

Kajian Numerik Distribusi Panas Pada Gabungan Dua Pelat Berbeda Koefisien Konduktivitas Termal Dengan Menggunakan FDM 2 Dimensi

Rahman¹, Sudarmono²

^{1,2}Universitas Cenderawasih

e-mail: rasgyatrav@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan metode numerik dalam hal ini metode beda hingga dalam menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan persamaan diferensial diantaranya dapat memberikan gambaran mengenai penyebaran panas pada gabungan 2 bahan dengan konduktivitas yang berbeda. Proses perpindahan panas pada pelat terukur dari perubahan nilai suhu pada bagian-bagian pelat, maka pada gabungan pelat yang memiliki konduktivitas panas yang berbeda didapatkan bahwa pada pelat dengan konduktivitas lebih tinggi akan lebih cepat mengalami perubahan suhu pada bagian pelatnya sehingga lebih dahulu sampai ke bidang batas antar pelat.

Kata Kunci: Perpindahan Panas; Konduktivitas Panas; Metode Beda Hingga dan pelat gabungan.

1. PENDAHULUAN

Metode numerik sangatlah bermanfaat dalam penyelesaian permasalahan yang berkaitan dengan penyelesaian permasalahan matematis yang sulit diselesaikan secara analitis, diantaranya adalah permasalahan yang berkaitan dengan penyelesaian persamaan diferensial parsial yang tidak dapat dengan mudah diselesaikan dengan menggunakan teknik-teknik analitis, sehingga harus diselesaikan dengan menggunakan metode numerik yang bersesuaian dengan permasalahan tersebut.

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi di bidang ilmu sains dan keteknikan adalah permasalahan perpindahan panas pada suatu zat baik secara konduksi, konveksi maupun radiasi. Permasalahan perpindahan panas banyak didapatkan pada bidang keteknikan diantaranya adalah pada bidang konstruksi bangunan, dengan perhitungan yang cermat maka sirkulasi panas dapat dibuat dengan rancangan tertentu sehingga dapat menghemat energi dalam proses pembuangan panas yang berada dalam suatu ruang atau bangunan. (Purwanto, L. M. F., 2019), Pada upaya penghematan penggunaan energi listrik dengan pemanfaatan limbah panas hasil buangan Air Conditioner (AC) dan Freezer dengan menggunakan Thermosyphon sebagai recovery panas (Siahaan, 2020), dan pengembangan metode-metode numerik dalam bidang ilmu matematika dan komputer, yaitu penggunaan metode Backward Time Central Space (Busrah, Z, 2019).

Permasalahan perpindahan panas yang sering dikaji adalah perpindahan pada kajian 1 dimensi dan dengan benda yang homogen dan dengan pemilihan metode yang beragam dalam penelitian ini akan dibuat kajian numerik dalam kajian 2 dimensi dan menggunakan metode umum dan dasar yang digunakan dalam kajian numerik perpindahan panas yaitu metode numerik beda hingga, yang diterapkan pada persamaan perpindahan panas secara konduktif.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Noor, I (2020) mengkaji secara numerik pada pelat platina dan seng secara terpisah, pada penelitian ini akan dilakukan pengkajian pada gabungan 2 pelat sehingga didapatkan pola sebaran (distribusi) suhu pada pelat gabungan tersebut dengan berbagai macam perbedaan nilai konduktivitas termal dan geometri dari gabungan pelat tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian numerik pada proses perpindahan panas dan distribusi panas pada gabungan dua pelat yang berbeda nilai koefisien konduktivitas panas dengan menggunakan metode numerik beda hingga pada kajian 2 dimensi untuk berbagai perbedaan nilai koefisien konduktivitas termal dan geometri dari gabungan pelat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai perpindahan panas secara konduksi didasarkan pada persamaan matematis yang dikenal dengan nama persamaan Laplace (Bergman, T. L, 2011), yaitu

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

dimana $\alpha = \frac{k}{\rho c}$ yang disebut sebagai koefisien difusi termal.

Metode yang paling umum digunakan dalam penyelesaian permasalahan perpindahan panas secara numerik adalah metode beda hingga (finite difference methods). Diantaranya digunakan oleh Noor (2020), yang melakukan kajian numerik dari perpindahan panas dengan metode beda hingga pada objek penelitian adalah pelat dengan bahan seng dan platina yang digunakan secara terpisah. Magfiroh R *et al*, (2019) melakukan penelitian yang sejenis dengan Noor, tetapi dengan menggunakan bahan kajian batang baja dan dalam kajian 1 dimensi, tetapi menggunakan metode Crank-Nicolson dengan akurasi yang tinggi.

