

Optimasi Pemrosesan Data Radar pada Sistem Adaptive Cruise Control Menggunakan Dekomposisi Matriks

Neswa Eka Anggara - 13524136
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13524136@std.stei.itb.ac.id, neswaea1511@gmail.com

Abstrak—Moda transportasi di era modern sudah sangat berkembang pesat. Sejak ditemukannya roda, manusia terus mencari untuk dapat melakukan mobilisasi dari satu tempat ke tempat lainnya dengan mempertimbangkan efisiensi dan juga keselamatan. Mobil merupakan salah satu bukti dari kemajuan teknologi di era modern. Saat ini fitur-fitur penunjang keselamatan sudah banyak disematkan di mobil guna menurunkan risiko terjadinya kecelakaan. Salah satu fitur yang paling sering digunakan adalah fitur *adaptive cruise control* (ACC). Akan tetapi, fitur tersebut nyatanya masih memiliki kekurangan yang dapat berpengaruh terhadap keselamatan pengguna. Oleh karena itu, perlu adanya optimasi dari sistem ACC melalui pendekatan materi Aljabar Linier dan Geometri guna mencari solusi peningkatan fungsional sistem agar risiko kecelakaan bagi pengguna dapat berkurang.

Keywords—*Adaptive Cruise Control*, Dekomposisi Matriks, *Singular Value Decomposition*

I. PENDAHULUAN

Moda transportasi di dunia saat ini sudah berkembang pesat sejak dibandingkan awal peradaban manusia. Berbagai cara dilakukan oleh manusia untuk mempermudah proses mobilisasi dari suatu tempat ke tempat lain. Perkembangan moda transportasi juga menjadi tolak ukur kemajuan peradaban manusia dari waktu ke waktu.

Pada dasarnya, manusia dapat bergerak menggunakan anggota tubuhnya sendiri, yaitu kaki. Akan tetapi, tentu hal itu akan menjadi sebuah permasalahan jika jarak yang ditempuh sangat jauh. Atas permasalahan yang ada, manusia mencari cara untuk dapat bermobilisasi dengan cara yang lebih efisien. Sebagai contoh, di daratan, manusia mencoba untuk menjinakkan hewan seperti kuda, unta, dan keledai. Hewan tersebut kemudian ditunggangi oleh manusia agar dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain.

Seiring berkembangnya peradaban, sekitar tahun 3500 SM, manusia berhasil menemukan dan menciptakan roda[1]. Sebuah alat yang pada awalnya diciptakan untuk

pembuatan tembikar. Atas penemuan tersebut, berbagai hal yang dilakukan oleh manusia menjadi lebih mudah. Selain untuk pembuatan tembikar, roda juga digunakan untuk berbagai keperluan lain, seperti irigasi dan penggilingan. Hingga pada akhirnya, manusia mengembangkan penggunaan roda untuk moda transportasi. Pada awalnya, roda digunakan pada gerobak yang dapat didorong oleh manusia untuk mengangkut barang. Kemudian, gerobak juga digunakan untuk mengangkut manusia dengan cara ditarik oleh hewan seperti kuda, unta, atau keledai. Penemuan roda merupakan salah satu penemuan paling berdampak di dunia. Salah satu manfaat yang kita rasakan hingga saat ini adalah kemudahan dalam moda transportasi yang menjadi lebih efisien.



Gambar 1. Benz Patent-Motorwagen. Sumber: [2]

Pada akhir 1885, seseorang yang bernama Karl Friedrich Michael Benz, insinyur Jerman, menciptakan mobil pertama di dunia. Benz merupakan lulusan dari Karlsruhe Polytechnic dengan gelar teknik mesin [3]. Sebelum Benz, banyak upaya dilakukan untuk menciptakan kendaraan tanpa digerakkan oleh hewan ataupun berjalan di sebuah rel. Benz mengambil

Adaptive Cruise Control yang dibuat oleh berbagai produsen mobil di dunia masih belum sempurna. Berdasarkan data, penggunaan ACC dapat meningkatkan risiko kecelakaan sekitar 1,8% hingga 8%[4]. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam sistem yang kurang baik dalam mendeteksi objek yang bergerak pelan ataupun diam. Kurangnya kewaspadaan dari pengemudi yang mengasumsikan bahwa sistem akan berjalan dengan lancar meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan. Maka dari itu, pada makalah ini akan dibahas sebuah metode optimasi dari *Adaptive Cruise Control* menggunakan pendekatan materi Aljabar Linear dan Geometri.

penyimpanan elemen dari matriks L dan U pada satu matriks dapat menghemat penggunaan memori. Selain itu, matriks A hanya perlu digunakan sekali untuk mendapatkan matriks L dan U.

