

Simulasi Numerik Distribusi Panas pada Gabungan Proses Perpindahan Panas Secara Konduksi dan Konveksi Menggunakan Metode Beda Hingga 2 Dimensi

Rahman*, Hardi Hamzah
Universitas Cenderawasih
e-mail: rasgyatrav@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian numerik pada proses perpindahan panas dan distribusi panas pada gabungan proses perpindahan yaitu proses perpindahan panas secara konduksi dan secara konveksi dengan menggunakan metode numerik beda hingga pada kajian 2 dimensi untuk berbagai perbedaan nilai koefisien konduktivitas termal dan koefisien konvektivitas termal dari bahan. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komputasi dengan membuat program dalam perangkat lunak Matlab release 7 berdasarkan persamaan diferensial orde 2 yang berhubungan dengan perpindahan panas secara konduktif dan konveksi. Proses perpindahan panas bergantung pada nilai koefisien konduktivitas dan koefisien difusi. Proses perpindahan panas akan terhenti pada waktu yang relatif sama untuk seluruh kondisi simulasi yang dilakukan yaitu pada saat $t = 5$ s, hal ini ditandai dengan sudah tidak berubahnya pola dari distribusi pada simulasi yang dilakukan.

Kata kunci—Simulasi Numerik, Distribusi Panas, Konduksi dan Konveksi, Metode Hingga 2 Dimensi

1. PENDAHULUAN

Metode numerik sangatlah berguna 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.

Perkembangan komputer yang digunakan sebagai alat bantu dalam proses penyelesaian numerik terhadap permasalahan matematis yang begitu sangat cepat membuat penyelesaian permasalahan dengan cara metode numerik atau yang dikenal dengan nama simulasi numerik menjadi salah satu alternatif dalam mengungkap permasalahan-permasalahan yang sulit dikaji secara teoritis dan eksperimen.

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:

- Melihat pengaruh kecepatan udara dan temperatur pada proses perpindahan panas secara konveksi pada sistem pendinginan di PLTU yang dilakukan secara numerik (Haq, M. R. 2020).
- Melihat perpindahan panas pada sebuah fin yaitu sebuah benda yang dapat memindahkan panas secara konveksi dan konduksi yang dilakukan secara numerik (Wicaksono, R. A., dan Putra, A. B. K., 2020).
- Melakukan analisis numerik mengenai laju perpindahan panas pada baterai Ion Lithium 18650 terhadap beban keluarannya, dimana baterai Ion Lithium adalah merupakan salah satu baterai yang digunakan pada kendaraan listrik ataupun lampu tenaga matahari .
- Melakukan rekayasa alat untuk melepaskan panas dari sumber panas berupa lampu LED secara konveksi alami dengan bantuan heatsink yang dilakukan secara numerik dengan menggunakan aplikasi *solidworks* (Angraini R., dkk, 2020).

- e. Melakukan rekayasa alat pengirangan kopi dari tenaga surya secara numerik yang memperhitungkan proses perpindahan panas pada alat tersebut (Ronny, A., dkk. 2019).
- f. Melakukan analisa pada peralatan atau device pendingin seperti yang dilakukan oleh Muhammad Ibnu Rafiq terhadap peralatan sistem modul pendingin Thermoelektrik Cooler dengan tipe silinder, yang di dalamnya menggunakan sistem perpindahan panas secara konveksi (Rafiq, M. I. 2022).

Dengan melihat banyaknya hasil-hasil penelitian yang mengangkat masalah perpindahan panas maka diperlukan kajian dasar yang mengenai mekanisme perpindahan panas pada bahan atau material yang merupakan dua proses perpindahan yaitu pada proses perpindahan secara konduksi yang terjadi pada zat padat dan pada proses perpindahan secara konveksi yang terjadi pada zat fluida (zat alir). Dengan demikian akan memberikan informasi mengenai proses perpindahan panas dan distribusi panas dari gabungan antara proses perpindahan secara konduksi dan konveksi yang efisien dan murah, serta dapat melihat mekanisme perpindahan serta syarat terjadi perpindahan panas.

