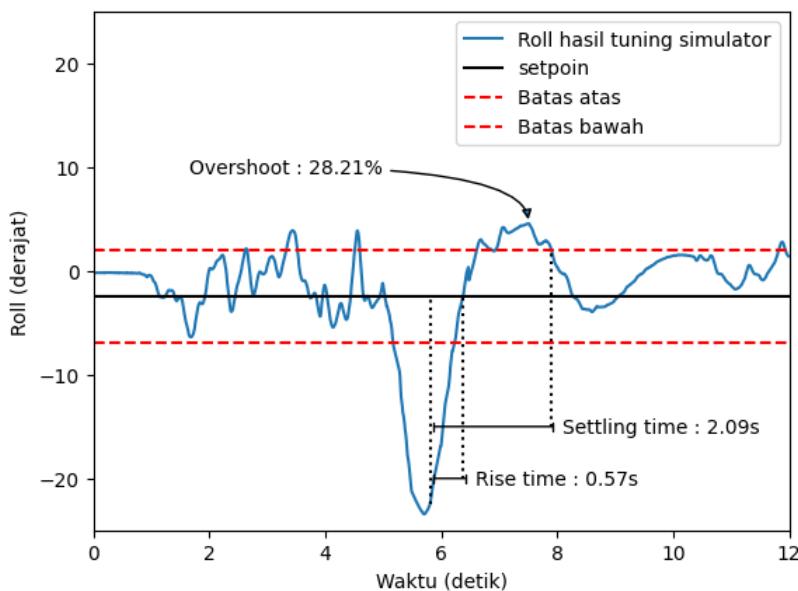
Gain \mathbf{K} yang didapatkan dari hasil tuning pada simulator akan dicoba terlebih dahulu. Kemudian dilakukan pengamatan respons sistem pada wahana asli dan dilakukan tuning lanjutan apabila respons sistem belum sesuai dengan kriteria sistem yang diinginkan. Respons kendali menggunakan gain yang didapatkan dari simulator dapat dilihat pada Gambar 6.3.

Pengujian *tuning* wahana pada lingkungan asli dilakukan dengan melihat respons wahana menggunakan gain \mathbf{K} dari hasil simulasi terlebih dahulu kemudian melakukan tuning lanjutan apabila respons sistem belum sesuai kriteria

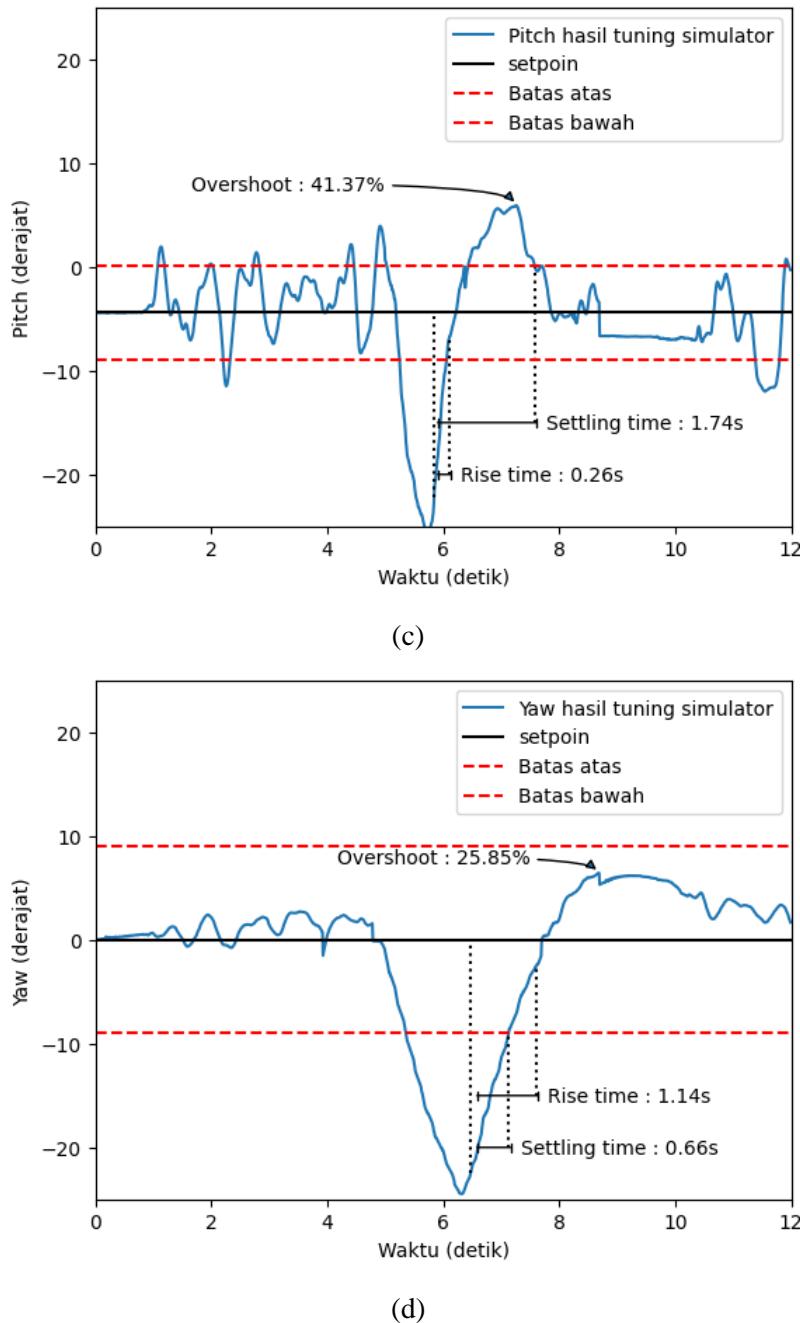
yang diinginkan. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai **K** yang menghasilkan respons kendali terbaik *quadrotor* mendekati *stationer* pada lingkungan asli. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan respons sistem yang berupa *rise time*, *overshoot*, dan *steady-state error* pada lingkungan nyata.



(a)



(b)



Gambar 6.3 Hasil pengujian respons kendali (a) posisi pada sumbu z, (b) roll, (c) pitch, dan (d) yaw pada lingkungan nyata menggunakan gain simulator

Pada tahap pengujian respons kendali wahana akan diterbangkan pada referensi ketinggian 1 meter di atas tanah. Untuk mencapai titik referensi tersebut kendali posisi pada sumbu z akan mengatur gerak translasi, kemudian menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang akan menerbangkan dan mempertahankan posisi wahana pada titik referensi yang telah ditentukan. Pada Gambar 6.3

menunjukkan respons kendali yang belum sesuai dengan kriteria sistem yang diinginkan dimana pada Gambar 6.3 (a) respons kendali posisi z memiliki *rise time* yang lebih dari 2 detik dan *steady-state error* yang hampir melebihi batas bawah toleransi yang diberikan. Respons kendali *roll* dan *pitch* yang ditunjukkan pada Gambar 6.3 (b) dan (c) memiliki nilai *overshoot* melebihi 20%. Sedangkan Gambar 6.3 (d) menunjukkan respons kendali *yaw* yang melebihi 25%. Oleh karena *respon* kendali tiap *state* belum sesuai dengan kriteria sistem yang diinginkan perlu dilakukan *tuning* lanjutan untuk memperbaiki respons sistem hingga sesuai dengan kriteria.

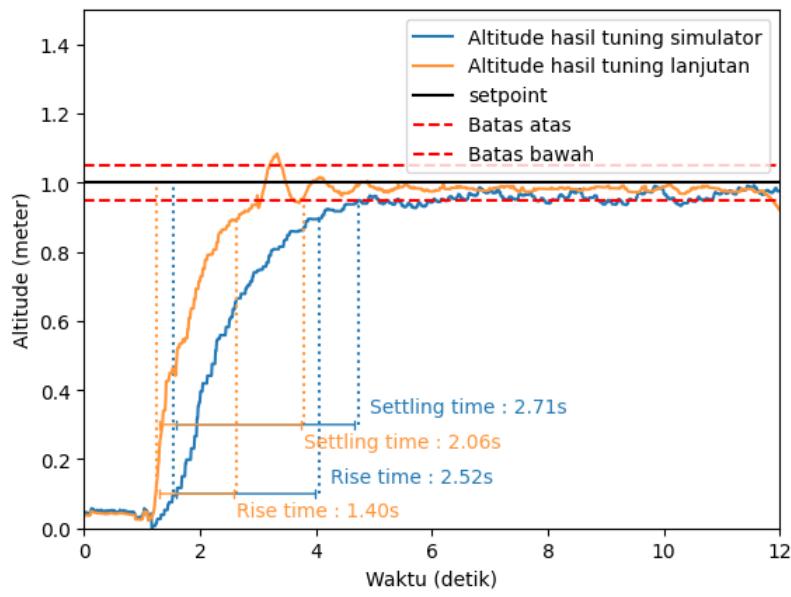
Proses *tuning* lanjutan dilakukan dengan menggunakan gain **K** yang didapatkan dari hasil simulasi akan digunakan sebagai gain awal pada kendali *quadrotor*. Adanya ketidakpastian mekanis seperti perbedaan jenis dan peletakan komponen, serta ketidakpastian pengukuran oleh sensor pada wahana di lingkungan asli sehingga perlu dilakukan penyesuaian nilai **K** untuk mendapatkan nilai yang paling optimal pada lingkungan nyata. Proses *tuning* pada lingkungan asli menghasilkan nilai gain terbaik mendekati keadaan *stationer* yang ditunjukkan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Hasil *tuning* gain **K pada lingkungan asli**

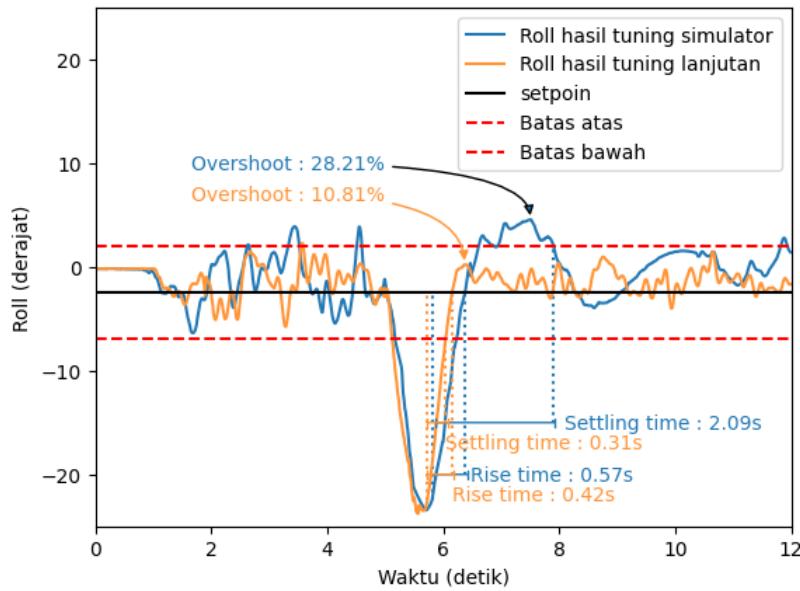
K
$K_{z,F} = 10,00$
$K_{v_z,F} = 3,50$
$K_{\phi,\tau_\phi} = 3,00$
$K_{p,\tau_\theta} = 3,30$
$K_{\theta,\tau_\theta} = 3,00$
$K_{q,\tau_\theta} = 3,30$
$K_{\psi,\tau_\psi} = 2,20$
$K_{r,\tau_\psi} = 0,90$

Hasil *tuning* tersebut menghasilkan gain **K** terbaik yang dapat digunakan pada lingkungan asli. Gain **K** tersebut bernilai 10 dan 3,5 untuk kendali posisi pada sumbu z, yaitu $K_{z,F}$ dan $K_{v_z,F}$. Untuk kendali sudut *roll* dan *pitch* didapatkan gain sudut dan kecepatan sudut yang bernilai sama yaitu K_{ϕ,τ_ϕ} dan K_{θ,τ_θ} dengan

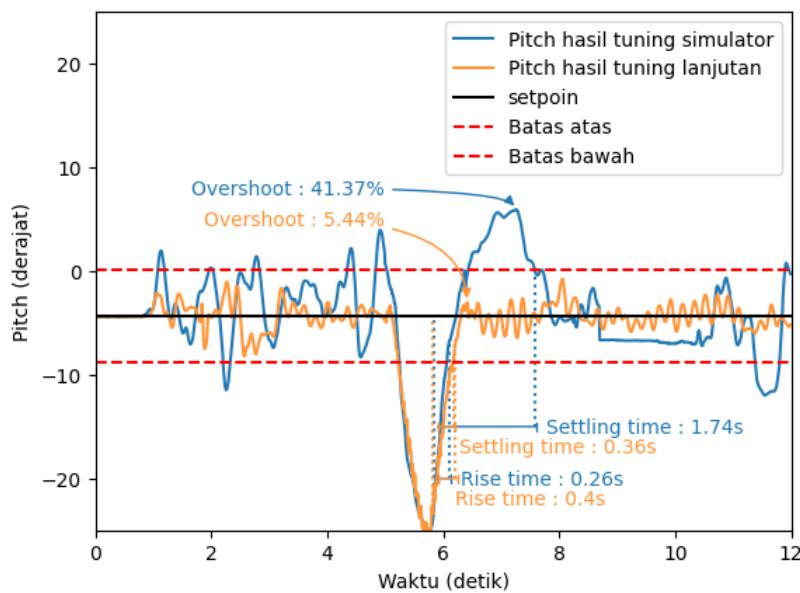
nilai 3,0 serta $K_{p.\tau_\theta}$ dan $K_{q.\tau_\theta}$ yang bernilai 3,3. Gain kendali sudut *yaw* terbaik bernilai 2,2 dan 0,9 untuk gain $K_{\psi.\tau_\psi}$ dan $K_{r.\tau_\psi}$. Selain itu, sudut *roll* dan *pitch* juga menggunakan integrator pada penerapannya di lingkungan asli, nilai gain integrator untuk sudut *roll* dan *pitch* yaitu $K_{i.\tau_\phi}$ dan $K_{i.\tau_\theta}$ bernilai 5. Gain K tersebut menghasilkan respon kendali posisi pada sumbu z dan kendali sudut *roll*, *pitch*, *yaw* yang lebih optimal dari sebelumnya. Perbandingan respon kendali menggunakan gain hasil tuning simulator dengan gain hasil tuning lanjutan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.4.



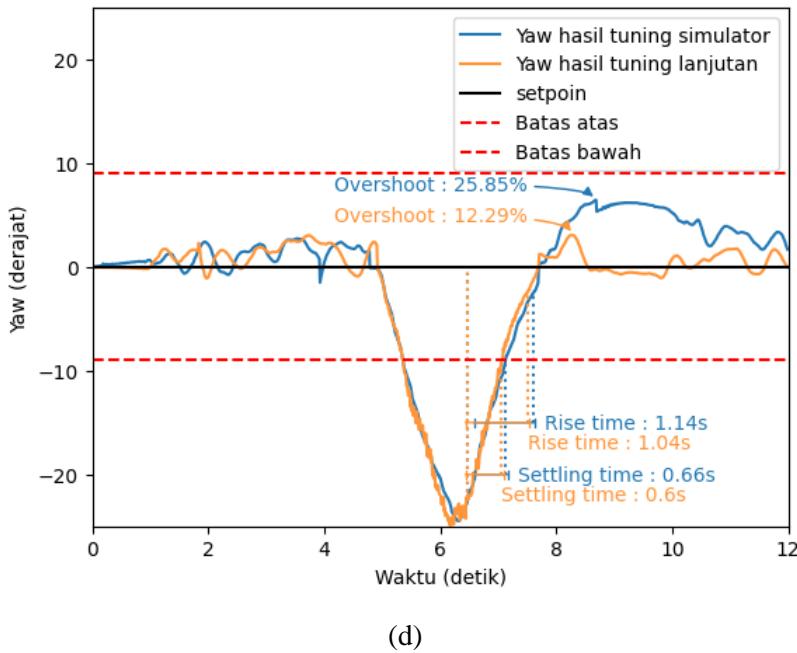
(a)



(b)



(c)



Gambar 6.4 Perbandingan respon kendali (a) posisi pada sumbu z, (b) roll, (c) pitch, dan (d) yaw menggunakan gain hasil tuning pada simulasi dengan hasil tuning lanjutan

Gambar 6.4 (a) menunjukkan bahwa wahana menghasilkan respons dengan *rise time* sebesar 1,4 detik dan *settling time* sebesar 2,06 detik. Dari grafik tersebut dapat diamati bahwa wahana dapat mempertahankan ketinggian dengan *steady-state error* yang sangat minim sebesar $-0,034$. Saat wahana telah mencapai titik referensi posisi pada sumbu z, wahana akan diberi gangguan sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* dengan sudut maksimal sebesar 25° secara cepat, kemudian respons wahana diamati saat diberi gangguan. Tujuan dari pengujian tersebut adalah untuk melihat kemampuan respon wahana dalam mempertahankan sikap mendekati *stationer*. Dalam usahanya mempertahankan sikap mendekati *stationer quadrotor* akan menghasilkan torsi yang berlawanan arah untuk mengoreksi kesalahan sudut pada tiap sumbu. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 6.4 (b) yaitu respons terhadap gangguan pada sudut *roll* dimana menghasilkan *rise time* sebesar 0,42 detik dan *overshoot* sebesar 10,81% dari nilai maksimal gangguan yang diberikan. Respons kendali sudut *pitch* ditunjukkan pada Gambar 6.4 (c) dengan nilai *rise time* yaitu 0,4 detik dan *overshoot* dengan

nilai 5,44%. Gambar 6.4 (d) menunjukkan grafik respons kendali sudut *yaw* yang menghasilkan *rise time* sebesar 1,04 detik dengan nilai *overshoot* sebesar 12,29%. Masing-masing kendali sudut tersebut dapat mempertahankan sikap mendekati *stationer* dengan nilai *steady-state error* yang tidak melebihi toleransi yang telah diberikan.

Dalam pemasangan sensor IMU pada wahana *quadrotor* akan sangat sulit untuk mendapatkan nilai sudut mendekati 0°. Kesalahan mekanis *quadrotor* tidak dapat dihindari pada penelitian ini yang menyebabkan *quadrotor* tetap bergerak pada sumbu x dan y meskipun nilai sudut *roll* dan *pitch* mendekati 0°. Oleh karena itu, perlu adanya trim dari *remote control* sebagai referensi pengganti untuk mengatasi permasalahan mekanis dalam peletakan sensor. Variasi nilai trim dilakukan saat pengamatan pada respons sudut wahana. Nilai trim sudut *roll* dan *pitch* berupa PWM yang berasal dari *remote* yaitu bernilai 1450 dan 1412. Nilai tersebut akan diubah menjadi sudut referensi pengganti sehingga sudut *roll* memiliki referensi sebesar -2,5 sedangkan sudut *pitch* memiliki referensi pengganti sebesar -4,4. Referensi tersebut akan mengantikan sudut 0° sehingga wahana dapat mempertahankan sikap mendekati *stationer*.

6.3 Hasil Pengujian Kemiripan Simulator dengan Lingkungan Asli

Setelah melakukan proses *tuning* pada simulator dan lingkungan asli sehingga dapat menjaga kestabilan wahana pada sikap *stationer*, maka kedua hasil *tuning* tersebut akan dibandingkan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa dekat kemiripan hasil *tuning* pada simulator yang digunakan terhadap *tuning* pada lingkungan asli. Perbandingan gain K yang digunakan pada simulator dan gain K yang digunakan pada lingkungan asli ditunjukkan pada Tabel 6.4

Tabel 6.4 Perbandingan gain K hasil *tuning* pada simulator dan lingkungan nyata

x	K	
	Simulator	Lingkungan Nyata
Posisi sumbu z	$K_{z,F} = 10,00$ $K_{v_z,F} = 5,53$	$K_{z,F} = 10,00$ $K_{v_z,F} = 3,50$

Roll	$K_{\phi,\tau_\phi} = 5,00$ $K_{p,\tau_\theta} = 4,14$ $K_{i,\tau_\theta} = 2,50$	$K_{\phi,\tau_\phi} = 3,00$ $K_{p,\tau_\theta} = 3,30$ $K_{i,\tau_\theta} = 5,00$
Pitch	$K_{\theta,\tau_\theta} = 4,47$ $K_{q,\tau_\theta} = 3,62$ $K_{i,\tau_\theta} = 2,50$	$K_{\theta,\tau_\theta} = 3,00$ $K_{q,\tau_\theta} = 3,30$ $K_{i,\tau_\theta} = 5,00$
Yaw	$K_{\psi,\tau_\psi} = 2,12$ $K_{r,\tau_\psi} = 0,56$	$K_{\psi,\tau_\psi} = 2,20$ $K_{r,\tau_\psi} = 0,90$

Nilai gain \mathbf{K} untuk mempertahankan posisi sumbu z pada simulator tidak memiliki perbedaan pada *state* posisi, namun gain *state* kecepatan linear pada lingkungan asli memiliki perbedaan yang tidak jauh berbeda dengan simulator yaitu sebesar 2,03 lebih kecil daripada gain yang digunakan pada simulator. Pada kendali *roll* terdapat perbedaan gain dimana nilai gain *state* sudut *roll* dan *state* kecepatan sudut *roll* pada lingkungan nyata bernilai lebih kecil dibandingkan dengan gain pada simulator yaitu sebesar 2 dan 0,84, sedangkan untuk gain *integrator* lingkungan asli memiliki nilai yang lebih besar dengan selisih 2,5. Sama halnya dengan sudut *roll*, gain sistem kendali *pitch* pada lingkungan asli memiliki nilai yang lebih kecil dengan perbedaan sebesar 1,47 untuk gain *state* sudut *pitch* dan 0,32 untuk gain kecepatan sudut *pitch*, sedangkan *integrator* pada sistem kendali *pitch* memiliki nilai dan selisih yang sama dengan sistem kendali *roll* yaitu sebesar 2,5. Gain pada *state* sudut dan kecepatan sudut *yaw* memiliki perbedaan sebesar 0,08 dan 0,34.

Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa gain K yang didapatkan dari hasil *tuning* pada simulator tidak jauh berbeda dengan hasil *tuning* pada lingkungan asli. Perbedaan nilai gain K pada pengujian ini tidak lebih dari 3, hal tersebut telah sesuai dengan kriteria penelitian yang terdapat pada sub bab 4.3.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah

1. Simulasi *Hardware-in-the-loop* dengan menggunakan model *quadrotor* dan pemodelan sensor virtual serta penambahan perangkat *flight controller* yang dihubungkan pada simulator dapat merepresentasikan lingkungan asli untuk melakukan proses *tuning* serta pengujian sistem kendali wahana.
2. Meskipun gain yang didapatkan dari hasil tuning pada simulator tidak dapat digunakan secara langsung, nilai gain tersebut dapat digunakan sebagai titik awal yang lebih mudah dilakukan untuk tuning lanjutan pada lingkungan nyata.
3. Hasil pengujian sistem kendali LQR pada gerak linear sumbu z, serta gerak rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw* menggunakan gain yang didapatkan baik melalui simulator maupun lingkungan asli mampu mempertahankan kestabilan *quadrotor* pada sikap *stationer* dengan nilai *rise time*, *overshoot*, dan *steady-state error* sesuai dengan spesifikasi sistem.

