



Laporan *Project Based Learning* Mata Kuliah

VE230519 – Optimasi Industri

Semester Gasal 2024/2025

Structural Health Monitoring System

Disusun oleh:

Nama : Jonathan Oktaviano Frizzy

NRP : 2040221060

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknik Elektro Otomasi

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Desember 2024

DAFTAR ISI

RINGKASAN	1
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 Deskripsi Project	2
1.2 Target dan Cakupan Project	2
BAB II MATERI MATA KULIAH OPTIMASI INDUSTRI	4
2.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	4
2.2 Materi Perkuliahan	4
2.2.1 Riset Operasi	4
2.2.2 Langkah-langkah Riset Operasi	5
2.2.3 Peran Optimasi pada Riset Operasi	5
2.2.4 Linier Programming dan Penerapannya	6
2.2.4.1 Dasar- dasar Linier Programming	6
2.2.5 Metode Simplex	8
2.2.6 Metode Dualitas	9
2.2.7 Optimasi Non-linier	10
2.2.7.1 Metode penyelesaian dalam optimasi linier	10
2.2.8 Algoritma Genetika untuk Optimasi	10
BAB III ANALISA KORELASI PROJECT DENGAN MATA KULIAH OPTIMASI INDUSTRI	12
3.1 Korelasi Langsung dengan Mata Kuliah Optimasi Industri	12
3.1.1 Penggunaan Optimasi dalam Pemrosesan Data Real-Time	12
3.1.2 Pemanfaatan logika fuzzy dalam estimasi getaran	13
3.2 Rencana Pengembangan	13
BAB IV MATERI YANG PERLU DIPERDALAM	14
4.1 Optimasi dalam Pengolahan Data Real-Time	14
4.2 <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i>	14

DAFTAR PUSTAKA 15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.5 1 Simplex Example	8
Gambar 3.1.1 1 Discrete Kalman Filter Diagram	12

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Deskripsi Pembagian Kerja.....	2
Tabel 1. 2 Target Proyek.....	3

RINGKASAN

Structural Health Monitoring System (SHMS) berbasis teknologi Industri 4.0, yang dirancang untuk menampilkan dan merekap data *real-time* guna mendukung klasifikasi kesehatan, kerusakan, atau kebutuhan perbaikan suatu bangunan. Sistem ini memanfaatkan data dari berbagai sensor, seperti akselerometer, giroskop, *strain gauge*, sensor suhu, dan kelembaban. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi bangunan, terutama deformasi atau potensi kerusakan struktural. Proyek ini mengintegrasikan algoritma *Kalman Filter* untuk mengurangi noise pada data akselerometer dan giroskop (*MPU6050*), sehingga akurasi deteksi derajat kemiringan bangunan meningkat. Selain itu, logika fuzzy sederhana diterapkan untuk memetakan getaran bangunan ke dalam skala magnitudo dan estimasi dampak gempa berdasarkan jarak episenter 500 meter menggunakan akselerometer ADXL345. Meskipun proyek ini belum menghasilkan klasifikasi kesehatan bangunan secara komprehensif, data aktual yang diperoleh dari sensor dan algoritma memberikan landasan yang kuat untuk pengembangan selanjutnya. Diharapkan, sistem ini dapat menghasilkan pengambilan keputusan yang mendukung tindakan seperti *maintenance prediktif* atau *preventif maintenance*. Produk ini dirancang agar bersifat portabel, dengan potensi penerapan pada berbagai infrastruktur, seperti bangunan bertingkat, jembatan, atau robot. Keunggulan utama sistem ini adalah kemampuan integrasi real-time dengan website yang mendukung kecepatan pembaruan data hingga 5 Hz, penggunaan sensor presisi tinggi, dan logika filtering yang efektif. Pengembangan lanjutan dari proyek ini mencakup implementasi machine learning untuk prediksi kerusakan serta kebutuhan *predictive*, *preventive*, atau *corrective maintenance*. Meskipun proyek ini masih menggunakan miniatur sebagai media uji coba, kedepannya sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap analisis, monitoring dan pemeliharaan infrastruktur sipil.

