

Analisis Kenyamanan Berkendara Kereta Api Menggunakan Sensor IMU Pada Smartphone

Ridho Dwi Pangestu¹, Bayu Erfianto², Rizka Reza Pahlevi³

^{1,2} Universitas Telkom, Bandung

¹ridhodwipangestu@students.telkomuniversity.ac.id, ²erfianto@telkomuniversity.ac.id,

³rizkarezapahlevi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kereta api merupakan alat transportasi umum yang sering digunakan oleh masyarakat Indonesia. Kereta api sering juga digunakan untuk perjalanan jauh seperti perjalanan dari kota Solo menuju kota Yogyakarta. Salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam transportasi kereta api ini adalah kenyamanan pengguna. Salah satu kenyamanan yang sering terganggu dalam kereta api adalah ketika kereta melalui jalur perjalanan yang menanjak, berbelok, dan menurun. Kenyamanan berkendara adalah salah satu evaluasi utama untuk tingkat getaran penumpang. Dengan demikian, penilaian kenyamanan berkendara penting untuk menjaga dan memantau layanan yang ditawarkan oleh perusahaan kereta api. Selain itu, penyediaan tingkat kenyamanan pada transportasi publik untuk penumpang menjadi salah satu ukuran yang penting untuk menarik penumpang. Untuk mengetahui hal tersebut dapat diketahui melalui sensor IMU pada smartphone yang biasa digunakan oleh masyarakat. Sensor Accelerometer digunakan untuk mendapatkan sumbu nilai X, Y, Z, sedangkan sensor Gyroscope digunakan untuk menstabilkan nilai sensor Accelerometer. Sensor GPS digunakan untuk mendapatkan lokasi kereta saat tidak nyaman terjadi, kemudian sensor-sensor tersebut di baca dan di simpan melalui smartphone. Sensor-sensor tersebut akan di filter menggunakan Low-Pass filter, High-Pass filter melalui smartphone, kemudian sensor-sensor tersebut di filter kembali menggunakan Complementary filter, Savitzky-Golai filter, pitch and roll filter melalui komputer. Hasil output sensor yang sudah di filter tersebut menjadi data tingkat kenyamanan, dan data tersebut akan di jadikan peta Getaran dan indeks fuzzy logic.

Kata Kunci: *IMU, Accelerometer, Gyroscope, low-pass filters, high-pass filter, Savitzky-Golay filter, pitch and roll filter, Fuzzy logic.*

Abstract

The train is a public transportation that is often used by the people of Indonesia. Trains are often also used for long trips such as the city of Solo to the city of Yogyakarta. One aspect that must be considered in train transportation is user convenience. One comfort that is often disrupted in trains is when a train travels uphill, turns and decreases. User comfort is one of the main evaluations for passenger vibration levels. Thus, the assessment of train passengers comfort is important to maintain and monitor the services offered by the railroad company. In addition, the provision of comfort levels on public transportation for passengers is one important measure to attract passengers. To find out this can be known through the IMU sensor on a smartphone. The Accelerometer sensor is used to get the X, Y, Z axis value, while the Gyroscope sensor is used to stabilize the Accelerometer sensor value. GPS sensor is used to get train locations when inconvenience occurs. After that the sensors read and stored via a smartphone. The sensors will be filtered using a low-pass filter, a high-pass filter via a smartphone. The sensors will be filtered using a Savitzky-Golai filter, a pitch and roll filter via a computer. The filtered sensor output results into comfort level data, and the data will be made into a Vibration map and fuzzy logic index.

Keywords : *IMU, Accelerometer, Gyroscope, low-pass filters, high-pass filter, Savitzky-Golay filter, pitch and roll filter, Fuzzy logic.*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia terdapat banyak transportasi umum yang bisa digunakan masyarakat, salah satu nya transportasi kereta api. Pada saat ini kereta api menjadi salah satu transportasi yang digemari oleh banyak masyarakat Indonesia. Berdasarkan data PT Kereta Api Indonesia terdapat peningkatan jumlah penumpang sebanyak 2%, dari 207 juta penumpang menjadi 210,7 juta penumpang. Hal tersebut menjadi salah satu bukti bahwa moda transportasi kereta api semakin diminati oleh masyarakat. Kenyamanan pada saat menggunakan mode transportasi kereta api merupakan hal yang penting. Namun pada saat

ini belum terdapat alat yang bisa digunakan untuk mendeteksi tingkat kenyamanan masyarakat pada saat menggunakan mode transportasi kereta api. pada jaman sekarang ini perkembangan teknologi sangat cepat. Kecanggihan teknologi dan perkembangan penggunaan smartphone pada saat ini bisa dimanfaatkan dalam berbagai hal, salah satunya digunakan untuk mendeteksi tingkat kenyamanan penumpang pada saat menggunakan mode transportasi kereta api, Kenyamanan berkendara penumpang sangat penting Ini menentukan kepuasan penumpang selama perjalanan [2].

Kenyamanan berkendara adalah salah satu evaluasi utama untuk tingkat getaran penumpang. Dengan demikian, penilaian kenyamanan berkendara penting untuk menjaga dan memantau layanan yang ditawarkan oleh perusahaan kereta api Selain itu penyediaan tingkat kenyamanan pada transportasi publik untuk penumpang menjadi salah satu ukuran yg penting untuk menarik penumpang [7].

Dalam Tugas Akhir ini, penulis bertujuan untuk mengukur tingkat kenyamanan penumpang kereta api dengan menggunakan aplikasi pada smartphone untuk merekam atau menangkap getaran pada kereta api dan untuk mengetahui tingkat getaran pada kereta api. Getaran tersebut dapat digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan penumpang kereta api menggunakan sensor accelerometer dan gyroscope yang lebih terintegrasi dengan GPS. Saat merekam smartphone ditempatkan di kabin kereta api pada titik tetap sehingga tidak ada gerakan relatif antara kereta api dan sensor accelerometer dan gyroscope. dari kumpulan data ini, indeks tingkat kenyamanan diperkenalkan, yang digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan yang dialami selama perjalanan kereta api. Berdasarkan indeks ini, dengan menggunakan teknik regresi logistik, ditunjukkan bahwa untuk jalur perlintasan rel tertentu, tingkat kenyamanan penumpang dapat diprediksi dengan akurasi yang wajar (biasanya > 80%)[1]. Analisis ini dapat membantu dalam peningkatan tingkat kenyamanan penumpang kereta api, serta dapat digunakan pada saat melakukan pengujian sistem transportasi baru[1].

1.2. Topik dan Batasannya

Topik pada penelitian ini adalah membangun suatu sistem untuk mengukur tingkat kenyamanan penumpang Kereta Api menggunakan sensor IMU. Pengembangan sistem ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi pendeteksian tingkat kenyamanan pada penumpang kereta api dengan menggunakan sensor *IMU* dan melakukan analisis dari hasil output yang sudah difilter menggunakan *Loss-Pass filter*, *High-Pass filter*, *Complementary filter*, *Savitzky-Golai filter*, *pitch and roll filter* Berdasarkan topik tersebut, terdapat beberapa batasan masalah yaitu :

1. Kenyamanan penumpang ketika kereta berbelok.
2. Kenyamanan penumpang ketika keadaan jalan menanjak.
3. Kenyamanan penumpang ketika keadaan jalan menurun.

1.3. Tujuan

Membangun suatu sistem untuk mengukur dan menganalisis tingkat kenyamanan pada kendaraan kereta api menggunakan *Accelerometer* dan *Gyroscope* yang terdapat pada *smartphone*.

1.4. Organisasi Tulisan

Tugas akhir ini dibuat tersusun dengan struktur sebagai berikut. Pertama merupakan pendahuluan, lalu pada bagian kedua adalah menjelaskan kajian pustaka, selanjutnya akan menjelaskan pemodelan alat, dan pada bagian ketiga akan menjelaskan pengujian dan analisa terhadap alat yang dibangun, lalu bagian terakhir pada tugas akhir ini yaitu bagian kelima menyampaikan penutup mengenai kesimpulan dan saran yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya.

2. Studi Terkait

2.1. Kenyamanan

Kenyamanan adalah ketika penumpang mengalami efek dinamis dari kereta api yang bergerak selama berada di lintasan rel yang menurun, berbelok, menanjak. Kendaraan kereta api dimodelkan sebagai memiliki dua set roda[8]. roda tersebut terdapat munculnya getaran pada kereta, serta pada saat melewati jembatan atau terowongan.

Faktor utama yang berkontribusi pada kenyamanan berkendara kereta api. Getaran adalah getaran lokal atau getaran yang mempengaruhi seluruh tubuh. Getaran yang dilokalisasi terjadi ketika seseorang memegang benda bergetar yang hanya melibatkan lengan dan tangan. Getaran seluruh tubuh adalah hasil dari getaran yang akan

mempengaruhi seluruh tubuh orang yang terpapar, yang biasanya ditransmisikan melalui kursi, sandaran, dan di seluruh tubuh. getaran tersebut berasal dari gesekan yang terjadi pada roda kereta api dengan rel kereta api [9].

Kenyamanan dalam berkendara serta tingkat kenyamanan tempat duduk sudah dilakukan penelitian yang dilakukan oleh para ahli. Penelitian yang dilakukan oleh Cavana dkk (2007) menunjukkan adanya 8 dimensi dari pelayanan yang disediakan kereta api antara lain layanan yang terbaik, jaminan asuransi, empati, bertanggung jawab, kepuasan penumpang, tepat waktu, kenyamanan serta connection. Hasil dari observasi tersebut yaitu produk dan layanan yang diberikan perusahaan kepada penumpang kereta api pada saat melakukan perjalanan terdiri dari kebersihan dan kenyamanan gerbong toilet, kualitas keamanan serta keselamatan, Air Conditioner, konsistensi jadwal, keramahan petugas, kualitas makanan maupun minuman yang disediakan serta banyak hal lainnya [12].

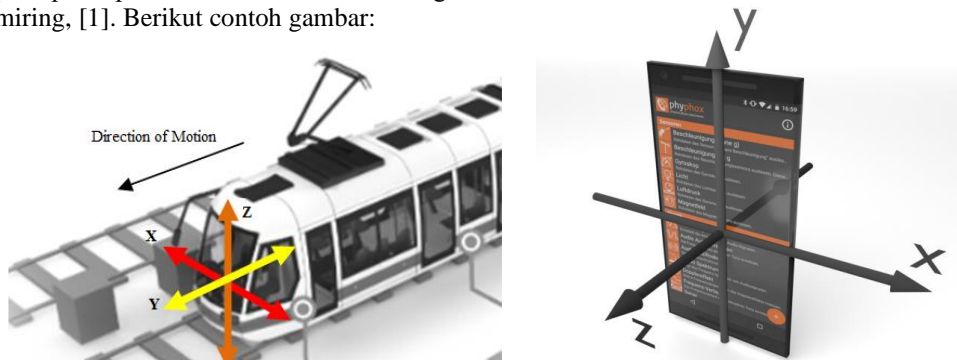
Menurut Helander dalam soizick dan Bastien(2008), Pada tingkat kenyamanan tempat duduk terdapat dua jenis tingkat kenyamanan tempat duduk antara lain tingkat statis dan tingkat dinamis. Kenyamanan tempat duduk tingkat statis yaitu pada saat penumpang duduk tidak bergerak dan ciri fisik dari tempat duduk atau kursi berkaitan bagaimana posisi duduk yang dilakukan oleh penumpang (tekanan dan kekuatan terhadap tubuh serta sendi pada lutut) yang menimbulkan rasa nyeri serta sakit serta membuat penumpang sering mengubah posisi duduk. Sedangkan kenyamanan tempat duduk tingkat dinamis yaitu dimana penumpang bergerak di kursi atau tempat duduk mereka untuk mengerjakan beberapa kegiatan [13].

Menurut Ormuzand Muftin(2004), Kenyamanan pada kabin yaitu berkaitan dengan getaran (vibration), Yang disebabkan karena tubuh manusia terkena kontak permukaan yang bergetar. Tingkat getaran standar memiliki frekuensi antara 1 sampai 80Hz. Kemudian kenyamanan berhubungan dengan suara atau kebisingan (noise) yang diinginkan. Menjadi hal penting untuk membuat sebuah kendaraan yang tidak terlalu bising (noise) untuk penumpang. Kemudian suhu (Thermal Comfort) yaitu “keadaan pikiran yang mengekspresikan tingkat kepuasan terhadap suhu lingkungan”. Suasana kabin dapat menjadi lebih nyaman apabila suhunya tidak terlalu dingin maupun tidak terlalu panas. Selain itu kualitas udara juga berhubungan dengan kenyamanan. Apabila didalam sebuah kendaraan ventilasinya kurang dapat menimbulkan penurunan kualitas udara. Hal tersebut terjadi karena adanya pertukaran gas yang ada didalam kendaraan dan hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya kekurangan pernapasan dan kelelahan[14].

Terdapat beberapa gejala mabuk perjalanan antara lain ketidaknyamanan yang sangat kecil sehingga memberikan pengaruh besar kepada tubuh. Gejala yang paling umum dari mabuk perjalanan adalah yaitu pusing, muka pucat, terdapat ketegangan pada area mata bibir kering ,keluarnya keringat, sakit kepala, perut terasa penuh,mual serta muntah [15].