Nurullaeli & Nugraha (2021) telah melakukan kajian numerik mengenai distribusi pada batang yang bersifat umum dengan memanfaatkan GUI (Graphic User Interface) dari Matlab sebagai media bantu dengan hasil GUI dari Matlab dapat dijadikan media bantu dalam proses pembelajaran dalam penggambaran fenomena distribusi panas pada proses perpindahan panas secara konduktif

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komputasi dengan membuat program dalam perangkat lunak Matlab Release 7 berdasarkan persamaan (1) diferensial orde 2 yang berhubungan dengan perpindahan panas dan memasukkan syarat-syarat batas dengan membuat 2 lapisan material yang berbeda koefisien konduktivitasnya.

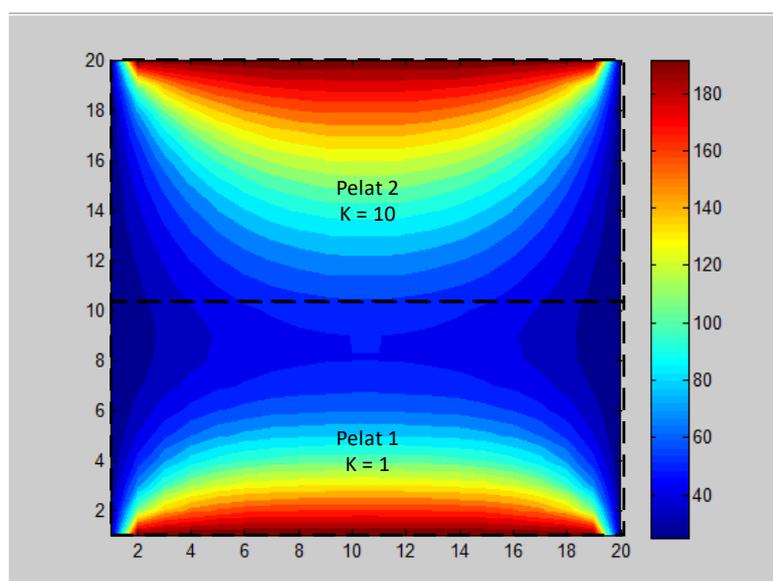
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa skenario terhadap nilai masukkan berupa nilai konstanta konduktivitas panas dari gabungan pelat yang digunakan dalam simulasi ini.

Kasus 1. Perbandingan nilai konduktivitas 10 kali.

Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah dan atas, dimana konduktivitas panas bahan di bagian bawah lebih kecil 10 kali dibandingkan konduktivitas panas di atasnya. Pada keadaan awal distribusi suhu pada masing-masing pelat diberikan sebesar $25^{\circ}C$ dan pada bagian ujung atas dan bawah pelat didekatkan pada sumber panas sebesar $200^{\circ}C$

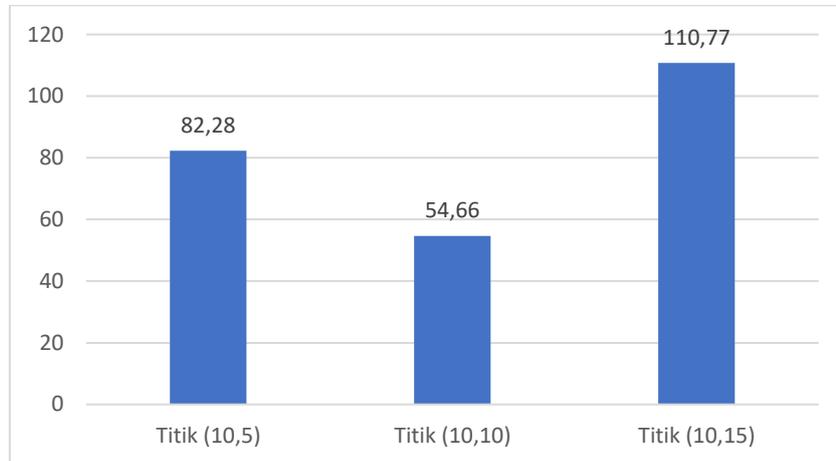
Hasil yang didapatkan berupa distribusi suhu pada pelat gabungan diberikan pada gambar 1



Gambar 1. Distribusi suhu pada pelat gabungan dengan konduktivitas panas pelat 1 dengan $k = 1$ dan pelat 2 dengan $k = 10$, pada iterasi ke 5000.

