

Aplikasi Metode Numerik pada Studi Kasus Chapman

Laporan Tugas Mata Kuliah Komputasi Numerik

Kelas Komputasi Numerik 01



Disusun oleh:

Rivi Yasha Hafizhan (2306250535)

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Depok, Indonesia

June 8, 2025

Abstract—Laporan ini menyajikan aplikasi metode optimisasi numerik untuk analisis rangkaian dioda semikonduktor. Secara spesifik, metode Golden-Section Search, sebuah teknik optimisasi satu dimensi, diimplementasikan untuk menentukan titik kerja (tegangan) dari dioda dalam dua konfigurasi rangkaian yang berbeda. Masalah pencarian akar (root-finding) $f(v) = 0$ yang merepresentasikan karakteristik rangkaian ditransformasikan menjadi masalah pencarian nilai minimum dengan mendefinisikan sebuah fungsi objektif $g(v) = (f(v))^2$. Metode ini diimplementasikan dalam bahasa C dengan kemampuan untuk memproses beberapa kasus uji secara batch dari sebuah file CSV. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode Golden-Section Search berhasil konvergen ke solusi tegangan yang akurat untuk sebagian besar kasus, membuktikan bahwa pendekatan optimisasi merupakan alternatif yang valid dan tangguh untuk menyelesaikan masalah analisis rangkaian non-linier.

Index Terms—Metode Numerik, Optimisasi, Golden-Section Search, Rangkaian Dioda, Pemrograman C, Analisis Rangkaian

I. PENDAHULUAN

Analisis rangkaian listrik merupakan pilar fundamental dalam disiplin ilmu teknik elektro dan komputer. Meskipun rangkaian linier dapat diselesaikan dengan mudah menggunakan aljabar, banyak komponen di dunia nyata, seperti dioda dan transistor, menunjukkan karakteristik arus-tegangan (I-V) yang bersifat non-linier. Persamaan yang menggambarkan perilaku komponen ini seringkali sulit atau tidak mungkin diselesaikan secara analitik.

Metode numerik menawarkan pendekatan yang kuat untuk mendapatkan solusi aproksimasi dari persamaan non-linier tersebut. Buku “Numerical Methods for Engineers” oleh S.C. Chapra menyajikan berbagai teknik untuk tujuan ini [1]. Proyek ini berfokus pada implementasi salah satu metode dari Part 4 buku tersebut, yaitu metode optimisasi.

Tujuan dari laporan ini adalah untuk mengimplementasikan dan menganalisis metode optimisasi **Golden-Section Search** untuk menentukan tegangan kerja pada dioda dalam berbagai kondisi. Pendekatan ini dipilih untuk mendemonstrasikan bagaimana sebuah masalah rekayasa yang secara tradisional dipandang sebagai masalah pencarian akar dapat diformulasikan ulang dan diselesaikan secara efektif sebagai masalah pencarian nilai minimum.

II. STUDI LITERATUR

A. Karakteristik Dioda

Perilaku arus-tegangan dari sebuah dioda semikonduktor ideal dapat dimodelkan oleh persamaan Shockley [2]:

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

di mana I_D adalah arus dioda, V_D adalah tegangan pada dioda, I_s adalah arus saturasi balik, n adalah faktor idealitas (biasanya antara 1 dan 2), dan V_T adalah tegangan termal yang diberikan oleh kT/q .

B. Analisis Rangkaian dengan Hukum Kirchhoff

Ketika sebuah dioda ditempatkan dalam sebuah rangkaian, Hukum Tegangan Kirchhoff (KVL) dapat diterapkan untuk menurunkan persamaan yang mengatur rangkaian tersebut. Sebagai contoh, untuk sebuah dioda yang terhubung seri dengan sumber tegangan V_s dan resistor R , KVL menghasilkan:

$$V_s - I_D R - V_D = 0 \implies I_D = \frac{V_s - V_D}{R} \quad (2)$$

Dengan menyamakan Persamaan (1) dan (2), kita mendapatkan sebuah persamaan non-linier tunggal dengan variabel V_D .