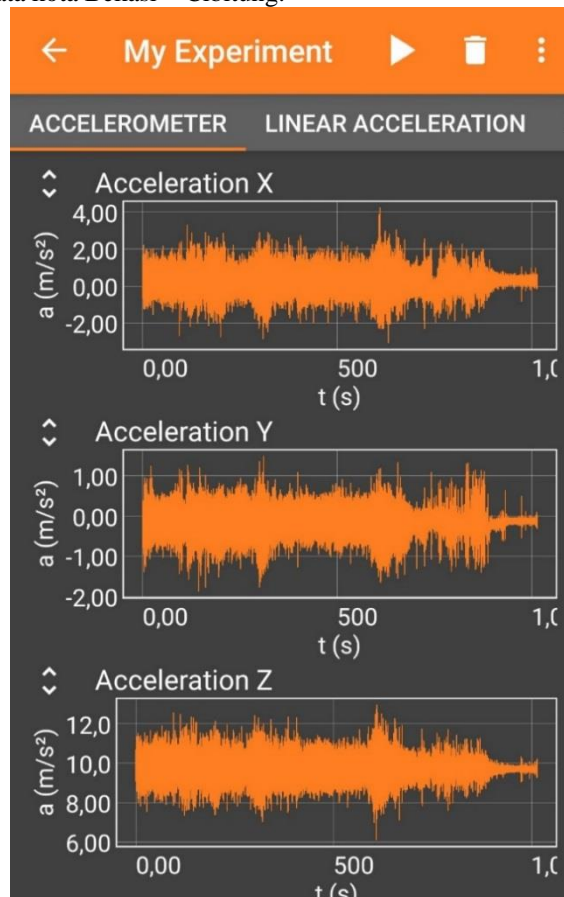
2.2. Accelerometer

Menurut George dan Thommen Karimpanal(2013), Accelerometer adalah sebuah sinyal sensor untuk penghitungan percepatan suatu objek. Accelerometer digunakan untuk penghitungan percepatan dynamic maupun static. Penghitungan percepatan dynamic yaitu penghitungan percepatan yang dilakukan untuk obyek yang bergerak. Percepatan static yaitu penghitungan percepatan yang dilakukan pada gravitasi bumi. Untuk melakukan pengukuran pada sudut kemiringan (tilt) pada engineering model satelit hanya dibutuhkan pengukuran percepatan static. Pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan menempelkan Accelerometer di atas air bearing dengan salah satu sumbu tegak lurus dengan permukaan bumi. Kemudian dapat ada interaksi antara Accelerometer dengan gravitasi bumi, kemudian Accelerometer mengalami percepatan sebesar 1g apabila kondisi sumbu tersebut tegak lurus. Akan terjadi percepatan pada Accelerometer sebesar 1g dikalikan dengan $\sin \theta$ apabila kondisi EM satelit miring, [1]. Berikut contoh gambar:



Gambar 1. : menunjukkan arah akselerasi sesuai gerak kendaraan dan menunjukkan arah sensor accelerometer pada *smartphone* dari aplikasi *phyphox*

Dalam percobaan ini, *smartphone* berbasis android dengan *Accelerometer* 3-axis digunakan untuk mengukur akselerasi. Dari 3-sumbu, sumbu Y sejajar dengan arah gerakan kendaraan, sumbu X berada pada 90% ke sumbu Y pada bidang horizontal yang sama dan sumbu Z tegak lurus terhadap bidang yang dibuat oleh X dan Y. Gambar di bawah ini menggambarkan arah akselerasi relatif terhadap arah gerak kereta [1]. hasil gambar tersebut hasil *output* data kota Bekasi ~ Cibitung.



Gambar 2. : Ilustrasi sumbu X, Y, Z

2.3. Gyroscope

Istilah "*Gyroscope*", secara konvensional mengacu pada kelas mekanis *Gyroscope*, berasal dari bahasa Yunani Kuno, menjadi Fisika dari "gerakan presesi", sebuah fenomena yang juga diamati dalam masyarakat Yunani kuno [3].

Menurut Passaro dan Vittorio(2017) *Gyroscope* adalah alat yang dipasang pada sebuah bingkai dan mampu merasakan kecepatan sudut jika bingkai tersebut berputar. Ada banyak kelas *Gyroscope*, tergantung pada prinsip fisik operasi dan teknologi yang terlibat [3]. *Gyroscope* dapat digunakan sendiri atau termasuk dalam sistem yang lebih kompleks, seperti Kompas, Unit Pengukuran Inersia, Sistem Navigasi Inersia [16] dan Sistem Referensi Arah Sikap [3].

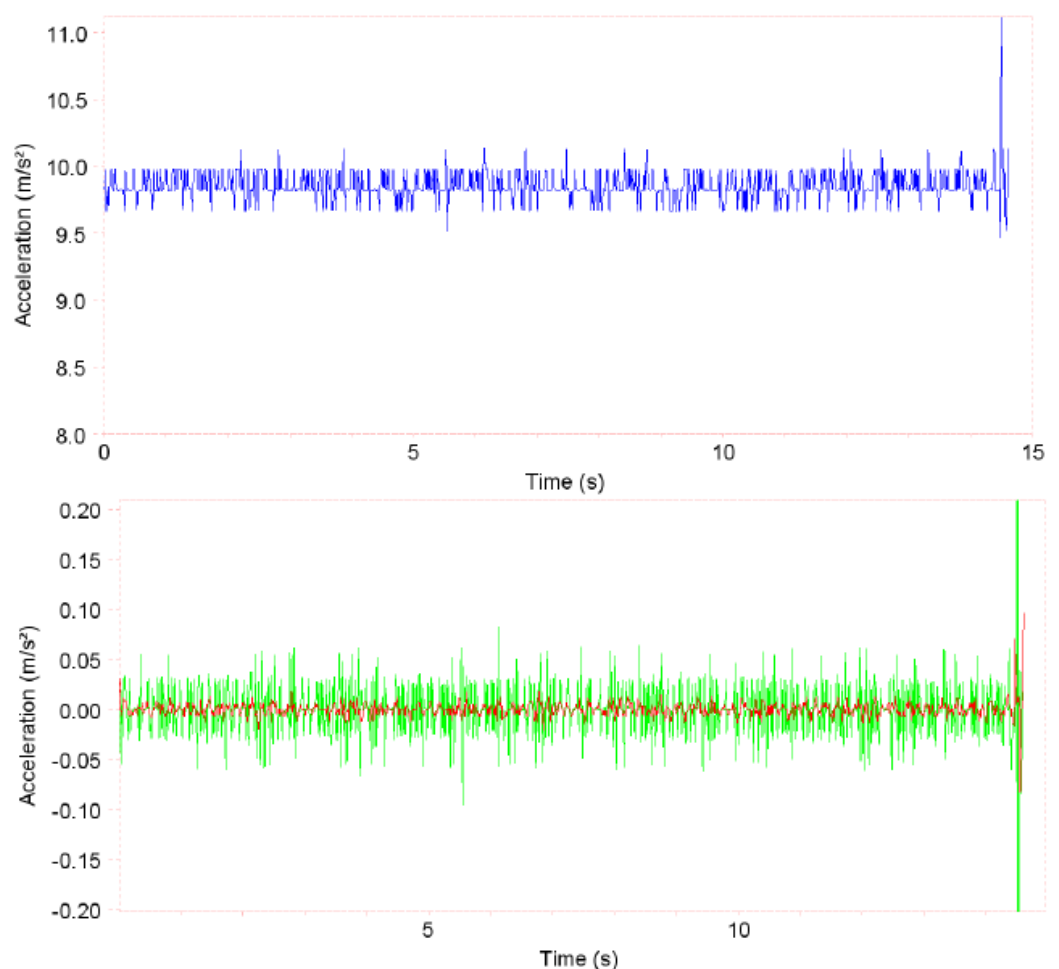
2.4. low-Pass Filter

Low-pass filter adalah sebuah rangkaian elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk meneruskan sebuah frekuensi kecil serta membuang atau melemahkan frekuensi besar. Frekuensi tersebut merupakan frekuensi listrik seperti perubahan tegangan maupun beberapa data digital seperti citra maupun audio. Pada frekuensi listrik, *low-pass filter* dapat dilakukan, ada dua cara yaitu meletakkan kumparan secara seri melalui sumber frekuensi maupun memakai cara meletakkan kapasitor secara paralel dengan sumber frekuensi.

Sinyal yang memiliki frekuensi besar yang di hasilkan dari proses *high-pass filter* akan di *filter* oleh *low-pass filtering* untuk meminimalisir kebisingan (*noise*) yang tidak dibutuhkan pada suatu sinyal. *Low-pass filtering* ini menggunakan teknik *moving average filter* seperti pada persamaan [4].

$$y(i) = \frac{1}{M} \sum_{j=(M-1)/2}^{(M-1)/2} X(i + j) \quad (1-1)$$

dengan (y) merupakan hasil keluaran proses filtrasi dan (x) merupakan masukan proses filtrasi. M adalah jumlah titik sampel yang digunakan dalam merata-ratakan. Pada makalah ini, nilai M ditentukan sebesar 5, yang didapat melalui observasi sinyal. Hasil keluaran kedua proses filtrasi tersebut adalah sinyal yang terbebas dari gravitasi dan derau yang telah terminimalisir seperti pada Gambar 3. Garis biru merepresentasikan sinyal yang belum terfiltrasi, garis hijau merepresentasikan hasil keluaran proses *high-pass filtering*, lalu keluaran proses *low-pass filtering* direpresentasikan dengan garis merah. Hasil keluaran proses terakhir inilah yang diproses lebih lanjut untuk mendapatkan informasi terjadinya langkah [5].



Gambar 3. : Contoh akselerasi yang terbaca ketika ponsel diletakkan kabin kereta api dekat dengan kursi penumpang datar tanpa digerakkan selama 14 detik. Grafik atas menunjukkan resultan akselerasi 3-sumbu. Grafik bawah menunjukkan hasil keluaran HP-*filtering* (garis hijau) dan LP-*filtering* (garis merah)

2.5. High-Pass Filter

High Pass Filter (HPF) merupakan sebuah *Filter* atau penyaring frekuensi yang mampu melewati sinyal frekuensi besar serta menghambat atau memblokir sinyal frekuensi kecil. Sinyal frekuensi yang mampu melewati *High Pass Filter (HPF)* adalah sinyal frekuensi yang besar dan sinyal frekuensi akan dihambat untuk melewatinya apabila sinyal frekuensi tersebut kecil. HPF yang dikategorikan sebagai HPF ideal apabila HPF tidak akan

melewatkan sinyal frekuensi meskipun sinyal tersebut dibawah frekuensi *cut-off*. *High-Pass Filter* (HPF) merupakan sebuah keterbalikann dari *Low-Pass Filter* (LPF).

$$\begin{aligned} Acc_{HPavg} &= Acc_{new} * (1 - \alpha) + Acc_{HPavg} * \alpha; \\ Acc_{HPfiltered} &= Acc_{new} - Acc_{HPavg}; \end{aligned} \quad (1-2)$$

Gravitasi merupakan komponen sinyal berfrekuensi rendah yang menyebabkan akselerasi bergeser ke atas pada sumbu y, berkisar $9.8m/s^2$. Untuk menghilangkan pengaruh gravitasi, dilakukan proses *High-pass* filtering seperti pada persamaan [5].

2.6. Savitzky-Golay Filter

Savitzky-Golay Filter didasarkan pada prinsip pemasangan polinomial derajat N ke sekumpulan sampel masukan dalam interval panjang hingga sekitar waktu sampel keluaran. Ada nilai untuk mengetahui bahwa respons impuls tunggal secara implisit mencapai penyesuaian polinomial lokal ini untuk setiap sampel keluaran. Namun, dalam banyak aplikasi, sinyal tidak dikarakterisasi dalam hal kemampuannya untuk dimodelkan oleh polinomial melainkan dalam hal spektrum frekuensinya. Jadi, kami telah memfokuskan pada makalah ini pada properti frekuensi-domain dari *Savitzky-Golay filter* [17].

Savitzky-Golay Filter sering kali lebih disukai karena, jika dirancang dengan tepat agar sesuai dengan bentuk gelombang dari sinyal *oversampled* yang rusak oleh *noise*, *filter* tersebut cenderung mempertahankan lebar dan tinggi puncak dalam bentuk gelombang sinyal. Sementara fitur kinerja seperti itu sering dijelaskan dalam hal proses pemasangan polinomial implisit (di mana diasumsikan bahwa kemiringan polinomial yang dipasang cocok dengan yang ada pada sinyal) alasan untuk perilaku ini juga jelas dari properti domain frekuensi *filter*. Secara khusus, *Savitzky-Golay filter* memiliki *passband* yang sangat datar dengan pelemahan sederhana pada *stopbandnya*. *Savitzky-Golay filter* yang simetris memiliki *fase nol* sehingga fitur sinyal tidak bergeser. Jadi, jika sinyal memiliki sebagian besar energinya di jalur lewat *filter* (menyiratkan pengambilan sampel berlebihan yang signifikan), komponen sinyal tidak terdistorsi sementara beberapa gangguan frekuensi tinggi berkurang tetapi tidak sepenuhnya dihilangkan. Tentu saja, dengan asumsi bahwa sinyal *low-pass* setara dengan asumsi bahwa sinyal cukup halus untuk diwakili oleh polinomial dengan derajat yang cukup tinggi. Namun, *Savitzky-Golay filter* sering digunakan dalam situasi di mana spesifikasi domain frekuensi langsung lebih tepat atau lebih mudah terkait dengan model untuk produksi sinyal [17].