2) Metode Dekomposisi QR

QR decomposition

$$\begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_2 & \mathbf{a}_3 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{e}_1 & \mathbf{e}_2 & \mathbf{e}_3 \end{bmatrix}}_{\text{Orthogonal Unit vectors}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{e}_1^T \cdot \mathbf{a}_1 & \mathbf{e}_1^T \cdot \mathbf{a}_2 & \mathbf{e}_1^T \cdot \mathbf{a}_3 \\ 0 & \mathbf{e}_2^T \cdot \mathbf{a}_2 & \mathbf{e}_2^T \cdot \mathbf{a}_3 \\ 0 & 0 & \mathbf{e}_3^T \cdot \mathbf{a}_3 \end{bmatrix}}_{\text{Upper Diagonal Matrix}}$$

Contoh:

$$\begin{pmatrix} 2.5 & 1.1 & 0.3 \\ 2.2 & 1.9 & 0.4 \\ 1.8 & 0.1 & 0.3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.7 & 0.1 & -0.7 \\ -0.6 & -0.7 & 0.4 \\ -0.5 & 0.7 & 0.5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -3.8 & -1.9 & -0.6 \\ 0 & -1.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 \end{pmatrix}$$

Gambar 4. Dekomposisi QR. Sumber: [6]

Metode dekomposisi QR memecah matriks A menjadi hasil kali dari matriks ortogonal Q dan matriks segitiga R. Metode ini dapat digunakan untuk matriks persegi maupun persegi panjang. Matriks Q hasil dari metode ini merupakan matriks ortogonal sehingga $QQ^T = I$. Kolom-kolom di dalam matriks Q merupakan vektor satuan yang memiliki panjangnya 1, hal tersebut menjadikan matriks Q juga merupakan matriks ortonormal.

$$A = QR$$

Metode ini dapat juga digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear (SPL). Selain SPL, metode ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *Least Squares* dan dapat digunakan dalam algoritma untuk mencari nilai Eigen (*Eigenvalues*) dari sebuah matriks.

3) Metode Dekomposisi Nilai Singular (*Singular Value Decomposition – SVD*)

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix} \\ \mathbf{A} & = & \mathbf{U} & \mathbf{\Sigma} & \mathbf{V}^T \\ m \times n & & m \times m & m \times n & n \times n \end{matrix}$$

Gambar 5. *Singular Value Decomposition*. Sumber: [6]

Singular Value Decomposition (SVD) memecah suatu matriks menjadi hasil kali dari matriks U, Σ , dan V^T . Jika matriks A berukuran $m \times n$, maka U adalah matriks ortogonal berukuran $m \times m$, V adalah matriks ortogonal

berukuran $n \times n$, dan Σ adalah matriks berukuran $m \times n$ yang elemen-elemen diagonal utamanya adalah nilai-nilai singular dari matriks A, sedangkan elemen lainnya adalah 0.

$$A = U\Sigma V^T$$

Metode SVD mempunyai berbagai aplikasi, seperti kompresi (pemampatan) gambar dan video, pengolahan citra, *machine learning*, *computer vision*, *digital watermarking*, dan masih banyak lainnya. Kelebihan metode ini adalah memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menangani data yang mengandung banyak gangguan (*noise*).

C. Nilai Eigen (*Eigenvalues*) dan Vektor Eigen

Jika terdapat sebuah matriks A berukuran $n \times n$, maka skalar λ disebut sebagai nilai Eigen dari matriks A jika terdapat vektor tidak nol $\mathbf{x}$ sedemikian sehingga berlaku persamaan:

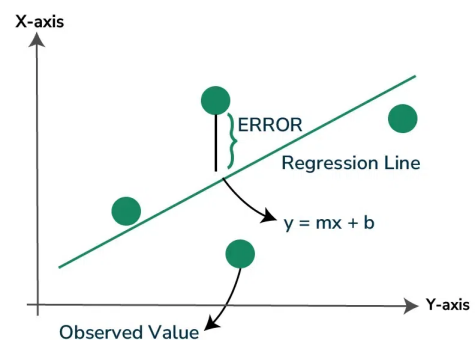
$$A\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}$$

Vektor $\mathbf{x}$ dinamakan vektor eigen yang merupakan vektor tidak nol $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ dari matriks persegi A berukuran $n \times n$ yang ketika dikalikan dengan A, menghasilkan vektor lain yang merupakan kelipatan skalar dari vektor itu sendiri.