Kata Kunci: *Structural Health Monitoring System, Kalman Filter, Fuzzy Logic. Real-time.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Deskripsi Project

Structural Health Monitoring System (SHMS) adalah alat berbasis *low cost sensor* seperti MPU6050 dan ADXL345 yang digunakan untuk memantau kondisi struktural bangunan secara *real-time*[1]. Sistem ini mengintegrasikan algoritma Kalman Filter untuk meningkatkan keakuratan data kemiringan dan getaran serta logika fuzzy untuk analisis getaran skala Richter dengan radius episenter tertentu. Data yang diperoleh mencakup parameter seperti getaran, kemiringan, keregangan, suhu, dan kelembaban, yang diolah untuk mendukung pengambilan keputusan terkait perawatan bangunan[2]. Proyek ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi monitoring infrastruktur dengan pendekatan yang portable, presisi, dan terjangkau[3] [4].

1.2 Target dan Cakupan Project

Pada proyek kali ini, *Structural Health Monitoring System* dibuat dengan tim pelaksana yang terdiri dari mahasiswa angkatan 2022. Berikut Merupakan penjelasan lebih detail mengenai cakupan proyek, dan pembagian tugasnya.

Tabel 1.1 Deskripsi Pembagian Kerja

Cakupan Proyek	Nama	Deskripsi
<i>Embedded System</i>	Jonathan Oktaviano Frizzy	Membuat desain sistem proyek meliputi redundansi, power dan komunikasi, melakukan pemrograman kontrol, mikrokontroler, dan sensor
<i>Web Developer</i>	Kevin Safrisal Maulana	Melakukan pemrograman <i>Back-end</i> untuk mengolah <i>database</i> & dan pemrograman <i>Front-end</i> untuk menampilkan sistem monitoring berbasis lokal
<i>Electrical Designer</i>	Taufiq Septiyawan Azhari	Membuat desain skematik elektrik, dan <i>prototyping</i> pada SHMS, <i>debugging</i> & manajemen tim
<i>Administration</i>	Raihan Dzikry Wahidin	-
<i>Hardware & Logistic</i>	Theo Andre Gunawan	Melakukan <i>assembly</i> pada alat, mengurus segala hal dibidang logistic dan administrasi

Kemudian berikut merupakan target yang ditetapkan untuk proyek *Structural Health Monitoirng System*

Tabel 1. 2 Target Proyek

Target	Ketercapaian
Perancangan sistem elektrik dan komunikasi	✓
Melakukan pemrograman <i>embedded</i> dan <i>website</i> monitoring	✓
Implementasi Kalman Filter sebagai filter untuk noise	✓
Implementasi logika Fuzzy untuk menentukan kekuatan getaran	✓
Melakukan perancangan prototipe	✓
Memastikan data seluruh sensor terbaharui setiap 5hz	✓
Setiap data pada sensor terbaharui di sistem monitoring setiap 5hz	✓
<i>Website</i> monitoring dapat menampilkan grafik sensor	✓
Modul memiliki <i>power emergency</i> jika sumber <i>power</i> utama mati	✓
Modul dapat menampilkan kemiringan bangunan	✓
Modul dapat menampilkan satuan richter dan magnitude	✓

BAB II MATERI MATA KULIAH OPTIMASI INDUSTRI

2.1 Capaian Pembelajaran Mata Kuliah

Adapun capaian pembelajaran matakuliah Bahasa Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu memahami konsep dasar riset operasi dan optimasi
2. Mahasiswa mampu memahami Linear Programming dan penerapannya
3. Mahasiswa mampu menggunakan metode Simplex, dualitas dalam optimasi
4. Mahasiswa mampu memahami optimasi nonlinear
5. Mahasiswa mampu menggunakan Algoritma Genetika untuk optimasi

2.2 Materi Perkuliahan

Pada bab ini, dijelaskan secara rinci materi yang menjadi pokok pembahasan dalam mata kuliah Riset Operasi dan Optimasi. Pembahasan ini berfokus pada pemahaman konsep dasar riset operasi, penerapan Linear Programming (LP), serta penggunaan teknik dan algoritma yang digunakan dalam menyelesaikan masalah optimasi, baik dalam konteks linier maupun nonlinear. Selain itu, materi ini mencakup pembahasan mengenai penggunaan metode Simplex, dualitas dalam optimasi, serta penerapan Algoritma Genetika dalam optimasi..