2.7. Complementary Filter

Data *accelerometer* dan data *gyroscope* dapat dikombinasikan dengan menggunakan *Complementary filter* melalui *low-pass* dan yang terakhir melalui *high-pass filter order* pertama [11].

$$\theta_k = \alpha(\theta_{k-1} + \omega_k \Delta t) + (1 - \alpha)\theta_{accel,k}$$

Disini θ menunjukkan estimasi sudut, θ_{accel} adalah perubahan sudut dari sensor *accelerometer*, dan ω adalah kecepatan sudut dari *gyroscope*, sedangkan α adalah parameter yang dihitung dengan persamaan berikut [11]:

$$\alpha = \frac{T}{\Delta t} / (1 + \frac{T}{\Delta t})$$

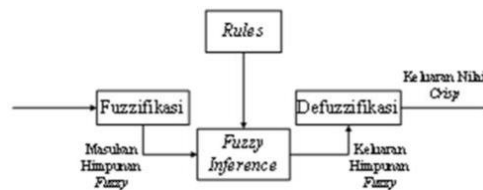
Disini T adalah frekuensi *cut-off filter* sedangkan Δt adalah sampling waktu. Variabel T ini ditentukan secara adaptif dengan menghitung spektrum frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*, sehingga dapat ditentukan nilainya supaya tepat. Nilai pada percobaan ini adalah gerakan dengan frekuensi sekitar 3 Hz, akan tetapi secara umum nilainya akan selalu berubah mengikuti kondisi sinyal yang diproses dari sensor [11].

2.7. Fuzzy Logic

Merupakan metode kendali yang menyerupai logika berpikir manusia dalam ketidakpastian mengambil suatu keputusan (samar). Dr. Lutfi Zadeh merupakan orang pertama yang memperkenalkan pada tahun 1965. Dr. Lutfi Zadeh membahas tentang teori himpunan *fuzzy* [6]. Dimana *fuzzy logic* menggantikan kebenaran logika boolean (0 atau 1) dengan tingkat kebenaran. Sehingga nilai keputusan yang diambil tidak hanya 0 atau 1 tetapi terdapat sebuah nilai di antara keduanya, daerah inilah yang dianggap samar [6].

Gambar 4. Merupakan blok diagram proses *fuzzy logic* Controller. Terdapat 3 porses utama untuk menjalankan kendali dengan metode *fuzzy logic* yaitu ;

1. Fuzzifikasi.
2. Fuzzy Inference.
3. Defuzzifikasi.



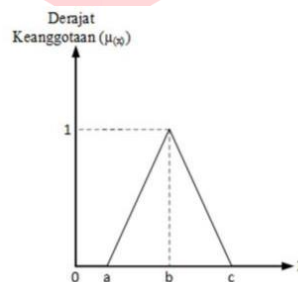
Gambar 4. : Gambar Proses *fuzzy logic* Pada gambar di atas dapat dijelaskan proses *FLC* yaitu *Fuzzifikasi* dan pemetaan *rules* dijadikan sebagai input *fuzzy inference* setelah itu hasil dari proses *fuzzy inference* diubah dengan proses *defuzzifikasi*.

2.7.1. Fuzzifikasi

Langkah awal dalam proses kendali *fuzzy logic* biasa disebut dengan *Fuzzifikasi*. Didalam proses *fuzzifikasi* nilai yang dapat membaca pemetaan merupakan *input* statistik yang memiliki bentuk himpunan tegas (*crisp set*) yang dihasilkan oleh sensor (sudut) kedalam bentuk himpunan *fuzzy* diubah menjadi nilai *fuzzy* melalui berupa *input* statistik variable *linguistik*.

Perhitungan derajat keanggotaan (*memberhip function*) dalam proses *fuzzifikasi* memiliki interval antara 0 - 1 [6]. Himpunan *fuzzy logic* yang sering digunakan yaitu:

1. Fungsi Segitiga



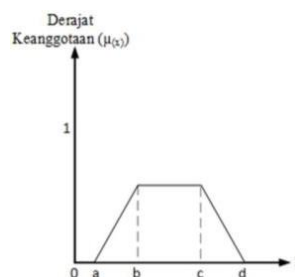
Gambar 5. : Fungsi Segitiga

Pada Gambar 5. menjelaskan himpunan *fuzzy* dengan bentuk segitiga. Persamaan fungsi keanggotaan segitiga adalah:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & : x < a \\ \frac{a-x}{b-a} & : a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & : b \leq x \leq c \\ 0 & : x > c \end{cases} \quad (2-1)$$

Keterangan : Nilai a merupakan nilai terendah yang memiliki derajat keanggotaan($\mu(x)$) sama dengan nol. Nilai b mempunyai derajat keanggotaan($\mu(x)$) sama dengan satu. Sedangkan nilai c merupakan nilai tertinggi dengan nilai derajat keanggotaan($\mu(x)$) tertentu. Nilai x merupakan nilai yang akan diubah ke dalam angka *fuzzy logic* [6].

2. Fungsi Trapesium



Gambar 6. : Fungsi Trapesium

Pada Gambar 6. Menjelaskan himpunan *fuzzy* dalam bentuk fungsi trapesium. Persamaan fungsi keanggotaan trapesium yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & : x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & : a \leq x \leq b \\ 1 & : b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & : c \leq x \leq d \\ 0 & : x \leq d \end{cases} \quad (2-2)$$

Keterangan : nilai a merupakan nilai terendah yang memiliki derajat keanggotaan ($\mu(x)$) nol. Nilai b merupakan nilai terendah yang memiliki derajat keanggotaan ($\mu(x)$) satu. Nilai c merupakan nilai tertinggi yang mempunyai derajat keanggotaan ($\mu(x)$) satu. Nilai d merupakan nilai tertinggi yang mempunyai derajat keanggotaan nol ($\mu(x)$). Sedangkan nilai x merupakan nilai input yang akan diubah ke dalam angka fuzzy.

2.7.2. Fuzzy Inference

Proses pengklasifikasian *input* yang memiliki bentuk himpunan *fuzzy* ke sebuah *output* dengan *fuzzy logic* disebut dengan *Fuzzy Inference*. *Fuzzy inference* memiliki dua bagian yaitu data *base* dan *rule base*. Tolak ukur atau indikator *fuzzy* seperti kumpulan *fuzzy* yang memiliki derajat keanggotaannya ($\mu(x)$) pada tiap variabel disebut dengan data base. Peraturan yang berkaitan dengan *fuzzy logic* disebut dengan *rules base*[6].

2.7.3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah tahapan terakhir pada metode kendali *fuzzy logic*. Ditahap ini, akan ada proses *computing* dengan berbagai metode untuk mengganti nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp*. Metode *defuzzifikasi* yang akan diterapkan pada tugas akhir ini yaitu *weighted average* [6].

Metode *wighted average* merupakan *defuzzikasi* yang digunakan pada model *fuzzy inference* model segeno. Persamaan untuk *weighted average* sebagai berikut :

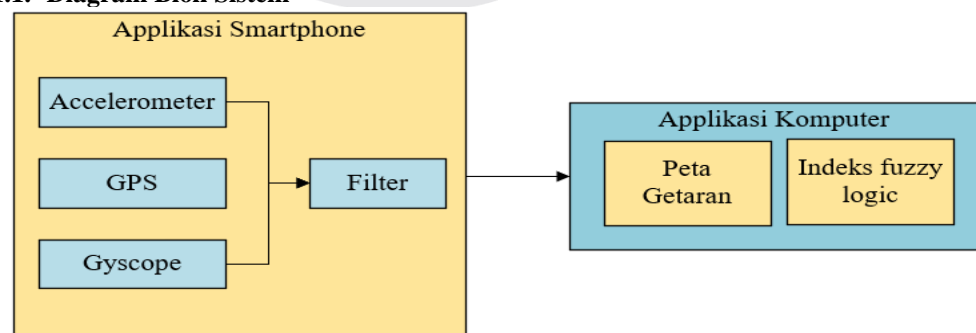
$$Z = \frac{W_1Z_1 + W_2Z_2}{W_1 + W_2} \quad (2-3)$$

3. Sistem Yang Dibangun

3.1. Gambaran Umum Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini akan dirancang sistem mengukur tingkat kenyamanan pada kereta api saat terjadi Tanjakan, Turunan dan Belokan. Perancangan *system* ini yaitu perancangan sistem mendeteksi kereta api akibat suatu Tanjakan, Turunan dan Belokan yang terjadi pada jalur perlintasan kereta api yang menyebabkan ketidaknyamanan penumpang kereta api. Pada perancangan sensor digunakan sensor *Accelerometer*, *Gyroscope*, *GPS* dan sensor tersebut akan di *filter* melalui aplikasi *phyphox* pada *smartphone*, sensor tersebut menjadi data tingkat kenyamanan, *smartphone* akan *export* data tingkat kenyamanan pada komputer, komputer akan mengubah data tingkat kenyamanan melalui aplikasi *google colab*, *python*, dan *matlab* menjadi *fuzzy logic* untuk mengukur peta getaran dan *gravitasi*.

3.1.1. Diagram Blok Sistem



Gambar 7. : Diagram Blok Sistem

Pada proses pada gambar 7 kerja sistem ini, pada aplikasi *smartphone* menggunakan *phyphox* yang didalam aplikasi tersebut memiliki sensor *Accelerometer* digunakan untuk mendapatkan nilai x, y, z, kemudian sensor *Gyscope* mendapatkan nilai x, y, z, dan GPS, tergantung pada *hardware smartphone*

itu sendiri jika *smartphone* memiliki *hardware* sensor tersebut aplikasi bisa digunakan. Kemudian aplikasi *phyphox* pada *smartphone* membaca sensor *Accelerometer* mendapatkan nilai x, y, z dan sensor *Gyroscope* mendapatkan nilai x, y, z dan sensor *GPS* digunakan untuk mendapatkan lokasi kereta saat tidak kenyamanan terjadi, kemudian sensor-sensor tersebut di simpan melalui *smartphone*, kemudian sensor-sensor tersebut akan di *filter* menggunakan *Loss-Pass filter*, *High-Pass filter* melalui *smartphone*.

kemudian sensor-sensor tersebut di *filter* kembali menggunakan *Savitzky-Golai filter*, *complementary filter*, *pitch and roll filter* melalui komputer menggunakan *google colab* dengan memakai Bahasa *python*. kemudian hasil *output* sensor yang sudah di *filter* tersebut menjadi data tingkat kenyamanan, dan data tingkat kenyamanan tersebut akan di jadikan peta getaran dan data indeks *fuzzy Logic* menggunakan aplikasi *Matlab* pada *computer*, kemudian sudah mendapatkan data indeks *fuzzy logic* akan di olah menjadi *fuzzy output*, digunakan untuk mendapatkan grafik titik tingkat kenyamanan, grafik *fuzzy output* tersebut untuk mengakhiri proses *system* ini.

3.1.2. Desain Tata Letak

Perancangan tata letak sistem pengendalian kereta api saat terjadi getaran yang membuat tidak kenyamanan untuk meletakkan *Smartphone* diletakan pada kabin kereta api dekat dengan kursi penumpang. Gambar di bawah ini peletakan sistem.



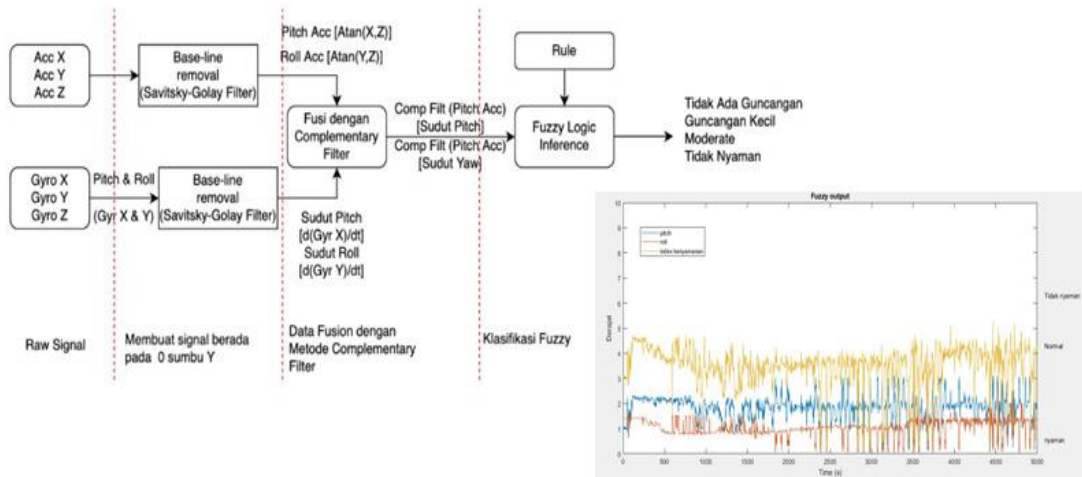
Gambar 8. : Desain Tata Letak

Gambar 8 desain perangkaian secara umum yaitu pada setiap *smartphone* memiliki Sensor-sensor yang berbeda, tetapi hanya membutuhkan sensor *Accelerometer*, *Gyroscope* dan *GPS* dan di bantu dengan aplikasi *phyphox*. Aplikasi tersebut menerima data kenyamanan, dan menyimpan data untuk mengukur getaran dan *gravity*.

3.1.3. Perangkat Lunak pada Sistem

Didalam tugas akhir yang penulis susun digunakan dua perangkat lunak yaitu pada *Phyphox* dan *google colab*. *Phyphox* digunakan dalam mikrokontroler untuk mengolah data dan menyimpan data kenyamanan. Sedangkan *Matlab* digunakan untuk merancang sistem *fuzzy logic*. Perancangan *fuzzy logic* juga berfungsi sebagai pembanding dari data kenyamanan yang di dapat dari *Phyphox*. pada simulasi *fuzzy logic* di *google colab* memakai *Python* akan outputkan data kenyamanan berserta *rule fuzzy*.

