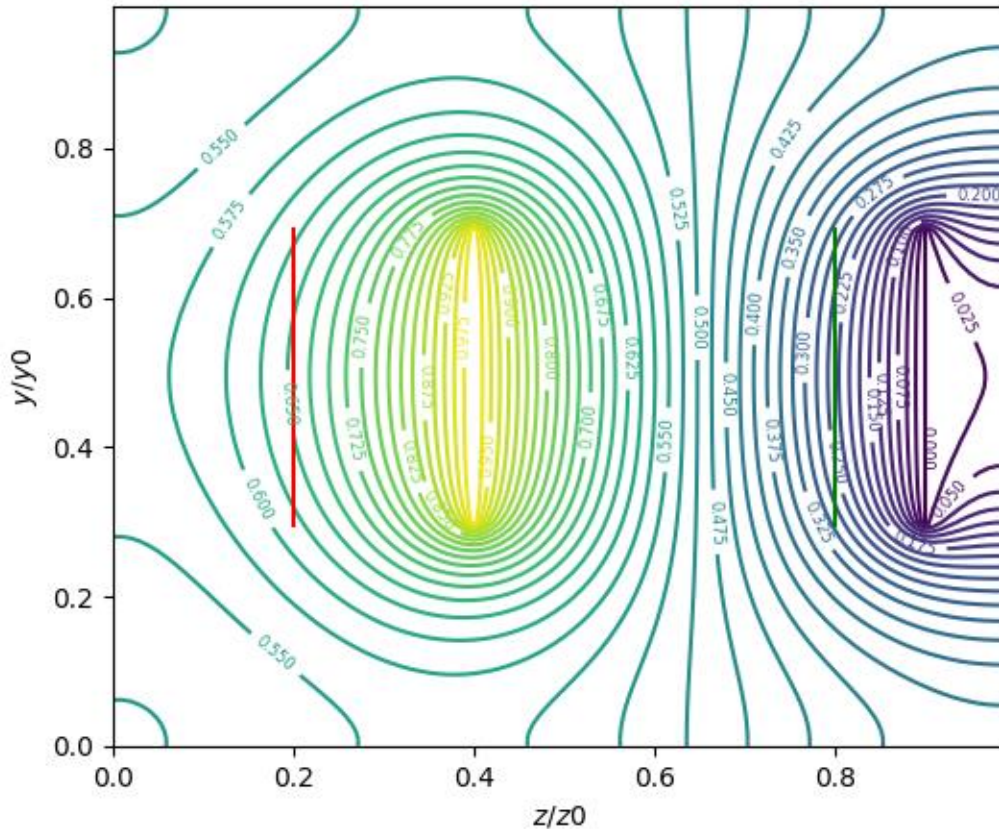


JAWABAN TUGAS MODUL 7: PERSAMAAN LAPLACE POTENSIAL LISTRIK

➤ Hasil Simulasi Gambar 1:



Pada simulasi ini, kita memiliki sebuah pelat logam berbentuk kubus dengan ukuran $100 \times 100 \times 100$ unit, yang pada awalnya berada dalam kondisi termal beragam. Di tengah pelat ini, terdapat area persegi berukuran 40×40 unit pada dua sisi yang berbeda—dengan satu sisi pada posisi $z = 40$ dipanaskan hingga suhu maksimum (diberi nilai 1), dan sisi berlawanan pada posisi $z = 90$ didinginkan hingga suhu minimum (diberi nilai 0). Hal ini menciptakan perbedaan suhu yang akan menyebabkan panas menyebar dari area panas menuju area dingin, membentuk gradien suhu yang dapat divisualisasikan dalam gambar.

Gambar hasil simulasi menunjukkan distribusi panas di dalam pelat logam tersebut. Panas menyebar dari sisi yang dipanaskan di $z = 40$ (ditandai dengan warna kuning dan hijau terang yang mewakili suhu tertinggi) ke arah sisi yang didinginkan di $z = 90$ (ditandai dengan warna biru hingga ungu yang menunjukkan suhu lebih rendah). Metode konvolusi digunakan dalam simulasi

ini untuk menghitung penyebaran panas dengan efisien di seluruh grid. Metode konvolusi ini mengaplikasikan kernel (struktur matriks kecil) di setiap titik grid, yang secara rata-rata mendistribusikan panas antara titik tersebut dan titik-titik tetangganya, menciptakan efek difusi yang menyerupai penyebaran panas dalam kondisi nyata.

Syarat batas Dirichlet diterapkan pada kedua sisi pelat: sisi panas di $z = 40$ dan sisi dingin di $z = 90$. Dengan syarat batas Dirichlet, suhu pada kedua sisi ini tetap dijaga konstan 1 untuk area panas dan 0 untuk area dingin. Hasilnya, panas dari area bersuhu tinggi secara alami mengalir ke area bersuhu rendah, menciptakan pola distribusi suhu yang menyebar dari sisi panas ke sisi dingin.