Dari gambar 1, terlihat bahwa pada pelat 2 aliran panas lebih cepat menyebar dibandingkan dengan pelat 1, sehingga pengaruhnya pada iterasi ke 5000 (bersesuaian dengan waktu 0,5 s) telah mencapai perbatasan antar pelat.

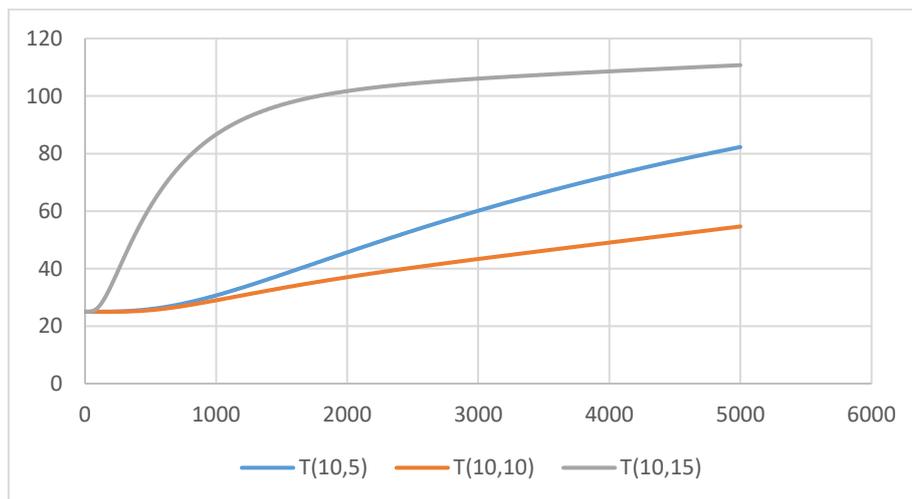
Nilai suhu pada titik-titik kontrol yang terekam dalam proses perhitungan yaitu di titik-titik (10,5), (10,10) dan (10,15) pada iterasi ke 5000 diberikan pada diagram batang berikut.



Gambar 2. Nilai suhu pada titik-titik kontrol pada saat iterasi ke 5000.

Dari diagram batang pada gambar 2, terlihat bahwa pada titik kontrol (10,15) memiliki suhu tertinggi yaitu sebesar 110,77, sedangkan untuk pelat 1, pada titik kontrolnya berada pada titik (10,5) hanya sebesar 82,28. Hal ini memberikan informasi bahwa pada pelat yang konduktivitas panasnya besar maka akan memberikan perpindahan energi panas yang lebih cepat dibandingkan dengan pelat yang memiliki konduktivitas sepuluh kali lebih kecil. Pada titik kontrol yang berada di tengah gabungan pelat 1 dan 2 yaitu pada titik (10,10) terlihat juga terjadi perubahan suhu yang cukup signifikan yaitu menjadi dua kali lipat dari suhu awal pelat.

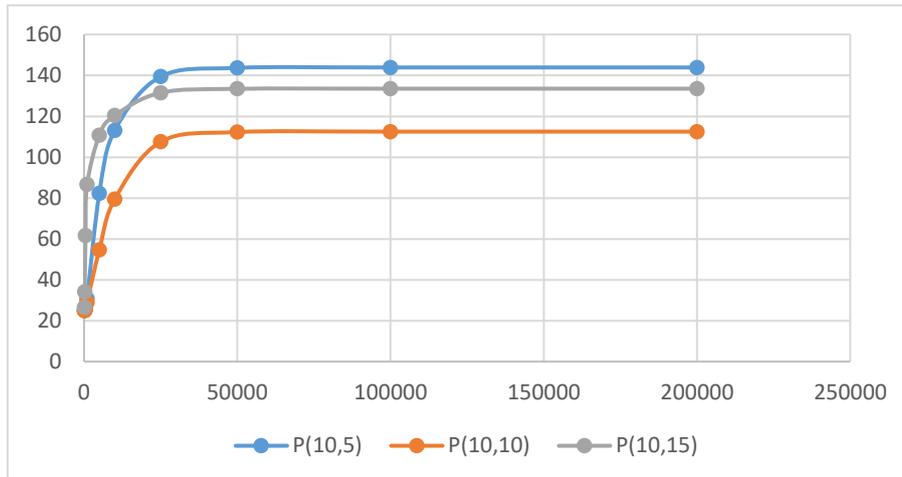
Dinamika perubahan suhu pada titik-titik kontrol disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Dinamika perubahan suhu pada titik-titik kontrol sampai iterasi ke 5000.