2.2.1 Riset Operasi

Riset Operasi (RO) adalah suatu disiplin ilmu yang berfokus pada penggunaan teknik-teknik matematika dan statistika untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah yang kompleks dalam berbagai sektor. Tujuan utama dari riset operasi adalah untuk membantu pengambilan keputusan yang lebih baik, efisien, dan efektif, dengan cara merumuskan masalah dalam bentuk model matematis dan mencari solusi optimal. Riset operasi didasarkan pada pendekatan sistematis dalam menganalisis masalah, yang melibatkan identifikasi masalah, perumusan model, dan pemilihan metode atau teknik yang tepat untuk menemukan solusi yang paling efisien dan memenuhi tujuan yang diinginkan. Salah satu hal yang membedakan riset operasi dengan pendekatan lain adalah keterlibatannya dalam pencarian solusi yang optimal, baik itu untuk memaksimalkan keuntungan, meminimalkan biaya, atau mencapai tujuan lainnya sesuai dengan kebutuhan. Tujuan utama riset operasi adalah:

- Mengoptimalkan sumber daya: Menggunakan metode matematika untuk memperoleh hasil terbaik dengan memanfaatkan sumber daya yang terbatas.
- Meningkatkan efektivitas dan efisiensi: Menyelesaikan masalah dengan cara yang lebih efektif dan efisien, yang berdampak langsung pada peningkatan produktivitas.

- Memperbaiki pengambilan keputusan: Membantu pihak-pihak yang terlibat dalam pengambilan keputusan untuk membuat keputusan yang lebih tepat berdasarkan analisis sistematis.

2.2.2 Langkah-langkah Riset Operasi

A. Identifikasi Masalah dan Perumusan Model Matematis

- Langkah pertama dalam riset operasi adalah mengidentifikasi masalah yang perlu diselesaikan. Masalah tersebut dapat berupa masalah dalam produksi, distribusi, perencanaan jadwal, atau masalah lainnya yang membutuhkan solusi optimal.
- merumuskan masalah tersebut ke dalam bentuk model matematis. Model ini menggambarkan hubungan antara berbagai variabel yang terlibat dalam masalah. Model tersebut biasanya terdiri dari fungsi tujuan (objective function) dan kendala-kendala (constraints) yang membatasi solusi yang mungkin.

B. Penyelesaian Masalah Menggunakan Teknik Optimasi yang Sesuai

- Setelah model matematis disusun, langkah berikutnya adalah memilih teknik optimasi yang tepat untuk menyelesaikan masalah. Teknik ini dapat bervariasi, tergantung pada jenis dan kompleksitas masalahnya. Beberapa teknik yang umum digunakan dalam riset operasi termasuk Linear Programming (LP), Pemrograman Dinamis (DP), Teori Antrian, dan Algoritma Genetika.
- Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya, sehingga pemilihan metode yang tepat sangat penting untuk mencapai solusi optimal.

C. Evaluasi Hasil dan Implementasi

- Mengevaluasi hasil yang diperoleh dan memastikan bahwa solusi tersebut memenuhi tujuan yang telah ditetapkan. Evaluasi ini dapat dilakukan dengan menganalisis seberapa efektif dan efisien solusi yang diterapkan dalam konteks dunia nyata.
- Implementasi keputusan mencakup penerapan hasil riset operasi dalam praktek. Hal ini bisa mencakup perubahan dalam alur kerja, penyesuaian dalam proses produksi, atau perbaikan dalam distribusi. Keberhasilan implementasi sangat bergantung pada akurasi model yang digunakan dan kemampuan dalam mengadaptasi solusi ke dalam sistem yang ada.

2.2.3 Peran Optimasi pada Riset Operasi

Optimasi adalah inti dari riset operasi, karena tujuan utama dari riset operasi adalah untuk menemukan solusi terbaik dalam kondisi terbatas. Dalam konteks ini, optimasi merujuk pada

pencarian solusi yang memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi objektif, dengan mempertimbangkan berbagai kendala yang ada. Berikut implementasi di bidang yang lain:

- **Manajemen Produksi:** Dalam industri manufaktur, riset operasi dapat digunakan untuk merencanakan jadwal produksi yang efisien, dengan tujuan mengoptimalkan pemanfaatan mesin dan tenaga kerja, serta mengurangi biaya produksi.
- **Distribusi:** Teknik optimasi digunakan untuk merencanakan distribusi barang dengan cara yang paling efisien, baik dalam hal waktu maupun biaya. Misalnya, dalam masalah transportasi, riset operasi dapat digunakan untuk menentukan rute terbaik yang mengurangi biaya pengiriman barang.
- **Masalah Logistik:** Dalam sektor logistik, optimasi membantu merencanakan aliran barang dan bahan baku dari pemasok ke pelanggan. Teknik optimasi digunakan untuk mengatur jalur pengiriman yang efisien, menentukan ukuran dan kapasitas gudang, serta merencanakan pengelolaan persediaan yang optimal.