7.2 Saran

Pada penelitian ini terdapat beberapa hal yang dapat digunakan pada penelitian selanjutnya. Saran yang dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Penambahan simulasi *driver* sensor untuk menambah keakuratan representasi lingkungan nyata
2. Penggunaan simulasi *Hardware-in-the-loop* menggunakan jenis UAV lainnya seperti *fixed wing*, *hexarotor*, *VTOL-Plane*, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Babu, V. M., K. Das, dan S. Kumar. 2017. Designing of self tuning PID controller for AR drone quadrotor. 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), 2017, pp. 167-172, doi: 10.1109/ICAR.2017.8023513.
- Bacic, M. 2005. On hardware-in-the-loop simulation. Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, 2005, pp. 3194-3198, Doi: 10.1109/CDC.2005.1582653.
- Bayrakceken, M. K., M. K. Yalcin, A. Arisoy, dan A. Karamancioglu. 2011. HIL simulation setup for attitude control of a quadrotor. IEEE International Conference on Mechatronics, 2011, pp. 354-357, doi: 10.1109/ICMECH.2011.5971309.
- Bernardeschi, C., A. Fagiolini, M. Palmieri, G. Scrima, dan F. Sofia. 2019. ROS/Gazebo Based Simulation of Co-operative UAVs. Lecture Notes in Computer Science, 321–334. doi:10.1007/978-3-030-14984-0_24
- Dharmawan, A., J. E. Istiyanto, L. Ichsan, A. M. Handayani, dan H. Baskoro. 2019. Attitude and Horizontal Speed Control System on Unmanned Aerial Vehicle Using LQR. 5th International Conference on Science and Technology (ICST), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICST47872.2019.9166192.
- Guardeno, R, M. J. Lopez, dan V. M. Sanchez. 2019. MIMO PID Controller Tuning Method for Quadrotor Based on LQR/LQG Theory. *Robotics* 8, no. 2: 36. <https://doi.org/10.3390/robotics8020036>
- Khan, H. S. dan M. B. Kadri. 2014. Position control of quadrotor by embedded PID control with hardware in loop simulation. 17th IEEE International Multi Topic Conference 2014, 2014, pp. 395-400, Doi: 10.1109/INMIC.2014.7097372.
- Nasiri, S., S.H. Lin, D. Sachs, dan J. Jiang, 2010, Motion Processing: The Next Breakthrough Function in Handsets, InvenSense, Inc..
- Odelga, M., P. Stegagno, H. H. Bulthoff, dan A. Ahmad. 2015. A Setup for multi-UAV hardware-in-the-loop simulations. Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS), 2015, pp. 204-210, Doi: 10.1109/RED-UAS.2015.7441008.

- Ogata, K. (2017). Modern control engineering. In Modern Control Engineering. Doi: 10.1201/9781315214573.
- Omar, H.M. 2022. Hardware-In-the-Loop Simulation of Time-Delayed Anti-Swing Controller for Quadrotor with Suspended Load. *Appl. Sci.* 2022, 12, 1706. Doi: 10.3390/app12031706.
- Robotic Simulation Service. 2021. ROS Gazebo: Everything You Need To Know. [Online] Tersedia di <https://roboticsimulationservices.com/ros-gazebo-everything-you-need-to-know/>. (di akses pada 29 Juni 2023).
- Roy, R., M. Islam, N. Sadman, M. A. P. Mahmud, K. D. Gupta, and Md M. Ahsan. 2021. "A Review on Comparative Remarks, Performance Evaluation and Improvement Strategies of Quadrotor Controllers" *Technologies* 9, no. 2: 37. <https://doi.org/10.3390/technologies9020037>.
- Saif, E. dan İ. Eminoğlu. 2022. Modelling of quad-rotor dynamics and Hardware-in-the-Loop simulation. *The Journal of Engineering IET*, vol. 2022, no. 10, pp. 937-950. Doi: 10.1049/tje2.12152.
- Six, D. S. Briot, J. Erskine and A. Chriette. 2020. Identification of the Propeller Coefficients and Dynamic Parameters of a Hovering Quadrotor from Flight Data. in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 1063-1070. Doi: 10.1109/LRA.2020.2966393.
- Takaya, K., T. Asai, V. Kroumov, dan F. Smarandache. 2016. Simulation environment for mobile robots testing using ROS and Gazebo. 20th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2016, pp. 96-101, Doi: 10.1109/ICSTCC.2016.7790647.
- Wan, T., M. H. Tsai. 2021. Numerical Study of Quad-rotor Aircraft Performance Under Adverse Situations. ICAS 32nd Congress. https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0482_paper.pdf.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengujian respons kendali wahana pada simulator

Posisi z	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.190891	0.736198	-1.84197	0.979162
0.190891	0.749708	-1.89862	1.011579
0.19135	0.764666	-2.0156	1.043883
0.19135	0.777169	-2.0156	1.072745
0.19135	0.789615	-2.07401	1.096493
0.19135	0.801488	-2.13005	1.130364
0.19135	0.811727	-2.18568	1.141179
0.191845	0.819583	-2.23831	1.148748
0.191845	0.824661	-2.28655	1.153662
0.191845	0.826408	-2.32552	1.157314
0.191845	0.815937	-2.36567	1.159363
0.193091	0.815937	-2.36567	1.160074
0.193091	0.805739	-2.36001	1.159359
0.193091	0.791685	-2.33343	1.157078
0.193091	0.772874	-2.28392	1.153696
0.193091	0.749365	-2.2099	1.149717
0.196421	0.723062	-2.10958	1.145539
0.197452	0.694671	-1.98334	1.141937
0.197452	0.638196	-1.83511	1.139439
0.197452	0.638196	-1.48014	1.138689
0.197452	0.611549	-1.48014	1.14008
0.203104	0.587358	-1.08745	1.144087
0.203104	0.565962	-1.08745	1.150944
0.203104	0.54636	-0.6966	1.160591
0.203104	0.53036	-0.6966	1.172976
0.203104	0.51802	-0.35102	1.188028
0.214226	0.507699	-0.20688	1.206068
0.214226	0.499479	-0.20688	1.226543
0.214226	0.49565	-0.08614	1.249129
0.214226	0.500179	0.00783	1.273622
0.214226	0.500179	0.074162	1.299525
0.230715	0.507845	0.111932	1.326432
0.230715	0.519919	0.119811	1.353981
0.230715	0.534308	0.09576	1.381843
0.230715	0.552803	0.038719	1.409906
0.230715	0.576338	-0.04823	1.437992
0.253253	0.602574	-0.16693	1.46613

0.253253	0.632284	-0.31546	1.494378
0.253253	0.696554	-0.49372	1.522812
0.253253	0.696554	-0.69843	1.551525
0.282295	0.730342	-0.92722	1.580562
0.282295	0.764619	-1.17561	1.609973
0.282295	0.798929	-1.44384	1.640014
0.282295	0.832748	-1.72852	1.67086
0.282295	0.866202	-2.02605	1.702624
0.318174	0.89749	-2.33681	1.735572
0.326193	0.928629	-2.65471	1.769624
0.326193	0.957121	-2.98077	1.804762
0.326193	0.983309	-3.3115	1.841058
0.326193	1.007757	-3.64336	1.878455
0.361138	1.030718	-3.97657	1.917028
0.361138	1.04998	-4.30866	1.996803
0.361138	1.066513	-4.63793	1.996803
0.361138	1.081323	-4.96448	2.037854
0.400731	1.093706	-5.28573	2.122211
0.400731	1.104936	-5.60021	2.122211
0.400731	1.113044	-5.91144	2.165084
0.400731	1.118673	-6.21443	2.208201
0.400731	1.123335	-6.79756	2.294704
0.468927	1.123335	-7.07798	2.337713
0.468927	1.121159	-7.34798	2.380654
0.468927	1.11557	-7.61009	2.423604
0.468927	1.11557	-8.11111	2.509123
0.468927	1.103477	-8.35003	2.551539
0.540228	1.085748	-8.58085	2.59362
0.550131	1.085748	-8.80475	2.635391
0.550131	1.07467	-9.2277	2.676835
0.550131	1.049043	-9.42825	2.758756
0.550131	1.033553	-9.61969	2.758756
0.575939	1.0021	-9.80358	2.838823
0.575939	0.983704	-10.1444	2.91654
0.607942	0.964482	-10.3032	2.91654
0.607942	0.94349	-10.455	2.954602
0.607942	0.921069	-10.5985	2.992103
0.62461	0.875598	-10.7364	3.028988
0.636008	0.850827	-10.9916	3.065186
0.636008	0.824377	-11.1084	3.100794
0.636008	0.770505	-11.2173	3.135661
0.636008	0.741623	-11.3203	3.16977
0.636008	0.71322	-11.503	3.235719

0.662682	0.654754	-11.5835	3.267405
0.662682	0.593616	-11.6586	3.298172
0.662682	0.561175	-11.7262	3.328118
0.692679	0.528905	-11.8469	3.357202
0.692679	0.496464	-11.9002	3.385401
0.692679	0.46314	-11.9463	3.412614
0.692679	0.429514	-11.988	3.43888
0.692679	0.394906	-12.0251	3.464173
0.714598	0.360736	-12.0804	3.488586
0.714598	0.291418	-12.1172	3.512132
0.714598	0.255466	-12.1172	3.534756
0.728388	0.21939	-12.1256	3.556591
0.728388	0.183116	-12.1294	3.597835
0.728388	0.145726	-12.1279	3.617314
0.728388	0.108834	-12.1219	3.636098
0.750646	0.071317	-12.1106	3.654135
0.750646	0.03555	-12.0714	3.67144
0.750646	-0.03553	-12.0714	3.688132
0.750646	-0.10755	-12.0458	3.704206
0.777041	-0.10755	-11.9754	3.719602
0.777041	-0.21036	-11.8888	3.734446
0.777041	-0.24388	-11.8888	3.762379
0.777041	-0.24388	-11.8391	3.775458
0.790012	-0.27551	-11.7854	3.788048
0.790779	-0.30654	-11.6687	3.800082
0.790779	-0.33631	-11.6063	3.811636
0.790779	-0.36621	-11.6063	3.822753
0.790779	-0.39454	-11.54	3.833437
0.792986	-0.42474	-11.4709	3.84379
0.792986	-0.47674	-11.3215	3.853933
0.792986	-0.50184	-11.1602	3.873686
0.792986	-0.54792	-11.0746	3.883565
0.792986	-0.56996	-10.9858	3.893392
0.803365	-0.59068	-10.8935	3.903236
0.806476	-0.62604	-10.7989	3.922888
0.806476	-0.62604	-10.7008	3.93291
0.806476	-0.6413	-10.6002	3.942996
0.806476	-0.6558	-10.3903	3.953189
0.806476	-0.68229	-10.2819	3.973566
0.827179	-0.69361	-10.1708	3.973566
0.827179	-0.69361	-10.0593	3.983897
0.827179	-0.70278	-9.94654	3.99438
0.848066	-0.7182	-9.83302	4.005068

0.852251	-0.72798	-9.60471	4.015938
0.855825	-0.72798	-9.60471	4.026967
0.855825	-0.73348	-9.48917	4.038046
0.855825	-0.73348	-9.37228	4.060688
0.855825	-0.7318	-9.2564	4.072462
0.864051	-0.72828	-9.02201	4.084422
0.864051	-0.72419	-8.90309	4.096638
0.864051	-0.71919	-8.78408	4.121641
0.864051	-0.71252	-8.66451	4.134469
0.865017	-0.70471	-8.54319	4.14764
0.865017	-0.69478	-8.42151	4.161104
0.865017	-0.68303	-8.29942	4.161104
0.865017	-0.6699	-8.05459	4.188903
0.870729	-0.64216	-7.92961	4.203331
0.875753	-0.62515	-7.68031	4.218229
0.875753	-0.58949	-7.55582	4.233323
0.875753	-0.56973	-7.43311	4.248649
0.875753	-0.56973	-7.30814	4.264232
0.888278	-0.52966	-7.18444	4.280041
0.888278	-0.52966	-7.06196	4.296141
0.888278	-0.48469	-6.94021	4.312501
0.888278	-0.48469	-6.81935	4.329051
0.892892	-0.46231	-6.69816	4.345861
0.892892	-0.43864	-6.57886	4.362992
0.892892	-0.36492	-6.46005	4.380402
0.892892	-0.33955	-6.3432	4.398107
0.890193	-0.31374	-6.22625	4.434633
0.890673	-0.2878	-5.99303	4.453521
0.890673	-0.26144	-5.8779	4.472804
0.890673	-0.23653	-5.76187	4.472804
0.890673	-0.21118	-5.41752	4.512343
0.89631	-0.18521	-5.30509	4.532837
0.89631	-0.10615	-5.19404	4.575033
0.89631	-0.08089	-5.08194	4.596654
0.89631	-0.05474	-4.97114	4.618523
0.908258	-0.02922	-4.7527	4.640607
0.908258	-0.00477	-4.64323	4.662963
0.908258	0.020371	-4.5351	4.708287
0.908258	0.043869	-4.42566	4.731421
0.911038	0.090747	-4.31764	4.754783
0.912615	0.114365	-4.20949	4.778232
0.912615	0.114365	-4.10208	4.801787
0.912615	0.138134	-3.99552	4.825363

0.912615	0.183662	-3.78266	4.848998
0.918415	0.229008	-3.67886	4.872652
0.918415	0.229008	-3.57479	4.896316
0.918415	0.249351	-3.47155	4.943578
0.917146	0.269433	-3.37008	4.991252
0.917146	0.28972	-3.27064	4.991252
0.917146	0.329801	-3.1714	5.014983
0.917146	0.329801	-3.07517	5.06175
0.917146	0.369219	-2.98145	5.084769
0.923301	0.39008	-2.88734	5.107523
0.925655	0.410478	-2.79578	5.129955
0.925655	0.429137	-2.70446	5.152074
0.925655	0.465941	-2.61447	5.173911
0.925655	0.485235	-2.52553	5.195421
0.935384	0.505543	-2.35356	5.21653
0.935384	0.541627	-2.26802	5.237308
0.935384	0.541627	-2.18289	5.257733
0.935384	0.577541	-2.09753	5.27774
0.93493	0.594427	-2.01346	5.297355
0.935572	0.609865	-1.92864	5.316501
0.935572	0.640201	-1.84328	5.335105
0.935572	0.654385	-1.7597	5.353261
0.935572	0.682511	-1.67642	5.370895
0.941908	0.682511	-1.51158	5.40459
0.941908	0.707947	-1.42842	5.420706
0.941908	0.720403	-1.34737	5.436249
0.941908	0.731404	-1.26771	5.45124
0.956347	0.741529	-1.18952	5.465712
0.956347	0.751023	-1.11148	5.479637
0.956347	0.760059	-1.03476	5.493101
0.956347	0.768602	-0.9588	5.505942
0.960219	0.777927	-0.88462	5.5183
0.960219	0.792539	-0.81043	5.530214
0.960219	0.799603	-0.74033	5.541566
0.960219	0.805519	-0.6698	5.562761
0.956825	0.810633	-0.59966	5.572892
0.957186	0.815281	-0.46543	5.582496
0.957186	0.820251	-0.39828	5.591431
0.957186	0.823416	-0.33073	5.599641
0.957186	0.827753	-0.26363	5.607216
0.957186	0.830022	-0.13205	5.619776
0.962402	0.832317	-0.00242	5.619776
0.962402	0.832593	-0.00242	5.624848

0.962402	0.831854	0.123384	5.628952
0.962402	0.831032	0.123384	5.632249
0.975455	0.829281	0.244965	5.634855
0.975455	0.828001	0.3034	5.637548
0.975455	0.825499	0.36135	5.637543
0.975455	0.822683	0.474824	5.636745
0.977931	0.818855	0.530165	5.635091
0.977931	0.810881	0.585403	5.632659
0.977931	0.810881	0.642371	5.629511
0.977931	0.806952	0.698063	5.625631
0.973129	0.803971	0.754081	5.621092
0.973208	0.799679	0.810614	5.610042
0.973208	0.793992	0.865883	5.603705
0.973208	0.782228	0.976697	5.596694
0.973208	0.775423	1.032064	5.580785
0.973208	0.76825	1.086953	5.580785
0.977295	0.760379	1.139331	5.572053
0.977295	0.752488	1.191691	5.562776
0.977295	0.742108	1.243152	5.542576
0.977295	0.731657	1.294396	5.531783
0.977295	0.720786	1.343289	5.520612
0.988928	0.709378	1.39226	5.508949
0.988928	0.696795	1.440639	5.496785
0.988928	0.683657	1.534668	5.484163
0.988928	0.67195	1.580458	5.471219
0.989964	0.659174	1.626959	5.457932
0.989964	0.647054	1.673871	5.430576
0.989964	0.632154	1.719717	5.416761
0.989964	0.617455	1.766892	5.402612
0.977943	0.586916	1.812579	5.388349
0.977943	0.570338	1.858348	5.37393
0.977943	0.552093	1.948581	5.359403
0.977943	0.534002	1.990986	5.344867
0.977943	0.515721	2.034409	5.315572
0.970992	0.459718	2.076577	5.300987
0.970992	0.439564	2.117958	5.272051
0.970992	0.420699	2.1573	5.272051
0.970992	0.380956	2.19423	5.257673
0.973489	0.380956	2.232634	5.243291
0.973489	0.340204	2.26742	5.22894
0.973489	0.29898	2.301814	5.214786
0.973489	0.29898	2.334692	5.20059
0.973489	0.256448	2.367284	5.186646

0.981109	0.256448	2.397918	5.172876
0.981109	0.215376	2.42744	5.159368
0.981109	0.215376	2.482276	5.146104
0.981109	0.195482	2.508045	5.120459
0.976681	0.175009	2.533846	5.108212
0.976681	0.155653	2.559094	5.096211
0.976681	0.117028	2.607973	5.084549
0.976681	0.097341	2.653979	5.073068
0.976681	0.078354	2.696218	5.061876
0.981595	0.060332	2.696218	5.050921
0.983687	0.042569	2.715227	5.029694
0.983687	0.025861	2.733937	5.019594
0.983687	0.008365	2.76505	5.009821
0.991463	-0.0095	2.778502	5.000227
0.991463	-0.02585	2.79222	4.990754
0.991463	-0.04045	2.807753	4.981324
0.991463	-0.05572	2.822115	4.971809
0.991463	-0.06947	2.835697	4.952456
0.988187	-0.08208	2.849302	4.952456
0.988187	-0.09242	2.862108	4.942529
0.988187	-0.11177	2.885864	4.932447
0.988187	-0.11936	2.897055	4.92214
0.97419	-0.12685	2.907004	4.911634
0.97419	-0.13275	2.91637	4.900944
0.97419	-0.13769	2.924479	4.87902
0.97419	-0.14208	2.931422	4.856747
0.967619	-0.14577	2.936614	4.845422
0.967427	-0.15022	2.941109	4.833944
0.967427	-0.14988	2.944231	4.822239
0.967427	-0.14352	2.94697	4.81038
0.967427	-0.13924	2.947075	4.785969
0.970355	-0.13924	2.944853	4.760579
0.970355	-0.13297	2.942108	4.747528
0.970355	-0.12693	2.933095	4.734309
0.977282	-0.11047	2.925697	4.720879
0.977282	-0.11047	2.918559	4.707247
0.977282	-0.09078	2.911084	4.693327
0.977282	-0.0795	2.902332	4.679098
0.977282	-0.06774	2.883462	4.664816
0.974769	-0.05423	2.874864	4.650263
0.974769	-0.0273	2.86335	4.635527
0.974769	-0.01177	2.851171	4.605275
0.974769	0.004713	2.836288	4.574503

0.959055	0.020677	2.820614	4.574503
0.959055	0.038317	2.804956	4.558684
0.959055	0.056687	2.788084	4.526274
0.959055	0.094474	2.731585	4.509796
0.959055	0.114875	2.70929	4.493205
0.948246	0.135951	2.687677	4.459265
0.948246	0.156652	2.665654	4.459265
0.948246	0.176706	2.642978	4.424666
0.948246	0.197907	2.620243	4.424666
0.946736	0.220168	2.597008	4.406998
0.947537	0.264184	2.572965	4.371083
0.947537	0.28563	2.500017	4.35301
0.947537	0.308814	2.473683	4.33484
0.947537	0.330776	2.44538	4.316478
0.952527	0.351991	2.417175	4.297977
0.952527	0.396689	2.388634	4.279342
0.952527	0.396689	2.358221	4.260559
0.950223	0.439199	2.325802	4.241761
0.950223	0.46138	2.29245	4.222893
0.950223	0.482945	2.258062	4.184963
0.950223	0.503724	2.222663	4.166117
0.950223	0.524511	2.184801	4.147132
0.951034	0.545478	2.146378	4.12805
0.951034	0.563811	2.106576	4.108808
0.951034	0.582708	2.065811	4.08932
0.951034	0.631844	2.024952	4.069627
0.957497	0.645923	1.98183	4.049768
0.956619	0.659731	1.937359	4.049768
0.956619	0.659731	1.84613	4.009253
0.956619	0.672015	1.800095	4.009253
0.956619	0.682858	1.753482	3.988556
0.955201	0.692209	1.706722	3.967579
0.955201	0.701514	1.659837	3.946301
0.955201	0.717733	1.565944	3.924684
0.955201	0.722502	1.518281	3.902837
0.961697	0.726442	1.470012	3.880788
0.961697	0.728584	1.42041	3.858461
0.961697	0.727251	1.369839	3.813259
0.961697	0.727251	1.317322	3.767514
0.961697	0.722415	1.264483	3.744333
0.969657	0.722415	1.210152	3.72093
0.969657	0.718398	1.155852	3.697361
0.969657	0.703089	1.044237	3.673582

0.964769	0.693096	0.9888	3.649544
0.964769	0.681678	0.932334	3.625239
0.964769	0.669889	0.875421	3.600744
0.964769	0.631379	0.761789	3.57605
0.964769	0.615599	0.704457	3.551247
0.964769	0.598499	0.647543	3.526209
0.965707	0.582352	0.589458	3.50091
0.965707	0.562859	0.532134	3.475418
0.965707	0.54513	0.473187	3.449623
0.965707	0.525807	0.414539	3.423586
0.972318	0.505881	0.355317	3.397262
0.972215	0.463566	0.237071	3.370708
0.972215	0.440738	0.176323	3.343893
0.972215	0.419194	0.056031	3.316901
0.972215	0.39567	0.056031	3.289811
0.970229	0.372625	-0.06072	3.235096
0.970229	0.347439	-0.11946	3.207568
0.970229	0.347439	-0.17784	3.179922
0.970229	0.321915	-0.23483	3.152038
0.976937	0.296242	-0.2931	3.124048
0.976937	0.271609	-0.35082	3.09591
0.976937	0.219974	-0.40906	3.067622
0.976937	0.194924	-0.46659	3.039151
0.988502	0.168158	-0.58348	2.981558
0.988502	0.143335	-0.64139	2.95264
0.988502	0.118318	-0.69977	2.923536
0.988502	0.091972	-0.7575	2.8944
0.988502	0.066548	-0.86838	2.865177
0.986829	0.014041	-0.97984	2.835815
0.984677	-0.01277	-0.97984	2.806507
0.984677	-0.0405	-1.08846	2.777067
0.984677	-0.06525	-1.14247	2.718208
0.984677	-0.09136	-1.19642	2.688776
0.97254	-0.11779	-1.251	2.659391
0.97254	-0.14524	-1.3054	2.629837
0.97254	-0.16989	-1.36156	2.600472
0.97254	-0.19506	-1.4711	2.571151
0.97254	-0.21862	-1.52428	2.483452
0.969241	-0.24174	-1.57829	2.454302
0.969695	-0.26399	-1.63289	2.425242
0.969695	-0.30511	-1.68397	2.396293
0.969695	-0.30511	-1.73587	2.367347
0.969695	-0.34321	-1.83923	2.338468