Permasalahan perpindahan panas yang sering dikaji adalah perpindahan panas 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 dan konveksi secara bersamaan.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian numerik pada proses perpindahan panas dan distribusi panas pada gabungan proses perpindahan yaitu proses perpindahan panas secara konduksi dan secara konveksi dengan menggunakan metode numerik beda hingga pada kajian 2 dimensi untuk berbagai perbedaan nilai koefisien konduktivitas termal dan koefisien konvektivitas termal dari bahan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komputasi dengan membuat program dalam perangkat lunak Matlab release 7 berdasarkan persamaan diferensial orde 2 yang berhubungan dengan perpindahan panas secara konduktif dan konveksi. Dari program yang dibuat dilakukan pemberian nilai masukan yang bervariasi pada nilai koefisien konduktivitas termal dan koefisien difusi, serta nilai suhu awal sistem.

2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bentang waktu 6 bulan yaitu April – Oktober 2023, dan dilakukan di Laboratorium Fisika Komputasi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Cenderawasih.

2.3 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

Prosesor : Intel Core i7 Generasi 5
RAM : 8 GB
Sistem Operasi : Windows 10 Pro Versi 22H2

Dengan aplikasi atau program yang digunakan untuk simulasi adalah

Program : Matlab R2007b, versi 7.5.0.342
Tanggal Release : 15 Agustus 2007

Serta program bantuan menggunakan MS Excel 2019.

2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

2.4.1 Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan studi kepustakaan yaitu mengumpulkan bahan-bahan referensi baik dari buku, artikel, paper, jurnal, makalah, maupun situs internet yang berhubungan dengan perpindahan panas baik secara teoritis dan numerik terutama yang berhubungan dengan metode beda hingga.

2.4.2 Pembuatan Diskritisasi dan Diagram Alir Program

Pada tahap ini dilakukan diskritisasi terhadap parameter-parameter yang terdapat pada persamaan diferensial orde 2 yang berhubungan dengan perpindahan panas secara konduksi dan pembuatan diagram alir umum dari program yang akan dibuat.

2.4.3 Pembuatan Program Komputer

Pada tahap ini akan dibuat program komputer dengan perangkat lunak Matlab release 7 berdasarkan diskritisasi dan diagram alir yang telah dibuat.

2.4.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mensimulasi nilai masukan pada program yang telah dibuat dan mengumpulkan informasi keluaran dari program berupa grafik-grafik yang berkaitan dengan nilai suhu dan gambar distribusi panas dari setiap kasus yang diberikan.

2.4.5 Analisis Data

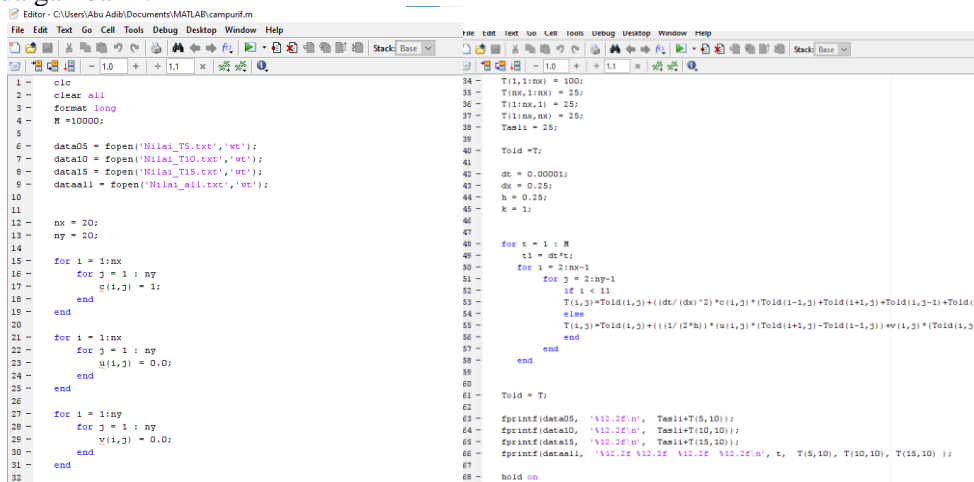
Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap data-data yang telah dikumpulkan berupa pola sebaran suhu dan nilai-nilai maksimum dan minimum dari data suhu yang didapatkan dari tahapan sebelumnya.