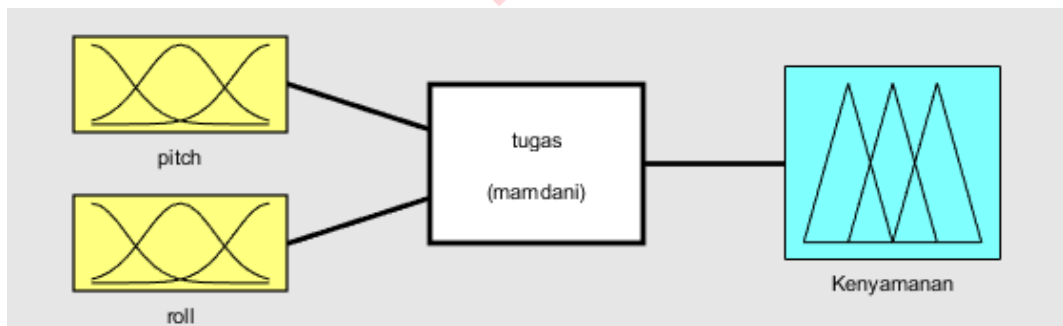
Sebelum menuju perancangan *fuzzy logic* akan difilter. Untuk tahap-tahap *filter* gambar berikut :



Gambar 9. : Tahap Filter

3.1.4. Fuzzifikasi

Didalam metode Mamdani, himpunan fuzzy dibagi menjadi satu maupun lebih yang terdiri dari variable input dan output. Pada tugas akhir ini terdapat 4 buah variabel input dan 1 buah variabel output.



Gambar 10. : Himpunan Variabel fuzzifikasi

3.1.5. Fuzzy Inference (Rules Fuzzy)

Setelah mendapatkan nilai fuzzy dari proses fuzzifikasi maka selanjutnya mengolah nilai tersebut berdasarkan aturan (IF THEN RULES) yang paling sesuai.

Data Tabel Input Rintang

No	Variable
1	pitch
2	roll

Tabel 1.2 : Data Tabel Input

Pembuatan variabel Input Rintang belum diketahui range dari tiap-tiap variabel, sehingga perlu dibuatkan range agar tampak jelas batasan-batasan yang akan dijadikan sebagai landasan masukkan datanya. Untuk pembuatan batasan masukannya, dapat dilihat pada tabel 1.3 :

No	Variable	Keanggotaan					
		Bawah(B)	Tengah(T)	Atas(A)	B	T	A
1	pitch	Rendah	Sedang	Tinggi	-5 - 1.5	0,5 - 4	3 - 6
2	roll	Rendah	Sedang	Tinggi	-5 - 1.5	0,5 - 4	3 - 6

Tabel 1.3 : Area Fuzzy Sets

Pembuatan tabel 1.3 dimaksudkan untuk pembatasan variabel nilai pengaburan atau fuzzifikasi untuk digunakan sebagai masukkan mesin inferensi. Pembatasan ini nantinya digunakan sebagai batasan tampilan dari fuzzifikasi yang akan dibuat

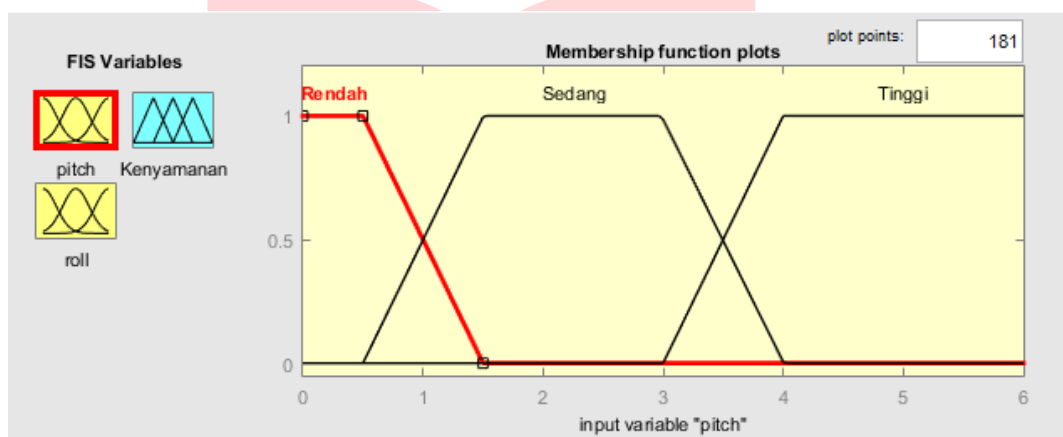
dalam program dengan *M-File* Setelah didapatkan *range* dari variabel *Input* Rintangan, kemudian dilanjutkan dengan membuat *range* dari variabel *output* Kenyamanan. Adapun variabel *output* Kenyamanannya dapat dilihat tabel 1.4 :

No	Area	Keterangan
1	0 - 3	Nyaman
2	4 - 5	Normal
3	6 - 10	Tidak nyaman

Tabel 1.4 : Data Variabel *Output*

Setelah diperoleh hasil masukan dari variabel linguistik *pitch* yaitu berkisar antara 0 s/d 6, kemudian dapat melakukan *fuzzifikasi* atau melakukan perubahan nilai yang pasti menjadi samar-samar. Dari proses *fuzzifikasi* diperoleh bahwa kondisi terbagi menjadi tiga *fuzzy sets*, yaitu rendah berkisar -5 s/d 1.5, sedang berkisar 0.5 s/d 4 dan tinggi berkisar 3 s/d 6.

Dari kisaran nilai tersebut terdapat nilai dengan kondisi samar, yaitu Antara rendah dan sedang berkisar 2 s/d 4 dan sedang dan tinggi berkisar 3 s/d 6. dapat dilihat gambar 11. dibawah :



Gambar 11. : Variabel *Input Complementary X*

Pada gambar 11 menunjukkan terdapat 3 gambaran data yang terdiri dari *pitch* dengan *range* 0 - 6, dan terdiri dari 3 bagian yaitu gambaran linear turun untuk rendah dengan *range* -5 - 1,5, gambaran kurva segitiga dengan *range* 0,5 - 4 menggambarkan sedang dan gambaran linear naik berisi tinggi dengan garis naik dalam *range* 3 - 6. untuk mempermudah saat melakukan pembacaan data maka perlu untuk melakukan pengelompokan. Dari gambar 11., dapat digambarkan fungsi keanggotaannya sebagai berikut :

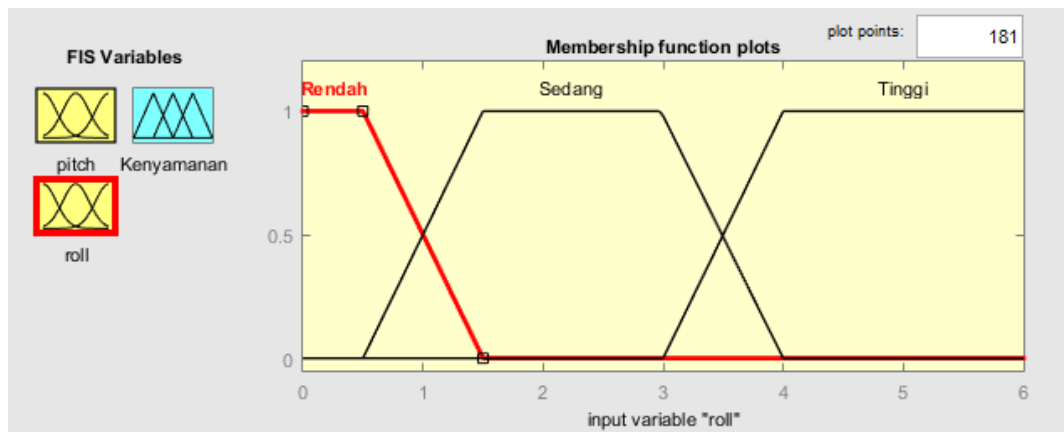
$$\mu(Rendah) = \begin{cases} 1 & : x \leq 0 \\ \frac{1,5 - x}{1,5 - 0} & : 0 \leq x \leq 1,5 \\ 0 & : x \geq 1,5 \end{cases}$$

$$\mu(Sedang) = \begin{cases} 0 & : x \leq 0,5 \\ \frac{x - 0,5}{2,5 - 0,5} & : 0,5 \leq x \leq 2,5 \\ \frac{4 - x}{4 - 2,5} & : 2,5 \leq x < 4 \\ 0 & : x \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu(Tinggi) = \begin{cases} 0 & : x \leq 3 \\ \frac{x - 3}{6 - 3} & : 3 \leq x \leq 6 \\ 1 & : x \geq 6 \end{cases}$$

variabel linguistik *roll* yaitu berkisar antara 0 s/d 6. kemudian melakukan *fuzzifikasi* atau melakukan perubahan nilai yang pasti menjadi nilai yang samar-samar. Dari proses *fuzzifikasi* diperoleh hasil yaitu kondisi terbagi menjadi tiga *fuzzy sets*, diantaranya rendah berkisar -5 s/d 1.5, sedang berkisar 0.5 s/d 4 dan tinggi berkisar 3 s/d 6. Dari kisaran angka tersebut diperoleh nilai dengan kondisi

samar, yakni antara rendah dan sedang berkisar 2 s/d 4 dan tinggi berkisar 6 s/d 8. dapat dilihat gambar 12. dibawah :



Gambar 12. : Variabel *Input* Complementary Y

Pada gambar 12 menunjukkan 3 gambaran data yang terdiri dari *roll* dengan kisaran antara 0 - 6, yang terdiri dari 3 bagian yaitu gambaran linear turun untuk rendah dengan *range* 0,5 - 1,5, representasi kurva segitiga dengan *range* 0,5 - 4 menggambarkan Menurun sedang dan representasi linear naik berisi tinggi dengan garis menaik dalam *range* 3 - 6. untuk memudahkan pembacaan data maka perlu dilakukan pengelompokan. Berdasarkan gambar 12, dapat digambarkan fungsi keanggotaannya sebagai berikut :

$$\mu(\text{Rendah}) = \begin{cases} 1 & : x \leq 0 \\ 1,5 - x & : 0 \leq x \leq 1,5 \\ 0 & : x \geq 1,5 \end{cases}$$

$$\mu(\text{Sedang}) = \begin{cases} 0 & : x \leq 0,5 \\ \frac{x - 0,5}{2,5 - 0,5} & : 0,5 \leq x \leq 2,5 \\ \frac{4 - x}{4 - 2,5} & : 2,5 \leq x \leq 4 \\ 0 & : x \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu(\text{Tinggi}) = \begin{cases} 0 & : x \leq 3 \\ \frac{x - 3}{6 - 3} & : 3 \leq x \leq 6 \\ 1 & : x \geq 6 \end{cases}$$

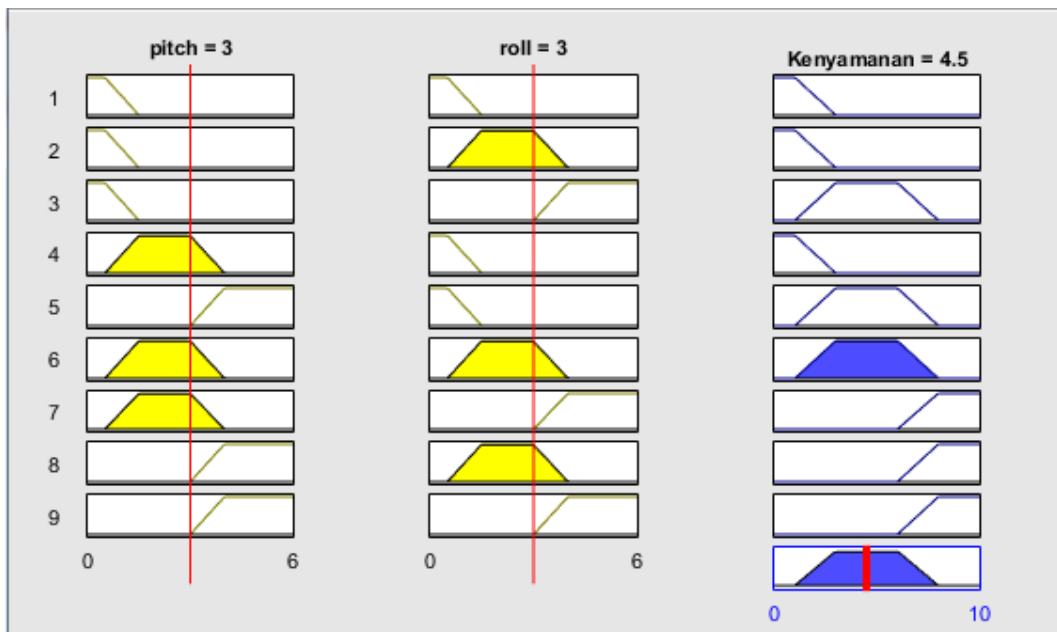
1. If (pitch is Rendah) and (roll is Rendah) then (Kenyamanan is Nyaman) (1)
2. If (pitch is Rendah) and (roll is Sedang) then (Kenyamanan is Nyaman) (1)
3. If (pitch is Rendah) and (roll is Tinggi) then (Kenyamanan is Normal) (1)
4. If (pitch is Sedang) and (roll is Rendah) then (Kenyamanan is Nyaman) (1)
5. If (pitch is Tinggi) and (roll is Rendah) then (Kenyamanan is Normal) (1)
6. If (pitch is Sedang) and (roll is Sedang) then (Kenyamanan is Normal) (1)
7. If (pitch is Sedang) and (roll is Tinggi) then (Kenyamanan is Tidak_nyaman) (1)
8. If (pitch is Tinggi) and (roll is Sedang) then (Kenyamanan is Tidak_nyaman) (1)
9. If (pitch is Tinggi) and (roll is Tinggi) then (Kenyamanan is Tidak_nyaman) (1)

Gambar 13. : Rules – Inference

Proses *Rules Inference* merupakan proses *input* untuk analisa dari berbagai rintangan dan kecepatan menghasilkan sebuah tidak kenyamanan, di *rules-inference* dalam pengujian ini memiliki 9 *rules*.