2.2.4 Linier Programming dan Penerapannya

Linear Programming (LP) adalah teknik matematika yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi di mana hubungan antara variabel keputusan adalah linier. Teknik ini sangat berguna untuk mencari solusi terbaik dalam situasi di mana sumber daya terbatas dan keputusan harus dibuat untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi objektif, seperti biaya atau keuntungan. LP merupakan bagian penting dari riset operasi yang banyak diterapkan dalam berbagai bidang industri, logistik, manajemen produksi, dan lainnya.

2.2.4.1 Dasar-dasar Linier Programming

Linear Programming (LP) berfokus pada pencarian solusi terbaik untuk masalah optimasi dengan mempertimbangkan kendala-kendala tertentu. Untuk lebih memahami konsep ini, mari kita bahas dua komponen utama dalam LP: fungsi tujuan dan kendala.

A. Fungsi Tujuan dan Kendala

- **Fungsi Tujuan (*Objective Function*):** Fungsi tujuan adalah ekspresi matematika yang menggambarkan tujuan yang ingin dicapai dalam suatu masalah optimasi. Tujuan ini bisa berupa memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan biaya. Fungsi tujuan biasanya ditulis dalam bentuk linier, yaitu sebagai kombinasi linier dari variabel keputusan. Sebagai contoh, jika kita ingin memaksimalkan keuntungan dari produksi dua jenis produk, maka fungsi tujuan bisa ditulis sebagai:

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2$$

Dimana Z adalah keuntungan total, x_1 dan x_2 adalah jumlah produk yang diproduksi, dan c_1, c_2 adalah keuntungan unit produk masing-masing.

- Kendala (*Constraints*): Kendala adalah batasan atau pembatas dalam masalah optimasi yang perlu dipenuhi. Biasanya, kendala berbentuk persamaan atau pertidaksamaan linier yang membatasi variabel keputusan. Kendala ini biasanya terkait dengan sumber daya yang terbatas, seperti bahan baku, waktu, atau kapasitas produksi.

$$a_1x_1 + a_2x_2 \leq B$$

Dimana a_1 dan a_2 adalah jumlah bahan baku yang diperlukan untuk masing-masing produk, dan B adalah total bahan baku yang sama.

B. Formulasi masalah LP

- Langkah pertama dalam menyusun masalah LP adalah menentukan fungsi tujuan yang ingin dicapai (misalnya, memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan biaya).
- Kemudian, kendala-kendala yang berlaku harus diidentifikasi dan ditulis dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan linier.
- Terakhir, variabel keputusan perlu didefinisikan dengan jelas, yaitu variabel-variabel yang dapat diubah untuk mencapai tujuan. Variabel keputusan ini biasanya merepresentasikan hal-hal seperti jumlah produk, waktu, atau sumber daya yang digunakan.

Sebagai contoh, dalam masalah produksi, kita ingin memaksimalkan keuntungan dengan dua jenis produk, dengan kendala bahan baku dan waktu produksi.

Formulasi LP dapat ditulis sebagai:

$$\text{Maksimalkan } Z = c_1x_1 + c_2x_2$$

Dengan kendala:

Kendala Bahan Baku :

$$a_1x_1 + a_2x_2 \leq B$$

Kendala waktu produksi:

$$t_1x_1 + t_2x_2 \leq T$$

C. Penerapan Linear Programming

- Manajemen Produksi: Di pabrik atau perusahaan manufaktur, LP digunakan untuk merencanakan produksi barang dengan cara yang efisien, meminimalkan biaya produksi, atau memaksimalkan output. Misalnya, jika perusahaan memiliki beberapa jenis produk yang memerlukan bahan baku

terbatas dan fasilitas produksi dengan kapasitas terbatas, LP dapat digunakan untuk menentukan jumlah optimal dari setiap produk yang harus diproduksi.

- Perencanaan Sumber Daya: LP juga digunakan dalam merencanakan alokasi sumber daya yang terbatas, seperti tenaga kerja, mesin, atau bahan baku, dengan cara yang paling efisien untuk memaksimalkan keuntungan atau output.
- Optimasi Rantai Pasokan: Dalam dunia distribusi, LP digunakan untuk meminimalkan biaya transportasi, merencanakan alur distribusi barang, dan mengoptimalkan lokasi gudang atau pusat distribusi untuk mencapai efisiensi yang maksimal.