2.4.6 Pelaporan

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari penelitian berupa pembuatan laporan dari penelitian yang telah dilakukan. Pada tahap ini juga dibuat tulisan dalam bentuk pemulisan format jurnal penelitian yang akan dipublikasikan dalam jurnal atau prosiding seminar penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Program dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Matlab R2007b, versi 7.5.0.342, release 15 Agustus 2007 berdasarkan persamaan (1) dan (2) pada editor M-File dengan bentuk source code dasar diberikan pada gambar 1.



```
1 - clear
2 - clear all
3 - format long
4 - M = 10000;
5
6 - data05 = fopen('Nilai_T5.txt','wt');
7 - data10 = fopen('Nilai_T10.txt','wt');
8 - data15 = fopen('Nilai_T15.txt','wt');
9 - dataall = fopen('Nilai_all.txt','wt');
10
11
12 - nx = 30;
13 - ny = 20;
14
15 - for i = 1:nx
16 -     for j = 1 : ny
17 -         u(i,j) = 1;
18 -     end
19 - end
20
21 - for i = 1:nx
22 -     for j = 1 : ny
23 -         u(i,j) = 0.0;
24 -     end
25 - end
26
27 - for i = 1:ny
28 -     for j = 1 : nx
29 -         v(i,j) = 0.0;
30 -     end
31 - end
32
33 - T(1,1:nx) = 100;
34 - T(10,1:nx) = 25;
35 - T(1:ny,1) = 25;
36 - T(1:ny,nx) = 25;
37 - T(1:ny,10) = 25;
38 - T(1:ny,15) = 25;
39
40 - Told = T;
41
42 - dt = 0.0001;
43 - dx = 0.25;
44 - h = 0.25;
45 - k = 1;
46
47
48 - for t = 1 : M
49 -     t1 = dt*t;
50 -     for i = 2:nx-1
51 -         for j = 2:ny-1
52 -             if i < 11
53 -                 T(i,j) = Told(i,j) + ((dt/dx)^2) * (k(i,j) * (Told(i-1,j) + Told(i+1,j) + Told(i,j-1) + Told(i,j+1)) - 4*Told(i,j)) + ((1/(2*h)) * (u(i,j) * (Told(i+1,j) - Told(i-1,j)) + v(i,j) * (Told(i,j+1) - Told(i,j-1)))));
54 -             else
55 -                 T(i,j) = Told(i,j) + ((1/(2*h)) * (u(i,j) * (Told(i+1,j) - Told(i-1,j)) + v(i,j) * (Told(i,j+1) - Told(i,j-1)))));
56 -             end
57 -         end
58 -     end
59
60 - Told = T;
61
62
63 - fprintf(data05, '%12.2f\n', T(5,10));
64 - fprintf(data10, '%12.2f\n', T(10,10));
65 - fprintf(data15, '%12.2f\n', T(15,10));
66 - fprintf(dataall, '%12.2f %12.2f %12.2f %12.2f\n', t, T(5,10), T(10,10), T(15,10));
67
68 - hold on
```

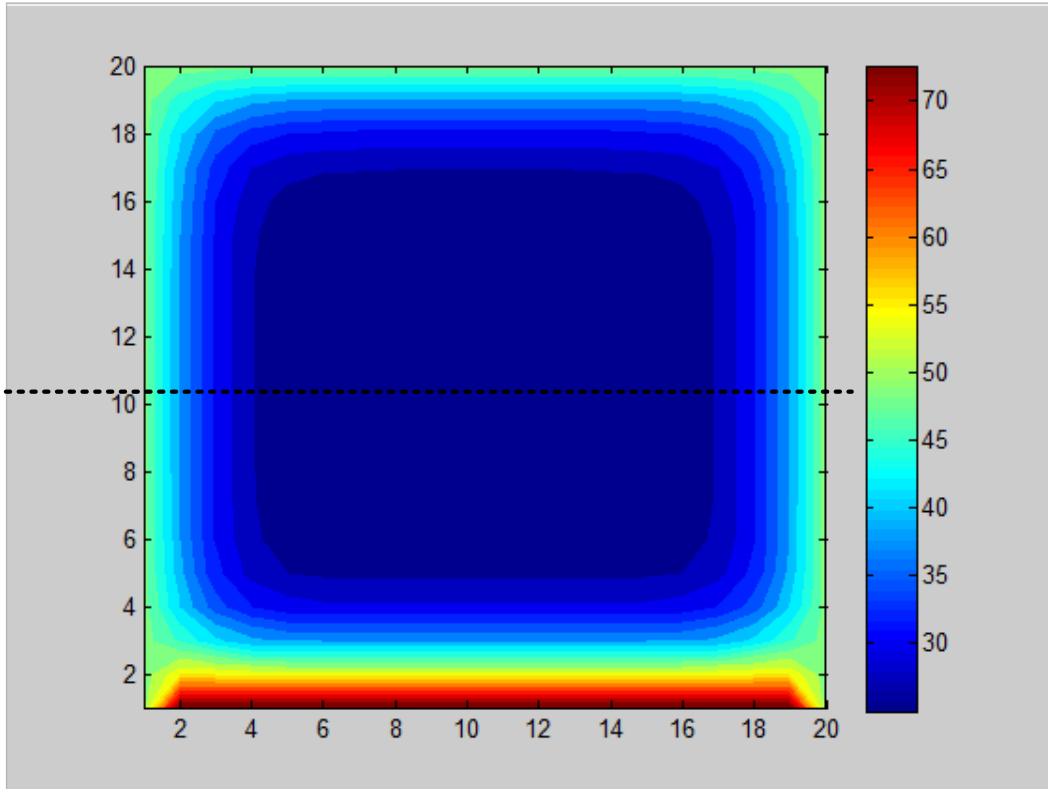
Gambar 2. Screenshot sebagian source code program yang dibuat di editor M-File Matlab