0.973324	-0.36007	-1.83923	2.309659
0.973324	-0.37661	-1.93859	2.280939
0.973324	-0.39216	-1.98922	2.195493
0.968576	-0.42004	-2.03872	2.167223
0.968576	-0.4323	-2.08827	2.167223
0.968576	-0.44315	-2.13777	2.139056
0.968576	-0.46077	-2.18843	2.110847
0.968576	-0.46077	-2.23782	2.0828
0.969683	-0.46828	-2.28766	2.0828
0.969683	-0.47437	-2.33609	2.054786
0.969683	-0.48001	-2.38304	1.971647
0.969683	-0.48737	-2.43054	1.944167
0.969683	-0.48737	-2.52522	1.916902
0.976364	-0.49282	-2.52522	1.889706
0.975681	-0.49282	-2.61699	1.862742
0.975681	-0.49335	-2.66202	1.835856
0.975681	-0.49414	-2.70625	1.809074
0.975681	-0.4939	-2.74924	1.782444
0.975681	-0.49166	-2.78992	1.755853
0.975151	-0.49058	-2.82762	1.729445
0.975151	-0.48284	-2.86553	1.703192
0.975151	-0.47834	-2.90109	1.677175
0.975151	-0.47377	-2.93677	1.625608
0.979575	-0.4618	-3.00278	1.600054
0.979575	-0.45588	-3.06235	1.574721
0.979575	-0.44931	-3.0916	1.549536
0.972706	-0.443	-3.11918	1.524548
0.972706	-0.43675	-3.14687	1.499684
0.972706	-0.4225	-3.17262	1.475037
0.972706	-0.41612	-3.1986	1.450642
0.972706	-0.40915	-3.2221	1.426411
0.9713	-0.40271	-3.24624	1.378654
0.9713	-0.39616	-3.26843	1.355076
0.9713	-0.38894	-3.28906	1.331648
0.9713	-0.38367	-3.32566	1.308392
0.975981	-0.37664	-3.32566	1.285197
0.975495	-0.36846	-3.34247	1.262187
0.975495	-0.35796	-3.35701	1.239351
0.975495	-0.35179	-3.38051	1.216566
0.975495	-0.34706	-3.38051	1.19391
0.971599	-0.34308	-3.39791	1.17135
0.971599	-0.33884	-3.40886	1.148903
0.971599	-0.33564	-3.41343	1.126623

0.971599	-0.33106	-3.41248	1.104563
0.971599	-0.32931	-3.40982	1.082606
0.976386	-0.32765	-3.40331	1.039276
0.976386	-0.3269	-3.39523	1.017833
0.976386	-0.3269	-3.38463	0.996447
0.976386	-0.32632	-3.37325	0.97526
0.988404	-0.32673	-3.34204	0.954278
0.988404	-0.32761	-3.34204	0.933507
0.988404	-0.33615	-3.32415	0.912916
0.988404	-0.34096	-3.30517	0.892512
0.989639	-0.34528	-3.26407	0.872366
0.988066	-0.34528	-3.21846	0.832609
0.988066	-0.35124	-3.19371	0.812978
0.988066	-0.35733	-3.16679	0.812978
0.988066	-0.36417	-3.13894	0.774473
0.978785	-0.37246	-3.10922	0.774473
0.978785	-0.38063	-3.07844	0.755496
0.978785	-0.40183	-3.04621	0.736678
0.978785	-0.41384	-2.97944	0.717969
0.978242	-0.44092	-2.90664	0.699421
0.978242	-0.45598	-2.86797	0.681005
0.978242	-0.45598	-2.83049	0.66264
0.978242	-0.4867	-2.79214	0.644424
0.978242	-0.4867	-2.79214	0.608419
0.982593	-0.5212	-2.75365	0.590641
0.982593	-0.5212	-2.71364	0.57285
0.982593	-0.53742	-2.67185	0.555279
0.975646	-0.55524	-2.62977	0.537815
0.975646	-0.58981	-2.58764	0.520465
0.975646	-0.60898	-2.54453	0.503186
0.975646	-0.62641	-2.50189	0.486039
0.975646	-0.66325	-2.45874	0.468996
0.973426	-0.68115	-2.37149	0.435205
0.973426	-0.68115	-2.32692	0.401878
0.973426	-0.70036	-2.27924	0.385387
0.973426	-0.71787	-2.23065	0.36901
0.980336	-0.73698	-2.18151	0.352727
0.982801	-0.75472	-2.07903	0.336455
0.982801	-0.79113	-2.02657	0.320266
0.982801	-0.80781	-1.92244	0.304143
0.982801	-0.82432	-1.86893	0.288111
0.988662	-0.84018	-1.86893	0.272124
0.988662	-0.85501	-1.76174	0.256277

0.988662	-0.88375	-1.76174	0.256277
0.988662	-0.89777	-1.65349	0.224796
0.982301	-0.91187	-1.65349	0.209031
0.982301	-0.92462	-1.48869	0.193431
0.982301	-0.93633	-1.48869	0.177957
0.982301	-0.94749	-1.43252	0.147148
0.982301	-0.95983	-1.37664	0.131868
0.968523	-0.96843	-1.31871	0.116624
0.968523	-0.97695	-1.26166	0.101547
0.968523	-0.98501	-1.14259	0.086519
0.968523	-0.99259	-1.02157	0.056657
0.963517	-0.99928	-0.96222	0.041855
0.963517	-1.00268	-0.96222	0.027076
0.963517	-1.00644	-0.84368	0.012503
0.963517	-1.0117	-0.84368	-0.00198
0.963517	-1.01708	-0.72464	-0.01642
0.963517	-1.01754	-0.66587	-0.0308
0.969595	-1.01612	-0.66587	-0.045
0.969595	-1.01413	-0.60761	-0.05919
0.969595	-1.0103	-0.54923	-0.0733
0.980349	-1.00643	-0.43736	-0.08726
0.98107	-1.00218	-0.3807	-0.10124
0.981182	-0.99546	-0.32617	-0.11505
0.981182	-0.98803	-0.21819	-0.12889
0.981182	-0.97065	-0.16414	-0.14264
0.981182	-0.96056	-0.11001	-0.17002
0.977436	-0.95128	-0.05636	-0.18353
0.977436	-0.93982	0.051848	-0.19699
0.977436	-0.92849	0.104468	-0.2105
0.977436	-0.9154	0.155293	-0.22396
0.97853	-0.9032	0.206343	-0.2373
0.97853	-0.89039	0.256198	-0.25058
0.97853	-0.8777	0.304825	-0.26383
0.98414	-0.86454	0.354133	-0.29015
0.984309	-0.85056	0.446028	-0.30326
0.984309	-0.83615	0.49045	-0.31623
0.984309	-0.8217	0.535368	-0.32908
0.984309	-0.80649	0.579456	-0.34188
0.981644	-0.79282	0.70879	-0.35451
0.981644	-0.76557	0.750911	-0.36707
0.981644	-0.75064	0.750911	-0.36707
0.981644	-0.72242	0.830254	-0.39189
0.984374	-0.72242	0.869805	-0.39189

0.984374	-0.70601	0.907067	-0.41636
0.984374	-0.69136	0.943509	-0.42848
0.984374	-0.67579	0.977621	-0.44045
0.994168	-0.65991	1.043204	-0.45239
0.994168	-0.64371	1.07569	-0.46425
0.994168	-0.61021	1.108412	-0.46425
0.994168	-0.57769	1.138854	-0.47597
0.994168	-0.57769	1.169644	-0.48763
0.99128	-0.56052	1.201396	-0.49918
0.99128	-0.54417	1.23111	-0.52195
0.99128	-0.52708	1.260837	-0.53319
0.99128	-0.50916	1.290613	-0.54436
0.99128	-0.49092	1.319869	-0.55545
0.974461	-0.47201	1.3762	-0.56643
0.972648	-0.45298	1.402065	-0.5774
0.972648	-0.43333	1.427823	-0.58821
0.972648	-0.41512	1.452508	-0.59892
0.972648	-0.39572	1.476083	-0.60953
0.969155	-0.3561	1.498721	-0.62006
0.969155	-0.3561	1.517305	-0.63047
0.969155	-0.31358	1.535464	-0.65103
0.969155	-0.29268	1.564298	-0.6613
0.969155	-0.27101	1.564298	-0.67148
0.97316	-0.24968	1.590153	-0.68156
0.97316	-0.22817	1.599286	-0.7014
0.97316	-0.20525	1.6067	-0.71129
0.97316	-0.18164	1.6067	-0.72116
0.982091	-0.13719	1.61309	-0.73096
0.982091	-0.11275	1.618684	-0.74067
0.982091	-0.08964	1.620651	-0.75031
0.982091	-0.06601	1.622336	-0.75984
0.97788	-0.01709	1.619354	-0.76928
0.97788	0.009128	1.619354	-0.77857
0.97788	0.034941	1.617236	-0.78783
0.97788	0.060614	1.61327	-0.79704
0.966326	0.086738	1.606009	-0.81529
0.965047	0.138946	1.599353	-0.82436
0.965047	0.164738	1.59379	-0.83345
0.965047	0.191682	1.58634	-0.84252
0.965047	0.218983	1.58634	-0.85153
0.963686	0.245547	1.567033	-0.86046
0.963686	0.272928	1.54582	-0.86937
0.963686	0.299931	1.533261	-0.88703

0.963686	0.326473	1.518743	-0.89582
0.963686	0.409752	1.502884	-0.90455
0.963686	0.437547	1.485976	-0.91321
0.97034	0.465068	1.467564	-0.92181
0.97034	0.522078	1.44629	-0.93877
0.97034	0.522078	1.424825	-0.93877
0.984284	0.578669	1.402024	-0.95527
0.984284	0.578669	1.377746	-0.96345
0.984284	0.606882	1.353591	-0.9715
0.984284	0.633548	1.327367	-0.9715
0.984284	0.689206	1.301406	-0.9795
0.987473	0.689206	1.273483	-0.98741
0.987473	0.745404	1.246312	-1.00304
0.987473	0.828544	1.219903	-1.0108
0.977455	0.857001	1.193131	-1.01855
0.975684	0.884527	1.16604	-1.02621
0.975684	0.911168	1.137955	-1.03383
0.975684	0.937215	1.110133	-1.04877
0.975684	0.964176	1.082143	-1.06355
0.972377	0.991463	1.053088	-1.07094
0.972377	1.019935	0.996221	-1.07821
0.972377	1.047055	0.967022	-1.0854
0.972377	1.101448	0.936976	-1.0925
0.972377	1.129318	0.907011	-1.09944
0.976639	1.156336	0.876009	-1.10634
0.976639	1.182974	0.844092	-1.11308
0.976639	1.209347	0.811184	-1.11985
0.98823	1.234385	0.744897	-1.12649
0.98823	1.259966	0.710792	-1.13311
0.98823	1.285177	0.677082	-1.14625
0.989618	1.311587	0.6432	-1.1592
0.989618	1.337247	0.574568	-1.16565
0.989618	1.361047	0.53981	-1.17204
0.989089	1.409389	0.504097	-1.17836
0.989089	1.456652	0.469996	-1.18468
0.989089	1.479311	0.403056	-1.19092
0.989089	1.503411	0.371332	-1.19704
0.974521	1.527541	0.341709	-1.20325
0.974521	1.549077	0.31029	-1.21544
0.974521	1.593782	0.279874	-1.22149
0.974521	1.593782	0.247616	-1.22744
0.974521	1.615337	0.184416	-1.2333
0.969035	1.63728	0.153252	-1.23908

0.969427	1.659408	0.122653	-1.24468
0.969427	1.681668	0.061113	-1.25021
0.969427	1.703132	0.032975	-1.25568
0.972377	1.746552	0.005468	-1.26108
0.972377	1.767359	-0.02073	-1.26644
0.972377	1.80611	-0.04513	-1.27681
0.972377	1.80611	-0.08939	-1.28194
0.970516	1.845928	-0.10997	-1.28705
0.970516	1.86583	-0.12785	-1.29208
0.970516	1.885157	-0.14662	-1.29708
0.970516	1.90255	-0.16288	-1.302
0.958876	1.921555	-0.17903	-1.30677
0.958876	1.955624	-0.1946	-1.31157
0.958876	1.955624	-0.20993	-1.31624
0.958876	1.989287	-0.22437	-1.32089
0.954585	1.989287	-0.23683	-1.32545
0.954585	2.022037	-0.25961	-1.32993
0.954585	2.052232	-0.2777	-1.33863
0.954585	2.066144	-0.2777	-1.34292
0.954585	2.081337	-0.29074	-1.34711
0.959548	2.09526	-0.29074	-1.3511
0.961639	2.109861	-0.29566	-1.355
0.961639	2.124485	-0.29386	-1.35871
0.961639	2.138626	-0.28859	-1.36227
0.961639	2.152677	-0.28512	-1.36565
0.969372	2.180324	-0.27342	-1.36875
0.969372	2.193373	-0.26482	-1.37173
0.969372	2.218801	-0.26482	-1.37459
0.969372	2.231417	-0.25652	-1.37735
0.965961	2.242894	-0.23648	-1.38001
0.965961	2.254164	-0.22487	-1.38253
0.965961	2.265032	-0.21243	-1.38494
0.965961	2.27598	-0.19822	-1.38726
0.95174	2.286063	-0.18181	-1.38944
0.95174	2.296	-0.16388	-1.39154
0.95174	2.305207	-0.1448	-1.39546
0.95174	2.314867	-0.12319	-1.39729
0.94489	2.332114	-0.09937	-1.39912
0.94489	2.339606	-0.04879	-1.40087
0.94489	2.346251	-0.02423	-1.40388
0.94489	2.357674	0.003663	-1.40529
0.94489	2.357674	0.031758	-1.40668
0.947317	2.361732	0.060308	-1.40799

0.948903	2.365719	0.089937	-1.40923
0.948903	2.37021	0.119373	-1.41249
0.948903	2.379498	0.148317	-1.41249
0.954632	2.38411	0.178946	-1.4144
0.954632	2.387924	0.208275	-1.41612
0.954632	2.391627	0.239313	-1.41681
0.954632	2.393842	0.269565	-1.41681
0.952986	2.396572	0.301067	-1.41743
0.952986	2.399111	0.363133	-1.41788
0.952986	2.403279	0.392626	-1.41829
0.952986	2.403279	0.423481	-1.41877
0.956692	2.402766	0.454585	-1.41895
0.956692	2.402766	0.516399	-1.41895
0.956692	2.402446	0.547253	-1.41897
0.956692	2.400069	0.577509	-1.41894
0.965285	2.396279	0.608507	-1.41883
0.965285	2.394443	0.641457	-1.41865
0.965285	2.39104	0.674811	-1.41828
0.964473	2.385843	0.707485	-1.41779
0.964473	2.382314	0.773294	-1.41661
0.964473	2.373298	0.807204	-1.41597
0.964473	2.36835	0.841195	-1.41529
0.96209	2.363713	0.873929	-1.41449
0.962619	2.357187	0.905607	-1.41372
0.962619	2.349726	0.935656	-1.41281
0.962619	2.341822	0.967023	-1.41087
0.962619	2.334141	0.996926	-1.40979
0.96655	2.327428	1.024564	-1.40871
0.96655	2.31781	1.05214	-1.40634
0.96655	2.30969	1.103881	-1.40507
0.96655	2.291328	1.129235	-1.40369
0.964633	2.281185	1.180776	-1.40217
0.964633	2.271744	1.20536	-1.40058
0.964633	2.26176	1.228619	-1.39879
0.964633	2.239573	1.25242	-1.39696
0.968007	2.228762	1.274333	-1.39495
0.968007	2.21725	1.295426	-1.39279
0.968007	2.204339	1.315659	-1.39059
0.968007	2.19227	1.333038	-1.38821
0.976274	2.179344	1.348239	-1.38584
0.976274	2.166984	1.376899	-1.38336
0.976274	2.153351	1.389106	-1.38091
0.976274	2.125902	1.400415	-1.37846

0.976274	2.112181	1.411893	-1.37585
0.968529	2.097327	1.421988	-1.37066
0.968529	2.081584	1.433267	-1.36805
0.968529	2.050332	1.442678	-1.36545
0.968529	2.016108	1.450409	-1.36013
0.968529	1.999273	1.465259	-1.35745
0.946785	1.983089	1.46976	-1.35486
0.946785	1.96469	1.471631	-1.35221
0.946785	1.947199	1.473351	-1.34956
0.946785	1.92654	1.471848	-1.34688
0.938493	1.908199	1.468752	-1.34418
0.936591	1.887705	1.45884	-1.34143
0.936591	1.848735	1.451831	-1.33869
0.936591	1.827909	1.442002	-1.33322
0.936591	1.807544	1.431485	-1.33053
0.936591	1.787374	1.418545	-1.32784
0.937232	1.766922	1.405181	-1.32234
0.937232	1.744604	1.373506	-1.32234
0.937232	1.723987	1.355035	-1.31957
0.937232	1.657633	1.335824	-1.31114
0.946286	1.635004	1.335824	-1.31114
0.946286	1.613239	1.317411	-1.30547
0.946286	1.589389	1.298541	-1.30267
0.946286	1.565927	1.278335	-1.29985
0.960146	1.541558	1.256896	-1.29704
0.960146	1.518117	1.210802	-1.29411
0.960146	1.492881	1.210802	-1.29411
0.960146	1.467548	1.187059	-1.29113
0.960146	1.443881	1.135347	-1.28807
0.960723	1.419616	1.081384	-1.2849
0.960723	1.393929	1.081384	-1.28176
0.960723	1.340762	1.05213	-1.27857
0.960723	1.313818	0.989895	-1.27534
0.950441	1.287566	0.956745	-1.26877
0.950441	1.233222	0.922109	-1.26547
0.950441	1.204946	0.886673	-1.26215
0.950441	1.177997	0.851344	-1.25884
0.950441	1.150412	0.814105	-1.25545
0.948015	1.122458	0.775846	-1.24869
0.948015	1.093618	0.736172	-1.24529
0.948015	1.064659	0.698253	-1.24187
0.948015	1.03582	0.658808	-1.23847
0.948015	1.008091	0.618802	-1.23503

0.948015	0.948875	0.57808	-1.23153
0.956151	0.919396	0.535637	-1.228
0.956151	0.888102	0.493239	-1.22095
0.956151	0.857115	0.406903	-1.21735
0.956151	0.825836	0.364594	-1.21374
0.969135	0.733883	0.322361	-1.21008
0.969135	0.733883	0.279978	-1.20631
0.969135	0.671727	0.239568	-1.19867
0.969135	0.671727	0.200032	-1.19867
0.969135	0.640241	0.16082	-1.19083
0.968875	0.574238	0.123553	-1.18297
0.968875	0.574238	0.085623	-1.18297
0.968875	0.507834	0.015909	-1.17893
0.968875	0.474872	-0.05023	-1.17482
0.955396	0.441957	-0.08328	-1.17057
0.955396	0.408317	-0.11596	-1.1662
0.955396	0.374633	-0.14859	-1.16174
0.955396	0.340069	-0.14859	-1.15713
0.946832	0.305809	-0.17912	-1.14786
0.946244	0.270428	-0.21078	-1.1431
0.946244	0.202587	-0.2732	-1.1431
0.946244	0.133134	-0.2732	-1.13835
0.946244	0.133134	-0.3333	-1.13346
0.947604	0.061337	-0.3333	-1.12365
0.947604	0.061337	-0.3898	-1.11868
0.947604	-0.01001	-0.3898	-1.11367
0.947604	-0.01001	-0.44417	-1.10861
0.953325	-0.04501	-0.49287	-1.10344
0.953325	-0.0816	-0.49287	-1.09821
0.953325	-0.1181	-0.51544	-1.09291
0.953325	-0.15488	-0.53541	-1.08207
0.950141	-0.19165	-0.55461	-1.08207
0.950141	-0.22731	-0.57214	-1.07101
0.950141	-0.26405	-0.57214	-1.06547
0.950141	-0.37621	-0.61595	-1.05967
0.954195	-0.41439	-0.62773	-1.05387
0.956109	-0.41439	-0.63729	-1.04787
0.956109	-0.49103	-0.646	-1.0418
0.956109	-0.52864	-0.65526	-1.0418
0.956109	-0.56766	-0.66202	-1.02291
0.963528	-0.60484	-0.66722	-1.01634
0.963528	-0.64292	-0.67164	-1.0096
0.963528	-0.6821	-0.67559	-1.00278

0.963528	-0.75977	-0.67921	-0.99577
0.960533	-0.79906	-0.68143	-0.98139
0.960533	-0.83788	-0.68293	-0.98139
0.960533	-0.8776	-0.68188	-0.96652
0.960533	-0.91754	-0.68213	-0.96652
0.960533	-0.95625	-0.67651	-0.95889
0.964788	-0.99765	-0.67238	-0.95116
0.966744	-1.0365	-0.67238	-0.94332
0.966744	-1.07678	-0.65977	-0.92726
0.966744	-1.1158	-0.65977	-0.91077
0.966744	-1.15585	-0.65148	-0.91077
0.974376	-1.19597	-0.64021	-0.89381
0.974376	-1.2365	-0.62731	-0.89381
0.974376	-1.31761	-0.61497	-0.88512
0.974376	-1.35869	-0.60174	-0.87625
0.971602	-1.39899	-0.56877	-0.86732
0.971602	-1.44052	-0.5512	-0.85829
0.971602	-1.48194	-0.53228	-0.84897
0.971602	-1.56514	-0.51381	-0.83948
0.971602	-1.56514	-0.49499	-0.82988
0.976082	-1.64774	-0.47659	-0.8103
0.978083	-1.68899	-0.45813	-0.80038
0.978083	-1.73071	-0.42262	-0.79036
0.978083	-1.77292	-0.42262	-0.76986
0.984421	-1.81393	-0.40591	-0.7595
0.984421	-1.85501	-0.37238	-0.74904
0.984421	-1.93838	-0.3549	-0.73839
0.984421	-1.98024	-0.33724	-0.717
0.984421	-2.02266	-0.3013	-0.70616
0.983675	-2.06548	-0.3013	-0.69537
0.983675	-2.10837	-0.28157	-0.68441
0.983675	-2.23986	-0.26124	-0.67343
0.983675	-2.28186	-0.24123	-0.66238
0.967156	-2.32367	-0.20014	-0.6513
0.967156	-2.36665	-0.15723	-0.6401
0.967156	-2.41094	-0.15723	-0.62882
0.967156	-2.4537	-0.13818	-0.61762
0.967156	-2.49704	-0.11912	-0.6064
0.959688	-2.58348	-0.09964	-0.58385
0.959749	-2.62666	-0.08178	-0.5726
0.959749	-2.71342	-0.06506	-0.56132
0.959749	-2.75623	-0.04816	-0.53884
0.959749	-2.79854	-0.03182	-0.53884

0.962147	-2.84202	-0.00176	-0.51638
0.962147	-2.88454	0.024888	-0.51638
0.962147	-2.92585	0.039235	-0.50516
0.962147	-3.00914	0.052647	-0.49397
0.969218	-3.05176	0.06506	-0.47154
0.969218	-3.09366	0.078715	-0.4604
0.969218	-3.13647	0.091966	-0.44925
0.969218	-3.21789	0.106039	-0.43811
0.969218	-3.25832	0.146506	-0.42698
0.967686	-3.3395	0.159147	-0.41588
0.967686	-3.3395	0.171528	-0.40481
0.967686	-3.3799	0.183161	-0.39377
0.967686	-3.41926	0.194016	-0.38266
0.967686	-3.45864	0.20286	-0.36059
0.977398	-3.4974	0.211051	-0.36059
0.980294	-3.5356	0.220146	-0.34966
0.980294	-3.57402	0.228291	-0.3388
0.980294	-3.61194	0.23653	-0.32787
0.980294	-3.6501	0.242271	-0.31701
0.987876	-3.72378	0.247537	-0.30613
0.987876	-3.76027	0.25233	-0.29531
0.987876	-3.7975	0.256793	-0.27383
0.987876	-3.83293	0.260847	-0.26325
0.987876	-3.9051	0.266925	-0.2527
0.987876	-3.9404	0.26957	-0.24222
0.980976	-3.9404	0.271442	-0.23183
0.980976	-3.97446	0.273368	-0.22147
0.980976	-4.00946	0.275708	-0.21117
0.980976	-4.04388	0.279646	-0.20089
0.956718	-4.11063	0.281885	-0.18065
0.956718	-4.14276	0.283678	-0.17066
0.956718	-4.20928	0.289876	-0.16074
0.956718	-4.20928	0.29291	-0.15099
0.943162	-4.24125	0.295051	-0.14129
0.941578	-4.27355	0.295948	-0.13163
0.940367	-4.30678	0.296828	-0.11265
0.940367	-4.33827	0.296321	-0.10319
0.940367	-4.36814	0.294891	-0.09382
0.940367	-4.39862	0.291816	-0.08451
0.940367	-4.42911	0.287765	-0.07535
0.939869	-4.45952	0.282147	-0.0662
0.939869	-4.48846	0.275191	-0.05721
0.939869	-4.51518	0.261593	-0.04832