2.2.5 Metode Simplex

Metode Simplex dan konsep dualitas adalah dua komponen kunci dalam teori dan aplikasi Linear Programming (LP). Metode Simplex digunakan untuk menemukan solusi optimal dari masalah LP, sementara dualitas membantu dalam analisis lebih mendalam terhadap masalah dan solusi yang ditemukan, serta dalam mengevaluasi dampak perubahan parameter dalam model LP.

A. Metode Simplex

Metode Simplex adalah algoritma iteratif yang digunakan untuk menemukan solusi optimal dari masalah Linear Programming. Algoritma ini dimulai dari suatu titik solusi yang memenuhi kendala-kendala LP dan bergerak menuju solusi yang lebih baik dengan melakukan iterasi di sepanjang sisi-sisi polihedron (batasan ruang solusi). Simplex berfokus pada pencarian titik sudut (corner point) yang optimal dalam ruang solusi. Berikut merupakan prinsip dasarnya

- Proses Iteratif: Metode Simplex bekerja dengan memulai dari suatu titik solusi yang feasible (memenuhi semua kendala) dan kemudian melakukan iterasi untuk bergerak ke solusi yang lebih baik. Setiap iterasi berpindah dari satu titik sudut ke titik sudut lainnya di dalam ruang solusi yang lebih baik. Titik sudut yang lebih baik berarti nilai fungsi tujuan menjadi lebih optimal (maksimal atau minimal).

$$\begin{aligned} & \textit{maximize} \quad P = 30x + 40y \\ & \textit{subject to} \quad 2x + y \leq 10 \\ & \quad \quad \quad x + y \leq 7 \\ & \quad \quad \quad x + 2y \leq 12 \\ & \quad \quad \quad x, y \geq 0 \end{aligned}$$

Gambar 2.2.5 1 Simplex Example

- Kondisi Optimal: Proses iterasi berlanjut hingga ditemukan titik sudut yang tidak dapat diperbaiki lagi, yang disebut titik solusi optimal. Titik ini adalah solusi yang memaksimalkan atau meminimalkan fungsi tujuan, sesuai dengan masalah yang sedang diselesaikan.

B. Langkah-langkah dasar dalam penerapan metode Simplex

- Menyusun Model LP dalam Bentuk Standar: Fungsi tujuan dan kendala ditulis dalam bentuk standar, yang memungkinkan penerapan metode Simplex. Fungsi tujuan ditulis dalam bentuk persamaan, dan kendala-kendala disusun dalam bentuk pertidaksamaan linier.
- Menyiapkan Tabel Simplex: Tabel Simplex adalah representasi matriks yang digunakan untuk menyusun informasi mengenai variabel keputusan dan nilai fungsi tujuan. Tabel ini menyertakan informasi tentang variabel dasar dan non-dasar, serta koefisien fungsi tujuan dan kendala.
- Iterasi Simplex: Pada setiap langkah iterasi, kita memilih variabel masuk (entering variable) yang akan meningkatkan fungsi tujuan, dan variabel keluar (leaving variable) yang akan digantikan. Iterasi ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan matriks untuk memperbarui nilai-nilai dalam tabel Simplex.
- Solusi Optimal: Proses iterasi berlanjut hingga tidak ada lagi variabel yang dapat meningkatkan nilai fungsi tujuan. Ketika kondisi ini tercapai, solusi yang ada pada tabel adalah solusi optimal dari masalah LP.

2.2.6 Metode Dualitas

Konsep dualitas dalam Linear Programming merujuk pada hubungan antara dua masalah yang terkait, yaitu masalah primal dan masalah dual. Dualitas memberikan wawasan tambahan tentang struktur masalah dan dapat digunakan untuk berbagai analisis sensitifitas, yang dapat membantu dalam memahami bagaimana perubahan pada parameter model mempengaruhi solusi.

A. Definisi Dualitas

- Masalah Primal: Masalah primal adalah bentuk asli dari masalah LP yang ingin diselesaikan. Dalam masalah primal, tujuan adalah untuk memaksimalkan atau meminimalkan fungsi tujuan di bawah kendala-kendala tertentu.
- Masalah Dual: Masalah dual terkait dengan masalah primal dan memiliki struktur yang sangat erat. Setiap masalah primal dapat diubah menjadi masalah dual, dan solusi dari masalah dual memberikan informasi yang sangat berharga tentang masalah primal. Hubungan antara masalah primal dan dual sangat mendalam dan disebut prinsip dualitas

2.2.7 Optimasi Non-linier

Optimasi Nonlinear (NLO) adalah cabang dari optimasi yang berfokus pada pemecahan masalah di mana fungsi tujuan atau kendala tidak bersifat linear. Berbeda dengan Linear Programming (LP) yang hanya dapat menangani masalah dengan hubungan linier, optimasi nonlinear memungkinkan model yang lebih kompleks, di mana hubungan antara variabel tidak mengikuti bentuk garis lurus.