3.1.6. Defuzzifikas

Proses *defuzzifikasi* merupakan proses untuk mengubah *output* yang berupa nilai *fuzzy* ke dalam nilai tegas (*crisp*). Berdasarkan perancangan di atas didapat :



Tabel 1.5. : Tabel Defuzzifikasi

4. Evaluasi

Pada bab IV ini penulis membahas pengujian yang dilakukan dan analisis dari tiap blok dan sistem secara keseluruhan yang telah diaplikasikan. Setelah rancangan dapat diaplikasikan, diperlukan pengujian untuk mengetahui keberhasilan dari program yang telah dibuat. Terdapat beberapa pengujian/ *experiment* yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Pengujian dilakukan secara berkala agar dapat menghasilkan analisa yang akurat. Sistem berjalan baik jika setiap blok perancangan sistem berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Pengujian yang dilakukan penulis terdiri dari pengujian perangkat keras dan perangkat lunak.

4.1. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem perangkat keras (*Hardware*) dan perangkat lunak (*Software*) yang digunakan pada tugas akhir kali ini adalah:

4.1.1. Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras meliputi :

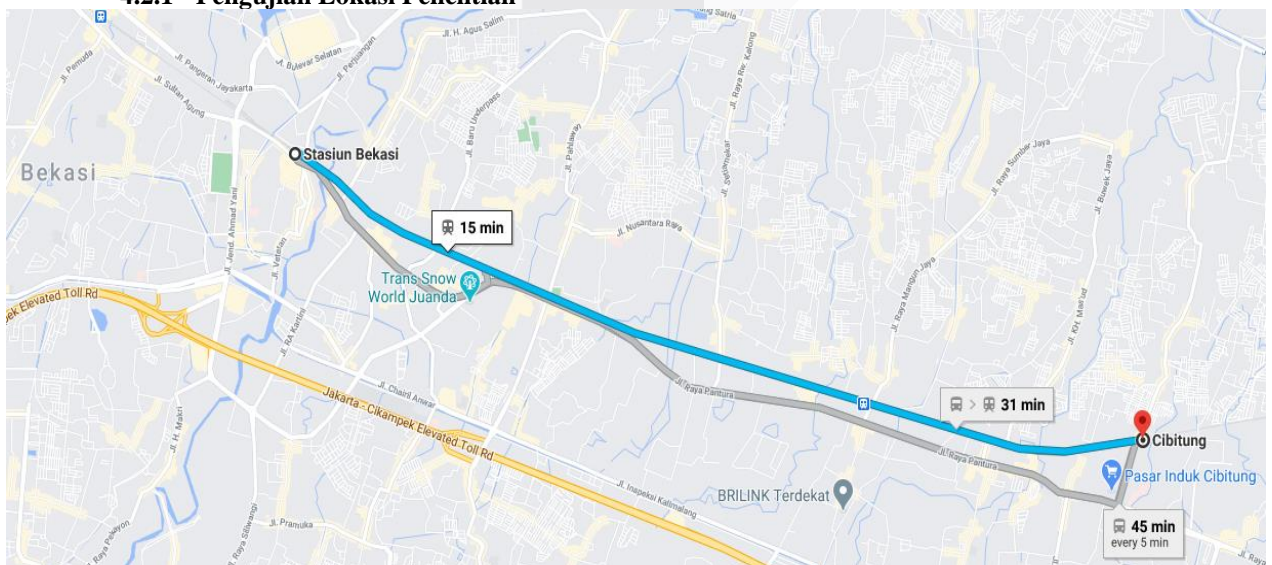
1. Handphone

4.1.2. Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak yang penulis gunakan pada tugas akhir ini adalah *software Matlab* dan *software phyphox* dan *google colab* atau *python*.

4.2. Pengujian Perangkat

4.2.1 Pengujian Lokasi Penelitian



Gambar 14 : Lokasi maps Penelitian

4.2.2 Data Pengujian Perangkat

Pada tabel 1.6 dan table 1.7 merupakan data sample dari data yang dikirim oleh *smartphone* pengendara kereta api melalui aplikasi *pyphox*. Pengujian dilakukan di lokasi *route* bekasi – cibitung. Jumlah data ada 155113 baris. Penguji menunjukkan data 20 baris yaitu :

No	Tim (s)	Acc-ration x (m/s ²)	Acc-ration y (m/s ²)	Acc-ration z (m/s ²)	Latitude (Â°)	Longitude (Â°)
1	0	7.54173547	2.15478152	9.799467087	-6.23644	106.9983
2	1.005475	2.154781483	1.651999205	9.660603523	-6.23584	106.9983
3	2.0031625	2.633621916	1.891419291	9.555258751	-6.2363	106.999
4	3.0328562	7.062894851	1.268926859	9.654618263	-6.23621	106.999
5	4.0173031	8.619125932	1.364694983	9.674968719	-6.23625	106.999
6	5.0072265	3.232172132	1.508347094	9.745597839	-6.23628	106.999
7	6.0047382	6.943184882	1.185129806	9.494206429	-6.2363	106.9991
8	7.0003441	7.302315533	2.0470424	9.679757118	-6.23634	106.9991
9	8.000597	7.18260482	1.532289088	9.691728592	-6.2364	106.9993
10	9.0081735	1.19710085	1.855506301	9.543288231	-6.23648	106.9994
11	1.00047117	5.985504389	1.616086215	9.657012939	-6.23656	106.9995
12	1.10022308	5.985504389	1.364694983	9.662998199	-6.23663	106.9996
13	1.20000904	5.267243832	1.651999205	9.674968719	-6.23673	106.9997
14	1.29982202	8.499415964	1.424549967	9.658209801	-6.23681	106.9999
15	1.40243851	8.619125932	1.651999205	9.629479408	-6.2369	107
16	1.50113675	6.344634295	1.759738177	9.607931137	-6.23698	107.0001
17	1.60049587	3.950432688	1.879448295	9.609128952	-6.23706	107.0003
18	1.70014543	2.513911761	1.831564307	9.680954933	-6.23714	107.0004
19	1.80353521	5.386953801	1.568202078	9.683348656	-6.23722	107.0005
20	1.9080601	6.943184882	1.472434103	9.629479408	-6.23731	107.0007

Tabel 1.6. : Tabel Data Pengujian *Accelerometer*

no	Time (s)	Gyroscope x (rad/s)	Gyroscope y (rad/s)	Gyroscope z (rad/s)	Latitude (Â°)	Longitude (Â°)
1	6.24505	-2.015855163	6.108637899	-3.054325469	-6.23644	106.9983
2	7.24355	-2.626720816	-2.44346261	-3.054325469	-6.23584	106.9983
3	8.24195	-2.626720816	1.221729442	-3.054325469	-6.2363	106.999
4	9.25065	-1.832600683	-2.44346261	-2.443460748	-6.23621	106.999
5	1.029775	4.276055843	1.221729442	-3.054325469	-6.23625	106.999
6	1.124525	4.276055843	-6.108656526	-3.054325469	-6.23628	106.999
7	1.224245	-1.832600683	6.108637899	-3.054325469	-6.2363	106.9991
8	1.325025	4.276055843	-9.313225746	-2.443460748	-6.23634	106.9991
9	1.423985	-7.941257209	-9.313225746	-3.054325469	-6.2364	106.9993
10	1.524515	-1.404991373	-9.313225746	-3.054325469	-6.23648	106.9994
11	1.623985	-7.941257209	1.221729442	-3.054325469	-6.23656	106.9995

12	1.725735	-2.015855163	6.108637899	-3.054325469	-6.23663	106.9996
13	1.823895	-2.626720816	6.108637899	-2.443460748	-6.23673	106.9997
14	1.924515	-2.015855163	1.221729442	-3.054325469	-6.23681	106.9999
15	2.024045	-7.941257209	-6.108656526	-3.665191121	-6.2369	107
16	2.124005	-1.404991373	1.832595095	-3.054325469	-6.23698	107.0001
17	2.237595	-1.832600683	1.832595095	-3.054325469	-6.23706	107.0003
18	2.350925	-7.941257209	2.443459816	-2.443460748	-6.23714	107.0004
19	2.524395	-7.941257209	1.832595095	-2.443460748	-6.23722	107.0005
20	2.623895	4.276055843	1.221729442	-2.443460748	-6.23731	107.0007

Tabel 1.7. : Tabel Data Pengujian Gyroscope

4.2.3 Pengujian google colab

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengfilter data yang sudah dapat dari aplikasi *phyphox* agar lebih rapih dan efisien sebelum mendapatkan nilai *indeks* untuk proses selanjutnya. Untuk filter tersebut memiliki 3 tahap yaitu :

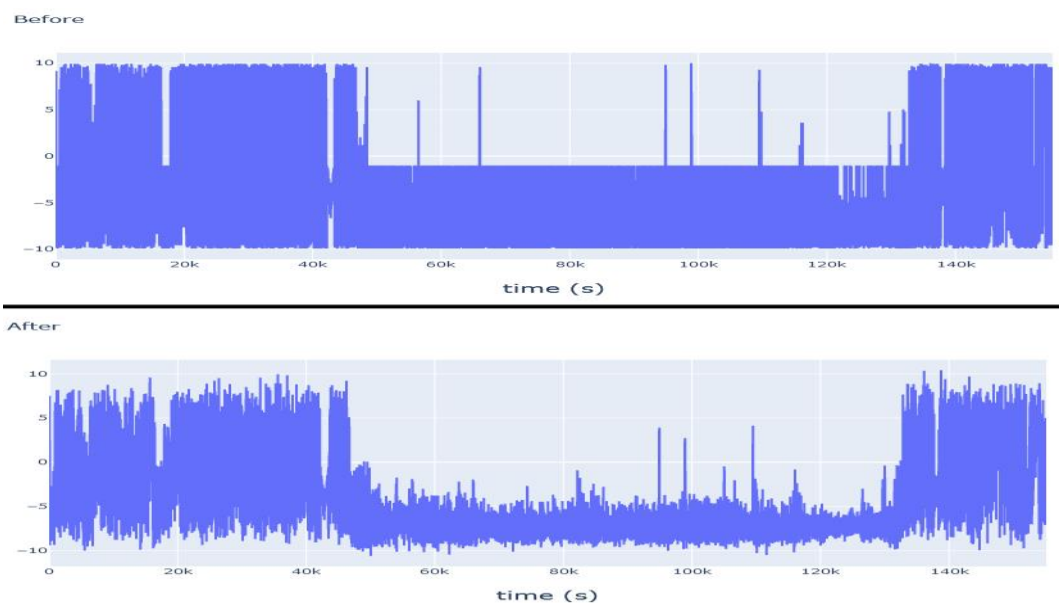
1. *Savitsky-Golay* Filter
2. *Pitch and Roll*
3. *Complementary* Filter

4.2.3.1. Pengujian *Savitsky-Golay* Filter

Savitsky-Golay filter merupakan sebuah metode *smoothing kurva* (sinyal) dapat meningkan *Signal-to-noise Ratio* (SNR) tanpa membuang informasi penting dari sinyal [10].