0.939869	-4.56723	0.251251	-0.03942
0.939869	-4.61603	0.251251	-0.0307
0.948544	-4.64014	0.228498	-0.02199
0.948544	-4.6633	0.204861	-0.00472
0.948544	-4.68441	0.204861	0.003814
0.948544	-4.70585	0.179078	0.012244
0.962023	-4.7252	0.167093	0.020537
0.962023	-4.74534	0.15609	0.028806
0.962023	-4.7634	0.145785	0.036891
0.962023	-4.79838	0.13432	0.045001
0.962023	-4.81436	0.122879	0.053106
0.962224	-4.82818	0.104416	0.061112
0.962224	-4.84256	0.094231	0.076947
0.962224	-4.86553	0.084077	0.084711
0.951567	-4.86553	0.073658	0.092531
0.950154	-4.88299	0.063875	0.100145
0.950154	-4.88299	0.052455	0.115406
0.950154	-4.89268	0.039993	0.115406
0.950154	-4.89268	0.028078	0.130532
0.950154	-4.89568	0.015406	0.138058
0.948229	-4.89572	0.00262	0.138058
0.948229	-4.89488	-0.00957	0.153234
0.948229	-4.89184	-0.02206	0.153234
0.948229	-4.88616	-0.03459	0.160911
0.952217	-4.87948	-0.05918	0.168536
0.952217	-4.87065	-0.07182	0.176318
0.952217	-4.84709	-0.08399	0.184095
0.952217	-4.83326	-0.09624	0.19965
0.961169	-4.81869	-0.10726	0.20765
0.961169	-4.80112	-0.1267	0.215662
0.961169	-4.78251	-0.13567	0.223698
0.960726	-4.76251	-0.14366	0.23171
0.960726	-4.74058	-0.15356	0.239822
0.960726	-4.71491	-0.17291	0.247946
0.960726	-4.68972	-0.17291	0.25611
0.960726	-4.63296	-0.18184	0.264448
0.958717	-4.60218	-0.20127	0.281185
0.958717	-4.56901	-0.2109	0.289653
0.958717	-4.53346	-0.22	0.298272
0.958717	-4.49624	-0.22726	0.315553
0.965412	-4.41917	-0.23439	0.324314
0.967849	-4.37846	-0.24163	0.324314
0.967849	-4.33595	-0.24747	0.341972

0.967849	-4.29032	-0.25204	0.350961
0.967849	-4.2426	-0.25577	0.35998
0.973608	-4.19346	-0.26138	0.35998
0.973608	-4.1429	-0.26318	0.378361
0.973608	-4.08889	-0.26572	0.397121
0.973608	-3.97759	-0.26956	0.406623
0.973608	-3.92015	-0.27429	0.416124
0.971634	-3.85948	-0.27855	0.416124
0.971634	-3.79812	-0.28185	0.425739
0.971634	-3.67147	-0.28475	0.445311
0.971634	-3.60668	-0.29079	0.455258
0.978465	-3.53972	-0.29079	0.465306
0.983759	-3.47155	-0.29495	0.475409
0.983759	-3.40225	-0.29933	0.485682
0.983759	-3.33138	-0.30415	0.496015
0.983759	-3.25956	-0.30895	0.5168
0.991082	-3.18756	-0.31302	0.5168
0.991082	-3.1132	-0.31776	0.527332
0.991082	-2.96327	-0.32139	0.537915
0.991082	-2.88679	-0.32476	0.548526
0.991082	-2.81061	-0.33373	0.569955
0.986545	-2.73311	-0.33883	0.580658
0.986545	-2.65528	-0.34286	0.591505
0.986545	-2.49881	-0.34592	0.602341
0.986545	-2.41892	-0.3489	0.624061
0.971249	-2.25927	-0.35078	0.634986
0.96892	-2.25927	-0.35224	0.645769
0.96892	-2.25927	-0.35165	0.656736
0.96892	-2.09631	-0.35304	0.667684
0.96892	-2.01311	-0.35405	0.678588
0.96892	-1.93018	-0.35456	0.689434
0.963363	-1.84737	-0.35535	0.700257
0.963363	-1.59567	-0.35618	0.721927
0.963363	-1.51121	-0.35602	0.743641
0.963363	-1.42635	-0.35791	0.743641
0.96377	-1.34219	-0.3632	0.75437
0.96377	-1.25874	-0.36514	0.76505
0.96377	-1.17312	-0.36514	0.775675
0.96377	-1.08839	-0.36874	0.796825
0.970701	-1.00588	-0.37702	0.807306
0.970701	-0.83781	-0.38203	0.817848
0.970701	-0.75442	-0.38895	0.828334
0.970701	-0.67117	-0.39443	0.838776

0.966934	-0.58855	-0.39995	0.849204
0.966934	-0.50591	-0.40465	0.85956
0.966934	-0.42385	-0.40845	0.869783
0.966934	-0.34305	-0.41306	0.879889
0.955745	-0.18235	-0.41701	0.889798
0.955745	-0.18235	-0.42048	0.899775
0.955745	-0.02628	-0.42568	0.909593
0.955745	0.126713	-0.42767	0.919453
0.955745	0.201303	-0.43104	0.938824
0.953402	0.27467	-0.4354	0.948276
0.954047	0.415735	-0.43942	0.957706
0.954047	0.484294	-0.44283	0.967018
0.954047	0.551511	-0.44761	0.976198
0.954047	0.618381	-0.45338	0.994122
0.960305	0.683434	-0.45756	1.002961
0.960305	0.748554	-0.46166	1.011629
0.960305	0.811958	-0.46577	1.020147
0.960305	0.873774	-0.46577	1.028623
0.972075	0.935123	-0.46986	1.036859
0.972075	1.051781	-0.4802	1.044977
0.972075	1.162777	-0.48612	1.052923
0.972075	1.162777	-0.49285	1.068224
0.972075	1.217185	-0.49654	1.07578
0.970622	1.317586	-0.49931	1.08313
0.970622	1.317586	-0.50082	1.090268
0.970622	1.366704	-0.50158	1.097333
0.970622	1.46076	-0.50232	1.104168
0.958363	1.506402	-0.50123	1.1108
0.958363	1.550007	-0.49893	1.117252
0.958363	1.592577	-0.49819	1.123514
0.958363	1.633823	-0.49725	1.135462
0.958363	1.675177	-0.49537	1.141262
0.953479	1.71401	-0.49477	1.146857
0.953479	1.751824	-0.49487	1.152318
0.953479	1.789124	-0.49278	1.157446
0.953479	1.824086	-0.49197	1.162408
0.953479	1.858523	-0.49267	1.167134
0.957884	1.891232	-0.49189	1.171727
0.957884	1.922298	-0.49188	1.176082
0.957884	1.982494	-0.49093	1.180252
0.96959	2.011033	-0.48971	1.184287
0.96959	2.03762	-0.48586	1.188077
0.96959	2.06376	-0.48586	1.191713

0.96959	2.110338	-0.48184	1.195138
0.970545	2.131405	-0.48184	1.198438
0.970545	2.15258	-0.47746	1.204676
0.970545	2.171723	-0.47283	1.20763
0.970545	2.190586	-0.46625	1.210505
0.960663	2.205672	-0.45296	1.213256
0.960663	2.222019	-0.44587	1.215775
0.960663	2.250259	-0.43844	1.218245
0.960663	2.271886	-0.42431	1.220512
0.960663	2.271886	-0.42431	1.222693
0.95874	2.28251	-0.41784	1.224834
0.95874	2.29192	-0.41193	1.228643
0.95874	2.300041	-0.40073	1.23038
0.95874	2.308151	-0.40073	1.232023
0.95874	2.314591	-0.39148	1.233482
0.9625	2.318762	-0.38745	1.234917
0.9625	2.325532	-0.38321	1.236173
0.9625	2.324553	-0.37741	1.237403
0.9625	2.324553	-0.37176	1.238492
0.954936	2.319636	-0.3623	1.239684
0.953719	2.319636	-0.35834	1.240339
0.953719	2.315612	-0.35383	1.234909
0.953719	2.296605	-0.34848	1.222868
0.953719	2.2788	-0.34231	1.20477
0.953719	2.252049	-0.33518	1.181217
0.955746	2.217664	-0.32755	1.15357
0.955746	2.173049	-0.3195	1.088666
0.955746	2.117251	-0.30296	1.088666
0.964693	2.048828	-0.29447	1.013401
0.964693	1.971819	-0.28709	0.928441
0.964693	1.880196	-0.28048	0.928441
0.964693	1.777926	-0.27542	0.882218
0.964693	1.536737	-0.27237	0.83352
0.964693	1.399468	-0.27214	0.782346
0.96075	1.251145	-0.27562	0.728712
0.96075	1.093028	-0.28338	0.672503
0.96075	0.92421	-0.31277	0.613978
0.945173	0.559242	-0.33353	0.490415
0.942787	0.363471	-0.36119	0.428563
0.942787	0.159586	-0.39157	0.36572
0.942787	-0.05159	-0.46818	0.300482
0.942787	-0.27059	-0.56531	0.232703
0.937887	-0.49524	-0.56531	0.161863

0.937887	-0.96324	-0.62423	0.009234
0.937887	-0.96324	-0.68908	-0.07242
0.937887	-1.45114	-0.75954	-0.1578
0.937184	-1.70303	-0.83806	-0.33763
0.937184	-1.9585	-0.92411	-0.33763
0.937184	-2.21839	-1.01779	-0.52929
0.937184	-2.48013	-1.11973	-0.52929
0.937184	-2.74566	-1.22895	-0.7326
0.945696	-3.01252	-1.34677	-0.7326
0.945696	-3.5515	-1.74169	-0.84014
0.945696	-3.82207	-1.88672	-0.95217
0.945696	-4.09268	-2.03811	-1.18971
0.959051	-4.36554	-2.19532	-1.31354
0.959051	-4.63763	-2.35763	-1.44022
0.959051	-4.90988	-2.52508	-1.57022
0.959051	-5.18239	-2.69609	-1.70303
0.959051	-5.45418	-2.87327	-1.83862
0.95915	-5.99907	-3.24262	-1.97663
0.95915	-6.26951	-3.62971	-2.25781
0.95915	-6.53964	-3.62971	-2.39782
0.95915	-6.80899	-4.03677	-2.53796
0.948412	-7.34383	-4.24767	-2.67824
0.948412	-7.60776	-4.46327	-2.95504
0.948412	-7.87051	-4.68304	-3.22319
0.948412	-8.13153	-4.68304	-3.22319
0.945021	-8.39012	-4.90577	-3.35543
0.945021	-8.64644	-5.13266	-3.48644
0.945021	-8.90138	-5.36283	-3.61562
0.945021	-9.40335	-5.59571	-3.74273
0.945021	-9.65089	-5.83284	-3.86749
0.950896	-9.8949	-6.0723	-3.98975
0.953172	-10.1379	-6.31353	-4.22619
0.953172	-10.617	-6.80248	-4.33929
0.953172	-10.8514	-6.80248	-4.44963
0.958289	-11.0843	-7.29904	-4.55741
0.958289	-11.3146	-7.54982	-4.66266
0.958289	-11.5432	-7.79946	-4.76544
0.958289	-11.768	-8.04923	-4.86582
0.958289	-12.2111	-8.29973	-5.05876
0.958626	-12.2111	-8.5508	-5.15027
0.958626	-12.6431	-8.80266	-5.23892
0.958626	-12.858	-9.05376	-5.41391
0.958626	-13.0691	-9.30343	-5.50072

0.958626	-13.2787	-9.80396	-5.58646
0.960039	-13.4856	-10.0538	-5.67352
0.960039	-13.6897	-10.3053	-5.76283
0.960039	-13.8921	-10.5563	-5.85491
0.960039	-14.0916	-10.8069	-5.95036
0.95111	-14.2905	-11.0585	-6.04918
0.95111	-14.8701	-11.3072	-6.15154
0.95111	-15.0591	-11.5562	-6.25788
0.95111	-15.2459	-12.0535	-6.48341
0.949488	-15.4299	-12.0535	-6.72386
0.950276	-15.6121	-12.3005	-6.8507
0.950276	-15.6121	-12.5451	-6.8507
0.950276	-15.9694	-12.5451	-7.11976
0.950276	-16.1437	-12.7887	-7.26216
0.955237	-16.3145	-13.0314	-7.41015
0.955237	-16.4835	-13.2736	-7.56368
0.955237	-16.6494	-13.5143	-7.56368
0.955237	-16.8154	-13.9928	-7.88742
0.954538	-16.9769	-14.2293	-8.23206
0.954538	-17.293	-14.4642	-8.41166
0.954538	-17.4475	-14.6973	-8.59575
0.954538	-17.4475	-14.9283	-8.78361
0.954538	-17.6002	-14.9283	-8.97421
0.961027	-17.8968	-15.1573	-9.16696
0.961027	-18.1859	-15.6109	-9.36143
0.961027	-18.1859	-15.836	-9.55706
0.974776	-18.3278	-16.06	-9.75309
0.974776	-18.4669	-16.2824	-9.9487
0.974776	-18.7397	-16.7244	-10.143
0.974776	-19.0051	-16.9443	-10.3347
0.974776	-19.0051	-17.1639	-10.5234
0.977734	-19.2636	-17.3827	-10.7088
0.977734	-19.3904	-17.5976	-10.8903
0.977734	-19.5161	-17.8119	-11.0675
0.969811	-19.6408	-18.0265	-11.2401
0.968942	-19.7626	-18.2383	-11.5721
0.968942	-19.8805	-18.6589	-11.7306
0.968942	-20	-18.8662	-11.8853
0.968942	-20.1179	-19.0717	-12.0366
0.968942	-20.3478	-19.2754	-12.1843
0.969191	-20.4613	-19.6754	-12.3286
0.969191	-20.5731	-19.6754	-12.4692
0.969191	-20.6834	-20.0706	-12.6064

0.969191	-20.7925	-20.0706	-12.869
0.97354	-20.901	-20.2645	-12.9938
0.97354	-21.0081	-20.4569	-13.1138
0.97354	-21.1133	-20.836	-13.3413
0.969001	-21.3212	-21.0234	-13.3413
0.968802	-21.4229	-21.2109	-13.553
0.968802	-21.5231	-21.397	-13.553
0.968802	-21.6225	-21.5829	-13.6535
0.968802	-21.7221	-21.7662	-13.7508
0.968802	-21.8199	-21.9499	-13.9368
0.971704	-21.9165	-22.1322	-13.9368
0.971704	-22.0129	-22.3098	-14.026
0.971704	-22.1061	-22.4887	-14.1129
0.971704	-22.1991	-22.6645	-14.2815
0.979322	-22.2906	-22.8381	-14.3632
0.979322	-22.3806	-23.0105	-14.3632
0.979322	-22.4677	-23.18	-14.4436
0.979322	-22.5544	-23.3474	-14.5229
0.973757	-22.6399	-23.5122	-14.6014
0.970834	-22.8062	-23.6751	-14.6793
0.970834	-22.8883	-23.8365	-14.757
0.970834	-22.9692	-23.9947	-14.8344
0.970834	-23.0485	-24.1515	-14.9119
0.970834	-23.1271	-24.3057	-15.0678
0.959204	-23.2049	-24.4573	-15.1462
0.959204	-23.2816	-24.6073	-15.2255
0.959204	-23.3574	-24.9003	-15.3062
0.959204	-23.4316	-25.0423	-15.3885
0.956643	-23.579	-25.1791	-15.4727
0.95693	-23.7244	-25.3119	-15.648
0.957586	-23.7244	-25.4406	-15.648
0.957586	-23.7958	-25.5636	-15.7392
0.957586	-23.8684	-25.681	-15.8331
0.957586	-24.0107	-25.9968	-16.0286
0.962112	-24.0802	-25.9968	-16.13
0.962112	-24.0802	-26.0919	-16.3396
0.962112	-24.2147	-26.1808	-16.3396
0.957738	-24.2147	-26.2626	-16.4477
0.957569	-24.3406	-26.3373	-16.5581
0.957569	-24.3406	-26.4047	-16.671
0.957569	-24.3977	-26.4627	-16.7861
0.957569	-24.4496	-26.5123	-16.9036
0.957569	-24.4946	-26.5514	-17.0236

0.960585	-24.5344	-26.5801	-17.1457
0.960585	-24.5652	-26.5992	-17.397
0.960585	-24.6066	-26.607	-17.5258
0.960585	-24.6146	-26.6038	-17.6562
0.970721	-24.6061	-26.5889	-17.7884
0.970721	-24.5885	-26.563	-17.9221
0.970721	-24.5626	-26.5259	-18.0572
0.970721	-24.5279	-26.4771	-18.1934
0.970721	-24.4816	-26.2677	-18.3306
0.970111	-24.4238	-26.1765	-18.4685
0.970111	-24.3564	-26.074	-18.6069
0.970111	-24.1913	-25.9622	-18.8845
0.970111	-24.0941	-25.7111	-19.0233
0.956282	-23.987	-25.5713	-19.1618
0.956282	-23.7446	-25.4245	-19.3
0.956282	-23.6103	-25.2696	-19.5752
0.956282	-23.4669	-25.1077	-19.7118
0.956282	-23.3164	-24.9402	-19.8478
0.947351	-23.157	-24.7649	-20.1172
0.947351	-22.8169	-24.5848	-20.2504
0.947351	-22.6363	-24.4002	-20.3828
0.947351	-22.6363	-24.2095	-20.5141
0.947735	-22.4489	-24.0134	-20.6444
0.947735	-22.2572	-23.8134	-20.7734
0.947735	-22.0602	-23.4026	-20.9013
0.947735	-21.8583	-23.1908	-21.1528
0.947735	-21.4388	-22.975	-21.1528
0.956066	-21.4388	-22.7567	-21.3986
0.956066	-21.2227	-22.5338	-21.5193
0.956066	-20.7779	-22.0806	-21.6383
0.956066	-20.5479	-21.8501	-21.7559
0.951293	-20.3148	-21.6194	-21.9867
0.951049	-20.0799	-21.3878	-22.0998
0.951049	-19.8418	-21.1524	-22.2115
0.951049	-19.6016	-20.918	-22.3217
0.951049	-19.3606	-20.684	-22.4307
0.953775	-19.116	-20.4486	-22.5381
0.953775	-18.871	-20.2139	-22.644
0.953775	-18.6254	-19.9785	-22.7487
0.961119	-18.3796	-19.7428	-22.9539
0.961119	-18.1306	-19.2699	-23.1539
0.961119	-17.8836	-19.0341	-23.1539
0.961119	-17.6343	-18.7976	-23.2519

0.9597	-17.137	-18.5609	-23.4444
0.960109	-16.8884	-18.0902	-23.4444
0.960109	-16.6411	-17.8551	-23.5387
0.960109	-16.3932	-17.62	-23.7236
0.963555	-16.1471	-17.3859	-23.8143
0.963555	-15.9008	-17.1518	-23.8143
0.963555	-15.4131	-16.9203	-23.9037
0.971427	-15.1696	-16.6899	-23.9919
0.971427	-14.928	-16.4587	-24.0789
0.971427	-14.928	-16.0048	-24.2495
0.971427	-14.4504	-15.7797	-24.333
0.971427	-14.2126	-15.5557	-24.4156
0.971585	-13.7402	-15.332	-24.497
0.971585	-13.7402	-14.8868	-24.5774
0.971585	-13.2724	-14.6644	-24.6568
0.960079	-13.2724	-14.4433	-24.7349
0.960079	-12.8131	-14.0052	-24.8121
0.960079	-12.5864	-13.7899	-24.9635
0.960079	-12.1377	-13.5748	-25.1059
0.960079	-11.9154	-13.3615	-25.1059
0.953481	-11.6955	-13.1504	-25.1639
0.953481	-11.4772	-12.7332	-25.25
0.953481	-11.2589	-12.3231	-25.2781
0.953481	-10.8298	-12.3231	-25.2965
0.956211	-10.6176	-11.9175	-25.3061
0.956211	-10.4087	-11.7165	-25.3079
0.956211	-10.2004	-11.5149	-25.3017
0.956211	-9.99279	-11.3164	-25.2887
0.963882	-9.78627	-11.1186	-25.2706
0.963882	-9.58368	-10.7262	-25.2477
0.963882	-9.38245	-10.5316	-25.159
0.963882	-9.18327	-10.3401	-25.159
0.962651	-8.79096	-10.15	-25.125
0.963114	-8.5968	-9.96123	-25.087
0.963114	-8.21504	-9.77435	-25.0455
0.963114	-8.02679	-9.5895	-25.0006
0.963114	-7.84015	-9.5895	-24.9527
0.963114	-7.65555	-9.40826	-24.8483
0.970966	-7.47249	-9.22808	-24.7939
0.970966	-7.29001	-9.05036	-24.6778
0.970966	-6.93166	-8.87512	-24.6173
0.986096	-6.75384	-8.70267	-24.5551
0.986096	-6.57962	-8.36397	-24.4915

0.986096	-6.40519	-8.19724	-24.4271
0.986096	-6.23398	-8.03149	-24.2945
0.990454	-5.89652	-7.86616	-24.2277
0.990454	-5.72933	-7.70286	-24.1596
0.990454	-5.56764	-7.53941	-24.0903
0.990454	-5.24515	-7.3785	-24.02
0.983963	-5.08712	-7.21672	-23.9485
0.983385	-4.93029	-6.89801	-23.8758
0.983385	-4.77563	-6.74102	-23.8022
0.983385	-4.47226	-6.43302	-23.5777
0.983385	-4.32372	-6.43302	-23.5018
0.983896	-4.17655	-6.12994	-23.4212
0.983896	-4.03299	-6.12994	-23.3352
0.983896	-3.8903	-5.98219	-23.2435
0.983896	-3.74764	-5.83565	-23.1463
0.987897	-3.60867	-5.69086	-23.1463
0.987897	-3.33821	-5.26759	-22.9365
0.987897	-3.20429	-5.12972	-22.8242
0.987897	-3.07348	-4.99138	-22.8242
0.987897	-2.94315	-4.85431	-22.707
0.982799	-2.81389	-4.71922	-22.4614
0.982799	-2.68719	-4.5849	-22.4614
0.982799	-2.56096	-4.4518	-22.335
0.982799	-2.43698	-4.05613	-22.335
0.987092	-2.31379	-3.92672	-22.0776
0.989055	-2.19256	-3.79944	-21.8192
0.989055	-2.07293	-3.67276	-21.8192
0.989055	-1.83702	-3.54906	-21.6895
0.989055	-1.72238	-3.42744	-21.5596
0.996305	-1.60716	-3.30686	-21.4302
0.996305	-1.49532	-3.1888	-21.3009
0.996305	-1.38496	-3.07288	-21.1721
0.996305	-1.27622	-2.95868	-21.0439
0.996305	-1.06358	-2.84724	-20.6641
0.99233	-1.06358	-2.73776	-20.5371
0.99233	-0.85953	-2.6298	-20.4074
0.99233	-0.7604	-2.31701	-20.2757
0.99233	-0.66338	-2.31701	-20.141
0.977579	-0.56903	-2.21537	-20.0037
0.977579	-0.47642	-2.0152	-19.8646
0.977579	-0.38502	-2.0152	-19.7232
0.977579	-0.29596	-1.81855	-19.4363
0.970227	-0.12551	-1.72134	-19.2923