Dalam Bahasa Jerman, kata “eigen” memiliki arti “asli” atau “karakteristik”. Sehingga bisa dibilang bahwa nilai eigen menyatakan nilai karakteristik dari sebuah matriks yang berukuran $n \times n$ [6].

D. Metode *Least Squares*

Least Square Method



Gambar 6. *Metode Least Square*. Sumber: [7]

Metode *least squares* adalah sebuah teknik statistik dan matematika yang digunakan untuk menentukan garis atau fungsi “terbaik” yang paling mendekati sekumpulan titik data. Metode ini bertujuan untuk meminimalkan total kuadrat dari residu, selisih antara nilai data aktual dengan nilai yang diprediksi oleh fungsi.

Dekomposisi QR dapat digunakan dalam menyelesaikan *least squares*. Permasalahan yang biasanya muncul adalah ketika terdapat sistem persamaan $A\mathbf{x} = \mathbf{b}$ yang memiliki jumlah persamaan lebih banyak daripada jumlah variabel, sehingga tidak ada solusi eksak yang

memenuhi persamaan sekaligus. Matriks A yang dipecah menjadi matriks Q dan R dapat mengubah masalah $Ax = b$ menjadi $Rx = Q^Tb$, yang jauh lebih stabil secara perhitungan dibandingkan menggunakan *normal equations* $A^T Ax = A^T b$ secara langsung.

III. PEMBAHASAN

A. Interpretasi Data Radar dalam Bentuk Matriks

Representasi data radar dalam bentuk matriks merupakan langkah paling awal dan fundamental yang memungkinkan penerapan materi aljabar linear dan geometri. Hasil bacaan data radar dipetakan ke dalam elemen-elemen matriks agar sistem ACC mempunyai struktur yang dapat dengan mudah dianalisis. Pendekatan ini memungkinkan data mentah dari radar berubah menjadi objek yang dapat dimanipulasi dengan menggunakan operasi matriks.

Elemen dari matriks yang dibentuk merupakan gambaran hasil dari bacaan radar. Setiap baris merepresentasikan hasil pengukuran pada satu waktu tertentu, sedangkan setiap kolomnya merepresentasikan jarak dari kendaraan di depan mobil. Hal tersebut memungkinkan sistem ACC untuk dapat membandingkan perubahan data radar dari waktu ke waktu secara konsisten, sehingga proses *tracking* kendaraan di depan mobil dapat dilakukan secara berkelanjutan. Selain itu, dengan representasi matriks, memungkinkan data untuk diproses dengan teknik dekomposisi, yang menjadi kunci dari optimasi yang akan dilakukan.

B. Penerapan Singular Value Decomposition pada Data Radar

Metode *singular value decomposition* digunakan untuk memisahkan informasi utama dari komponen noise secara efektif. Nilai *singular* terbesar mencerminkan struktur dominan data radar, yang pada umumnya berasal dari kendaraan yang ditargetkan. Sebaliknya, nilai *singular* kecil merepresentasikan variasi acak yang diakibatkan oleh pantulan, kondisi cuaca, ataupun gangguan pada sensor.

Nilai *singular* kecil merupakan sebuah *noise* yang perlu dihilangkan untuk meningkatkan akurasi dari pembacaan radar. Setelah nilai *singular* kecil dihilangkan, sistem ACC akan menghasilkan aproksimasi data radar yang menjadi lebih bersih. Hal ini tentu memegang peran yang cukup vital dalam sistem ACC. Data yang mengandung banyak *noise* dapat mengganggu kestabilan sistem yang berdampak langsung pada kualitas estimasi jarak dan kecepatan, yang menjadi parameter utama dalam pengambilan keputusan ACC. Jika *noise* tidak dihilangkan, dapat menyebabkan hal-hal yang tidak diinginkan karena kesalahan interpretasi data, misalnya pengereman mendadak yang tidak diperlukan padahal kendaraan tidak berada di jarak yang dekat.