Di antara sisi panas dan dingin, terdapat area transisi yang membentuk gradien suhu secara bertahap. Suhu di area tengah ini cenderung berada pada nilai rata-rata sekitar 0,5, menunjukkan keseimbangan suhu antara area panas dan dingin. Warna hijau tua hingga biru muda di area ini mencerminkan nilai suhu menengah yang relatif stabil.

Simulasi ini menggunakan metode konvolusi untuk menyebarkan panas dari satu titik ke titik lainnya. Metode konvolusi melibatkan penerapan kernel (struktur matriks kecil) yang menghitung rata-rata suhu di sekitar setiap titik pada grid. Dengan cara ini, setiap titik akan "menerima" sebagian panas dari titik-titik di sekitarnya, menciptakan pola difusi panas yang meniru cara panas menyebar dalam kenyataan. Proses konvolusi ini diulangi dalam beberapa iterasi, sehingga panas secara bertahap menyebar dari area bersuhu tinggi ke area bersuhu rendah, hingga distribusi suhu mencapai keadaan yang hampir stabil.

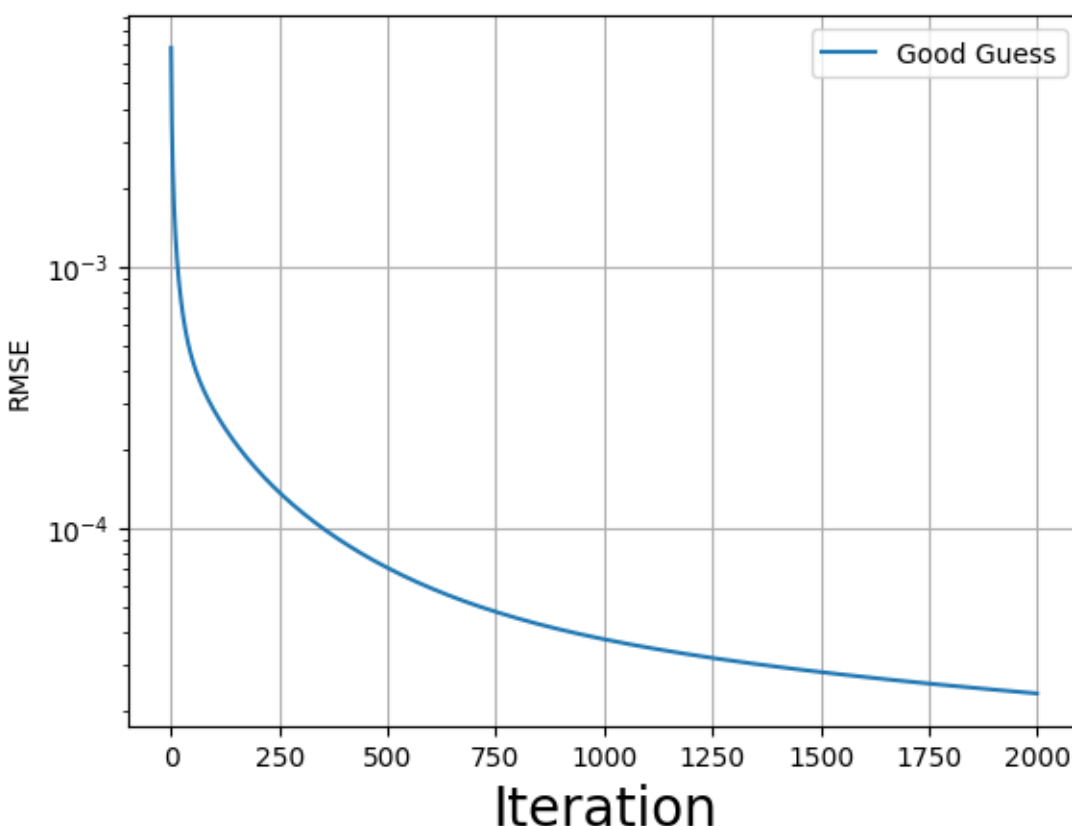
Selama simulasi, syarat batas Neumann juga diterapkan pada tepi luar grid 3D ini. Syarat batas Neumann membuat suhu di tepi grid mengikuti suhu titik di sekitarnya, seolah-olah panas "memantul" dan tetap berada dalam grid, sehingga simulasi menggambarkan penyebaran panas yang hanya terjadi di dalam pelat logam tanpa kebocoran keluar dari batas ruang.

Di antara sisi panas dan dingin, terdapat area transisi yang membentuk gradien suhu secara bertahap. Suhu di area tengah ini cenderung berada pada nilai rata-rata sekitar 0,5, menunjukkan keseimbangan suhu antara area panas dan dingin. Warna hijau tua hingga biru muda di area ini mencerminkan nilai suhu menengah yang relatif stabil.