0.969878	-0.04098	-1.6274	-19.1465
0.969878	0.040709	-1.53415	-18.9987
0.969878	0.120868	-1.44238	-18.8488
0.969878	0.198912	-1.35263	-18.8488
0.972181	0.276254	-1.26431	-18.5417
0.972181	0.351424	-1.17879	-18.385
0.972181	0.496564	-1.01112	-18.2264
0.972181	0.567272	-0.92841	-17.9082
0.976099	0.634365	-0.84636	-17.752
0.976099	0.700725	-0.76734	-17.5984
0.976099	0.765556	-0.60706	-17.4479
0.976099	0.829095	-0.45145	-17.301
0.969834	0.891339	-0.37551	-17.1578
0.969834	0.952679	-0.30097	-17.0191
0.969834	1.011604	-0.30097	-16.7522
0.968349	1.069096	-0.15674	-16.6253
0.969161	1.178641	-0.08677	-16.5014
0.969161	1.230919	0.049636	-16.3806
0.969161	1.281646	0.117725	-16.2624
0.969161	1.3796	0.186386	-16.0331
0.968452	1.42594	0.252975	-15.9229
0.968452	1.47055	0.319553	-15.8138
0.968452	1.51421	0.386559	-15.7046
0.968452	1.554478	0.450609	-15.4846
0.958195	1.595	0.516286	-15.4846
0.958195	1.63516	0.581287	-15.3736
0.958195	1.673716	0.710987	-15.2609
0.958195	1.710302	0.774591	-14.9146
0.955233	1.74608	0.837695	-14.7964
0.955751	1.813169	0.900166	-14.6759
0.955751	1.84516	0.960872	-14.5523
0.955751	1.876198	1.02058	-14.426
0.955751	1.907097	1.137983	-14.2967
0.961487	1.965969	1.137983	-14.1649
0.961487	1.993461	1.249425	-14.0303
0.961487	2.020899	1.303658	-13.7548
0.961487	2.047423	1.355814	-13.6166
0.961487	2.09871	1.355814	-13.4785
0.969213	2.123125	1.406612	-13.3408
0.969213	2.146713	1.457067	-13.2032
0.969213	2.169226	1.505749	-13.066
0.969213	2.191425	1.598482	-12.9291
0.966472	2.213309	1.645148	-12.7926

0.966472	2.235054	1.690075	-12.3843
0.966472	2.256564	1.734409	-12.2498
0.966472	2.27566	1.779837	-12.2498
0.970929	2.293652	1.824276	-11.8465
0.97292	2.311957	1.824276	-11.7136
0.97292	2.329839	1.913833	-11.5805
0.97292	2.348606	1.913833	-11.4464
0.97292	2.365893	1.957015	-11.3116
0.976895	2.382896	2.044009	-11.0403
0.976895	2.398074	2.086714	-11.0403
0.976895	2.414309	2.128102	-10.904
0.971565	2.429115	2.169318	-10.6303
0.971565	2.457791	2.208123	-10.3566
0.971565	2.473106	2.245654	-10.2203
0.967671	2.499076	2.282792	-10.0837
0.967671	2.499076	2.31889	-9.94684
0.967671	2.513311	2.35288	-9.80951
0.967671	2.526511	2.386844	-9.6717
0.971136	2.55114	2.417813	-9.39455
0.971136	2.563557	2.476768	-9.25629
0.971136	2.575554	2.503679	-9.11787
0.971136	2.59924	2.530142	-8.97955
0.971136	2.611774	2.530142	-8.84135
0.979489	2.6224	2.557136	-8.70335
0.979489	2.633794	2.58299	-8.56582
0.979489	2.643014	2.608753	-8.42882
0.979489	2.6535	2.655539	-8.15753
0.979489	2.662396	2.676383	-8.02373
0.971835	2.672152	2.676383	-7.8913
0.971835	2.680177	2.715037	-7.76028
0.971835	2.688393	2.733003	-7.63078
0.971835	2.695469	2.752544	-7.50321
0.953164	2.701684	2.770072	-7.37731
0.950157	2.706954	2.80398	-7.13098
0.947528	2.711453	2.819293	-7.13098
0.947528	2.718428	2.834744	-7.01079
0.947528	2.722015	2.848456	-6.77751
0.947528	2.724318	2.861064	-6.66413
0.940757	2.727606	2.871205	-6.55308
0.940757	2.729261	2.880988	-6.44427
0.940757	2.730105	2.896368	-6.33751
0.940757	2.729329	2.896368	-6.23311
0.93993	2.729064	2.906401	-6.13085

0.93993	2.726702	2.910703	-6.03072
0.93993	2.725525	2.914557	-5.93266
0.93993	2.72281	2.917419	-5.74302
0.93993	2.720258	2.920096	-5.65113
0.947156	2.716108	2.923006	-5.56087
0.947156	2.712665	2.92401	-5.47245
0.947156	2.707961	2.926174	-5.30073
0.947156	2.696156	2.925026	-5.13521
0.961592	2.689882	2.922289	-5.13521
0.961592	2.683123	2.918689	-5.05462
0.961592	2.6751	2.914109	-4.97538
0.961592	2.666022	2.9084	-4.89749
0.965202	2.657651	2.900776	-4.82075
0.964098	2.6475	2.891611	-4.74506
0.964098	2.624457	2.879624	-4.67033
0.964098	2.613231	2.868188	-4.59658
0.959023	2.600297	2.853195	-4.45177
0.959023	2.587479	2.836993	-4.38051
0.959023	2.57363	2.818159	-4.30999
0.959023	2.560165	2.774617	-4.24026
0.957145	2.53254	2.750281	-4.10302
0.957145	2.517568	2.723742	-4.10302
0.957145	2.501734	2.694405	-4.0352
0.957145	2.485711	2.665162	-3.90115
0.957145	2.469145	2.63479	-3.90115
0.957145	2.452096	2.603614	-3.83471
0.964496	2.434635	2.537494	-3.7029
0.964496	2.417444	2.503163	-3.63772
0.964496	2.400213	2.467364	-3.57284
0.964496	2.381523	2.429416	-3.50803
0.979094	2.363071	2.388487	-3.4436
0.979094	2.323707	2.346539	-3.37931
0.979094	2.323707	2.302874	-3.31536
0.979094	2.264617	2.256268	-3.2515
0.982898	2.244161	2.156254	-3.12391
0.982898	2.244161	2.106608	-3.06033
0.982898	2.222311	2.05564	-2.99658
0.982898	2.179025	2.00342	-2.93304
0.975821	2.157287	1.951449	-2.86939
0.975821	2.136988	1.844211	-2.80565
0.975821	2.114262	1.789916	-2.74169
0.975821	2.090464	1.73308	-2.6777
0.975258	2.067658	1.675162	-2.61342

0.977199	2.045951	1.615661	-2.48395
0.977199	2.022478	1.496982	-2.41894
0.977199	1.999572	1.496982	-2.28836
0.978616	1.953318	1.434283	-2.22266
0.978616	1.929244	1.369767	-2.1565
0.978616	1.905428	1.238397	-2.1565
0.970719	1.882006	1.171456	-2.08997
0.970719	1.857582	1.105104	-1.95532
0.970719	1.832006	1.038681	-1.88721
0.970719	1.806817	0.971493	-1.81849
0.970719	1.780413	0.902919	-1.74919
0.967519	1.755251	0.833348	-1.67961
0.967649	1.70375	0.763015	-1.60927
0.96815	1.678173	0.624576	-1.53827
0.96815	1.625567	0.553297	-1.46677
0.96815	1.59879	0.480923	-1.39485
0.96815	1.59879	0.337593	-1.32235
0.971917	1.546776	0.337593	-1.17583
0.971917	1.52023	0.263899	-1.10183
0.971917	1.494273	0.115095	-1.02742
0.971917	1.46932	0.039602	-0.95262
0.966486	1.443245	-0.03702	-0.87733
0.966486	1.417818	-0.11387	-0.80166
0.966486	1.390977	-0.19156	-0.72569
0.966486	1.365272	-0.26785	-0.64928
0.966486	1.314913	-0.34604	-0.49547
0.966486	1.290025	-0.42305	-0.41802
0.97236	1.240442	-0.57749	-0.34042
0.974622	1.189612	-0.65479	-0.26258
0.974622	1.165033	-0.73178	-0.18462
0.974622	1.140936	-0.8071	-0.10647
0.974622	1.116935	-0.9555	-0.0282
0.983759	1.093447	-0.9555	0.050189
0.983759	1.069114	-1.10432	0.12854
0.983759	1.04467	-1.24912	0.20697
0.983759	1.020276	-1.32017	0.28534
0.983759	0.997244	-1.39178	0.363688
0.978198	0.949448	-1.4639	0.442017
0.978198	0.925908	-1.53513	0.598428
0.978198	0.902292	-1.60615	0.676375
0.978198	0.878812	-1.6781	0.754225
0.964783	0.854599	-1.74888	0.831902
0.961867	0.830143	-1.82017	0.909288

0.961867	0.805005	-1.96106	1.063337
0.961867	0.780711	-2.02852	1.140044
0.955386	0.73253	-2.09646	1.216345
0.955386	0.709798	-2.16194	1.292271
0.955386	0.686105	-2.22592	1.367816
0.955386	0.662039	-2.41083	1.442766
0.955386	0.639022	-2.41083	1.517256
0.95207	0.615647	-2.52636	1.664569
0.95207	0.591882	-2.58331	1.664569
0.95207	0.57034	-2.63961	1.737448
0.95207	0.546509	-2.69517	1.809636
0.957999	0.52342	-2.74826	1.952245
0.957999	0.47578	-2.80052	2.022578
0.957999	0.47578	-2.85131	2.092297
0.957999	0.43081	-2.95086	2.16136
0.968798	0.408192	-2.99787	2.229628
0.969527	0.385734	-3.04492	2.297267
0.969527	0.363409	-3.08974	2.364057
0.968505	0.341766	-3.13358	2.430103
0.968505	0.31965	-3.21464	2.495369
0.968505	0.297877	-3.25323	2.623463
0.968505	0.251038	-3.28955	2.686368
0.968505	0.228392	-3.324	2.748331
0.970816	0.206023	-3.35723	2.809331
0.970816	0.184546	-3.41465	2.869214
0.970816	0.162193	-3.46486	2.928083
0.980462	0.140347	-3.48894	2.985792
0.981463	0.118453	-3.51132	3.042251
0.981463	0.09601	-3.53292	3.097599
0.981463	0.051666	-3.55196	3.151839
0.981463	0.029629	-3.56975	3.204825
0.979383	0.007373	-3.58862	3.256701
0.979383	-0.03773	-3.61978	3.307533
0.979383	-0.03773	-3.63401	3.405568
0.979383	-0.10446	-3.64551	3.499736
0.971909	-0.12599	-3.65683	3.499736
0.971909	-0.14838	-3.66459	3.54536
0.971909	-0.17021	-3.67141	3.589931
0.971909	-0.19084	-3.68114	3.633419
0.971909	-0.21149	-3.68337	3.675659
0.970332	-0.2326	-3.68415	3.756846
0.970332	-0.25432	-3.68104	3.833981
0.970332	-0.27495	-3.67782	3.833981

0.970332	-0.29658	-3.67194	3.907009
0.970332	-0.31779	-3.668	3.942076
0.973012	-0.36065	-3.66287	3.975954
0.973012	-0.38118	-3.65667	4.00861
0.973012	-0.4007	-3.64886	4.039958
0.965897	-0.42239	-3.64078	4.070325
0.963568	-0.444	-3.63148	4.099337
0.963568	-0.46525	-3.62069	4.127444
0.963568	-0.50637	-3.60838	4.154549
0.963568	-0.52742	-3.59525	4.205425
0.963568	-0.5476	-3.5811	4.229447
0.96426	-0.56757	-3.54976	4.252718
0.96426	-0.5866	-3.53102	4.274909
0.96426	-0.60454	-3.51032	4.296253
0.96426	-0.62362	-3.48725	4.336131
0.967189	-0.64353	-3.4339	4.354832
0.965268	-0.684	-3.40595	4.372809
0.965268	-0.72428	-3.37602	4.40645
0.965268	-0.72428	-3.3451	4.40645
0.965268	-0.74392	-3.31201	4.422055
0.961802	-0.76486	-3.27959	4.436966
0.961802	-0.78503	-3.24466	4.451083
0.961802	-0.80442	-3.21062	4.464551
0.961802	-0.82367	-3.1367	4.489585
0.964278	-0.84286	-3.09877	4.501218
0.964278	-0.86228	-3.05772	4.501218
0.964278	-0.90204	-3.0166	4.522747
0.973771	-0.92228	-2.97352	4.542985
0.973771	-0.94139	-2.88051	4.542985
0.973771	-0.96108	-2.83359	4.561563
0.973771	-0.98071	-2.78407	4.570364
0.973771	-0.99963	-2.73479	4.570364
0.972528	-1.03739	-2.68408	4.578841
0.972528	-1.03739	-2.63263	4.587011
0.972528	-1.05737	-2.58049	4.594896
0.960453	-1.07716	-2.52668	4.610034
0.960453	-1.09662	-2.42035	4.617333
0.960453	-1.11325	-2.36547	4.6245
0.960453	-1.13173	-2.31011	4.631314
0.960453	-1.16855	-2.25376	4.644094
0.955727	-1.16855	-2.19668	4.65005
0.955899	-1.18717	-2.13733	4.655597
0.955899	-1.20501	-2.01768	4.655597

0.955899	-1.22217	-1.89737	4.665566
0.955899	-1.23864	-1.83538	4.669953
0.96027	-1.25608	-1.77551	4.674184
0.96027	-1.28934	-1.71484	4.681788
0.96027	-1.30527	-1.65521	4.685374
0.96027	-1.32063	-1.59474	4.688628
0.969704	-1.33678	-1.5351	4.691582
0.969704	-1.35165	-1.47693	4.69417
0.969704	-1.3674	-1.35971	4.696469
0.969704	-1.38291	-1.30087	4.698547
0.969704	-1.39773	-1.2416	4.700252
0.965925	-1.41274	-1.18133	4.702845
0.965925	-1.42704	-1.11996	4.703749
0.965925	-1.44073	-1.05806	4.704391
0.965925	-1.44073	-0.99559	4.704652
0.951337	-1.45486	-0.93243	4.704178
0.951337	-1.46949	-0.80844	4.704178
0.951337	-1.48247	-0.74506	4.703612
0.951337	-1.50887	-0.68087	4.701327
0.951337	-1.53319	-0.61844	4.699825
0.944117	-1.53319	-0.55642	4.698076
0.944117	-1.54477	-0.49508	4.69648
0.944117	-1.55722	-0.43366	4.69487
0.944117	-1.56947	-0.37245	4.69315
0.944117	-1.57975	-0.31247	4.689367
0.946185	-1.59005	-0.25465	4.687537
0.946185	-1.61079	-0.19798	4.685631
0.946185	-1.61969	-0.14161	4.683667
0.946185	-1.63029	-0.08597	4.681566
0.955561	-1.64878	0.021596	4.679516
0.955561	-1.65833	0.072906	4.677396
0.955561	-1.67742	0.1248	4.675251
0.955561	-1.68648	0.175678	4.671218
0.955561	-1.69415	0.227019	4.669238
0.952102	-1.70348	0.278337	4.667196
0.952102	-1.71206	0.379129	4.665107
0.952102	-1.71968	0.42813	4.662978
0.952102	-1.7271	0.475069	4.660881
0.940271	-1.74244	0.569965	4.658674
0.938927	-1.75008	0.569965	4.656356
0.938927	-1.75835	0.657572	4.653991
0.938927	-1.76428	0.699723	4.651587
0.938927	-1.77212	0.780636	4.649267

0.938927	-1.77967	0.82014	4.646875
0.937282	-1.78747	0.858323	4.644517
0.937282	-1.79392	0.896361	4.639692
0.937282	-1.80062	0.935026	4.637407
0.937282	-1.81231	0.972093	4.635093
0.941555	-1.81805	1.009977	4.632745
0.941555	-1.82452	1.0475	4.627726
0.941555	-1.82452	1.083146	4.625348
0.941555	-1.83568	1.153812	4.622976
0.95087	-1.83568	1.188163	4.620568
0.95087	-1.84177	1.252246	4.617967
0.95087	-1.84995	1.252246	4.615352
0.95087	-1.84995	1.282371	4.609706
0.95087	-1.85266	1.309727	4.609706
0.952013	-1.85512	1.335747	4.606618
0.952013	-1.85604	1.359704	4.600239
0.952013	-1.85631	1.382954	4.596902
0.952013	-1.85585	1.424075	4.59352
0.960129	-1.85234	1.424075	4.590033
0.960102	-1.85234	1.460372	4.582363
0.960102	-1.84958	1.460372	4.578526
0.960102	-1.84587	1.491965	4.574515
0.960102	-1.84185	1.506304	4.570355
0.961556	-1.83625	1.518799	4.566077
0.961556	-1.82965	1.53047	4.561498
0.961556	-1.82295	1.542986	4.556685
0.961556	-1.80728	1.564454	4.55176
0.969806	-1.7987	1.57556	4.546574
0.969806	-1.79016	1.588221	4.535546
0.969806	-1.77059	1.598317	4.529806
0.969806	-1.77059	1.608013	4.523836
0.967362	-1.75849	1.617867	4.517568
0.967362	-1.73439	1.625728	4.51103
0.967362	-1.73439	1.633433	4.504222
0.967362	-1.72007	1.644556	4.497021
0.967362	-1.70569	1.647877	4.489612
0.957486	-1.67403	1.651276	4.473806
0.957486	-1.67403	1.655035	4.465623
0.957486	-1.65555	1.657646	4.457199
0.957486	-1.61651	1.658771	4.448455
0.957486	-1.59618	1.659015	4.439351
0.957486	-1.5735	1.659223	4.43009
0.95735	-1.55029	1.659275	4.420249

0.95735	-1.4998	1.658436	4.410084
0.95735	-1.47235	1.656874	4.39938
0.95735	-1.44294	1.654523	4.388194
0.963128	-1.41423	1.652325	4.376548
0.961995	-1.38483	1.649551	4.364482
0.961995	-1.35441	1.644374	4.35202
0.961995	-1.28898	1.6378	4.325842
0.961995	-1.22065	1.63039	4.312266
0.960108	-1.22065	1.621954	4.298311
0.960108	-1.14849	1.612623	4.284003
0.960108	-1.14849	1.602216	4.25409
0.960108	-1.11052	1.591149	4.25409
0.960108	-1.03196	1.57906	4.23866
0.9661	-1.03196	1.553022	4.223006
0.9661	-0.99233	1.537576	4.207176
0.9661	-0.90929	1.52334	4.190821
0.976996	-0.86781	1.505645	4.174156
0.976996	-0.82612	1.487499	4.157204
0.976996	-0.78336	1.46823	4.122304
0.976996	-0.73992	1.427732	4.104457
0.976996	-0.69565	1.408361	4.086351
0.974701	-0.60656	1.387719	4.086351
0.972432	-0.56095	1.347173	4.068
0.972432	-0.46895	1.304026	4.049454
0.972432	-0.46895	1.260102	4.011636
0.972432	-0.42246	1.237477	3.992535
0.961624	-0.37441	1.214233	3.973199
0.961624	-0.32767	1.188978	3.953573
0.961624	-0.28025	1.16358	3.933644
0.961624	-0.23283	1.139298	3.933644
0.95633	-0.13652	1.088692	3.913465
0.95633	-0.08893	1.062968	3.893133
0.95633	-0.03893	1.036491	3.872681
0.95633	0.010936	1.009731	3.85205
0.95633	0.061704	0.959443	3.831343
0.95811	0.212122	0.933438	3.810462
0.95811	0.262009	0.906853	3.768476
0.95811	0.312432	0.880446	3.747385
0.967239	0.36344	0.853688	3.705124
0.967239	0.414049	0.826055	3.705124
0.967239	0.463289	0.79786	3.683893
0.967239	0.514553	0.768775	3.662606
0.965662	0.565877	0.709702	3.620016

0.963533	0.616379	0.680112	3.598725
0.963533	0.717067	0.650894	3.577598
0.963533	0.766964	0.621402	3.556437
0.963533	0.81712	0.592301	3.514279
0.956652	0.915009	0.564365	3.493273
0.956652	0.962487	0.509155	3.451562
0.956652	1.011679	0.482331	3.430804
0.956652	1.060254	0.427754	3.410096
0.956486	1.107589	0.398795	3.389489
0.956486	1.154779	0.36998	3.369019
0.956486	1.201544	0.342072	3.3486
0.956486	1.248892	0.312771	3.328256
0.956486	1.296339	0.282335	3.307998
0.957949	1.3897	0.252705	3.267972
0.957949	1.436007	0.192864	3.248236
0.957949	1.483432	0.162771	3.228647
0.957949	1.529388	0.134684	3.209164
0.946698	1.575544	0.106424	3.189759
0.946698	1.620323	0.051928	3.170497
0.946698	1.66479	0.026257	3.151245
0.946698	1.75241	0.000993	3.132148
0.946698	1.794848	-0.02621	3.113115
0.940338	1.836723	-0.05135	3.094249
0.940338	1.878558	-0.07583	3.07559
0.940338	1.919686	-0.10214	3.057112
0.940338	1.960718	-0.12661	3.0389
0.940338	1.998911	-0.1513	3.003001
0.943292	2.075792	-0.19862	2.985453
0.943292	2.112652	-0.2223	2.968051
0.943292	2.148945	-0.24362	2.950898
0.953572	2.184609	-0.26429	2.917136
0.953572	2.219031	-0.28313	2.884341
0.953572	2.253002	-0.31736	2.884341
0.953572	2.288014	-0.3334	2.868202
0.953572	2.322219	-0.34821	2.852236
0.953572	2.354125	-0.36416	2.836376
0.951217	2.41886	-0.37851	2.805244
0.951217	2.449955	-0.39192	2.789935
0.951217	2.481283	-0.4054	2.759711
0.951217	2.512122	-0.41721	2.74494
0.936957	2.542768	-0.44178	2.74494
0.934833	2.57128	-0.45179	2.71571
0.933086	2.598332	-0.46075	2.71571

0.933086	2.625696	-0.46944	2.686754
0.933086	2.652262	-0.47683	2.672429
0.933086	2.702308	-0.48751	2.658266
0.933086	2.725459	-0.49127	2.64414
0.92997	2.747466	-0.49447	2.630167
0.92997	2.769148	-0.49759	2.6162
0.92997	2.807443	-0.50148	2.602371
0.92997	2.825649	-0.50756	2.588604
0.936117	2.841699	-0.50978	2.574923
0.936117	2.857227	-0.50983	2.561208
0.936117	2.872068	-0.5101	2.561208
0.936117	2.88474	-0.513	2.534113
0.945763	2.897644	-0.51349	2.507407
0.947153	2.90858	-0.51203	2.494234
0.947932	2.918452	-0.51039	2.481165
0.947932	2.92644	-0.50414	2.468127
0.947932	2.940128	-0.50042	2.455199
0.946835	2.943808	-0.49722	2.442405
0.946835	2.947305	-0.49389	2.429665
0.946835	2.948854	-0.49102	2.417042
0.946835	2.950518	-0.48687	2.404527
0.946835	2.948938	-0.48296	2.379622
0.951264	2.945789	-0.47843	2.367358
0.951264	2.941415	-0.4704	2.355184
0.951264	2.935439	-0.46631	2.342912
0.960621	2.926321	-0.45514	2.330619
0.961069	2.915145	-0.45179	2.318315
0.961069	2.887523	-0.44673	2.305898
0.961069	2.87112	-0.43965	2.29352
0.961069	2.852912	-0.43229	2.281076
0.961069	2.810771	-0.42489	2.268527
0.961844	2.786915	-0.41567	2.255874
0.961844	2.761412	-0.40651	2.243161
0.961844	2.734518	-0.38615	2.230451
0.969472	2.705397	-0.37633	2.217622
0.969472	2.644627	-0.3669	2.191623
0.969472	2.612554	-0.35706	2.178547
0.969472	2.5788	-0.34739	2.152295
0.969472	2.54271	-0.33998	2.125653
0.966419	2.507573	-0.33036	2.125653
0.963997	2.46982	-0.32075	2.112316
0.963997	2.429932	-0.30249	2.098862
0.963997	2.387715	-0.30249	2.071798