Pada penelitian ini dilakukan beberapa skenario terhadap nilai masukan berupa nilai koefisien konduktivitas dan koefisien difusi dari gabungan pelat yang digunakan dalam simulasi ini.

Kasus 1. Nilai Koefisien Konduktivitas 1 dan Koefisien Difusi 1.

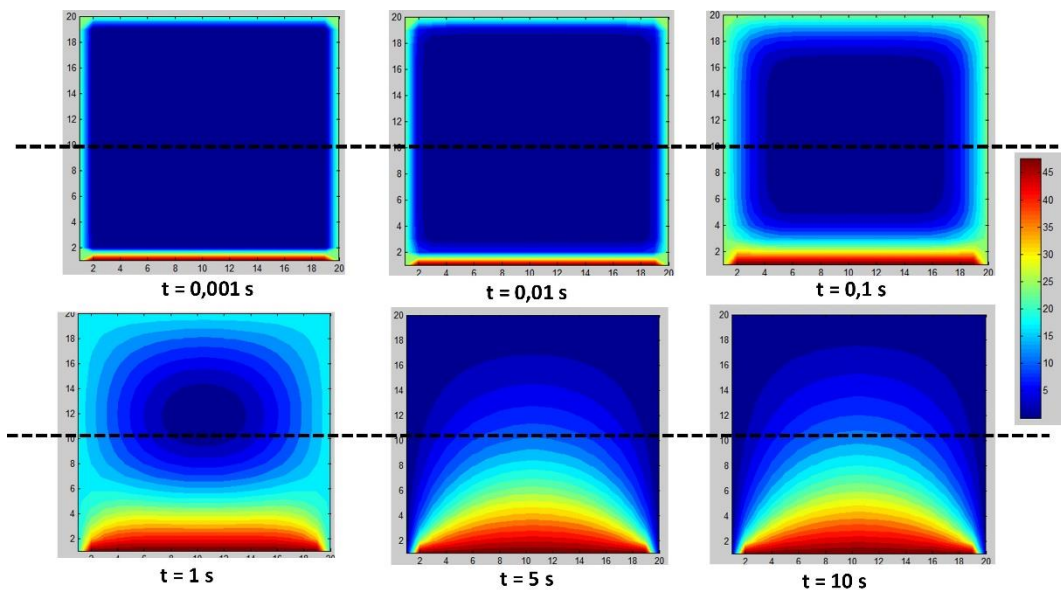
Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah, dimana konduktivitas panas bahan bernilai 1 dan nilai koefisien difusi bernilai 1. Pada keadaan awal distribusi suhu pada bahan diberikan sebesar 25°C dan pada bagian ujung bawah pelat yang merupakan sumber panas sebesar 50°C

Hasil yang didapatkan berupa distribusi suhu pada gabungan proses perindahan konduksi dan konveksi diberikan pada gambar 2.