Seiring iterasi simulasi bertambah, distribusi suhu semakin mendekati pola yang stabil, di mana perubahan suhu antar iterasi menjadi sangat kecil. Pada kondisi ini, panas menyebar dari sisi kiri yang panas ke sisi kanan yang dingin dengan pola yang teratur dan stabil. Di dekat sumber panas di kiri, suhu tetap mendekati 1, sementara di dekat sink di kanan, suhu tetap mendekati 0. Di area tengah, suhu berada pada sekitar 0,5 menciptakan gradien suhu yang seimbang.

Secara keseluruhan, simulasi ini menggambarkan penyebaran panas dalam ruang 3D menggunakan metode konvolusi dengan syarat batas Dirichlet dan Neumann untuk mengontrol distribusi suhu pada sisi-sisi pelat. Distribusi panas ini akan mencapai pola stabil yang sama, dengan sisi panas mendekati nilai 1, sisi dingin mendekati nilai 0, dan area transisi menyeimbangkan panas pada sekitar 0.5. Jika simulasi dijalankan lebih lama, pola ini akan terus dipertahankan karena telah mencapai kondisi setimbang.

➤ Hasil Simulasi Gambar 2



Hasil simulasi berupa grafik ini memperlihatkan bagaimana nilai Root Mean Square Error (RMSE) menurun secara bertahap selama simulasi distribusi panas pada pelat logam berbentuk

kubus berukuran 100x100x100 unit. Grafik ini sangat penting karena menunjukkan proses konvergensi atau pendekatan distribusi suhu menuju keadaan stabil di dalam pelat, yang terjadi melalui iterasi berulang.

Pada awal simulasi (iterasi rendah), nilai RMSE berada pada titik tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan besar antara kondisi grid suhu saat ini dan grid suhu pada iterasi sebelumnya. Pada tahap awal ini, perubahan distribusi suhu sangat besar karena panas mulai menyebar dari area yang lebih panas ($\text{suhu} = 1$) menuju area yang lebih dingin ($\text{suhu} = 0$). Proses penyebaran panas ini diatur dengan syarat batas Dirichlet pada kedua sisi: satu sisi dengan suhu tetap 1 sebagai sumber panas, dan sisi lainnya pada suhu tetap 0 sebagai tempat pembuangan panas (sink). Selain itu, syarat batas Neumann diterapkan pada tepi luar grid 3D untuk menjaga panas tetap berada dalam grid tanpa keluar dari batas simulasi.

Seiring bertambahnya iterasi, nilai RMSE turun drastis, yang menunjukkan bahwa distribusi suhu antar iterasi mulai semakin mendekati pola yang stabil. Pada tahap ini, metode konvolusi bekerja dengan efektif untuk menghaluskan distribusi suhu, di mana setiap titik pada grid memperbarui suhunya dengan mempertimbangkan suhu titik-titik di sekitarnya. Metode konvolusi memungkinkan panas menyebar secara alami dalam grid.

Penurunan tajam pada RMSE dalam iterasi awal menunjukkan bahwa perubahan suhu yang besar terjadi saat panas mulai menyebar dari sumber panas ke seluruh grid. Namun, setelah beberapa iterasi, laju penurunan RMSE mulai melambat, dan kurva grafik berubah menjadi lebih landai. Ini menunjukkan bahwa distribusi panas sudah semakin mendekati kondisi stabil, dengan pola penyebaran yang tidak banyak berubah antar iterasi.

Pada iterasi sekitar 2000, nilai RMSE mendekati nol, yang berarti perubahan antar iterasi sangat kecil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa distribusi suhu dalam pelat sudah mencapai steady-state atau keadaan setimbang, di mana suhu setiap titik dalam grid hampir tidak lagi berubah. Pada keadaan ini, terdapat pola gradien suhu yang stabil dari sisi panas ke sisi dingin, dengan suhu tinggi (mendekati 1) di sekitar sumber panas dan suhu rendah (mendekati 0) di area pembuangan panas. Di antara kedua sisi ini, terdapat area transisi atau gradien suhu yang halus, di mana suhu rata-rata berada di sekitar 0,5.

Nama : Ulfah Hasanah
NIM : 1227030036

Secara keseluruhan, grafik RMSE ini menggambarkan proses konvergensi dari simulasi distribusi panas, menunjukkan bahwa panas telah menyebar dengan pola yang stabil sesuai dengan syarat batas yang diterapkan. Grafik ini juga menunjukkan bahwa dengan metode konvolusi, distribusi suhu dalam pelat logam mencapai keseimbangan yang stabil, di mana suhu di seluruh grid tetap konstan dari satu iterasi ke iterasi berikutnya, menciptakan pola gradien panas yang seimbang dan tidak berubah lagi.