0.954998	2.303716	-0.28602	2.071798
0.954998	2.216204	-0.27854	2.044378
0.954998	2.216204	-0.27014	2.044378
0.954998	2.169866	-0.26137	2.030684
0.946675	2.074186	-0.24276	2.016869
0.946675	2.025121	-0.23219	2.002994
0.946675	1.975177	-0.22212	1.975211
0.946675	1.924698	-0.21122	1.961332
0.946675	1.872398	-0.19285	1.947465
0.947687	1.821203	-0.18409	1.93358
0.947687	1.769338	-0.17434	1.919706
0.947687	1.715705	-0.16545	1.905802
0.947687	1.661809	-0.15675	1.891977
0.956041	1.55433	-0.14875	1.878132
0.956041	1.500702	-0.13285	1.864306
0.956041	1.446578	-0.12539	1.836726
0.956041	1.391473	-0.11649	1.823034
0.953678	1.337322	-0.1087	1.809243
0.953678	1.283176	-0.09792	1.795507
0.953678	1.230329	-0.08695	1.781679
0.953678	1.123396	-0.07491	1.767852
0.940506	1.069895	-0.06421	1.754003
0.940506	1.016179	-0.04081	1.740108
0.940506	0.911963	-0.02776	1.726167
0.940506	0.911963	-0.01493	1.712209
0.935119	0.810954	-0.00219	1.698207
0.934666	0.810954	0.010296	1.684173
0.934666	0.711404	0.022044	1.670207
0.934666	0.711404	0.033556	1.641948
0.934666	0.616653	0.043277	1.627869
0.934666	0.56936	0.053455	1.613753
0.934666	0.524934	0.062873	1.599668
0.940003	0.481049	0.080967	1.585575
0.940003	0.395791	0.089044	1.57137
0.940003	0.395791	0.097877	1.557187
0.950229	0.313948	0.108536	1.542906
0.950229	0.274052	0.127902	1.514309
0.950229	0.234743	0.138069	1.485623
0.950229	0.197357	0.146848	1.471344
0.94725	0.160817	0.156334	1.456993
0.944842	0.124512	0.164104	1.44259
0.944842	0.089304	0.170924	1.428193
0.944842	0.055253	0.177956	1.413803

0.944842	-0.01011	0.189961	1.399324
0.93684	-0.04253	0.19446	1.384875
0.93684	-0.07344	0.198561	1.370445
0.93684	-0.1031	0.20195	1.355993
0.93684	-0.13159	0.20557	1.341486
0.93684	-0.15959	0.210115	1.298214
0.93684	-0.18749	0.214185	1.28378
0.936072	-0.21404	0.225544	1.269344
0.936072	-0.24013	0.229449	1.255025
0.936072	-0.28866	0.235121	1.240644
0.936072	-0.28866	0.240156	1.226358
0.945587	-0.33315	0.250965	1.212056
0.951508	-0.35422	0.250965	1.197698
0.951508	-0.37353	0.258505	1.169093
0.951508	-0.40937	0.262377	1.154835
0.951508	-0.42598	0.266344	1.140602
0.951508	-0.44087	0.270221	1.126383
0.957066	-0.45622	0.274881	1.11209
0.957066	-0.47089	0.284338	1.097866
0.957066	-0.48409	0.289648	1.083739
0.957066	-0.49432	0.299273	1.069554
0.954615	-0.50456	0.30281	1.055502
0.954615	-0.51392	0.305289	1.041438
0.954615	-0.52228	0.307565	0.999422
0.954615	-0.53578	0.308266	0.985493
0.959422	-0.54052	0.309682	0.985493
0.961489	-0.54336	0.309106	0.95768
0.961489	-0.5463	0.308063	0.943802
0.961489	-0.54671	0.308522	0.930016
0.961489	-0.54676	0.308503	0.902499
0.969161	-0.54532	0.309396	0.902499
0.969161	-0.54258	0.310116	0.888889
0.969161	-0.53993	0.312517	0.875336
0.969161	-0.53518	0.314627	0.861841
0.965732	-0.52995	0.318747	0.848435
0.965732	-0.52406	0.318747	0.821583
0.965732	-0.51471	0.320624	0.808367
0.965732	-0.50741	0.322558	0.795199
0.951541	-0.50016	0.323712	0.781976
0.951541	-0.4899	0.324044	0.768852
0.951541	-0.47101	0.324886	0.755789
0.951541	-0.45952	0.326746	0.74279
0.951541	-0.44867	0.331414	0.716981

0.944762	-0.43733	0.332275	0.70408
0.94453	-0.42489	0.334805	0.691278
0.94453	-0.412	0.336405	0.678447
0.94453	-0.38556	0.33722	0.665712
0.94453	-0.37166	0.338263	0.653071
0.947311	-0.3574	0.337555	0.640422
0.947311	-0.34468	0.336751	0.62778
0.947311	-0.33	0.333235	0.602827
0.947311	-0.31414	0.332008	0.590413
0.954804	-0.29907	0.330712	0.578103
0.954804	-0.28523	0.331188	0.565735
0.954804	-0.27108	0.332876	0.541238
0.950997	-0.25701	0.333836	0.516814
0.950997	-0.22656	0.335866	0.516814
0.950997	-0.21271	0.335857	0.504671
0.950997	-0.19776	0.336199	0.480458
0.950997	-0.18247	0.337483	0.46839
0.951981	-0.16765	0.337701	0.456359
0.953289	-0.15314	0.338508	0.444278
0.953289	-0.13772	0.338222	0.420501
0.953289	-0.1251	0.338252	0.40853
0.953289	-0.0969	0.339062	0.39667
0.954571	-0.08342	0.341773	0.384776
0.954571	-0.07002	0.34434	0.372926
0.954571	-0.05757	0.347371	0.361062
0.946819	-0.04493	0.352521	0.349271
0.946819	-0.03255	0.359238	0.337472
0.946819	-0.02144	0.365903	0.314046
0.946819	-0.01146	0.379988	0.302376
0.946819	-0.00039	0.388561	0.290697
0.946819	0.011151	0.396093	0.279062
0.946379	0.028404	0.405297	0.26745
0.946379	0.036521	0.414962	0.244193
0.946379	0.043437	0.424488	0.220957
0.946379	0.049379	0.431099	0.220957
0.946379	0.055105	0.439668	0.220957
0.958028	0.061193	0.446977	0.197883
0.958028	0.066055	0.463265	0.186407
0.958028	0.07026	0.463265	0.174837
0.973488	0.076571	0.479868	0.151973
0.975147	0.078486	0.486862	0.129069
0.976194	0.079848	0.495231	0.117689
0.976194	0.080369	0.507138	0.10632

0.976194	0.0803	0.514454	0.083654
0.976194	0.080544	0.521606	0.083654
0.975691	0.077717	0.528275	0.072353
0.975691	0.074285	0.535985	0.061219
0.975691	0.071442	0.542356	0.04999
0.967052	0.066707	0.549837	0.038846
0.967052	0.060762	0.557335	0.027714
0.967052	0.054923	0.565117	0.016719
0.967052	0.048087	0.580594	0.005685
0.967052	0.041303	0.587422	-0.01635
0.965749	0.026629	0.596938	-0.02733
0.965749	0.019996	0.600116	-0.03827
0.965749	0.012587	0.602452	-0.04913
0.971837	0.003618	0.602953	-0.06006
0.972132	-0.00421	0.602422	-0.07089
0.972132	-0.01346	0.6013	-0.08164
0.972132	-0.0222	0.598978	-0.09244
0.969108	-0.03235	0.595572	-0.1031
0.969108	-0.05366	0.584566	-0.12433
0.969108	-0.06339	0.578305	-0.14557
0.969108	-0.07475	0.572014	-0.1561
0.969108	-0.08718	0.565557	-0.1561
0.971144	-0.09981	0.558817	-0.17682
0.971144	-0.11177	0.553482	-0.18718
0.971144	-0.13751	0.547478	-0.19736
0.978123	-0.15219	0.540994	-0.20748
0.978097	-0.16605	0.526852	-0.20748
0.978097	-0.18002	0.51926	-0.22744
0.978097	-0.19338	0.510824	-0.23731
0.978097	-0.20816	0.502041	-0.24702
0.978634	-0.22185	0.492212	-0.25671
0.978634	-0.23612	0.482324	-0.27579
0.978634	-0.26376	0.470695	-0.29458
0.978634	-0.27668	0.45855	-0.29458
0.978634	-0.29059	0.447279	-0.31302
0.982049	-0.3033	0.434732	-0.3221
0.982049	-0.31662	0.406039	-0.33112
0.982049	-0.32801	0.390242	-0.33112
0.982049	-0.33882	0.374552	-0.34878
0.969978	-0.34929	0.358205	-0.36631
0.968527	-0.36697	0.341171	-0.36631
0.968527	-0.37531	0.324132	-0.37498
0.968527	-0.389	0.306766	-0.38352

0.968527	-0.39458	0.288978	-0.392
0.966456	-0.39954	0.255819	-0.40026
0.966456	-0.40437	0.238837	-0.41664
0.966456	-0.40895	0.22359	-0.42465
0.966456	-0.41178	0.20588	-0.43251
0.966456	-0.41178	0.18713	-0.44022
0.97218	-0.41413	0.168612	-0.44792
0.97218	-0.41413	0.150168	-0.45543
0.97218	-0.41333	0.131584	-0.47016
0.97218	-0.41217	0.11221	-0.47724
0.986826	-0.40648	0.092328	-0.47724
0.986826	-0.40282	0.0528	-0.48425
0.986826	-0.3981	0.033837	-0.49108
0.986826	-0.39433	0.014292	-0.51757
0.986826	-0.39004	-0.02122	-0.524
0.985988	-0.38382	-0.02122	-0.53032
0.984005	-0.37799	-0.06646	-0.53644
0.984005	-0.37139	-0.08223	-0.54249
0.984005	-0.3635	-0.09749	-0.54839
0.977689	-0.3462	-0.11138	-0.55423
0.977689	-0.33632	-0.12544	-0.56001
0.977689	-0.3275	-0.14046	-0.56565
0.977689	-0.31775	-0.15372	-0.57137
0.977689	-0.29555	-0.16662	-0.57683
0.977353	-0.29555	-0.1941	-0.5822
0.977353	-0.27317	-0.2053	-0.58742
0.977353	-0.27317	-0.21591	-0.59248
0.977353	-0.25035	-0.22615	-0.59744
0.983654	-0.23665	-0.23506	-0.60231
0.983654	-0.2231	-0.24952	-0.60699
0.983654	-0.20864	-0.25477	-0.61614
0.980569	-0.19516	-0.26232	-0.61614
0.980218	-0.18083	-0.26897	-0.62483
0.980238	-0.16667	-0.27595	-0.62905
0.980238	-0.13839	-0.28165	-0.6371
0.980238	-0.12493	-0.29314	-0.64094
0.980238	-0.1124	-0.29812	-0.64836
0.984014	-0.09933	-0.30139	-0.65196
0.984014	-0.08585	-0.30139	-0.65545
0.984014	-0.07303	-0.30752	-0.65888
0.984014	-0.06208	-0.31686	-0.66218
0.993209	-0.03916	-0.32076	-0.66538
0.993209	-0.02961	-0.32369	-0.66843

0.993209	-0.02056	-0.32821	-0.67145
0.993209	-0.01131	-0.32821	-0.67713
0.9966	-0.00251	-0.32991	-0.67987
0.9966	0.0052	-0.33069	-0.68251
0.988852	0.012151	-0.33117	-0.68505
0.984969	0.019073	-0.33023	-0.68748
0.984969	0.028787	-0.33023	-0.68975
0.984969	0.028787	-0.32722	-0.69195
0.984969	0.034522	-0.32605	-0.69399
0.981962	0.037081	-0.32687	-0.69581
0.981962	0.038788	-0.32736	-0.69918
0.981962	0.039607	-0.32688	-0.70072
0.981962	0.037485	-0.32831	-0.70221
0.983155	0.034856	-0.32965	-0.70221
0.983155	0.031469	-0.33289	-0.70467
0.983155	0.02578	-0.33289	-0.70575
0.983155	0.019932	-0.33625	-0.7067
0.988663	0.013009	-0.34021	-0.7067
0.988663	0.006436	-0.34865	-0.70745
0.988663	-0.00204	-0.3522	-0.70805
0.988663	-0.01049	-0.35655	-0.70842
0.988663	-0.02922	-0.36142	-0.70871
0.985298	-0.0391	-0.37368	-0.70892
0.985298	-0.04956	-0.37368	-0.7089
0.985298	-0.06153	-0.38086	-0.70858
0.985298	-0.07266	-0.38508	-0.70826
0.990973	-0.08442	-0.39059	-0.70786
0.993207	-0.09681	-0.39515	-0.70736

Lampiran 2. Data hasil pengujian respons kendali wahana pada lingkungan nyata

Posisi z	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.03788	-0.158	-4.408	0.009
0.03807	-0.158	-4.422	-0.065
0.03797	-0.158	-4.383	-0.036
0.03761	-0.158	-4.398	0.037
0.03721	-0.158	-4.397	0.009
0.03707	-0.158	-4.403	-0.055
0.03699	-0.158	-4.413	-0.056
0.03698	-0.159	-4.403	0.009
0.03722	-0.163	-4.402	-0.001
0.03714	-0.161	-4.408	-0.037
0.03766	-0.169	-4.387	-0.027
0.03855	-0.168	-4.381	0.011
0.04888	-0.152	-4.392	0.001
0.04865	-0.153	-4.404	-0.038
0.04818	-0.164	-4.374	-0.017
0.04772	-0.163	-4.414	-0.01
0.04688	-0.158	-4.413	-0.019
0.04615	-0.166	-4.388	-0.045
0.04544	-0.182	-4.377	-0.045
0.04504	-0.172	-4.393	-0.018
0.04475	-0.143	-4.373	-0.027
0.0443	-0.15	-4.383	-0.036
0.04382	-0.144	-4.387	-0.045
0.04346	-0.154	-4.392	-0.027
0.04357	-0.156	-4.403	-0.018
0.04364	-0.165	-4.393	-0.027
0.04347	-0.162	-4.391	-0.046
0.04312	-0.16	-4.392	-0.036
0.04288	-0.161	-4.391	-0.027
0.04313	-0.166	-4.401	-0.027
0.04317	-0.172	-4.411	-0.055
0.04287	-0.153	-4.401	-0.037
0.0423	-0.162	-4.392	-0.036
0.04196	-0.171	-4.391	-0.036
0.04193	-0.171	-4.395	-0.045
0.04171	-0.181	-4.378	-0.045
0.04151	-0.182	-4.382	-0.045
0.04141	-0.172	-4.39	-0.044
0.04165	-0.172	-4.391	-0.045

0.04211	-0.161	-4.387	-0.045
0.04243	-0.181	-4.421	-0.046
0.04242	-0.186	-4.407	-0.046
0.04222	-0.155	-4.397	-0.055
0.04225	-0.17	-4.396	-0.064
0.04254	-0.191	-4.41	-0.046
0.04316	-0.181	-4.383	-0.064
0.04386	-0.166	-4.387	-0.073
0.04386	-0.174	-4.406	-0.073
0.04342	-0.167	-4.407	-0.055
0.04294	-0.166	-4.386	-0.045
0.04249	-0.176	-4.403	-0.074
0.04223	-0.183	-4.397	-0.083
0.04234	-0.15	-4.397	-0.064
0.04219	-0.165	-4.396	-0.045
0.04221	-0.176	-4.41	-0.055
0.04257	-0.167	-4.417	-0.102
0.04239	-0.176	-4.421	-0.083
0.0422	-0.151	-4.411	-0.046
0.04219	-0.156	-4.401	-0.055
0.0424	-0.166	-4.396	-0.082
0.0428	-0.176	-4.378	-0.091
0.0432	-0.182	-4.372	-0.062
0.04348	-0.157	-4.381	-0.062
0.04391	-0.173	-4.395	-0.1
0.04381	-0.173	-4.401	-0.1
0.04344	-0.172	-4.41	-0.073
0.04304	-0.175	-4.41	-0.064
0.04282	-0.154	-4.412	-0.101
0.0427	-0.169	-4.397	-0.119
0.04251	-0.179	-4.392	-0.1
0.04219	-0.185	-4.372	-0.072
0.04185	-0.17	-4.393	-0.111
0.04154	-0.182	-4.408	-0.129
0.04124	-0.182	-4.402	-0.11
0.04089	-0.161	-4.383	-0.073
0.04075	-0.154	-4.378	-0.1
0.04074	-0.16	-4.377	-0.109
0.04055	-0.169	-4.377	-0.109
0.04033	-0.15	-4.403	-0.073
0.04004	-0.145	-4.387	-0.109
0.0396	-0.16	-4.385	-0.155
0.03934	-0.15	-4.41	-0.156

0.03912	-0.143	-4.415	-0.128
0.03905	-0.163	-4.386	-0.127
0.03893	-0.163	-4.375	-0.136
0.03863	-0.151	-4.366	-0.154
0.03818	-0.154	-4.342	-0.163
0.03794	-0.172	-4.35	-0.172
0.03781	-0.179	-4.349	-0.19
0.0258	-0.176	-4.371	-0.182
0.02565	-0.163	-4.354	-0.182
0.02519	-0.182	-4.313	-0.171
0.02496	-0.171	-4.273	-0.169
0.02521	-0.154	-4.267	-0.196
0.02543	-0.174	-4.245	-0.194
0.02577	-0.183	-4.211	-0.193
0.0256	-0.165	-4.053	-0.179
0.02509	-0.134	-3.983	-0.155
0.02467	-0.141	-3.86	-0.112
0.02468	-0.148	-3.716	-0.067
0.02554	-0.161	-3.576	-0.022
0.02652	-0.179	-3.231	0.092
0.03771	-0.171	-2.996	0.18
0.0383	-0.169	-2.757	0.278
0.04898	-0.238	-2.472	0.355
0.04859	-0.343	-2.276	0.423
0.04786	-0.466	-2.141	0.518
0.0473	-0.648	-2.165	0.564
0.04701	-0.805	-2.24	0.629
0.04651	-0.885	-2.295	0.684
0.03509	-0.951	-2.308	0.749
0.02365	-0.971	-2.36	0.832
0.02301	-1.054	-2.363	0.878
0.0228	-1.286	-2.404	0.922
0.02346	-1.458	-2.573	0.984
0.03384	-1.614	-2.822	1.054
0.03371	-1.779	-3.239	1.203
0.03365	-1.895	-3.499	1.316
0.03393	-2.08	-3.798	1.429
0.04473	-2.105	-4.053	1.532
0.04512	-2.08	-4.169	1.591
0.05662	-2.022	-4.118	1.666
0.06757	-2.007	-4.069	1.716
0.09035	-2	-4.021	1.729
0.10243	-2.033	-3.96	1.741

0.12448	-2.069	-3.986	1.742
0.13638	-2.043	-4.204	1.74
0.15833	-2.021	-4.444	1.728
0.18101	-2.083	-4.643	1.707
0.19221	-2.223	-4.872	1.674
0.22733	-2.353	-5.082	1.64
0.25001	-2.467	-5.338	1.555
0.26176	-2.554	-5.452	1.504
0.27297	-2.7	-5.455	1.438
0.28455	-2.794	-5.356	1.367
0.29644	-2.848	-5.163	1.282
0.31922	-2.85	-4.676	1.142
0.34002	-2.796	-4.28	1.052
0.34043	-2.629	-3.849	0.99
0.34078	-2.534	-3.435	0.925
0.34108	-2.457	-3.049	0.858
0.37768	-2.41	-2.584	0.753
0.42543	-2.358	-2.375	0.69
0.42615	-2.311	-2.249	0.644
0.42645	-2.309	-2.2	0.599
0.42624	-2.346	-2.208	0.554
0.42633	-2.425	-2.319	0.499
0.43768	-2.527	-2.424	0.482
0.4491	-2.73	-2.557	0.465
0.44997	-2.914	-2.714	0.456
0.44978	-3.11	-2.906	0.465
0.44931	-3.269	-3.202	0.5
0.44961	-3.418	-3.385	0.543
0.46382	-3.571	-3.552	0.594
0.46402	-3.63	-3.7	0.652
0.4534	-3.647	-3.804	0.721
0.45324	-3.606	-3.857	0.823
0.45298	-3.519	-3.828	0.893
0.44194	-3.308	-3.776	0.946
0.46486	-3.137	-3.72	0.991
0.49153	-2.935	-3.665	1.017
0.51634	-2.711	-3.61	1.063
0.52301	-2.489	-3.528	1.137
0.5228	-2.174	-3.502	1.192
0.52346	-1.999	-3.48	1.256
0.53384	-1.861	-3.464	1.311
0.53371	-1.763	-3.466	1.393
0.53365	-1.664	-3.533	1.473

0.53393	-1.61	-3.55	1.526
0.53673	-1.579	-3.549	1.56
0.53912	-1.593	-3.544	1.586
0.54662	-1.612	-3.542	1.591
0.54757	-1.626	-3.528	1.633
0.54035	-1.653	-3.586	1.645
0.540228	-1.672	-3.719	1.656
0.550131	-1.605	-3.893	1.667
0.550131	-1.506	-4.12	1.666
0.550131	-1.412	-4.443	1.666
0.550131	-1.278	-4.628	1.654
0.575939	-1.018	-4.762	1.645
0.575939	-0.836	-4.838	1.633
0.607942	-0.7	-4.894	1.615
0.607942	-0.603	-4.866	1.543
0.607942	-0.571	-4.804	1.51
0.62461	-0.669	-3.158	2.307
0.636008	-0.806	-4.188	1.983
0.636008	-1.013	-5.028	1.638
0.636008	-1.294	-6.847	0.825
0.636008	-1.682	-7.276	0.585
0.636008	-2.318	-7.502	0.238
0.662682	-2.703	-7.432	0.038
0.662682	-0.954	-7.166	-0.148
0.662682	-1.04	-6.767	-0.337
0.692679	-1.084	-6.286	-0.495
0.692679	-1.34	-4.878	-0.827
0.692679	-1.427	-4.455	-0.922
0.692679	-1.458	-4.21	-1.015
0.692679	-1.57	-4.189	-1.089
0.714598	-1.72	-4.259	-1.086
0.714598	-1.92	-4.387	-1.048
0.714598	-2.175	-4.466	-0.982
0.728388	-2.996	-4.492	-0.89
0.728388	-3.366	-4.44	-0.716
0.728388	-3.731	-4.286	-0.581
0.728388	-4.497	-4.145	-0.417
0.750646	-4.76	-4.014	-0.256
0.750646	-4.955	-3.869	-0.075
0.750646	-5.072	-3.769	0.158
0.750646	-5.078	-3.736	0.312
0.777041	-4.9	-3.767	0.447
0.777041	-4.654	-3.824	0.683