C. Peningkatan Efisiensi Komputasi melalui Reduksi Dimensi

Pemrosesan data secara *real-time* dalam jumlah besar tentu akan menyebabkan beban berat pada sistem ACC. Dalam sebuah sistem dengan kapasitas komputasi yang terbatas, jika data dari radar yang berdimensi tinggi diproses secara langsung, akan meningkatkan latensi dari sistem.

Dekomposisi menggunakan SVD yang telah dilakukan sebelumnya dapat mereduksi dimensi dari data radar yang kemudian memungkinkan sistem ACC untuk mempertahankan informasi penting dengan jumlah komputasi yang jauh lebih rendah. Tentunya, hal tersebut berdampak pada efisiensi komputasi sistem ACC. Dengan dimensi yang lebih kecil, sistem dapat melakukan perhitungan estimasi dan juga kontrol dengan waktu respon dan latensi yang lebih cepat.

D. Analisis Estimasi Posisi dan Kecepatan Berbasis Least Squares

Pemodelan estimasi dari posisi dan kecepatan objek sebagai sistem persamaan linear memungkinkan penggunaan metode *least squares* untuk memperoleh solusi optimal. Pada kondisi nyata, data radar hampir selalu mengandung *noise*, sehingga solusi eksak jarang dapat diperoleh.

Metode *least square* menghasilkan estimasi yang lebih stabil dan konsisten dibandingkan pendekatan langsung. Sistem ACC perlu adanya kestabilan dan kekonsistenan karena melakukan estimasi secara berulang dalam interval waktu yang singkat. Tentunya, kesalahan estimasi kecil yang terjadi secara terus-menerus dapat terakumulasi dan berdampak signifikan terhadap performa sistem.

E. Peran Nilai Eigen dalam Analisis Gerak Kendaraan Target

Dekomposisi eigen pada matriks kovarians data radar memberikan informasi penting mengenai struktur statistik data. Vektor eigen dengan nilai eigen terbesar menunjukkan arah dominan variasi data, yang dalam konteks radar ACC berkaitan langsung dengan arah gerak kendaraan di depan.

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T$$

Analisis yang dilakukan memungkinkan sistem ACC membedakan antara objek yang benar-benar bergerak dan objek lain yang tidak perlu untuk diperhatikan. Hal tersebut cukup penting mengingat kondisi aktual di jalan yang terkadang terdapat banyak objek yang mempengaruhi hasil bacaan radar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Aljabar Linier dan Geometri

mempunyai peran yang sangat fundamental dalam pengembangan dan optimasi sistem *Adaptive Cruise Control* (ACC). Sistem ACC yang mengandalkan radar tidak hanya bergantung pada perangkat keras yang mampu membaca kondisi dengan baik, tetapi juga membutuhkan pendekatan secara matematis yang kuat agar data sensor yang diperoleh dapat diolah secara akurat, stabil, dan efisien.

Makalah ini menunjukkan bahwa data radar yang dihasilkan oleh sensor kendaraan memiliki karakteristik berdimensi tinggi dan mengandung *noise* yang cukup signifikan. Tanpa pengolahan yang tepat, *noise* tersebut dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi jarak dan kecepatan kendaraan di depan, yang pada akhirnya berpotensi menurunkan kinerja sistem ACC. Melalui representasi data radar dalam bentuk vektor dan matriks, data mentah tersebut dapat dianalisis dan dimanipulasi menggunakan konsep-konsep aljabar linier secara sistematis.

Penerapan dekomposisi matriks, khususnya *Singular Value Decomposition* (SVD), terbukti menjadi metode yang efektif dalam mengoptimalkan pemrosesan data radar. SVD memungkinkan pemisahan komponen informasi utama dari komponen *noise*, sehingga informasi penting mengenai posisi dan pergerakan kendaraan target dapat dipertahankan dengan mengorbankan kehilangan informasi yang minimal. Selain itu, reduksi dimensi data yang dihasilkan melalui SVD juga memberikan keuntungan signifikan dari sisi efisiensi komputasi, yang sangat penting bagi sistem ACC yang harus beroperasi secara *real-time* dengan sumber daya komputasi yang terbatas.