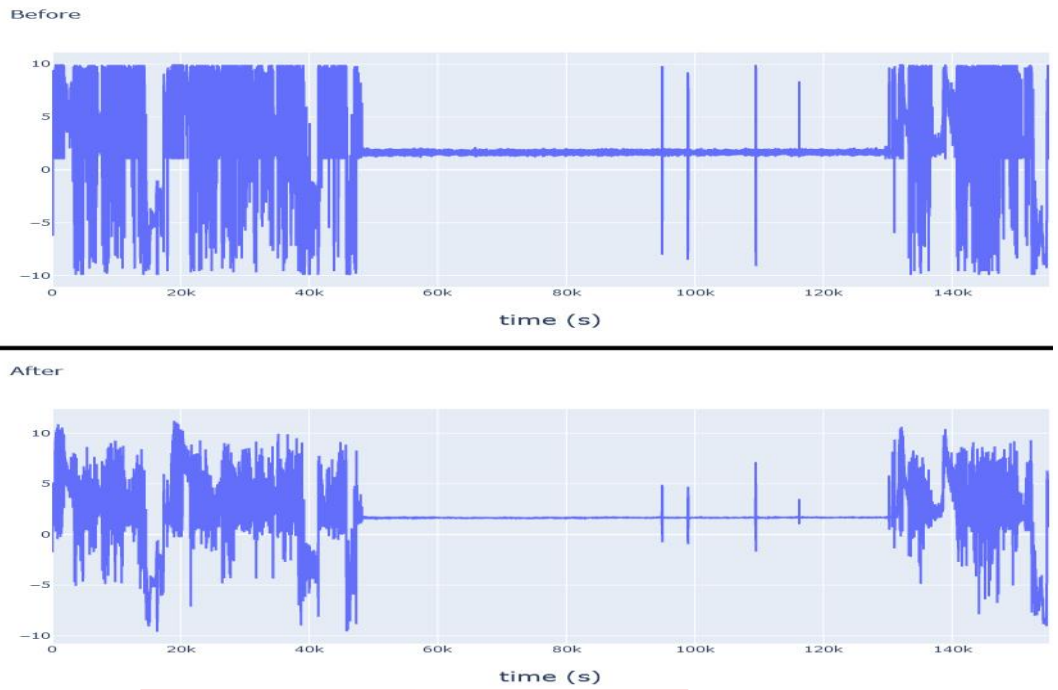
Langkah pertama untuk *filter accelerometer* dan *gyrope*. Berikut ini hasil *filter accelerometer* x yang penulis buat :

Accelerometer sumbu X

Gambar 15. : *Savitsky-Golay* Filter Accelerometer sumbu X

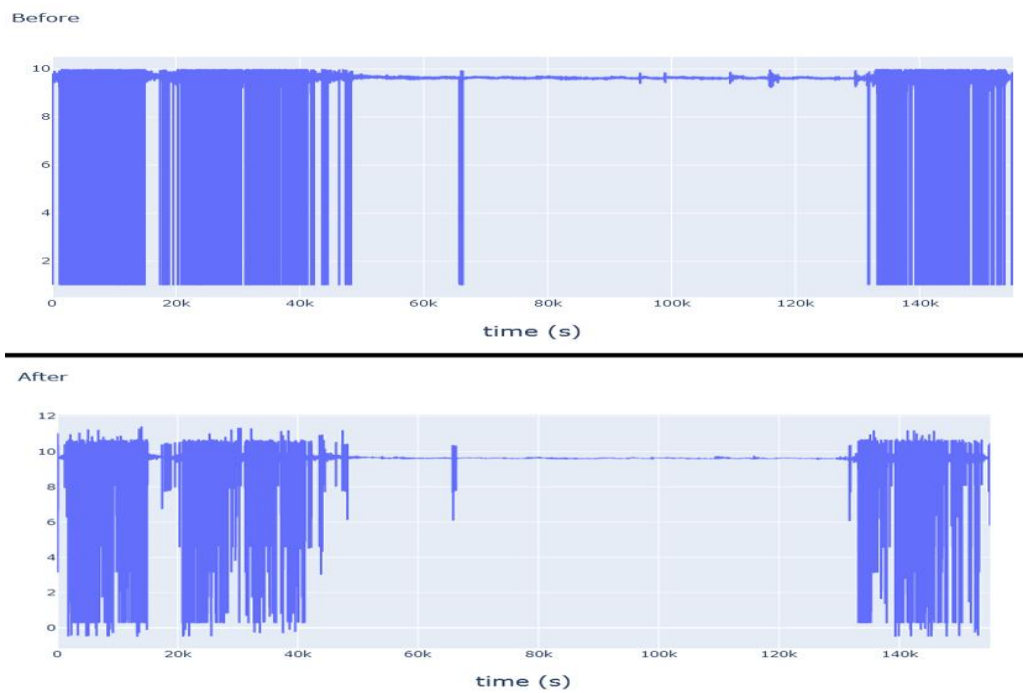
Dan selanjutnya berikut ini hasil *filter accelerometer* y yang penulis buat :

Accelerometer sumbu Y



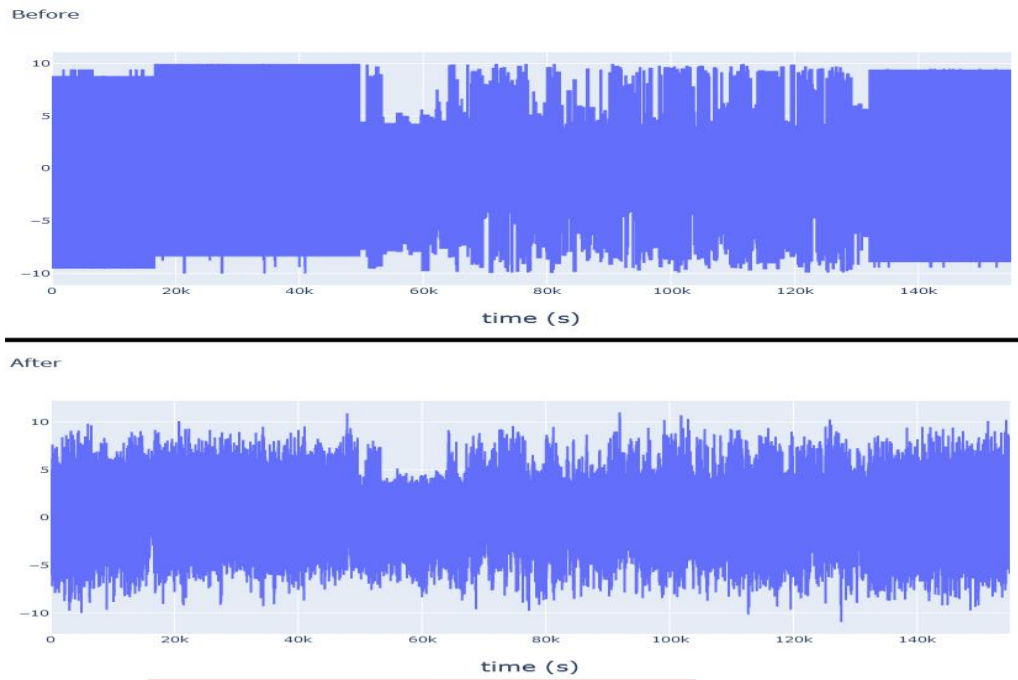
Gambar 16. : *Savitsky-Golay Filter Accelerometer sumbu Y*

Dan selanjutnya berikut ini hasil *filter accelerometer z* yang penulis buat :
Accelerometer sumbu Z



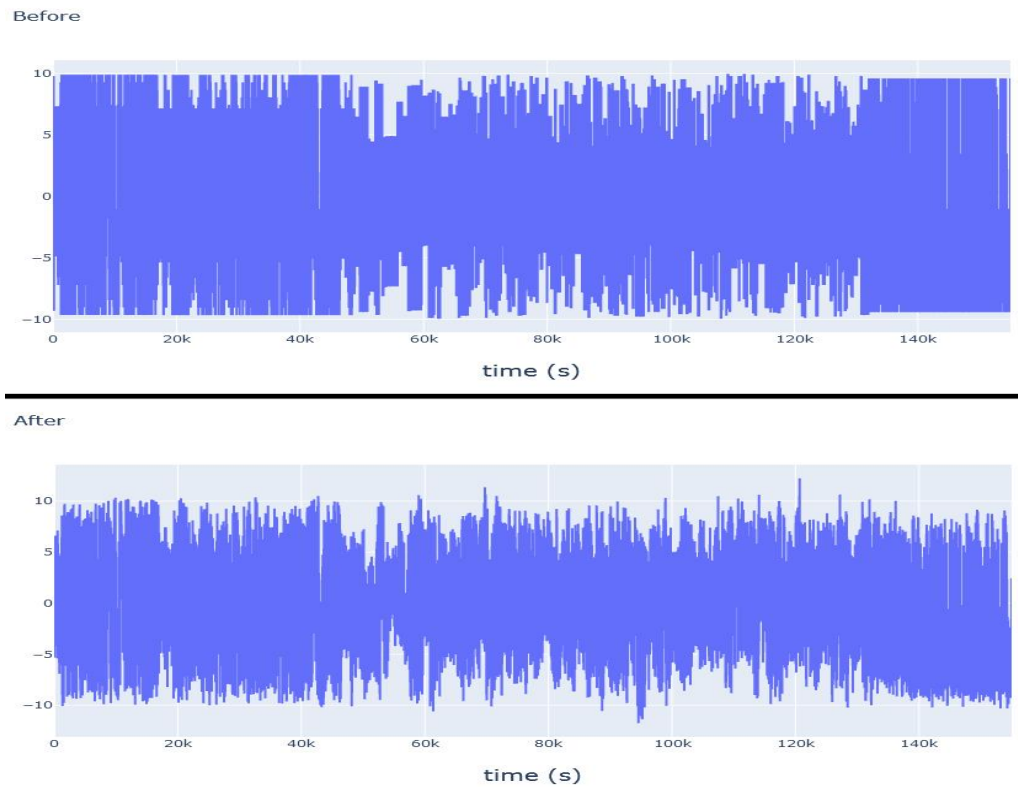
Gambar 17. : *Savitsky-Golay Filter Accelerometer sumbu Z*

Dan selanjutnya berikut ini hasil *filter Gyrope x* yang penulis buat :
Gyrope sumbu X



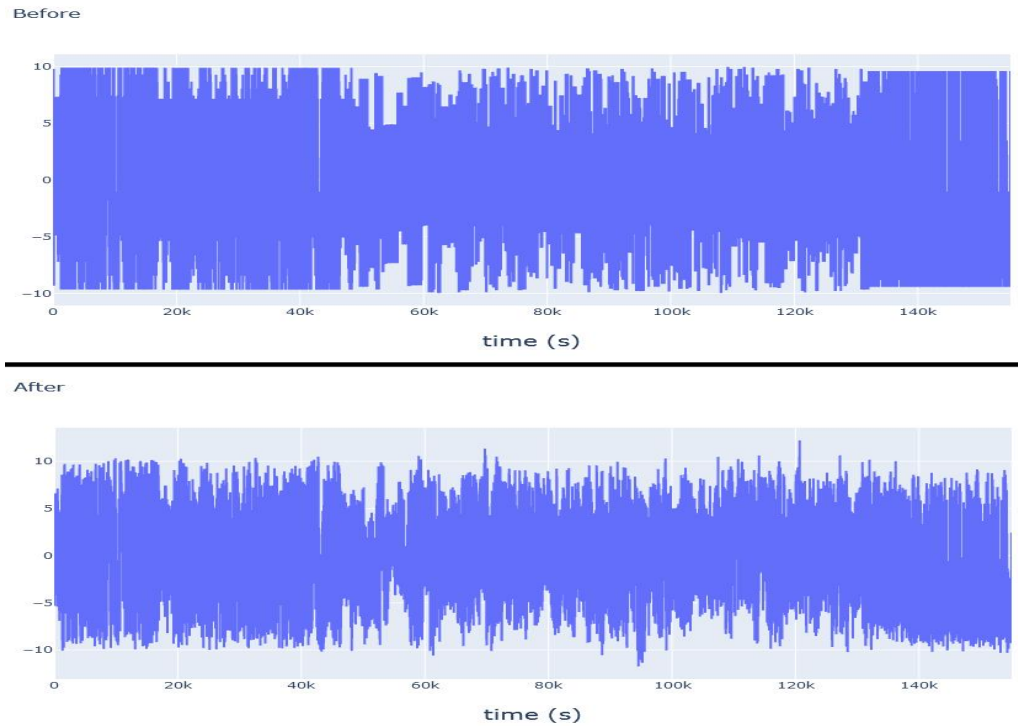
Gambar 18. : Savitsky-Golay Filter gyroscope sumbu X

Dan selanjutnya berikut ini hasil filter Gyrope y yang penulis buat :
Gyrope sumbu Y



Gambar 19. : Savitsky-Golay Filter gyroscope sumbu Y

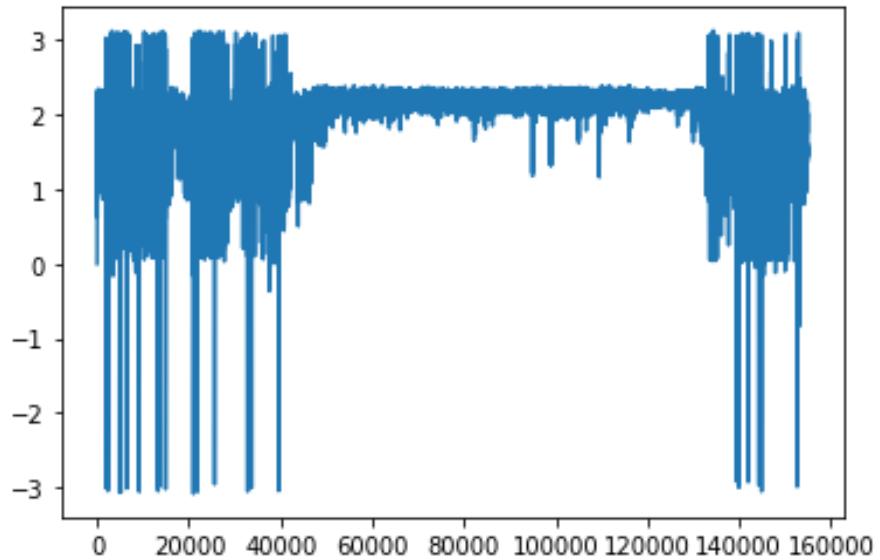
Dan selanjutnya berikut ini hasil filter gyroscope z yang penulis buat :
gyrope sumbu Z