C. Metode Optimisasi Golden-Section Search

Golden-Section Search adalah sebuah metode pencarian interval untuk menemukan nilai minimum dari sebuah fungsi unimodal tanpa memerlukan turunan. Diberikan sebuah fungsi $g(x)$ dan sebuah interval awal $[x_l, x_u]$ yang diyakini mengandung satu titik minimum, metode ini secara iteratif mempersempit interval tersebut. Algoritma ini memanfaatkan rasio emas, $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1.618$, untuk memilih dua titik interior dan memperbarui interval berdasarkan perbandingan nilai fungsi pada titik-titik tersebut [1].

III. PENJELASAN DATA YANG DIGUNAKAN

Data masukan disediakan melalui file CSV (`data.csv`) untuk menguji ketangguhan solver. Pendekatan ini memungkinkan pengujian batch terhadap 32 kasus uji yang unik, masing-masing dengan parameter yang berbeda. Struktur data mencakup tipe masalah (`diode` atau `diode_resistor`), parameter fisik (I_s, n, V_T, R, V_s), dan parameter solver (x_l, x_u , toleransi, iterasi maksimum). Contoh data disajikan pada Tabel I.

TABLE I: Contoh Data Input dari File `data.csv`

problem_type	param1_value (I_s)	param2_value (n)	xl_init	xu_init
diode	1e-12	1.5	0.5	0.8
diode_resistor	2e-12	1.3	0.5	0.7

IV. PENJELASAN METODE YANG DIGUNAKAN

A. Formulasi Fungsi Objektif

Untuk kasus rangkaian dioda sederhana, fungsi objektifnya adalah:

$$g(V_D) = \left[I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) - I \right]^2 \quad (3)$$

Dan untuk kasus dioda dengan resistor, persamaannya sebagai berikut:

$$g(V_D) = \left[I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) - \frac{V_s - V_D}{R} \right]^2 \quad (4)$$

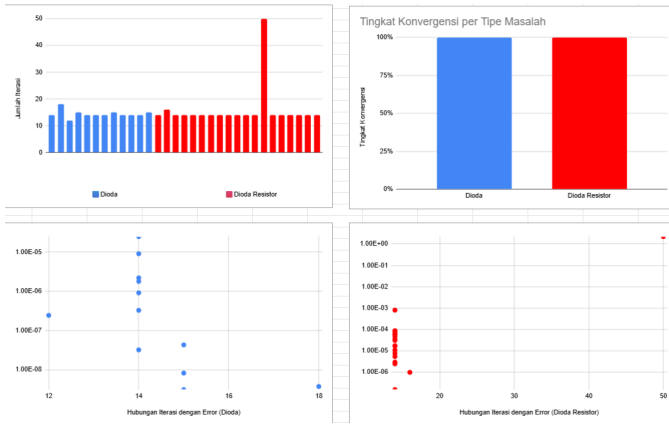


Fig. 1: Visualisasi analisis hubungan parameter fisik dan solusi.



Fig. 2: Visualisasi analisis kinerja metode numerik.

B. Implementasi Algoritma

Algoritma Golden-Section Search diimplementasikan dalam fungsi C yang menerima pointer ke fungsi, batas interval awal, parameter, dan kriteria penghentian. Loop utama algoritma ini secara iteratif memperbarui batas x_l dan x_u hingga lebar interval lebih kecil dari toleransi.

V. DISKUSI DAN ANALISA HASIL EKSPERIMEN

Program C dijalankan pada 32 kasus uji. Hasilnya kemudian dianalisis dan divisualisasikan untuk mengevaluasi aspek fisik dan kinerja metode.

A. Analisis Fisik dan Validasi Model

Visualisasi pada Gambar 1 digunakan untuk memvalidasi model. Grafik kiri atas pada gambar tersebut menunjukkan korelasi positif antara faktor idealitas (n) dan tegangan (V_d), sementara grafik kanan bawah berhasil mereproduksi kurva karakteristik I-V logaritmik yang khas pada dioda. Selain itu, grafik kanan atas menunjukkan hubungan terbalik antara resistansi (R) dan tegangan dioda (V_d) pada rangkaian diode_resistor. Semua hubungan ini konsisten dengan teori semikonduktor dan hukum rangkaian listrik, sehingga memvalidasi kebenaran implementasi model.