Pada gambar 3., terlihat bahwa pada awal iterasi seluruh titik memiliki suhu yang sama, tetapi setelah selang beberapa saat maka suhu pada titik kontrol (10,15) yang berada pada pelat 2, memiliki perubahan suhu dengan pola logaritma, sedangkan perubahan suhu pada titik kontrol (10,5) dan (10,10) membentuk pola linear.

Dinamika suhu pada titik-titik kontrol sampai dengan iterasi ke 200.000 diberikan pada gambar 4

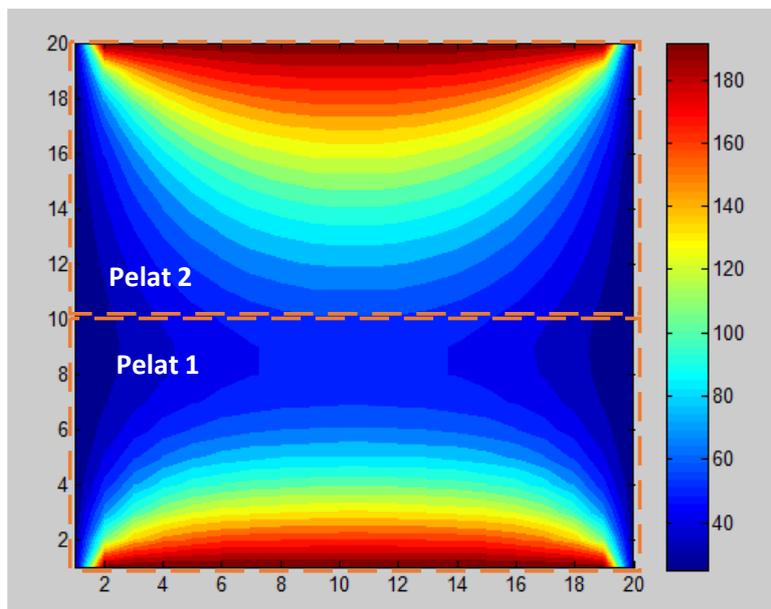


Gambar 4. Dinamika perubahan suhu pada titik-titik kontrol sampai iterasi ke 200.000

Dari gambar 4, terlihat bahwa pada sekitar iterasi yang 50.000, nilai suhu pada titik titik kontrol sudah tidak lagi mengalami perubahan, hal ini ditandai dengan telah melandasinya (mendatarinya) pola grafik pada setiap titik kontrol. Dengan melandasinya pola grafik tersebut maka tidak terjadi lagi adanya gradien suhu antara titik di dalam pelat tersebut sehingga proses perpindahan panas tidak lagi terjadi pada masing-masing pelat.

Kasus 2. Perbandingan nilai konduktivitas 100 kali.

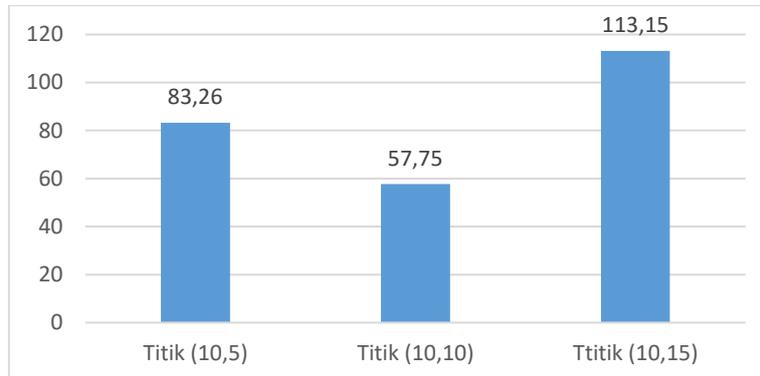
Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah dan atas, dimana konduktivitas panas bahan di bagian bawah lebih kecil 100 kali dibandingkan konduktivitas panas di atasnya. Pada keadaan awal distribusi suhu pada masing-masing pelat diberikan sebesar $25^{\circ}C$ dan pada bagian ujung atas dan bawah pelat didekatkan pada sumber panas sebesar $200^{\circ}C$. Hasil yang didapatkan berupa distribusi suhu pada pelat gabungan diberikan pada gambar 4.5.