Gambar 20. : Savitsky-Golay Filter gyroscope sumbu Z

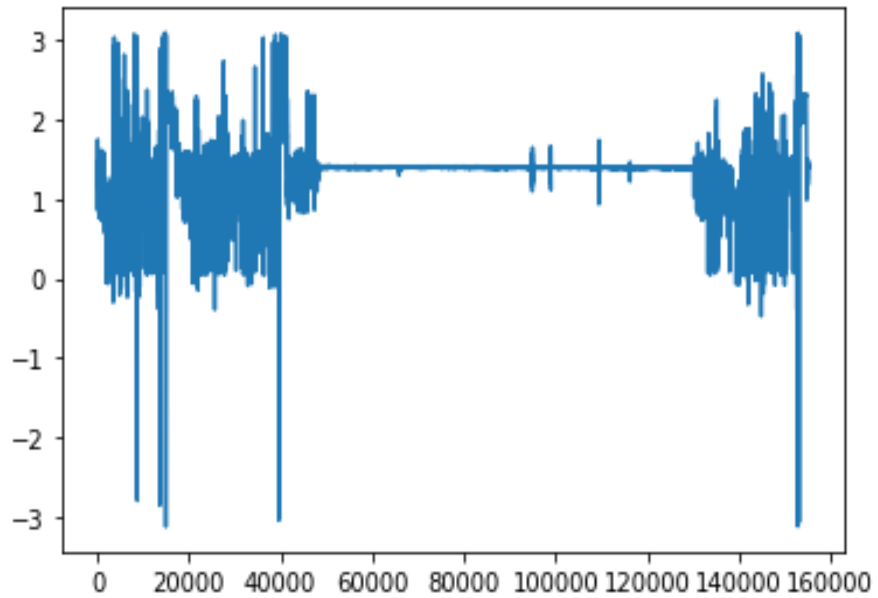
4.2.3.2. Pengujian Pitch and Roll

Tahap filter pitch and roll ini adalah tahap yang kedua setelah Savitsky-Golay Filter. Filter pitch and roll bermanfaat untuk menggabungkan 2 sumbu, contoh Untuk mencari pitch accelerometer, inputan atannya itu x dan z, satu sumbunya untuk mencari roll accelerometer, inputan atannya itu y dan z. Berikut ini hasil filter accelerometer pitch yang penulis buat :



Gambar 21. : Pitch And Roll Accelerometer Pitch

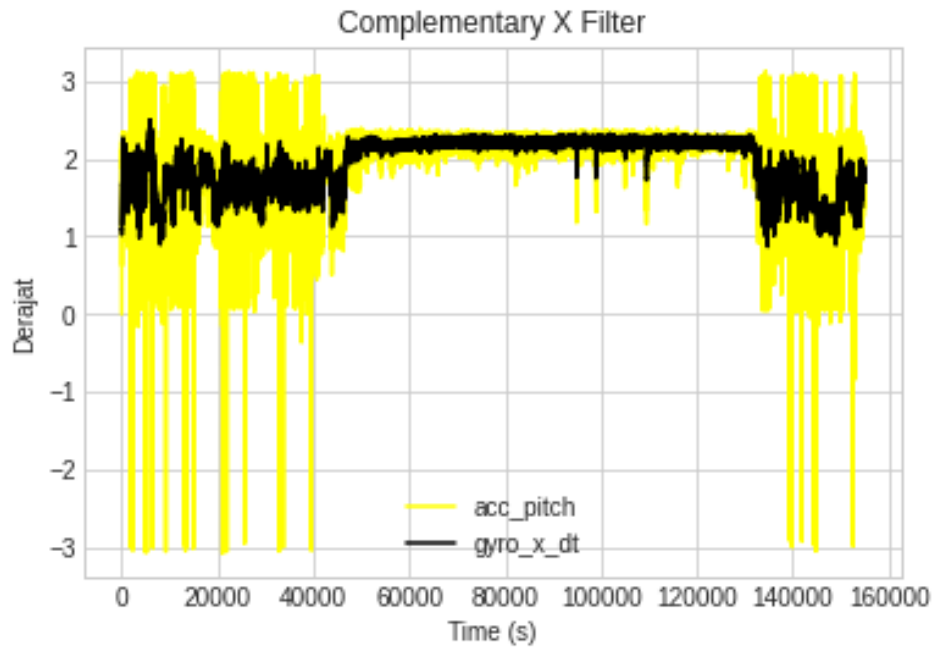
Berikut ini hasil filter accelerometer roll yang penulis buat :



Gambar 22. : Pitch And Roll Accelerometer Roll

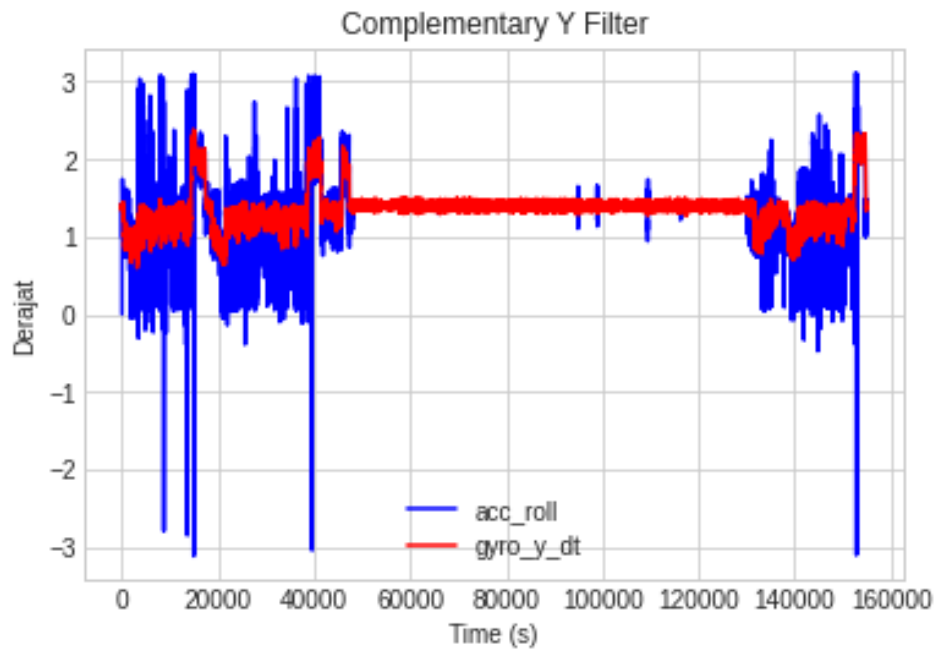
4.2.3.3. Pengujian Complementary Filter

Tahap filter Complementary ini adalah tahap yang kedua setelah pitch and roll Filter. Filter pitch and roll bermanfaatnya untuk menggabungkan 2 sumbu accelerometer yang sudah di pitch and roll dengan sumbu gyroscope. Berikut ini hasil Complementary filter accelerometer pitch dengan gyroscope x yang penulis buat :



Gambar 23. : Complementary X Filter

Berikut ini hasil Complementary filter accelerometer roll dengan gyroscope y yang penulis buat :



Gambar 24. : Complementary Y Filter

4.2.4 Pengujian Kenyamanan

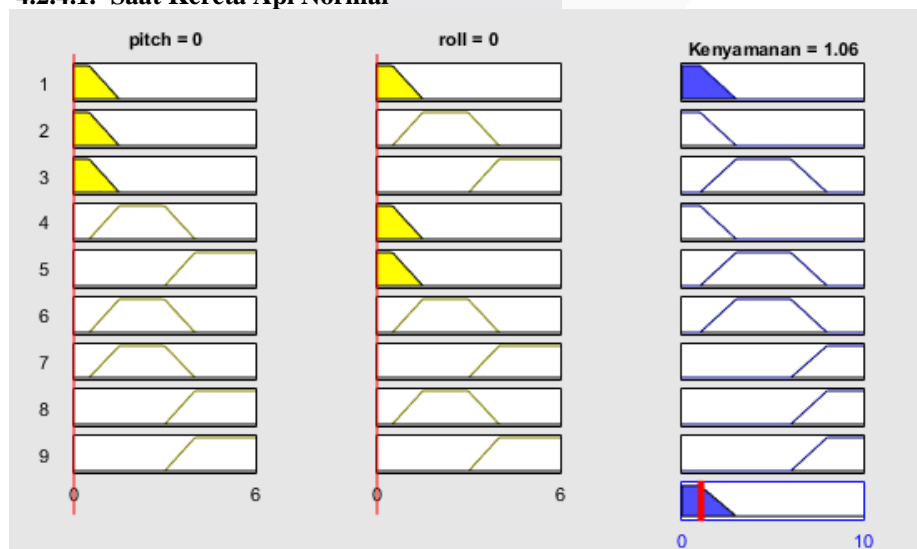
Tujuan pengujian ini adalah untuk perhitungan dan mengetahui berapa nilai *indeks* Kenyamanan penumpang dalam kereta api saat terjadi Rintangan tanjakan, turunan, berbelok dari variabel *output* kenyamanan *matlab* yang berisi nilai indeks 0 sampai dengan 10.

Diketahui bahwa kenyamanan di kereta dalam perhitungan aplikasi *matlab* metode *fuzzy logic* variabel *output* nilai *indeks* nilai di atas 5 itu tidak nyaman, dibawah 5 itu nyaman.

Untuk mengeluarkan nilai indeks tersebut jika 4 buah variabel *input* yaitu variable tanjakan, variable turunan, variable berbelok, variable kecepatan, maka variable *output* nilai *indeks* kenyamanan akan muncul otomatis, Untuk 4 buah variabel *input* tersebut didapat dan sudah di filter dari penulis yang sudah menganalisa dilapangan tepatnya menaiki kereta *rute* bekasi ke cibitung.

Pada pengujian kali ini penulis memakai metode *fuzzy logic*. Dapat beberapa contoh hasil pengujian yaitu :

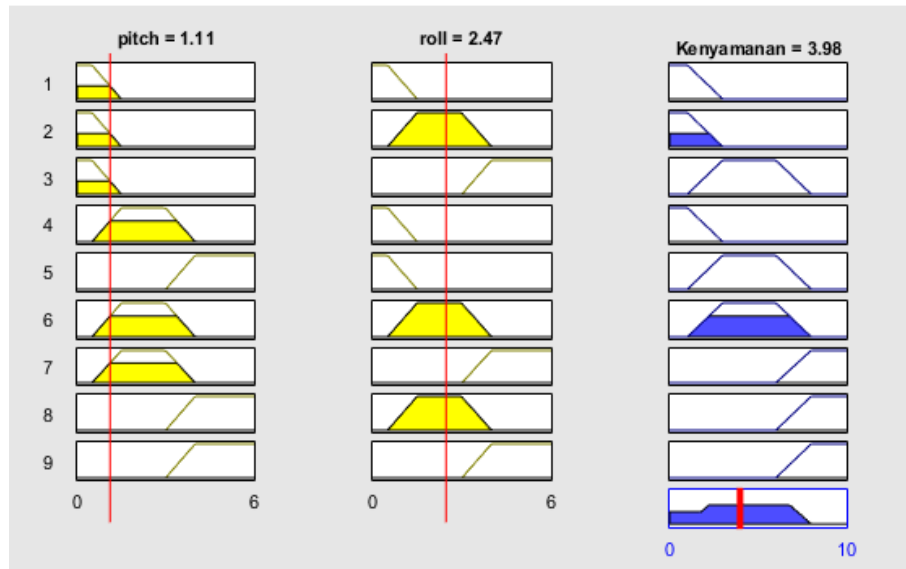
4.2.4.1. Saat Kereta Api Normal



Tabel 1.8. : Tabel Hasil Defuzzifikasi Saat Tidak Ada Rintangan

Pada saat tidak terjadi tidak ada Rintangan pada melaju kereta api dengan maka asumsi *output* kenyamanannya sebesar adalah 1,06.

4.2.4.2. Saat Kereta Api Melewati Berbelok Atau Tingkungan Dan Menanjak Dan Menurun

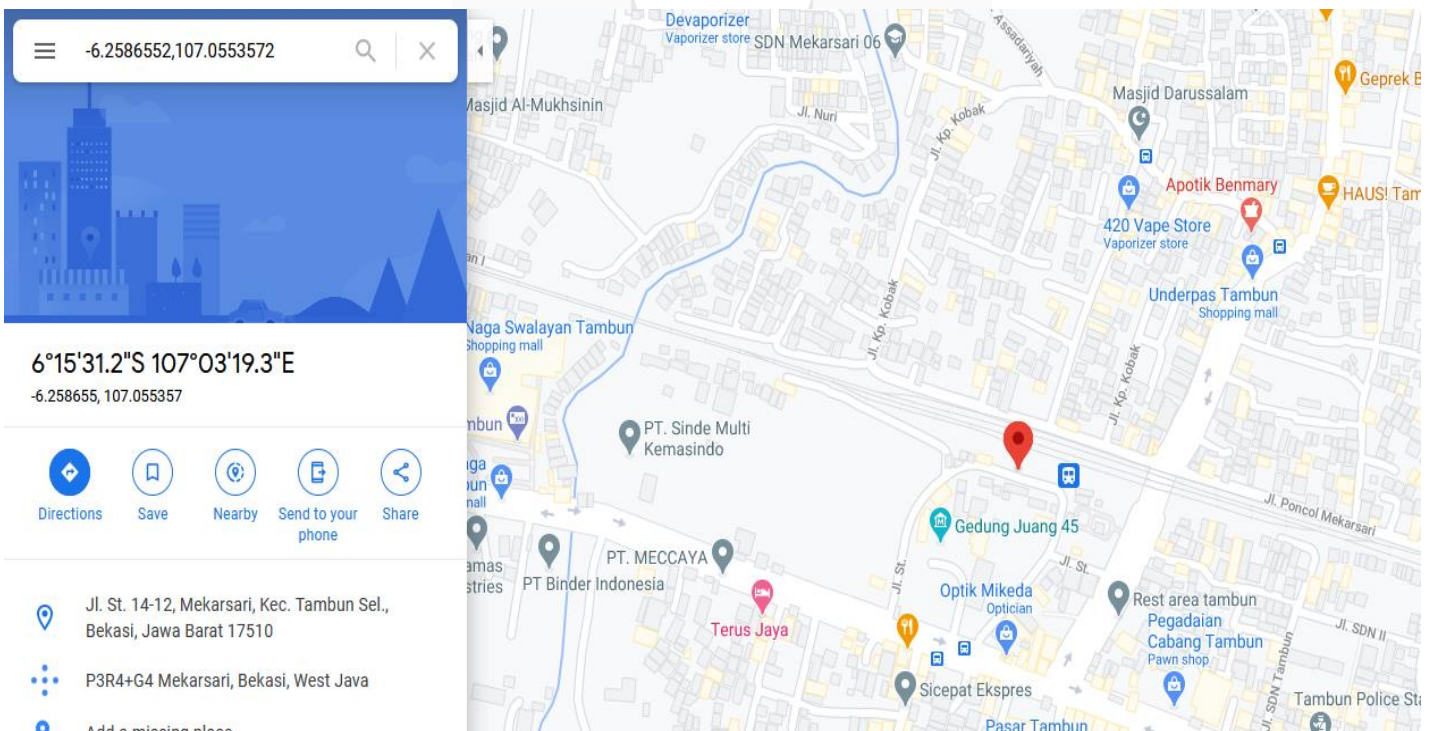


Tabel 1.9. : Tabel Hasil Defuzzifikasi Saat Terjadi Rintangan

Pada saat terjadi rintangan berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode input *fuzzy logic pitch* yaitu 1.11 dan *roll* yaitu 2.47 maka asumsi *output* kenyamanannya sebesar adalah 3.98.