0.777041	-4.379	-3.964	0.84
0.777041	-4.041	-4.057	0.943
0.790012	-3.716	-4.149	1.019
0.790779	-3.306	-4.134	1.106
0.790779	-3.143	-4.053	1.192
0.790779	-3.055	-3.758	1.276
0.790779	-3.091	-3.534	1.348
0.792986	-3.322	-3.261	1.4
0.792986	-3.592	-2.994	1.462
0.792986	-3.916	-2.754	1.531
0.792986	-4.265	-2.448	1.573
0.792986	-4.623	-2.259	1.607
0.803365	-4.93	-2.044	1.624
0.806476	-5.014	-1.779	1.631
0.806476	-4.993	-1.466	1.619
0.806476	-4.904	-1.115	1.608
0.806476	-4.747	-1.033	1.581
0.806476	-4.354	-1.123	1.555
0.827179	-3.993	-1.348	1.521
0.827179	-3.599	-1.671	1.487
0.827179	-3.21	-2.277	1.398
0.848066	-2.86	-2.702	1.335
0.852251	-2.497	-3.224	1.282
0.855825	-2.375	-3.733	1.238
0.855825	-2.319	-4.13	1.185
0.855825	-2.307	-4.522	1.055
0.855825	-2.368	-4.39	0.977
0.864051	-2.63	-4.15	0.896
0.864051	-2.924	-3.798	0.813
0.864051	-3.292	-3.406	0.71
0.864051	-3.698	-2.657	0.594
0.865017	-4.078	-2.166	0.516
0.865017	-4.808	-1.773	0.45
0.865017	-4.972	-1.496	0.394
0.865017	-5.07	-1.428	0.349
0.870729	-5.035	-1.584	0.293
0.875753	-4.852	-1.847	0.244
0.875753	-4.319	-2.304	0.196
0.875753	-3.836	-2.941	0.147
0.875753	-3.299	-3.577	0.1
0.888278	-2.737	-4.693	0.019
0.888278	-2.175	-5.458	-0.023
0.888278	-1.414	-6.233	-0.081

0.888278	-0.91	-6.92	-0.107
0.892892	-0.453	-7.521	-0.16
0.892892	-0.026	-8.079	-0.173
0.892892	0.327	-8.235	-0.172
0.892892	0.73	-8.13	-0.155
0.890193	0.91	-7.892	-0.124
0.890673	1.045	-7.609	-0.079
0.890673	1.113	-7.345	-0.021
0.890673	1.174	-7.25	0.019
0.890673	1.188	-7.305	0.058
0.89631	1.219	-7.216	0.106
0.89631	1.257	-7.042	0.167
0.89631	1.375	-6.676	0.281
0.89631	1.491	-6.438	0.338
0.908258	1.52	-6.22	0.422
0.908258	1.446	-6.06	0.51
0.908258	1.325	-6.087	0.586
0.908258	1.255	-6.296	0.714
0.911038	1.242	-6.617	0.786
0.912615	1.184	-6.967	0.851
0.912615	1.118	-7.318	0.921
0.912615	1.049	-7.649	0.976
0.912615	0.965	-7.953	1.085
0.918415	0.855	-8.016	1.166
0.918415	0.567	-7.949	1.27
0.918415	0.31	-7.783	1.382
0.917146	0.159	-7.482	1.495
0.917146	0.073	-7.126	1.655
0.917146	0.088	-6.917	1.725
0.917146	0.132	-6.762	1.791
0.917146	0.196	-6.548	1.826
0.923301	0.206	-6.379	1.842
0.925655	0.226	-6.178	1.865
0.925655	0.235	-6.087	1.87
0.925655	0.286	-6.056	1.881
0.925655	0.274	-6.102	1.887
0.935384	0.252	-6.143	1.891
0.935384	0.202	-6.177	1.909
0.935384	0.109	-6.172	1.907
0.935384	-0.11	-6.17	1.893
0.93493	-0.32	-6.106	1.864
0.935572	-0.527	-6.059	1.815
0.935572	-0.716	-6.013	1.741

0.935572	-0.89	-5.969	1.692
0.935572	-1.143	-5.952	1.659
0.963008	-1.291	-5.943	1.617
0.939397	-1.41	-5.935	1.575
0.926986	-1.497	-5.928	1.55
0.930725	-1.569	-5.944	1.513
0.934478	-1.685	-5.981	1.415
0.941729	-1.774	-6.091	1.375
0.949423	-1.84	-6.18	1.352
0.953047	-1.892	-6.271	1.357
0.960842	-1.969	-6.321	1.365
0.968449	-2.037	-6.326	1.399
0.976271	-2.032	-6.219	1.426
0.979932	-1.862	-6.033	1.443
0.987295	-1.652	-5.755	1.456
0.995162	-1.406	-5.415	1.464
1.003191	-1.186	-4.784	1.459
1.010658	-1.028	-4.299	1.454
1.017936	-0.98	-3.776	1.452
1.02581	-1.06	-3.27	1.45
1.038278	-1.232	-2.811	1.44
1.042244	-1.478	-2.219	1.467
1.042467	-1.803	-1.941	1.476
1.046192	-2.456	-1.745	1.496
1.053785	-2.945	-1.657	1.555
1.057453	-3.465	-1.664	1.574
1.061178	-3.961	-1.814	1.662
1.061422	-4.438	-2.024	1.734
1.06514	-5.051	-2.298	1.841
1.068991	-5.397	-2.623	1.919
1.072709	-5.621	-2.985	2.027
1.076259	-5.738	-3.521	2.155
1.076252	-5.758	-3.853	2.262
1.07613	-5.506	-4.102	2.304
1.075947	-5.224	-4.295	2.375
1.079984	-4.826	-4.41	2.41
1.08375	-4.398	-4.444	2.46
1.078999	-3.885	-4.367	2.481
1.075267	-3.198	-4.241	2.532
1.068148	-2.768	-4.049	2.532
1.060552	-2.432	-3.825	2.558
1.056756	-2.107	-3.497	2.549
1.05299	-1.906	-3.293	2.525

1.049349	-1.772	-3.145	2.525
1.045688	-1.799	-3.06	2.505
1.042112	-1.902	-3.04	2.492
1.038373	-2.065	-3.101	2.477
1.026043	-2.21	-3.221	2.48
1.021919	-2.438	-3.387	2.498
1.01456	-2.441	-3.571	2.511
1.006842	-2.335	-3.742	2.515
1.003231	-2.062	-4.011	2.537
0.995632	-1.647	-4.131	2.532
0.991666	-0.842	-4.207	2.517
0.987884	-0.233	-4.226	2.499
0.984169	0.386	-4.216	2.472
0.976244	0.983	-4.13	2.433
0.972208	1.507	-4.059	2.436
0.964473	2.055	-3.933	2.431
0.964229	2.252	-3.798	2.433
0.960534	2.314	-3.677	2.46
0.952908	2.257	-3.485	2.476
0.952654	2.035	-3.369	2.491
0.952532	1.472	-3.301	2.512
0.952434	0.947	-3.306	2.546
0.948952	0.378	-3.383	2.587
0.948804	-0.189	-3.518	2.669
0.944713	-0.709	-3.811	2.766
0.944496	-1.251	-4.057	2.828
0.944429	-1.453	-4.31	2.87
0.944307	-1.526	-4.58	2.909
0.944412	-1.478	-4.785	2.932
0.944503	-1.317	-5.07	2.975
0.944263	-1.085	-5.192	2.999
0.94069	-0.592	-5.269	3.024
0.944466	-0.217	-5.307	3.043
0.948553	0.172	-5.242	3.061
0.95213	0.494	-5.04	3.031
0.952059	0.809	-4.901	3.028
0.951886	1.125	-4.74	3
0.951883	1.23	-4.593	2.98
0.955608	1.201	-4.472	2.946
0.955838	1.086	-4.417	2.905
0.959628	0.953	-4.402	2.855
0.963539	0.668	-4.428	2.8
0.967251	0.45	-4.491	2.751

0.97099	0.215	-4.59	2.687
0.974803	-0.027	-4.807	2.613
0.978572	-0.257	-4.942	2.56
0.982165	-0.568	-5.089	2.532
0.989548	-0.659	-5.243	2.503
0.989758	-0.691	-5.371	2.468
0.990049	-0.611	-5.492	2.434
0.993974	-0.431	-5.496	2.388
0.997628	-0.074	-5.438	2.36
0.997869	0.207	-5.309	2.303
0.998187	0.515	-5.128	2.291
1.001817	0.794	-4.784	2.257
1.005468	1.015	-4.519	2.256
1.005603	1.223	-4.229	2.253
1.005857	1.229	-3.944	2.256
1.006179	1.157	-3.637	2.253
1.00647	0.983	-3.246	2.261
1.006788	0.684	-3.072	2.239
1.007129	0.119	-3.005	2.215
1.010669	-0.311	-3.038	2.197
1.010865	-0.753	-3.17	2.187
1.011071	-1.19	-3.511	2.208
1.011325	-1.601	-3.823	2.246
1.015101	-2.107	-4.132	2.28
1.015206	-2.347	-4.428	2.301
1.015321	-2.508	-4.665	2.321
1.015087	-2.581	-4.858	2.319
1.011518	-2.6	-4.868	2.309
1.011616	-2.477	-4.823	2.304
1.011707	-2.342	-4.742	2.304
1.011768	-2.102	-4.66	2.287
1.008121	-1.835	-4.573	2.256
1.000917	-1.528	-4.504	2.237
1.000775	-1.065	-4.423	2.21
1.000552	-0.778	-4.336	2.155
1.000281	-0.554	-4.3	2.099
0.996667	-0.421	-4.319	1.997
0.996427	-0.352	-4.387	1.944
0.992786	-0.411	-4.482	1.889
0.992671	-0.548	-4.585	1.859
0.988943	-0.747	-4.681	1.8
0.988746	-0.96	-4.777	1.711
0.988422	-1.159	-4.797	1.615

0.988121	-1.412	-4.784	1.52
0.987934	-1.526	-4.748	1.426
0.987745	-1.619	-4.697	1.333
0.987549	-1.634	-4.637	1.234
0.983837	-1.572	-4.406	1.099
0.979601	-1.41	-4.226	0.999
0.976014	-1.254	-4.009	0.899
0.975784	-1.081	-3.774	0.782
0.975432	-0.89	-3.598	0.662
0.975192	-0.748	-3.451	0.496
0.975002	-0.694	-3.497	0.406
0.97483	-0.708	-3.638	0.312
0.974613	-0.772	-3.865	0.224
0.970969	-0.858	-4.094	0.143
0.974309	-0.978	-4.532	0.024
0.974048	-1.103	-4.836	-0.066
0.966107	-1.25	-5.091	-0.138
0.965914	-1.346	-5.28	-0.226
0.965684	-1.381	-5.408	-0.303
0.962013	-1.389	-5.48	-0.417
0.965918	-1.333	-5.427	-0.456
0.96991	-1.144	-5.283	-0.509
0.969822	-0.958	-5.131	-0.551
0.969636	-0.759	-4.919	-0.589
0.969612	-0.568	-4.604	-0.667
0.969775	-0.402	-4.356	-0.72
0.96967	-0.17	-4.134	-0.764
0.969437	-0.03	-3.949	-0.81
0.969173	0.098	-3.793	-0.828
0.969108	0.191	-3.586	-0.863
0.969274	0.279	-3.494	-0.866
0.96946	0.327	-3.409	-0.889
0.973676	0.338	-3.345	-0.895
0.973957	0.307	-3.28	-0.893
0.974217	0.233	-3.295	-0.847
0.974549	0.137	-3.36	-0.803
0.974772	-0.03	-3.491	-0.742
0.975094	-0.127	-3.623	-0.661
0.978775	-0.199	-3.781	-0.571
0.978971	-0.254	-4.037	-0.425
0.982805	-0.254	-4.202	-0.315
0.986439	-0.261	-4.318	-0.183
0.986452	-0.262	-4.396	-0.032

0.990689	-0.308	-4.427	0.14
0.99415	-0.4	-4.349	0.399
0.990184	-0.534	-4.233	0.571
0.990144	-0.816	-4.062	0.742
0.990343	-1.046	-3.908	0.911
0.994008	-1.328	-3.785	1.07
0.994279	-1.632	-3.668	1.318
0.99794	-1.958	-3.631	1.473
1.001648	-2.43	-3.64	1.626
1.001773	-2.713	-3.659	1.769
1.001668	-2.976	-3.703	1.893
1.001611	-3.214	-3.798	2.068
1.001499	-3.391	-3.849	2.154
1.001343	-3.58	-3.885	2.239
1.001076	-3.62	-3.909	2.298
1.000778	-3.595	-3.919	2.367
1.000521	-3.481	-3.94	2.418
1.000234	-3.31	-3.965	2.425
0.99998	-2.991	-4.026	2.415
1.003654	-2.77	-4.104	2.37
1.0038	-2.562	-4.197	2.308
1.000213	-2.372	-4.335	2.186
0.996525	-2.221	-4.42	2.09
0.992218	-2.07	-4.26679	-0.07378
0.991981	-2.023	-4.2747	-0.34268
0.988357	-2.054	-4.28338	-0.35185
0.988225	-2.126	-4.33815	-0.50674
0.988016	-2.283	-4.37564	-0.74665
0.987769	-2.593	-4.45867	-0.76186
0.987498	-2.838	-4.65166	-0.93387
0.98744	-2.04019	-4.65974	-1.15587
0.987562	-2.47749	-4.72511	-1.2673
0.983938	-2.88363	-4.89598	-1.52871
0.983996	-2.59901	-4.97041	-1.7644
0.98407	-2.11741	-4.28077	-1.87974
0.983874	-2.71823	-3.87225	-2.38522
0.98358	-2.57939	-4.10967	-2.74833
0.97979	-3.07954	-4.19749	-3.10148
0.979628	-3.51639	-3.52658	-3.17017
0.979689	-4.13404	-3.67573	-3.46654
0.983526	-4.97076	-3.31621	-3.56157
0.983482	-5.51212	-4.03927	-3.60092
0.979178	-6.34078	-4.05356	-4.03899

0.979229	-6.85922	-4.5681	-3.93433
0.979503	-7.36611	-4.78054	-4.53862
0.979814	-7.83864	-5.05063	-4.57458
0.979973	-8.59767	-5.19952	-4.76417
0.976075	-9.01718	-5.99393	-4.66245
0.972363	-9.83295	-6.11179	-5.19402
0.972367	-10.3406	-6.58664	-5.28749
0.972475	-10.7264	-7.50829	-5.3825
0.976305	-11.0888	-7.59207	-5.56383
0.976112	-11.7953	-7.67352	-5.7875
0.975919	-12.2966	-8.52724	-5.86076
0.975699	-12.6167	-8.95668	-6.05528
0.971896	-13.0278	-9.48051	-6.00704
0.971971	-13.8033	-10.2085	-6.24345
0.975652	-14.1963	-10.182	-6.21091
0.975571	-14.6043	-10.9326	-6.83437
0.975551	-14.8961	-11.6003	-6.78631
0.979492	-15.2523	-11.4856	-7.23011
0.979655	-15.6779	-12.4699	-7.42069
0.975946	-15.9586	-13.143	-7.9887
0.975906	-16.3947	-12.596	-7.86485
0.979618	-16.5346	-13.4373	-8.02634
0.979807	-17.1004	-13.686	-8.52179
0.980007	-17.2876	-14.4894	-8.85244
0.983634	-17.6644	-14.7008	-8.76195
0.983526	-17.9678	-14.7614	-9.51257
0.983326	-18.334	-14.3165	-10.0561
0.983174	-18.6289	-16.3171	-10.2825
0.983252	-18.8176	-16.9372	-10.3425
0.986973	-18.6411	-17.557	-10.4104
0.994556	-19.8106	-16.1912	-11.438
0.990259	-20.1855	-17.3807	-11.3634
0.986317	-20.3363	-17.2416	-11.793
0.986314	-20.8329	-17.7458	-12.4148
0.986486	-21.6072	-19.4829	-12.3043
0.986703	-21.9597	-18.5964	-11.8956
0.987004	-22.4415	-19.9972	-12.1703
0.987342	-22.5404	-19.5137	-13.4739
0.987647	-22.2276	-20.8222	-12.7881
0.98789	-22.4736	-19.5397	-13.9013
0.991836	-22.8961	-20.1372	-13.814
0.995564	-23.071	-21.7184	-13.7767
0.995591	-23.6126	-21.2948	-14.3355

0.995652	-23.2705	-21.4454	-13.5236
0.995635	-23.7843	-21.8713	-14.3307
0.991981	-23.7678	-21.5507	-14.2912
0.991802	-23.2787	-23.0113	-15.0419
0.991501	-22.9512	-23.8225	-13.904
0.987789	-23.3505	-23.6871	-13.9983
0.987677	-23.3638	-23.3675	-15.0802
0.987687	-23.1538	-22.6621	-14.9152
0.987566	-23.3036	-23.6042	-15.1395
0.983938	-23.3736	-24.7026	-15.6976
0.983769	-23.5044	-24.2732	-14.6205
0.983627	-23.5125	-25.9528	-15.4128
0.983779	-23.4987	-25.8032	-15.4685
0.987437	-23.45	-24.2271	-15.6401
0.987271	-23.3942	-25.8911	-15.6525
0.983441	-23.3021	-25.6053	-15.2663
0.983549	-22.967	-24.2664	-16.1455
0.983705	-22.7102	-25.1521	-16.0386
0.983752	-22.4002	-25.386	-16.4613
0.983661	-22.039	-26.2254	-17.0054
0.983397	-21.5477	-25.427	-16.0407
0.983224	-21.3782	-25.9751	-16.1512
0.983113	-21.0096	-24.8731	-17.5842
0.982937	-20.3895	-24.7576	-18.2421
0.982758	-20.1367	-25.0905	-17.4787
0.982761	-19.4083	-23.1549	-17.9557
0.982785	-19.0256	-22.6361	-18.3974
0.982707	-18.5177	-23.1898	-17.7605
0.978701	-18.1122	-23.4105	-17.5543
0.978474	-17.6037	-20.887	-18.724
0.978711	-17.069	-21.6241	-18.2095
0.978927	-16.5547	-22.1749	-19.0483
0.975172	-15.8018	-20.4723	-20.1258
0.975124	-15.3841	-20.7023	-19.9956
0.97891	-14.8664	-20.2097	-19.5658
0.979063	-14.1524	-19.8674	-20.45
0.978944	-13.8927	-17.8876	-20.1576
0.979157	-13.1856	-18.7434	-21.244
0.979283	-12.6588	-18.1204	-20.9309
0.975307	-12.1583	-16.7724	-21.0487
0.975114	-11.5369	-17.8941	-21.4931
0.974857	-10.8101	-15.8174	-21.1773
0.974806	-10.4277	-16.2379	-21.1072

0.974935	-9.78768	-15.6715	-21.7718
0.974887	-9.35727	-15.8065	-21.928
0.974769	-8.92758	-15.596	-21.9809
0.974833	-8.58042	-14.5947	-22.0779
0.974891	-8.15171	-13.5916	-22.6916
0.974948	-7.50539	-12.7907	-22.9258
0.974911	-7.03696	-12.6942	-22.3913
0.974843	-6.63505	-12.3791	-22.2638
0.97842	-6.31784	-12.0673	-22.1931
0.978484	-5.69259	-12.084	-23.5529
0.978356	-5.38037	-11.3533	-23.2567
0.978136	-4.84724	-10.6846	-23.9754
0.977801	-4.57326	-11.0278	-23.6469
0.977628	-4.06118	-9.67724	-24.0288
0.977581	-3.78696	-9.80455	-24.0819
0.977594	-3.28895	-9.24239	-23.9361
0.985312	-2.9654	-9.13481	-24.4984
0.985437	-2.7109	-9.48828	-24.1677
0.98519	-2.26986	-9.28946	-24.4018
0.984923	-2.01135	-8.68199	-24.917
0.984744	-1.83286	-8.32756	-24.5434
0.992137	-1.50181	-8.22189	-24.8322
0.995632	-1.33707	-7.18898	-24.4836
0.986002	-1.03897	-7.12817	-24.121
0.98181	-0.68476	-6.61325	-24.175
0.981712	-0.50463	-6.56055	-24.8406
0.981675	-0.29872	-6.52602	-24.753
0.981512	-0.28141	-6.29539	-23.4441
0.981404	-0.21314	-5.74411	-23.2521
0.981533	-0.17843	-5.45729	-23.8117
0.981526	-0.16162	-5.06813	-23.8328
0.981343	-0.11557	-4.91675	-23.2432
0.981194	-0.08554	-4.60761	-23.1989
0.98112	-0.077	-4.47372	-23.1666
0.981252	-0.053	-3.67397	-22.8293
0.984937	-0.051	-3.78471	-23.684
0.984906	0.041	-3.53015	-24.4314
0.984822	0.132	-3.28973	-24.1613
0.984822	0.22	-3.34313	-24.1702
0.984794	0.232	-3.84688	-23.3481
0.984767	0.215	-3.65458	-23.1314
0.984757	0.218	-3.39292	-23.0253
0.984815	0.221	-3.37699	-23.9039

0.985072	0.187	-3.03427	-23.9143
0.988909	0.141	-3.05721	-24.0327
0.988973	0.057	-3.71703	-23.6113
0.988922	-0.031	-4.50033	-24.2616
0.985339	-0.127	-4.38829	-22.2617
0.985339	-0.296	-4.29019	-22.5369
0.989467	-0.418	-3.96433	-22.0212
0.989667	-0.562	-3.89536	-22.0612
0.989515	-0.704	-3.75687	-22.3414
0.986057	-0.861	-4.36395	-22.0144
0.986219	-1.107	-4.29444	-21.9962
0.986249	-1.267	-4.29486	-22.0637
0.986185	-1.393	-4.08827	-22.064
0.986019	-1.478	-4.05024	-21.757
0.985948	-1.503	-4.596	-21.817
0.985958	-1.498	-4.204	-20.8609
0.986057	-1.46	-3.814	-19.864
0.986317	-1.409	-3.467	-20.4981
0.986185	-1.332	-3.133	-20.377
0.982588	-1.24	-3.079	-19.9106
0.982764	-1.114	-3.14	-19.8267
0.982934	-1.054	-3.345	-19.5315
0.982808	-0.991	-3.656	-18.5273
0.982646	-0.917	-4.26	-19.3119
0.982771	-0.862	-4.696	-19.1559
0.982988	-0.768	-5.131	-19.4279
0.982981	-0.715	-5.523	-18.9771
0.982852	-0.647	-5.827	-17.6087
0.982758	-0.588	-6.046	-17.8195
0.982883	-0.504	-6.044	-17.6391
0.98313	-0.368	-5.903	-17.2604
0.982988	-0.28	-5.675	-16.9204
0.979279	-0.203	-5.385	-15.8307
0.979171	-0.161	-4.961	-17.1696
0.979029	-0.155	-4.681	-16.4308
0.978931	-0.21	-4.439	-16.2204
0.978897	-0.274	-4.241	-15.5031
0.978866	-0.344	-4.141	-15.3618
0.978789	-0.44	-4.135	-14.9992
0.97865	-0.551	-4.268	-15.419
0.978339	-0.774	-4.455	-15.6846
0.978068	-0.905	-4.687	-15.0022
0.977902	-1.04	-4.968	-14.98