2.2.7.1 Metode penyelesaian dalam optimasi linier

- Metode Gradien: Metode ini digunakan untuk menemukan titik minimum atau maksimum dari suatu fungsi tujuan dengan menggunakan informasi gradien (turunan pertama) dari fungsi tersebut. Metode gradien dapat diterapkan pada masalah optimasi tanpa kendala maupun dengan kendala. Salah satu metode gradien yang paling terkenal adalah Gradient Descent.
- Metode Newton: Metode ini lebih cepat dibandingkan dengan metode gradien, karena menggunakan informasi kedua turunan (Hessian matrix) untuk menemukan titik ekstrem (minimum atau maksimum) dari fungsi. Namun, metode ini memerlukan perhitungan matriks yang lebih kompleks.
- Metode Lagrange: Digunakan untuk masalah optimasi dengan kendala. Teknik ini menggabungkan kendala dalam fungsi tujuan dengan menggunakan variabel Lagrange untuk membentuk fungsi yang baru. Dengan demikian, solusi dari masalah optimasi dapat ditemukan dengan menyelesaikan sistem persamaan yang dibentuk oleh fungsi Lagrange.
- Metode Algoritma Evolusi: Teknik ini termasuk dalam kategori algoritma pencarian global yang dapat digunakan untuk masalah optimasi nonlinear yang kompleks. Salah satu metode terkenal adalah Genetic Algorithm

2.2.8 Algoritma Genetika untuk Optimasi

Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm/GA*) adalah metode optimasi berbasis pencarian global yang terinspirasi oleh proses evolusi biologis. Algoritma ini digunakan untuk mencari solusi optimal atau mendekati optimal dalam masalah optimasi yang kompleks, terutama dalam masalah yang tidak dapat diselesaikan dengan metode optimasi tradisional. Berikut merupakan prinsip dasarnya:

- Reproduksi dan Seleksi: Proses evolusi dalam algoritma genetika dimulai dengan populasi solusi yang disebut sebagai individu atau chromosome. Setiap individu mewakili solusi potensial dari masalah yang sedang diselesaikan. Proses seleksi memilih individu-individu terbaik berdasarkan kriteria tertentu, seperti nilai fungsi tujuan.

- Crossover (Persilangan): Crossover adalah proses di mana dua individu dipilih dan "disilangkan" untuk menghasilkan individu baru. Ini bertujuan untuk menggabungkan sifat-sifat terbaik dari kedua individu untuk menciptakan solusi yang lebih baik.
- Mutasi: Mutasi adalah proses acak yang mengubah nilai dalam solusi individu untuk menjaga keragaman dalam populasi dan mencegah konvergensi prematur ke solusi suboptimal.
- Evaluasi dan Generasi Baru: Setelah crossover dan mutasi dilakukan, individu baru dievaluasi untuk menentukan apakah mereka lebih baik daripada individu yang ada. Proses ini kemudian diulang dalam beberapa generasi untuk mencari solusi yang lebih baik.

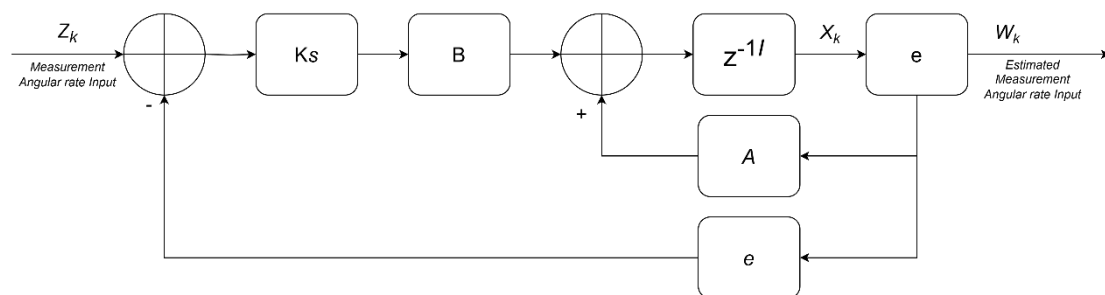
BAB III ANALISA KORELASI PROJECT DENGAN MATA KULIAH OPTIMASI INDUSTRI

Structural Health Monitoring System (SHMS) yang dikembangkan dalam proyek ini berhubungan dengan konsep-konsep yang diajarkan dalam mata kuliah Optimasi Industri, Berikut penjabarannya.