4.2.4.3. Hasil Pengujian Lokasi GPS Saat Melewati Berbelok Atau Tingkungan Dan Menanjak Dan Menurun

Pada peta lokasi gps saat terjadi rintangan berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode input *fuzzy logic pitch* yaitu 1.11 dan *roll* yaitu 2.47 dan hasil kenyamanan 3.98, maka lokasi berada *Latitude* (\hat{A}°) -6.2586552 dan *Longitude* (\hat{A}°) 107.0553572, untuk membuka *Latitude* (\hat{A}°), *Longitude* (\hat{A}°) lokasi GPS melalui google maps :



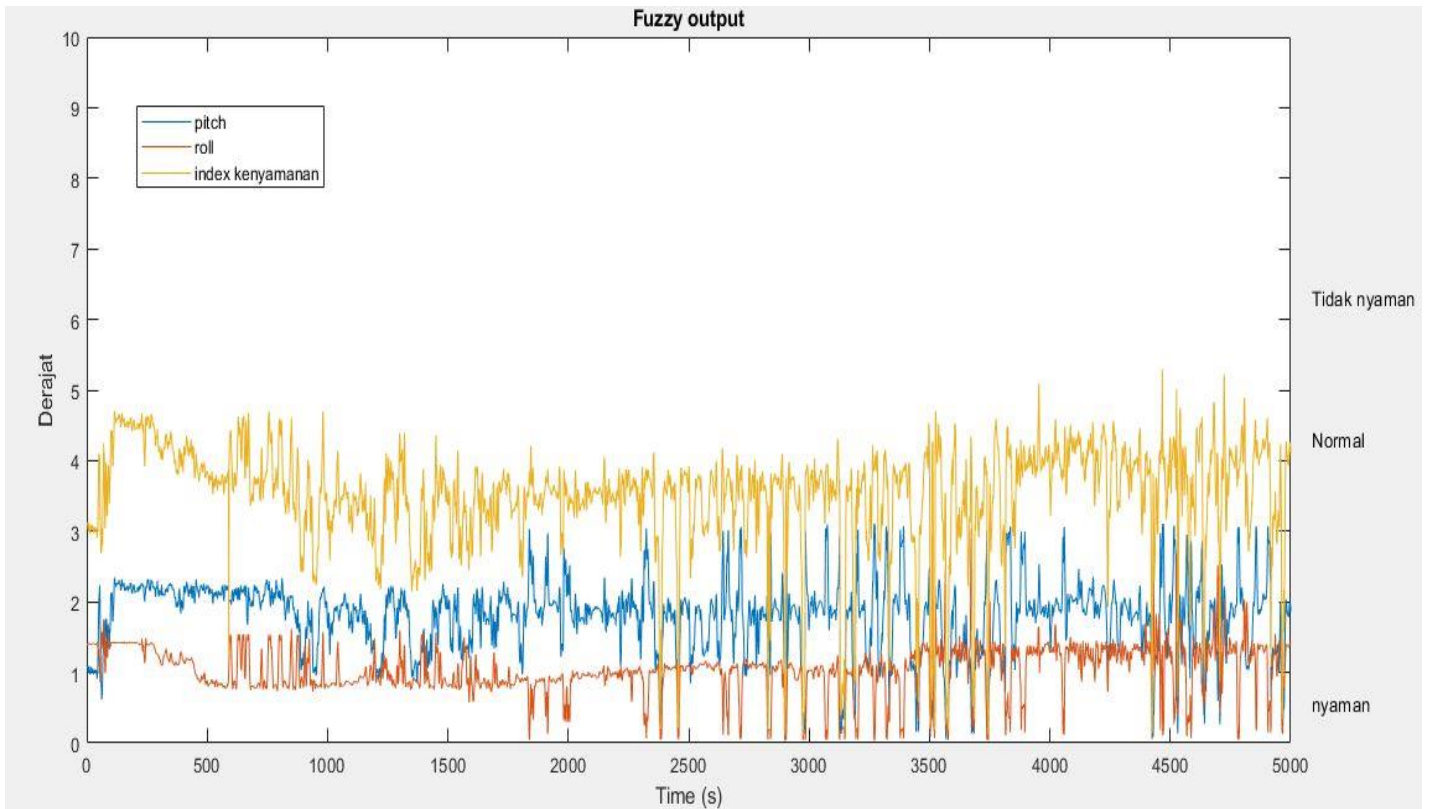
Gambar 25. : Hasil lokasi *GPS* saat terjadi rintangan

4.2.4.4. Hasil pengujian *fuzzy output* Saat Melewati Berbelok Atau Tingkungan Dan Menanjak Dan Menurun

Pengujian *fuzzy output* ini yaitu pengujian terakhir dari tugas akhir, berfungsi untuk menampilkan grafik. Berikut pengujian menunjukkan hasil pengujian *fuzzy output* 20 table *fuzzy output* hasil saat terjadi rintangan:

no	pich	roll	tingkat kenyamanan	Keterangan mamdani saat rintangan
1	1.090070272	1.38337846	3.09	normal
2	1.099825817	1.390601645	3.11	normal
3	1.092317008	1.406590383	3.12	normal
4	1.073273734	1.409791937	3.10	normal
5	1.013277747	1.416901871	3.04	normal
6	1.015794825	1.42094696	3.05	normal
7	0.985399237	1.411465519	3.00	nyaman
8	1.006556649	1.41024322	3.02	normal
9	1.078566486	1.399655473	3.10	normal
10	1.090718499	1.401199484	3.11	normal
11	1.029587093	1.404365454	3.04	normal
12	1.015251205	1.406693391	3.03	normal
13	0.980159981	1.413203178	2.99	nyaman
14	0.976837493	1.404173793	2.98	nyaman
15	0.970744473	1.40153718	2.97	nyaman
16	1.027154478	1.395193105	3.03	normal
17	1.044351976	1.393562833	3.05	normal
18	1.054513144	1.399483398	3.07	normal
19	1.076183892	1.39919833	3.09	normal
20	1.056055576	1.403903973	3.07	normal

Tabel 2.0. : Tabel Data *fuzzy output* saat terjadi rintangan



Gambar 26. : Hasil *fuzzy output* saat terjadi rintangan



5. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan pada sistem peringatan rintangan tikungan, tanjakan, turunan pada jalur kereta api, maka kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Sistem pengendalian kereta api saat terjadi rintangan, dirancang menggunakan satu buah melalui, sensor *Accelerometer*, dan satu buah sensor *Gyroscope*, dan sensor *IMU* pada *smartphone*, Dimana *IMU* pada *smartphone* diletakan pada kabin kereta api dekat dengan kursi penumpang. Pada saat terjadi rintangan, kemudian Sensor-sensor tersebut akan di filter menggunakan *low-pass filter*, *high-pass filter*, *Savitzky-Golay filter*, *pitch and roll filter* melalui perangkat komputer, kemudian hasil *output* sensor yang sudah di filter tersebut menjadi data tingkat kenyamanan, dan data tersebut akan di jadikan peta Getaran dan *indeks fuzzy logic*, kemudian Penguji untuk mengirim data tersebut ke stasiun pusat, Kemudian data akan di olah stasiun pusat akan bertindak lanjuti memperbaiki jalur rel kereta api atau mengatur kelajuan kecepatan kereta api.
2. Untuk mendapatkan hasil Kenyamanan pada *rute* rintangan kereta api, penulis menggunakan metode *fuzzy logic* Dengan menggunakan 4 buah *input* pada proses *fuzzifikasi* dan menggunakan 9 *rules*, sehingga dapat menentukan hasil Kenyamanan dari setiap rintangan.
3. Rata - rata delay merekam data menggunakan *smartphone* sebesar 1,8 detik *rute* yang dilaluinya, dan aplikasi *phyphox* cuman bertaham merekam akulasi *rute* selama 30 menit sampai 1 jam saat merekam.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, Saran untuk pengembangan selanjutnya sebagai berikut :

1. Untuk pengembangan lebih lanjut disarankan menambahkan fitur aplikasi seperti *matlab* di dalam *smartphone* untuk proses menghasilkan data lebih instan.
2. Untuk pengembangan lebih lanjut disarankan aplikasi *phyphox* bertaham lebih lama lagi saat merekam.
3. Untuk pengembangan lebih lanjut disarankan aplikasi *phyphox* menyimpan data sensor di excel tidak terpisah – pisah.
4. Untuk pengembangan lebih lanjut disarankan aplikasi *Matlab* terutama defuzzyfikasi bisa menyimpan data ke excel.
5. Diharapkan untuk ke depannya sistem ini mampu menentukan jarak kerta api dari titik saat rintangan tiba dan jarak pengereman yang aman.
6. Diharapkan untuk ke depannya untuk sistem pembacaan *RPM* lebih baik lagi agar tingkat keakurasian tinggi.

REFERENSI

- [1] George, Thommen Karimpanal, et al. "Sensing discomfort of standing passengers in public rail transportation systems using a smartphone." *2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*. IEEE, 2013.
- [2] Munawir, Tengku Imran Tengku, et al. "A comparison study on the assessment of ride comfort for LRT passengers." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 226. No. 1. IOP Publishing, 2017.
- [3] Passaro, Vittorio, et al. "Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective." *Sensors* 17.10 (2017): 2284.
- [4] Beauregard, Stephane, and Harald Haas. "Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning." *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication*. 2006.
- [5] Pratama, Azkario Rizky, and Widyawan Widyawan. "Pedestrian Dead Reckoning pada Ponsel Cerdas sebagai Sistem Penentuan Posisi dalam Ruang." *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)* 2.3 (2013): 20-25.
- [6] Komariyah, Siti, Riza M. Yunus, and Sandi Fajar Rodiyansyah. "Logika Fuzzy dalam Sistem Pengambilan Keputusan Penerimaan Beasiswa." *PROCEEDING STIMA* (2016).
- [7] Huang, Wencheng, and Bin Shuai. "A methodology for calculating the passenger comfort benefits of railway travel." *Journal of Modern Transportation* 26.2 (2018): 107-118.
- [8] Mızrak, Cihan, and İsmail Esen. "The optimisation of rail vehicle bogie parameters with the fuzzy logic method in order to improve passenger comfort during passage over bridges." *International Journal of Heavy Vehicle Systems* 24.2 (2017): 113-139.
- [9] Munawir, Tengku Imran Tengku, et al. "A comparison study on the assessment of ride comfort for LRT passengers." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 226. No. 1. IOP Publishing, 2017.
- [10] Yuwono, Elizabeth Irenne, and Tony Antonio. "Studi Format Audio dan Teks Untuk Modul Speech to Text." (2015).
- [11] Fourati, Hassen, et al. "Position estimation approach by complementary filter-aided IMU for indoor environment." *2013 European Control Conference (ECC)*. IEEE, 2013.
- [12] Cavana, Robert Y., Lawrence M. Corbett, and YL Glenda Lo. "Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality." *International Journal of Quality & Reliability Management* (2007).
- [13] Soizick, B., and J. M. C. Bastien. "The Contribution of Ergonomics to the Design of Product: an Application to Airplane Passenger Seats." (2008).
- [14] Sullivan, John M. *Visual fatigue and the driver*. University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute, 2008.
- [15] Kölnedorfer, P. "" Kinetosis/Motion Sickness: A new Approach for Adaptation in Virtual Reality"; *Betreuer/in (nen): H. Kaufmann; Institute for Software Technology and Interactive Systems*, 2009.
- [16] King, A. D. "Inertial navigation-forty years of evolution." *GEC review* 13.3 (1998): 140-149.
- [17] Schafer, Ronald W. "On the frequency-domain properties of Savitzky-Golay filters." *2011 Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting (DSP/SPE)*. IEEE, 2011.