0.977831	-1.139	-5.271	-14.2658
0.977994	-1.192	-5.721	-14.4899
0.97796	-1.203	-5.996	-13.4998
0.977686	-1.164	-6.199	-13.5976
0.977452	-1.08	-6.334	-12.9764
0.977212	-0.974	-6.336	-12.9522
0.976995	-0.837	-6.104	-12.461
0.976762	-0.716	-5.848	-12.5837
0.97663	-0.56	-5.524	-12.8033
0.97665	-0.524	-5.141	-12.4208
0.97683	-0.522	-4.739	-11.9944
0.977066	-0.569	-4.203	-11.6695
0.977154	-0.654	-3.966	-11.7704
0.977195	-0.809	-3.816	-11.5506
0.977368	-0.894	-3.781	-11.1778
0.981296	-0.964	-3.856	-10.7855
0.984693	-1.04	-4.241	-9.97228
0.980914	-1.161	-4.614	-9.82811
0.980849	-1.34	-5.024	-10.2833
0.980798	-1.45	-5.409	-10.0408
0.980826	-1.522	-5.749	-9.87552
0.980974	-1.598	-6.137	-9.35773
0.984703	-1.644	-6.288	-9.11496
0.985011	-1.677	-6.312	-8.87024
0.98518	-1.665	-6.22	-8.74945
0.985238	-1.686	-6.011	-7.85952
0.985251	-1.71	-5.494	-8.07159
0.985322	-1.745	-5.066	-7.57263
0.985495	-1.85	-4.603	-7.34412
0.985722	-1.936	-4.139	-7.63845
0.985921	-2.002	-3.675	-6.99717
0.985992	-2.037	-3.111	-7.02562
0.986019	-2.087	-2.879	-7.11591
0.986016	-2.141	-2.763	-6.89402
0.986097	-2.201	-2.783	-6.46225
0.989978	-2.263	-2.922	-6.45714
0.990022	-2.333	-3.326	-6.31088
0.989914	-2.393	-3.748	-5.89406
0.989613	-2.419	-4.237	-5.70456
0.98606	-2.394	-4.745	-5.64808
0.986101	-2.346	-5.247	-5.71948
0.986161	-2.284	-5.929	-5.25025
0.986314	-2.17	-6.258	-5.06621

0.989907	-1.936	-6.44	-5.15407
0.990009	-1.724	-6.427	-5.19672
0.989954	-1.493	-6.291	-4.81568
0.989921	-1.274	-5.798	-4.88706
0.989826	-1.069	-5.334	-4.40754
0.989741	-0.851	-4.808	-4.43594
0.989525	-0.742	-4.271	-4.42969
0.985969	-0.708	-3.739	-4.07142
0.98989	-0.734	-3.041	-4.01134
0.989836	-0.808	-2.745	-3.98991
0.98609	-1.067	-2.629	-3.77433
0.986019	-1.296	-2.715	-3.53443
0.990042	-1.559	-2.956	-3.6736
0.990232	-1.776	-3.561	-3.44709
0.990276	-1.945	-4.054	-3.50192
0.982142	-2.078	-4.577	-3.27503
0.981878	-2.061	-5.05	-3.10107
0.981712	-1.966	-5.442	-2.91936
0.981509	-1.786	-5.839	-2.83164
0.977333	-1.54	-5.955	-2.79165
0.977161	-1.13	-5.96	-2.67029
0.976867	-0.859	-5.84	-2.63973
0.973405	-0.625	-5.639	-2.70827
0.973659	-0.417	-5.361	-2.45577
0.97391	-0.265	-5.068	-2.39813
0.977516	-0.162	-4.63	-2.21782
0.977347	-0.193	-4.401	-2.231
0.977313	-0.298	-4.25	-2.1724
0.985336	-0.472	-4.11	-1.8822
0.985535	-0.702	-4.026	-1.83009
0.985698	-0.915	-4.016	-1.64458
0.981939	-1.121	-4.077	-1.53515
0.977895	-1.393	-4.189	-1.41795
0.974133	-1.546	-4.325	-1.34889
0.97393	-1.627	-4.464	-1.16742
0.973778	-1.634	-4.697	-1.06806
0.973774	-1.621	-4.827	-0.99506
0.973913	-1.521	-4.93	-0.90591
0.974069	-1.453	-4.959	-0.7103
0.974004	-1.37	-4.915	-0.6405
0.973872	-1.304	-4.693	-0.43249
0.973947	-1.253	-4.505	-0.26072
0.97417	-1.161	-4.254	-0.11053

0.974468	-1.098	-3.952	-0.02737
0.974735	-1.058	-3.637	1.259
0.974823	-1.071	-3.272	1.26
0.975026	-1.117	-3.135	1.255
0.975337	-1.246	-3.057	1.24
0.975662	-1.392	-3.042	1.205
0.983086	-1.572	-3.101	1.17
0.98291	-1.766	-3.243	1.125
0.978328	-1.945	-3.336	1.097
0.978318	-2.228	-3.391	1.077
0.978538	-2.413	-3.403	1.04
0.978782	-2.604	-3.394	1.001
0.982392	-2.761	-3.355	0.951
0.982599	-2.885	-3.303	0.939
0.982612	-3.012	-3.235	0.926
0.982565	-3.036	-3.174	0.922
0.982433	-2.981	-3.102	0.936
0.982209	-2.862	-3.006	0.929
0.982165	-2.696	-2.964	0.924
0.982264	-2.319	-2.973	0.928
0.982304	-2.025	-3.019	0.941
0.982223	-1.691	-3.089	0.964
0.982115	-1.342	-3.2	0.978
0.981973	-0.993	-3.282	0.968
0.981922	-0.482	-3.334	0.952
0.982006	-0.18	-3.351	0.929
0.981949	0.073	-3.31	0.918
0.981851	0.247	-3.124	0.915
0.981834	0.349	-2.902	0.916
0.981807	0.368	-2.634	0.916
0.98178	0.291	-2.321	0.931
0.981719	0.153	-1.985	0.942
0.981712	-0.087	-1.489	1.004
0.981773	-0.356	-1.193	1.065
0.981786	-0.865	-0.956	1.144
0.981891	-1.222	-0.813	1.224
0.985447	-1.59	-0.771	1.315
0.985288	-1.903	-1.012	1.474
0.981668	-2.155	-1.355	1.593
0.981763	-2.457	-1.804	1.719
0.981969	-2.583	-2.308	1.841
0.982067	-2.605	-2.83	1.939
0.981912	-2.532	-3.332	2.026

0.981682	-2.394	-3.95	2.117
0.981543	-2.04	-4.247	2.201
0.981553	-1.776	-4.422	2.28
0.981512	-1.508	-4.491	2.391
0.981472	-1.287	-4.429	2.498
0.981611	-1.143	-4.175	2.645
0.981922	-1.052	-3.947	2.725
0.985678	-1.083	-3.693	2.796
0.985678	-1.196	-3.432	2.873
0.985498	-1.371	-3.214	2.931
0.985478	-1.571	-2.943	3.016
0.985732	-1.777	-2.79	3.054
0.985823	-2.047	-2.67	3.063
0.985583	-2.213	-2.592	3.064
0.982064	-2.346	-2.554	3.064
0.981976	-2.449	-2.561	3.073
0.981912	-2.57	-2.642	3.073
0.981881	-2.716	-2.77	3.054
0.981935	-2.794	-2.941	3.026
0.982138	-2.835	-3.173	2.978
0.98587	-2.871	-3.543	2.872
0.985789	-2.902	-3.8	2.802
0.985468	-2.922	-4.076	2.713
0.985295	-2.912	-4.28	2.626
0.985265	-2.881	-4.455	2.522
0.981506	-2.825	-4.622	2.341
0.981408	-2.711	-4.684	2.207
0.98135	-2.486	-4.71	2.064
0.981479	-2.324	-4.729	1.921
0.981533	-2.217	-4.757	1.787
0.98136	-2.133	-4.786	1.551
0.981259	-2.134	-4.779	1.405
0.981228	-2.21	-4.785	1.248
0.981164	-2.302	-4.774	1.107
0.981228	-2.394	-4.761	0.975
0.981269	-2.466	-4.755	0.782
0.981205	-2.539	-4.788	0.654
0.98113	-2.529	-4.824	0.534
0.980886	-2.459	-4.855	0.407
0.977232	-2.315	-4.907	0.298
0.977107	-2.12	-4.992	0.131
0.977036	-1.9	-5.068	0.045
0.9771	-1.491	-5.141	-0.05

0.977131	-1.187	-5.208	-0.125
0.977093	-0.898	-5.257	-0.201
0.977043	-0.648	-5.243	-0.264
0.976914	-0.445	-5.143	-0.289
0.976759	-0.258	-5.006	-0.295
0.980511	-0.227	-4.828	-0.309
0.984165	-0.235	-4.612	-0.323
0.98022	-0.258	-4.197	-0.295
0.980101	-0.259	-3.936	-0.27
0.979882	-0.24	-3.759	-0.229
0.979783	-0.187	-3.648	-0.219
0.97999	-0.1	-3.63	-0.202
0.980196	0.034	-3.795	-0.221
0.980257	0.181	-4.015	-0.231
0.980514	0.443	-4.301	-0.245
0.980778	0.588	-4.609	-0.258
0.980738	0.721	-4.922	-0.282
0.980829	0.819	-5.33	-0.329
0.984439	0.895	-5.51	-0.355
0.984449	0.971	-5.609	-0.368
0.984436	0.993	-5.634	-0.358
0.984378	0.97	-5.595	-0.344
0.984155	0.91	-5.461	-0.315
0.983996	0.865	-5.242	-0.3
0.983844	0.763	-4.837	-0.284
0.983729	0.715	-4.557	-0.269
0.987826	0.652	-4.326	-0.239
0.988026	0.6	-4.141	-0.222
0.987961	0.548	-4.045	-0.199
0.987985	0.479	-3.982	-0.204
0.988313	0.412	-4.041	-0.214
0.988229	0.315	-4.131	-0.223
0.987968	0.288	-4.283	-0.225
0.987708	0.257	-4.468	-0.237
0.987495	0.237	-4.744	-0.267
0.987176	0.22	-4.889	-0.286
0.986929	0.176	-4.997	-0.313
0.986781	0.106	-5.047	-0.339
0.986723	0	-5.033	-0.363
0.986632	-0.137	-4.864	-0.39
0.986615	-0.301	-4.691	-0.421
0.986804	-0.562	-4.473	-0.451
0.987048	-0.732	-4.221	-0.49

0.987322	-0.869	-3.983	-0.512
0.987434	-0.981	-3.68	-0.523
0.987319	-1.084	-3.578	-0.521
0.987156	-1.143	-3.554	-0.53
0.987319	-1.133	-3.625	-0.541
0.990895	-1.069	-3.756	-0.562
0.990821	-0.998	-4.078	-0.577
0.986943	-0.933	-4.301	-0.599
0.983428	-0.869	-4.499	-0.609
0.983424	-0.846	-4.627	-0.627
0.983512	-0.839	-4.701	-0.651
0.983813	-0.869	-4.653	-0.697
0.984067	-0.914	-4.578	-0.708
0.984141	-1.044	-4.47	-0.71
0.984091	-1.175	-4.384	-0.697
0.984077	-1.365	-4.322	-0.676
0.984013	-1.558	-4.284	-0.637
0.983864	-1.762	-4.33	-0.629
0.983827	-2.049	-4.475	-0.616
0.98384	-2.251	-4.665	-0.604
0.983735	-2.426	-4.913	-0.584
0.983482	-2.564	-5.322	-0.553
0.983187	-2.654	-5.573	-0.544
0.982971	-2.696	-5.742	-0.559
0.98292	-2.676	-5.843	-0.552
0.98293	-2.598	-5.875	-0.543
0.986669	-2.52	-5.829	-0.521
0.986662	-2.456	-5.716	-0.506
0.986754	-2.366	-5.545	-0.499
0.99101	-2.328	-5.349	-0.52
0.991068	-2.331	-5.146	-0.521
0.991074	-2.374	-4.892	-0.522
0.990997	-2.402	-4.77	-0.518
0.985874	-2.479	-4.69	-0.526
0.982436	-2.52	-4.647	-0.525
0.98247	-2.556	-4.642	-0.545
0.982626	-2.583	-4.736	-0.56
0.982626	-2.636	-4.844	-0.567
0.978369	-2.715	-4.983	-0.558
0.974742	-2.745	-5.113	-0.549
0.974569	-2.748	-5.259	-0.552
0.974312	-2.729	-5.386	-0.573
0.974001	-2.669	-5.494	-0.604

0.973663	-2.497	-5.53	-0.608
0.973338	-2.322	-5.54	-0.609
0.973091	-2.13	-5.482	-0.614
0.972864	-1.937	-5.357	-0.613
0.972708	-1.721	-5.112	-0.622
0.97262	-1.502	-4.93	-0.636
0.972478	-1.271	-4.745	-0.633
0.972397	-1.204	-4.571	-0.641
0.972313	-1.195	-4.398	-0.631
0.972245	-1.245	-4.145	-0.649
0.972181	-1.369	-4.022	-0.655
0.972164	-1.642	-3.946	-0.663
0.972137	-1.88	-3.948	-0.654
0.972143	-2.138	-4.019	-0.638
0.972211	-2.397	-4.237	-0.628
0.972306	-2.636	-4.465	-0.629
0.972529	-2.888	-4.754	-0.633
0.976183	-2.993	-5.048	-0.622
0.976329	-3.011	-5.301	-0.611
0.980074	-2.992	-5.587	-0.605
0.984097	-2.903	-5.673	-0.623
0.987681	-2.663	-5.656	-0.643
0.983438	-2.414	-5.532	-0.674
0.983137	-2.149	-5.353	-0.682
0.982876	-1.89	-4.967	-0.698
0.982906	-1.638	-4.654	-0.711
0.990574	-1.348	-4.321	-0.726
0.982944	-1.21	-4.028	-0.746
0.975297	-1.169	-3.764	-0.749
0.975236	-1.172	-3.483	-0.747
0.975216	-1.242	-3.365	-0.776
0.975263	-1.404	-3.326	-0.808
0.975263	-1.533	-3.367	-0.842
0.975199	-1.605	-3.452	-0.867
0.975172	-1.616	-3.643	-0.914
0.975175	-1.565	-3.844	-0.947
0.975175	-1.354	-4.06	-0.988
0.975178	-1.141	-4.254	-1.032
0.975182	-0.879	-4.451	-1.045
0.975266	-0.614	-4.723	-1.053
0.9755	-0.412	-4.86	-1.044
0.979168	-0.247	-4.898	-1.042
0.979374	-0.276	-4.845	-1.004

0.979448	-0.431	-4.709	-0.958
0.979563	-0.742	-4.379	-0.847
0.979699	-1.154	-4.089	-0.771
0.979905	-1.879	-3.751	-0.678
0.983644	-2.371	-3.41	-0.587
0.983759	-2.846	-3.126	-0.479
0.983857	-3.28	-2.827	-0.279
0.983945	-3.618	-2.747	-0.154
0.984121	-3.948	-2.774	-0.02
0.984344	-4.002	-2.941	0.104
0.984524	-3.923	-3.212	0.225
0.984666	-3.689	-3.788	0.413
0.984923	-3.361	-4.225	0.521
0.985251	-2.789	-4.663	0.601
0.988875	-2.417	-5.061	0.684
0.989017	-2.084	-5.392	0.749
0.989081	-1.808	-5.736	0.872
0.989085	-1.655	-5.832	0.936
0.989014	-1.586	-5.798	0.986
0.989132	-1.643	-5.664	1.028
0.99279	-1.745	-5.454	1.053
0.992722	-1.898	-5.163	1.068
0.992658	-2.071	-4.632	1.088
0.992428	-2.327	-4.269	1.103
0.992221	-2.468	-3.945	1.098
0.995821	-2.561	-3.656	1.063
0.995906	-2.6	-3.436	1.019
0.996024	-2.566	-3.233	0.955
0.992313	-2.479	-3.192	0.917
0.988188	-2.265	-3.232	0.868
0.987857	-2.101	-3.34	0.789
0.987532	-1.906	-3.511	0.71
0.98405	-1.699	-3.884	0.574
0.984155	-1.508	-4.179	0.496
0.98407	-1.239	-4.471	0.407
0.983732	-1.091	-4.743	0.321
0.980149	-0.929	-4.971	0.237
0.979895	-0.774	-5.239	0.128
0.979621	-0.639	-5.322	0.073
0.979408	-0.416	-5.302	0.035
0.975554	-0.277	-5.159	-0.007
0.971879	-0.166	-4.953	-0.037
0.971717	-0.118	-4.518	-0.075

0.968019	-0.106	-4.203	-0.077
0.967914	-0.215	-3.88	-0.092
0.967745	-0.334	-3.571	-0.109
0.967559	-0.505	-3.28	-0.121
0.96744	-0.67	-2.994	-0.125
0.967464	-0.87	-2.884	-0.106
0.967592	-1.189	-2.921	-0.09
0.96786	-1.4	-3.047	-0.058
0.968015	-1.571	-3.194	-0.038
0.967975	-1.703	-3.538	0
0.971649	-1.803	-3.785	0.022
0.971734	-1.843	-4.029	0.062
0.971724	-1.789	-4.261	0.104
0.971808	-1.649	-4.455	0.138
0.975419	-1.442	-4.613	0.174
0.975557	-1.172	-4.656	0.219
0.975655	-0.755	-4.59	0.271
0.975612	-0.474	-4.411	0.328
0.975781	-0.242	-4.124	0.37
0.982856	-0.085	-3.569	0.429
0.982815	0.022	-3.177	0.469
0.982656	0.071	-2.839	0.524
0.982829	0.042	-2.571	0.574
0.986246	-0.044	-2.384	0.631
0.982521	-0.159	-2.288	0.673
0.982358	-0.264	-2.342	0.705
0.982463	-0.42	-2.48	0.733
0.982517	-0.475	-2.695	0.757
0.982534	-0.485	-2.964	0.749
0.986324	-0.427	-3.452	0.721
0.986537	-0.311	-3.817	0.692
0.986625	0	-4.189	0.676
0.98649	0.263	-4.516	0.665
0.986334	0.568	-4.807	0.632
0.986219	0.856	-5.058	0.595
0.986107	1.134	-5.122	0.59
0.986101	1.423	-5.068	0.609
0.986134	1.51	-4.939	0.627
0.986199	1.447	-4.682	0.675
0.990496	1.273	-4.334	0.711
0.990624	0.989	-3.693	0.768
0.986913	0.426	-3.269	0.833
0.986875	-0.022	-2.874	0.893

0.986929	-0.45	-2.553	0.952
0.99057	-0.832	-2.35	0.998
0.990604	-1.148	-2.271	1.052
0.990431	-1.365	-2.384	1.094
0.990181	-1.526	-2.625	1.133
0.990025	-1.543	-2.948	1.162
0.986101	-1.517	-3.307	1.169
0.986046	-1.439	-3.841	1.208
0.985952	-1.326	-4.121	1.236
0.985789	-1.11	-4.33	1.256
0.985525	-0.972	-4.437	1.282
0.985282	-0.837	-4.462	1.32
0.985021	-0.734	-4.371	1.364
0.984778	-0.674	-4.234	1.399
0.984581	-0.652	-4.019	1.427
0.984372	-0.684	-3.737	1.463
0.984074	-0.74	-3.423	1.499
0.98384	-0.815	-2.993	1.553
0.983678	-0.913	-2.717	1.566
0.983387	-1.09	-2.513	1.595
0.983055	-1.212	-2.385	1.614
0.982737	-1.335	-2.36	1.641
0.982825	-1.423	-2.563	1.664
0.983065	-1.472	-2.834	1.687
0.982832	-1.5	-3.185	1.706
0.979117	-1.473	-3.589	1.72
0.979036	-1.434	-3.983	1.725
0.978866	-1.366	-4.472	1.713
0.978772	-1.315	-4.718	1.71
0.978606	-1.221	-4.89	1.72
0.978298	-1.154	-4.964	1.724
0.974552	-1.075	-4.954	1.725
0.974627	-1.007	-4.759	1.727
0.974827	-0.902	-4.558	1.73
0.978498	-0.782	-4.32	1.733
0.978501	-0.707	-4.081	1.737
0.974827	-0.676	-3.855	1.749
0.974762	-0.633	-3.638	1.75
0.974786	-0.642	-3.564	1.763
0.974583	-0.702	-3.581	1.774
0.974407	-0.821	-3.695	1.772
0.974366	-0.961	-3.878	1.759
0.974265	-1.156	-4.261	1.727

0.974187	-1.377	-4.559	1.678
0.974025	-1.654	-4.866	1.618
0.973808	-1.796	-5.148	1.549
0.973595	-1.882	-5.396	1.471
0.97347	-1.933	-5.652	1.345
0.973612	-1.892	-5.74	1.255
0.973903	-1.741	-5.771	1.17
0.97419	-1.596	-5.76	1.059
0.974272	-1.46	-5.691	0.972
0.974089	-1.327	-5.613	0.816
0.974048	-1.185	-5.575	0.714
0.974021	-1.006	-5.558	0.585
0.97391	-0.911	-5.562	0.466
0.973849	-0.846	-5.553	0.349
0.973998	-0.796	-5.544	0.231
0.974187	-0.785	-5.536	0.052
0.974116	-0.861	-5.564	-0.061
0.973937	-0.998	-5.575	-0.156
0.973845	-1.18	-5.612	-0.237
0.977662	-1.419	-5.666	-0.311
0.982003	-1.687	-5.768	-0.428
0.982044	-1.965	-5.846	-0.472
0.98179	-2.359	-5.929	-0.52
0.981485	-2.57	-5.991	-0.548
0.977784	-2.741	-6.007	-0.565
0.977868	-2.845	-5.947	-0.618
0.982247	-2.872	-5.842	-0.644
0.982301	-2.736	-5.726	-0.669
0.982189	-2.577	-5.569	-0.66
0.982064	-2.348	-5.397	-0.659
0.981915	-2.138	-5.13	-0.679
0.981705	-1.94	-4.968	-0.687
0.981502	-1.695	-4.852	-0.679
0.981468	-1.581	-4.782	-0.674
0.981384	-1.541	-4.783	-0.673
0.981269	-1.583	-4.83	-0.675
0.981418	-1.683	-4.92	-0.67
0.98156	-1.919	-5.046	-0.649
0.981408	-2.085	-5.196	-0.611
0.981299	-2.239	-5.336	-0.571
0.977209	-2.363	-5.518	-0.497
0.976941	-2.418	-5.587	-0.454
0.973331	-2.387	-5.612	-0.382

0.973321	-2.31	-5.543	-0.306
0.973284	-2.231	-5.388	-0.218
0.973162	-2.141	-5.046	-0.069
0.973054	-2.069	-4.778	0.048
0.972976	-2.027	-4.486	0.175
0.972864	-2.025	-4.19	0.302
0.972796	-2.025	-3.908	0.456
0.972851	-2.012	-3.531	0.646
0.972942	-2.018	-3.343	0.768
0.976721	-1.999	-3.262	0.878
0.976735	-1.98	-3.296	0.997
0.976664	-1.964	-3.426	1.113
0.976468	-1.986	-3.746	1.291
0.976268	-2.025	-4.025	1.377
0.976092	-2.115	-4.332	1.471
0.972357	-2.155	-4.624	1.536
0.972143	-2.204	-4.888	1.592
0.968574	-2.259	-5.179	1.634
0.9683	-2.289	-5.267	1.664
0.967978	-2.354	-5.287	1.687
0.964385	-2.398	-5.239	1.693
0.96425	-2.446	-5.114	1.682
0.963962	-2.453	-4.885	1.636
0.960413	-2.446	-4.719	1.602
0.960446	-2.363	-4.598	1.557
0.96071	-2.273	-4.509	1.523
0.957036	-2.132	-4.449	1.451
0.956948	-1.963	-4.432	1.354
0.953179	-1.766	-4.484	1.281
0.949338	-1.473	-4.567	1.219
0.949166	-1.291	-4.641	1.147
0.948946	-1.163	-4.737	1.056
0.94521	-1.098	-4.842	0.91
0.941556	-1.055	-4.927	0.808
0.941326	-1.12	-5.015	0.724
0.937645	-1.203	-5.107	0.611
0.937479	-1.323	-5.205	0.516
0.93375	-1.432	-5.272	0.41
0.933825	-1.523	-5.361	0.291
0.930099	-1.623	-5.37	0.213
0.926418	-1.667	-5.345	0.136
0.926239	-1.692	-5.269	0.06
0.922524	-1.667	-5.156	-0.013