3.1 Korelasi Langsung dengan Mata Kuliah Optimasi Industri

3.1.1 Penggunaan Optimasi dalam Pemrosesan Data Real-Time

Proyek SHMS memanfaatkan sensor-sensor seperti akselerometer, giroskop, dan strain gauge untuk mendeteksi kondisi bangunan secara real-time. Dalam konteks ini, konsep optimasi digunakan untuk memproses data sensorial dengan tujuan untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat mengenai kesehatan bangunan. Salah satu teknik yang digunakan adalah Kalman Filter, yang bertujuan untuk mengurangi noise dalam data. Dalam optimasi industri, teknik filter ini relevan dengan optimasi data untuk menghasilkan keputusan yang lebih tepat dalam waktu yang lebih singkat. Ini sejalan dengan penerapan optimasi dalam manajemen produksi dan kontrol sistem yang berfokus pada penggunaan data secara efektif dan efisien[5].



Gambar 3.1.1 1 Discrete Kalman Filter Diagram

Alur proses pada gambar ini menjelaskan tahapan utama dalam implementasi discrete Kalman filter, yang digunakan untuk memperbaiki estimasi kecepatan sudut dari sensor. Proses dimulai dengan Input (Z_k) yaitu data kecepatan sudut yang diperoleh dari sensor. Selanjutnya, dilakukan perhitungan Error Residual (e), yakni selisih antara data input aktual dengan estimasi sebelumnya untuk mengukur tingkat error. Pada tahap ketiga, Kalman Gain (K_s), dihitung untuk menentukan kontribusi dari error terhadap pembaruan estimasi, yang menjadi faktor penting dalam proses koreksi. Kemudian, State Update (X_k) diperbarui menggunakan hasil estimasi yang telah dikoreksi berdasarkan Kalman Gain. Dan terakhir nilai hasil estimasi yang telah difilter keluar sebagai Output (W_k), yang merepresentasikan estimasi kecepatan sudut yang lebih akurat. Proses ini mengikuti kerangka kerja Prediksi, Koreksi, Estimasi Output, yang merupakan dasar dari Kalman filter dalam pemrosesan data sensor untuk menghasilkan estimasi yang optimal dan akurat.

3.1.2 Pemanfaatan logika fuzzy dalam estimasi getaran

Logika fuzzy diterapkan dalam proyek ini untuk mengonversi getaran bangunan ke dalam skala magnitudo gempa. Ini adalah bentuk optimasi dalam menghadapi ketidakpastian dan variabilitas yang mungkin muncul dalam data yang tidak terstruktur atau tidak tepat[1]. Dalam konteks optimasi industri, penggunaan logika fuzzy membantu dalam pengambilan keputusan dengan informasi yang tidak pasti, yang sangat berguna dalam pengelolaan risiko pada sistem produksi dan logistik[6].

3.2 Rencana Pengembangan

Meskipun proyek ini tidak sepenuhnya berfokus pada aspek-aspek teknik optimasi industri yang secara langsung diajarkan dalam mata kuliah, terdapat beberapa area yang dapat diperkenalkan atau diperkuat untuk lebih relevan dengan konsep-konsep optimasi industri. Pengembangan ini akan lebih menekankan penerapan teknik-teknik optimasi dalam konteks pemeliharaan infrastruktur, alokasi sumber daya, dan perencanaan[3].