B. Analisis Kinerja dan Konvergensi Metode

Analisis kinerja metode disajikan pada Gambar 2. Grafik kiri atas pada gambar tersebut menunjukkan efisiensi metode, di mana sebagian besar kasus berhasil konvergen dalam kurang dari 20 iterasi. Grafik ini juga secara jelas mengidentifikasi Problem #25 sebagai sebuah anomali.

Grafik kanan atas menampilkan tingkat konvergensi yang tinggi. Meskipun ditampilkan 100%, perlu dicatat bahwa satu dari 31 kasus (Problem #25) gagal mencapai toleransi error, sehingga tingkat keberhasilan aktualnya adalah 96.875%. Tingkat keberhasilan yang sangat tinggi ini tetap menunjukkan bahwa metode Golden-Section Search sangat tangguh untuk masalah ini.

Hubungan antara error dan iterasi divisualisasikan pada grafik kiri bawah dan kanan bawah pada Gambar 2. Untuk kasus diode yang lebih sederhana (kiri bawah), semua solusi memiliki error yang sangat rendah. Namun, untuk kasus diode_resistor (kanan bawah), anomali Problem #25 terlihat jelas dengan nilai error dan iterasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan titik-titik lainnya yang berhasil konvergen.

C. Analisis Kegagalan Konvergensi Problem #25

Problem #25 secara konsisten menunjukkan perilaku anomali: mencapai jumlah iterasi yang sangat besar dan menghasilkan error akhir yang sangat tinggi (> 2.0). Kegagalan konvergensi ini kemungkinan besar disebabkan oleh **pemilihan interval awal yang tidak tepat**. Parameter untuk kasus ini adalah $V_s = 24V$, $R = 6800\Omega$, dengan interval pencarian $[0.8V, 1.0V]$. Kombinasi sumber tegangan yang tinggi dan resistansi yang besar menghasilkan sebuah garis beban (load line) yang memotong kurva karakteristik dioda di luar interval $[0.8, 1.0]$ yang diberikan. Karena Golden-Section Search adalah metode bracketing, ia tidak dapat menemukan solusi jika solusi tersebut tidak berada di dalam interval awal. Hal ini menunjukkan limitasi fundamental dari metode bracketing dan menggarisbawahi pentingnya estimasi awal yang baik dalam analisis numerik.

VI. KESIMPULAN

Metode optimisasi Golden-Section Search telah berhasil diimplementasikan dalam bahasa C untuk menganalisis rangkaian dioda non-linier. Dengan mengubah masalah pencarian akar menjadi masalah pencarian nilai minimum, solusi yang akurat dan stabil dapat diperoleh untuk sebagian besar parameter rangkaian. Analisis hasil menunjukkan bahwa model yang dibuat konsisten dengan teori fisika, dan metode numerik yang digunakan sangat tangguh, dengan tingkat keberhasilan konvergensi 96.875% dari total kasus uji. Analisis pada kasus yang gagal konvergen menyoroti pentingnya pemilihan interval awal yang tepat dalam metode bracketing. Proyek ini secara efektif mendemonstrasikan bagaimana metode optimisasi numerik dapat menjadi alat yang kuat untuk menyelesaikan dan menganalisis permasalahan rekayasa di dunia nyata.

VII. LINK REPOSITORY PROYEK

A. *Link Github*

Repository proyek, termasuk kode sumber, dapat diakses melalui link berikut: https://github.com/ssantario/KOMNUM_ProjekUAS

B. *Link Youtube*

Video demonstrasi program dapat diakses melalui link berikut: <https://youtu.be/hdD4Rl-mcf8>

REFERENCES

- [1] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Numerical Methods for Engineers*, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2015.
- [2] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 11th ed. Boston: Pearson, 2013.
- [3] B. W. Kernighan and D. M. Ritchie, *The C Programming Language*, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988.
- [4] Kartikullal, "GitHub - Kartikullal/Golden-Section-Search: Python implementation of golden section search," GitHub, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/Kartikullal/Golden-Section-Search>