Dalam makalah ini juga dapat dilihat bahwa metode *least squares* berperan penting dalam estimasi posisi dan kecepatan objek radar. Dengan memodelkan proses estimasi sebagai sistem persamaan linier, metode ini mampu menghasilkan estimasi yang lebih stabil dan konsisten meskipun data pengukuran mengandung *noise*, sehingga respons sistem ACC menjadi lebih halus dan prediktif. Selain itu, analisis nilai eigen dan vektor eigen pada matriks kovarians data radar membantu mengidentifikasi arah dominan pergerakan objek, sehingga sistem ACC dapat membedakan objek bergerak dari pantulan statis secara lebih akurat.

Secara keseluruhan, penerapan Aljabar Linier dan Geometri memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kinerja dari sistem ACC. Optimasi pemrosesan data radar menghasilkan data yang lebih akurat, stabil, dan efisien secara komputasi. Implikasi dari optimisasi ini yang berpengaruh pada kondisi aktual adalah respons pengereman mobil yang dapat menjadi lebih halus, penurunan risiko kesalahan deteksi kendaraan, peningkatan kenyamanan dan keselamatan berkendara.

V. SARAN

Makalah ini dibuat dengan perhitungan dan analisis sederhana. Oleh karena itu, saran untuk penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan yang

lebih mendalam dan lebih mempertimbangkan aspek lain yang belum dibahas pada penelitian ini. Tentunya, penelitian ini perlu untuk dilanjutkan guna terus meningkatkan keselamatan bagi pengguna kendaraan dan menurunkan risiko terjadinya kecelakaan karena malfungsi dari sistem *Adaptive Cruise Control*.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah Swt yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan dari tugas makalah ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Arrival Dwi Sentosa, S.Kom, M.T. selaku dosen mata kuliah Aljabar Linier dan Geometri kelas K3 Teknik Informatika Jatinangor. Tidak lupa, ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Rinaldi, M.T. yang telah memberikan sumber materi yang menjadi acuan dalam penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada jajaran asisten IRK STEI ITB yang telah mendampingi, baik ketika kuis, UTS, UAS, ataupun pengerjaan tugas besar. Penulis juga ingin menghargai dan mengapresiasi teman-teman K3 Teknik Informatika Jatinangor atas semangat dalam belajar bersama di Kampus ITB Jatinangor. Penulis sadar bahwa dalam penulisan makalah ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis juga ingin mengucapkan maaf apabila masih banyak kekurangan dari penulis.

REFERENCES

- [1] W. Setiawan, "Bagaimana Kehadiran Roda Mengubah Sejarah Transportasi Manusia," [Daring]. Tersedia: <https://nationalgeographic.grid.id/read/133958026/bagaimana-kehadiran-roda-mengubah-sejarah-transportasi-manusia>. Diakses: 24 Des. 2025.
- [2] Mercedes-Benz Group, "Benz Patent Motor Car, 1886 - 1894," Mercedes-Benz Public Archive, [Daring]. Tersedia: <https://mercedes-benz-publicarchive.com/marsClassic/en/instance/ko/Benz-Patent-Motor-Car-1886---1894.xhtml?oid=4373>. Diakses: 24 Des. 2025.
- [3] Biography.com Editors, "Karl Benz Biography," Biography, [Daring]. Tersedia: <https://www.biography.com/inventors/karl-benz>. Diakses: 24 Des. 2025.
- [4] J. Sanchez, "Study finds adaptive cruise control increases crash risk," [Daring]. Tersedia: <https://www.drivencarguide.co.nz/news/study-finds-adaptive-cruise-control-increases-crash-risk/>. Diakses: 24 Des. 2025.
- [5] F. Ali, "Mengenal Fitur Adaptive Cruise Control di Mobil dan Cara Kerjanya," [Daring]. Tersedia: <https://moladin.com/news/pengertian-adaptive-cruise-control-di-mobil/>. Diakses: 24 Des. 2025.
- [6] R. Munir, "IF2123 Aljabar Linier dan Geometri - Semester I Tahun 2025/2026," Program Studi Teknik Informatika STEI-ITB, [Daring]. Tersedia: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/AljabarGeometri/2025-2026/algeo25-26.htm>. Diakses: 24 Des. 2025.
- [7] GeeksforGeeks, "Least Square Method," [Daring]. Tersedia: <https://www.geeksforgeeks.org/maths/least-square-method/>. Diakses: 24 Des. 2025.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri dengan bantuan *generative AI* dengan tingkat penggunaan rendah, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 24 Desember 2025

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Neswa Eka Anggara
13524136