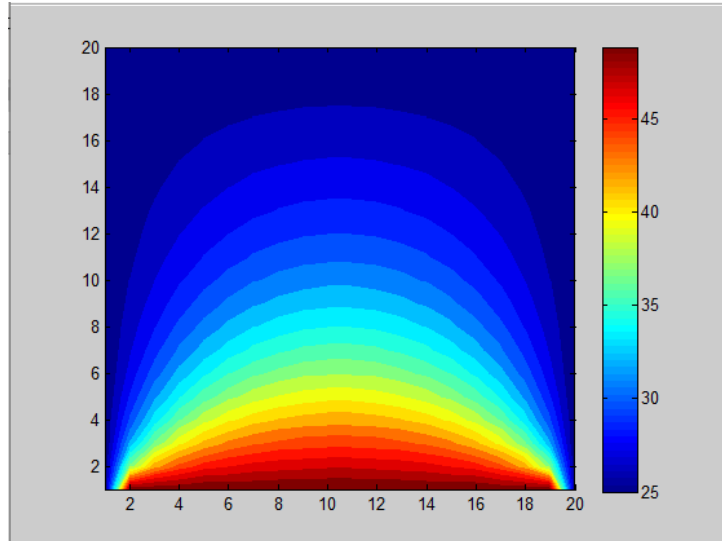
Gambar 2. Distribusi suhu pada gabungan proses konduksi dan konveksi dengan nilai masukan koefisien konduktivitas = 1 dan koefisien konveksi = 1.

Dari gambar 2, menggambarkan kontur distribusi suhu pada saat 0,1 s, terlihat bahwa pada bagian proses perpindahan secara konduksi, di bagian bawah terjadi perubahan suhu yang cepat dikarenakan berdekatan dengan sumber panasnya, sedangkan bagian atas dari bagian konduksi pada posisi 4 terlihat bahwa suhu benda padat masih bernilai suhu awalnya yaitu sekitar 25°C dan sumber panas diberikan sebesar 50°C, sedangkan untuk bagian gas yang mengalami proses perpindahan panas secara konveksi terlihat belum mendapatkan pengaruh dari sumber panas yang diberikan.



Gambar 3. Distribusi panas dari waktu-waktu yaitu pada saat 0,001s, 0,001 s, 0,1 s, 1 s, 5 s dan 10 s.

Pada gambar 3, memperlihatkan dinamika dari perpindahan panas dari dasar pelat yang didalamnya mengalami proses perpindahan panas secara konduksi sehingga mencapai bidang batas antar proses konduksi dan konveksi. Pada saat $t = 1$ s, terlihat bahwa perubahan suhu pelat telah mulai mempengaruhi bagian konduksi.

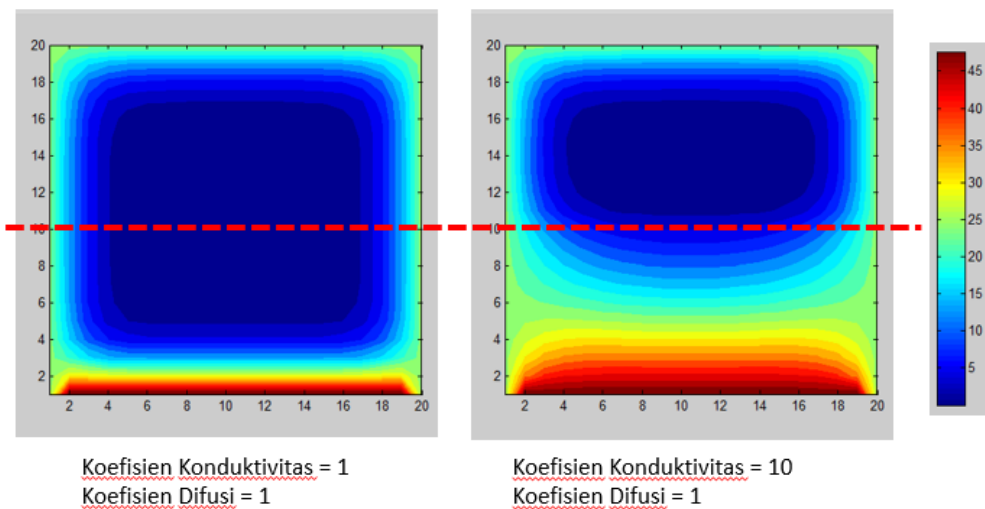


Gambar 4. Distribusi panas dari waktu pada saat 15 s.