- Penggunaan Linear Programming untuk Alokasi Sumber Daya dalam Pemeliharaan Pada tahap pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat diintegrasikan dengan Linear Programming (LP) untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya dalam pemeliharaan bangunan. Misalnya, LP dapat digunakan untuk meminimalkan biaya atau waktu yang dibutuhkan untuk pemeliharaan preventif berdasarkan kondisi yang terdeteksi oleh SHMS
- Implementasi Metode Simplex untuk Pengelolaan Sumber Daya Salah satu aplikasi yang dapat diterapkan adalah penggunaan metode Simplex untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya manusia dan material dalam proyek pemeliharaan infrastruktur. Metode Simplex dapat digunakan untuk mencari solusi optimal dalam alokasi sumber daya yang terbatas, misalnya dalam merencanakan waktu kerja teknisi, material, atau alat yang digunakan untuk perbaikan berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sistem monitoring.
- Algoritma Genetika untuk Optimasi Pemeliharaan dan Perbaikan Dalam konteks pemeliharaan yang lebih kompleks, Algoritma Genetika dapat digunakan untuk menemukan solusi optimal dalam penjadwalan pemeliharaan. Misalnya, algoritma ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan urutan pemeliharaan berdasarkan prioritas dan sumber daya yang tersedia, dengan mempertimbangkan berbagai kendala, seperti ketersediaan teknisi, anggaran, atau waktu. Penerapan algoritma ini akan sangat berguna dalam situasi yang memerlukan pemilihan keputusan terbaik dari sejumlah opsi yang kompleks.

BAB IV MATERI YANG PERLU DIPERDALAM

4.1 Optimasi dalam Pengolahan Data Real-Time

Salah satu aspek yang perlu diperdalam adalah optimasi dalam pengolahan data real-time, terutama dalam konteks sistem monitoring seperti SHMS. Sistem ini mengumpulkan data sensor dalam waktu nyata, dan optimasi yang efektif dapat meningkatkan kecepatan pemrosesan data serta akurasi analisis. Materi yang perlu dipelajari lebih lanjut dalam hal ini adalah:

- Kalman Filter dan Teknik Filtering Lainnya: Kalman Filter digunakan dalam SHMS untuk mengurangi noise pada data dari akselerometer dan giroskop. Memahami lebih dalam tentang teori dan implementasi Kalman Filter sangat penting, terutama dalam aplikasi optimasi filter dan estimasi keadaan yang digunakan dalam sistem yang membutuhkan pengolahan sinyal secara real-time.
- Metode Pengolahan Sinyal dan Optimasi Komputasi: Teknik-teknik lain yang berhubungan dengan pengolahan data real-time, seperti Fast Fourier Transform (FFT) dan Wavelet Transform, juga perlu dipelajari untuk membantu meningkatkan akurasi pengolahan sinyal.
- Simulasi Monte Carlo dan Pengujian Sensitivitas: Teknik simulasi Monte Carlo digunakan untuk memperkirakan hasil yang mungkin dari berbagai kondisi ketidakpastian. Menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menganalisis ketidakpastian dalam data sensor dan memprediksi potensi kerusakan akan meningkatkan kemampuan sistem untuk menangani variabilitas dan memberikan rekomendasi yang lebih tepat.

4.2 Fuzzy Inference System (FIS)

- Teknik ini digunakan untuk membuat keputusan berdasarkan data yang tidak pasti. Mempelajari lebih dalam tentang FIS dan bagaimana mengintegrasikannya dengan sistem monitoring real-time akan meningkatkan ketepatan prediksi kondisi bangunan serta estimasi kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nithya, R. Rajaduari, M. Ganesan, K. Anand, and A. Prof, “A SURVEY ON STRUCTURAL HEALTH MONITORING BASED ON INTERNET OF THINGS.” [Online]. Available: <http://www.ijpam.eu>
- [2] J. Yoon, J. Lee, G. Kim, S. Ryu, and J. Park, “Deep neural network-based structural health monitoring technique for real-time crack detection and localization using strain gauge sensors,” *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-24269-4.
- [3] M. F. Ahsanandi and L. Awaludin, “Sistem Peringatan Tingkat Kerentanan Bangunan Berbasis Sensor IMU dengan Metode Fuzzy,” *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 12, no. 1, p. 93, Apr. 2022, doi: 10.22146/ijeis.70141.
- [4] F. Di Nuzzo, D. Brunelli, T. Polonelli, and L. Benini, “Structural Health Monitoring System with Narrowband IoT and MEMS Sensors,” *IEEE Sens J*, vol. 21, no. 14, pp. 16371–16380, Jul. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3075093.
- [5] J. Du, C. Gerdtnan, and M. Lindén, “Signal quality improvement algorithms for MEMS gyroscope-based human motion analysis systems: A systematic review,” Apr. 06, 2018, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s18041123.
- [6] Q. Zhu, S. M. Wang, and Y. Q. Ni, “A Review of Levitation Control Methods for Low- and Medium-Speed Maglev Systems,” Mar. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/buildings14030837.