Gambar 5. Distribusi suhu pada pelat gabungan dengan konduktivitas panas pelat 1 dengan $k = 1$ dan pelat 2 dengan $k = 100$, pada iterasi ke 5000.

Pada gambar 5, terlihat bahwa pada pelat 2 distribusi suhu lebih variatif dibandingkan pada pelat 1. Pada pelat 2, pengaruh sumber panas pada bagian atas telah memberikan pengaruh sampai ke bagian sambungan kedua pelat, sedangkan pada pelat 1, pengaruh sumber panas pada bagian bawah tidak memberikan pengaruh pada bagian sambungan antar pelat.

Nilai suhu pada titik-titik kontrol yang terekam dalam proses perhitungan yaitu di titik-titik (10,5), (10,10) dan (10,15) pada iterasi ke 5000 diberikan pada diagram batang berikut.



Gambar 6. Nilai suhu pada titik-titik kontrol pada saat iterasi ke 5000.

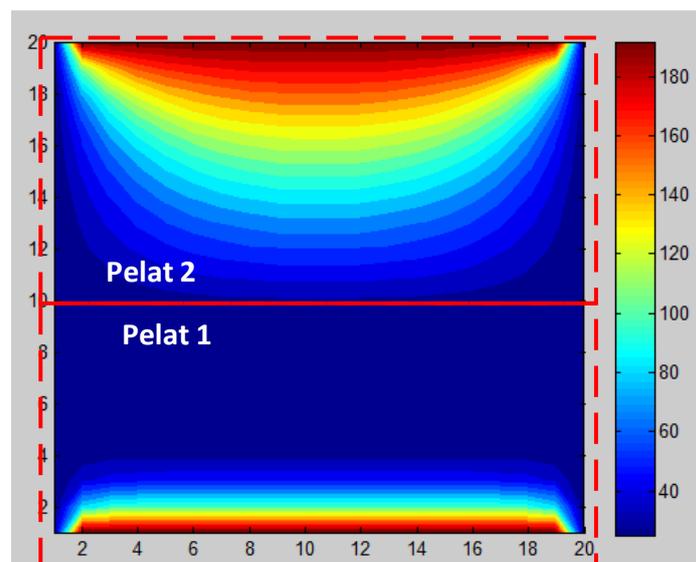
Dari diagram batang pada gambar 6, terlihat pada pada titik kontrol (10,15) memiliki suhu tertinggi yaitu sebesar , dimana titik kontrol tersebut berada di pelat kedua, sedangkan pelat 1, pada titik kontrol yang berdekatan dengan sumber panas (titik (10,5)) hanya sebesar . Hal ini memberikan informasi bahwa pada pelat yang konduktivitas panasnya besar maka akan memberikan panas perpindahan energi dalam hal ini panas yang lebih cepat dibandingkan dengan pelat yang memiliki konduktivitas yang sepuluh kali lebih kecil. Waktu simulasi yang diberikan dengan nilai spasi waktu sebesar 0,0001 adalah 0,1 detik.

Pada titik kontrol yang berada di tengah gabungan pelat 1 dan 2 yaitu pada titik (10,10) terlihat juga terjadi perubahan suhu yang cukup signifikan yaitu menjadi dua kali lipat dari suhu awal pelat. Pada titik kontrol (10,10) termasuk di dalam pelat 1. Dari gambar 4.5, perubahan suhu pada titik kontrol (10,10) didominasi dari pengaruh panas yang menyebar di pelat 2.

Kasus 3. Perbandingan nilai konduktivitas 1000 kali.

Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah dan atas, dimana konduktivitas panas bahan di bagian bawah lebih kecil 1000 kali dibandingkan konduktivitas panas di atasnya. Pada keadaan awal distribusi suhu pada masing-masing pelat diberikan sebesar 25°C dan pada bagian ujung atas dan bawah pelat didekatkan pada sumber panas sebesar 200°C

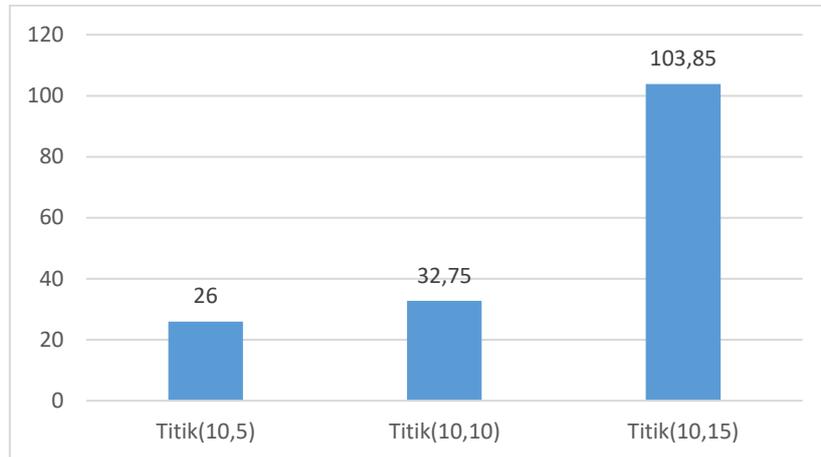
Hasil yang didapatkan berupa distribusi suhu pada pelat gabungan diberikan pada gambar 7.



Gambar 7. Distribusi suhu pada pelat gabungan dengan konduktivitas panas pelat 1 dengan $k = 1$ dan pelat 2 dengan $k = 1000$, pada iterasi ke 5000.

Pada gambar 7, terlihat bahwa pada pelat 2 distribusi suhu lebih bervariasi dibandingkan pada pelat 1. Pada pelat 2, pengaruh sumber panas pada bagian atas telah memberikan pengaruh sampai ke bagian sambungan kedua pelat, sedangkan pada pelat 1, pengaruh sumber panas pada bagian bawah tidak memberikan pengaruh pada bagian sambungan antar pelat.

Nilai suhu pada titik-titik kontrol yang terekam dalam proses perhitungan yaitu di titik-titik (10,5), (10,10) dan (10,15) pada iterasi ke 5000 diberikan pada diagram batang berikut.



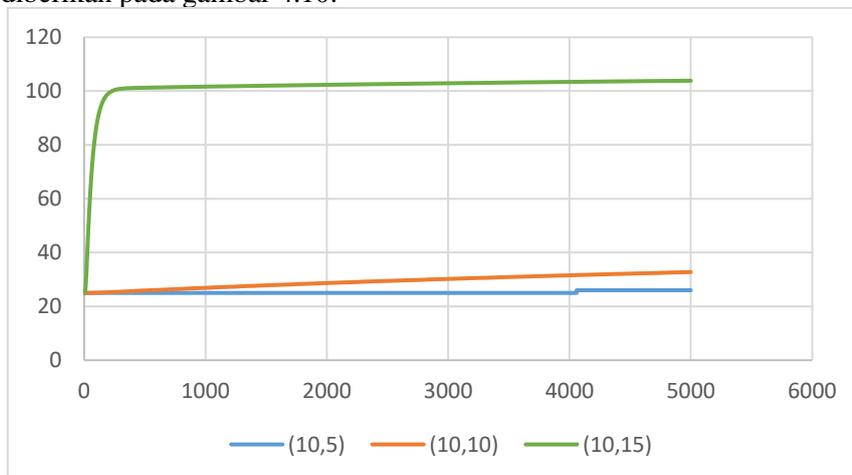
Gambar 8. Nilai suhu pada titik-titik kontrol pada saat iterasi ke 5000 (kasus perbandingan konduktivitas 1000 kali.)

Pada titik kontrol yang berada di tengah gabungan pelat 1 dan 2 yaitu pada titik (10,10) terlihat tidak terjadi perubahan suhu karena proses iterasi yang sampai 5.000 kali, tetapi jarak spasi antara waktu iterasi yang sangat kecil yaitu sebesar 0,00001 detik, yang berarti bahwa proses perpindahan panas yang terekam oleh matlab sebesar 0,05 detik.

Pada titik kontrol (10,10) termasuk di dalam pelat 1, terlihat pada gambar 8, nilai suhu di titik tersebut menjadi sekitar 32°C, yang memberikan informasi bahwa panas yang diterima di titik tersebut didominasi oleh panas yang mengalir dari pelat 2, yang telah masuk ke daerah pelat 1.

Pada titik kontrol (10,15), terlihat bahwa nilai suhu pada titik tersebut berubah menjadi sekitar 4 kali dari nilai suhu awalnya. Hal ini memberikan informasi bahwa energi panas yang berada di sumber dengan sangat cepat dipindahkan karena nilai konduktivitas yang tinggi dibandingkan perpindahan panas yang dialami oleh pelat 1.

Dinamika perubahan suhu di titik-titik kontrol disajikan pada kasus perbandingan konduktivitas sampai 1000 kali diberikan pada gambar 4.10.



Gambar 9. Nilai suhu pada titik-titik kontrol pada saat iterasi ke 5000 kasus perbandingan konduktivitas 1000 kali.

Dari gambar 9, terlihat bahwa perubahan suhu di titik kontrol (10,5) dan (10,10) terjadi secara linear, dimana di awal iterasi suhu pada keu titik kontrol ini berimpit sedangkan setelah 1000 kali iterasi maka terjadi perpisahan kedua grafik pertambahan suhunya yaitu pada suhu titik kontrol (10,5) sangat lambat perubahan suhunya dibandingkan pada titik kontrol (10,10), dari penggambaran ini terlihat bahwa pada saat iterasi ke 1000 maka pengaruh energi panas yang dipindahkan oleh pelat 2 telah mempengaruhi perubahan suhu pada titik kontrol (10,10) yang terletak di sambungan antara kedua pelat.

Pada titik kontrol (10,15), terlihat bahwa pada awal iterasi perubahan suhu terjadi sangat drastis yaitu dari suhu 25°C menjadi sekitar 100°C , tetapi setelah mencapai suhu tersebut perubahannya menjadi linear hal ini disebabkan pada saat awal iterasi hampir semua energi panas yang berasal dari sumber panas mengalir cepat ke titik kontrol tetapi setelah suhu menjadi 100°C atau titik kesetimbang suhu baru maka suhu akan berubah sesuai dengan perubahan suhu secara konduktif yaitu secara linear.

Dari hasil simulasi numerik yang dilakukan dapat terlihat bahwa besarnya pengaruh konstanta konduktivitas pada campuran 2 buah pelat logam yang berbeda konduktivitas, pada konduktivitas yang tinggi energi panas dengan cepat berpindah sedangkan pada daerah konduktivitas rendah maka pergerakan panas akan *melambat*.

4. KESIMPULAN

Dari simulasi numerik yang dilakukan terhadap perpindahan panas pada gabungan 2 pelat dengan konduktivitas panas yang berbeda didapatkan bahwa

- Proses perpindahan panas akan terjadi secara cepat pada pelat yang konduktivitas panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelat yang konduktivitasnya lebih rendah.
- Proses perpindahan panas pada pelat terukur dari perubahan nilai suhu pada bagian-bagian pelat, maka pada pelat yang memiliki konduktivitas panas yang lebih tinggi akan lebih cepat mengalami perubahan suhu pada bagian pelatnya sehingga lebih dahulu sampai ke bidang batas antar pelat dan mempengaruhi proses perpindahan panas pada pelat yang lebih rendah nilai konduktivitas panasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bergman, T. L., Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt, (2011), "Introduction to Heat Transfer", Sixth Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Busrah, Z, (2019), "Implementasi Algoritma Backward Time Central Space pada Penyelesaian Model Distribusi Panas Koordinat Silinder", Jurnal Ilmiah d'Computare, Volume 9 Edisi Juli, hal. 18 – 26.
- Maghfiroh, R, R Khusniah dan M. Sholeh, (2019), "Simulasi Numerik Perpindahan Panas Batang Baja Menggunakan Skema Benda Hingga Kompak Pada Metode Crank-Nicolson" Transformasi : Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika. Volume 3. Hal 85-93.
- Noor, I, Andry Fitriani, Didik Nur Huda, (2020), "Simulasi Distribusi Temperatur pada Pelat Tipis Berbantuan FDM (Finite Difference Method), Prosiding SINASIS 1, hal. 1 – 5.
- Nurullaeli, Nugraha, A. M., (2021), "Media Bantu Simulasi Distribusi Panas Pada Batang Konduktor Menggunakan Pendekatan Finite Difference", Prosiding Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK), 14 Januari 2021, hal. 837 – 841.
- Purwanto, L.M.F, (2019). "Simulasi transfer panas pada dinding dengan software Therm 7.7." *ARTEKS : Jurnal Teknik Arsitektur*. 4, 1 Desember. 2019, hal. 111-116.