Gambar 4, memperlihatkan distribusi suhu pada saat 15 s, terlihat bahwa bagian konveksi bagian atas juga telah berubah seperti perubahan pada bidang konduksi yaitu perubahan suhu terbesar berada di bagian tengah, tetapi suhu pada bagian konveksi masih berkisaran 25°C sampai 35°C .

Kasus 2. Nilai Koefisien Konduktivitas 10 dan Koefisien Difusi 1.

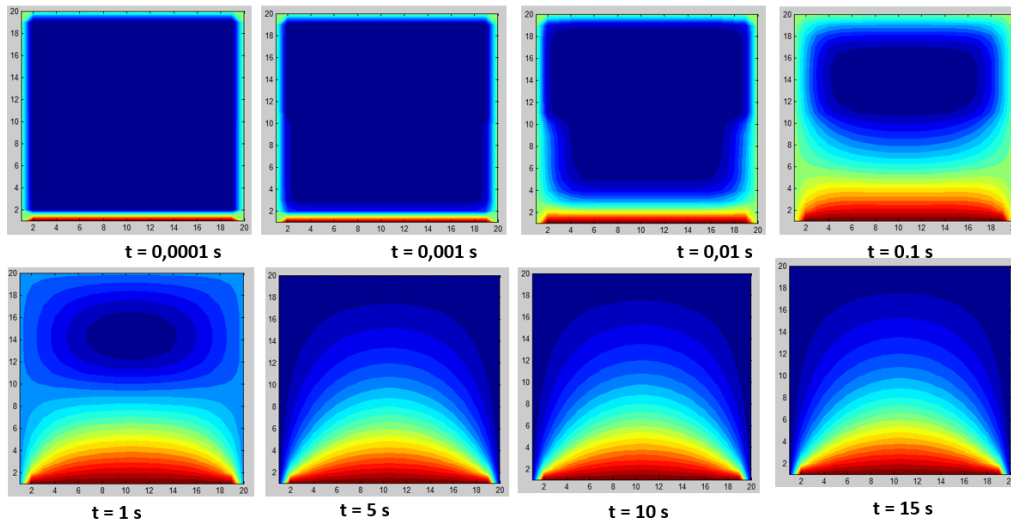
Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah, dimana konduktivitas panas bahan bernilai 10 dan nilai koefisien difusi bernilai 1. Pada keadaan awal distribusi suhu pada bahan diberikan sebesar 25°C dan pada bagian ujung bawah pelat yang merupakan sumber panas sebesar 50°



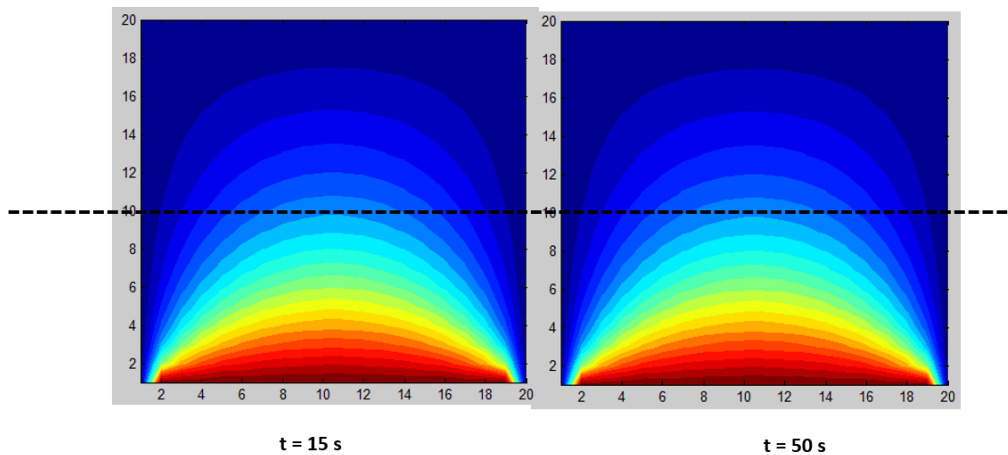
Gambar 5. Perbandingan distribusi panas dengan perbedaan nilai koefisien konduktivitas 1 dengan 10, sedangkan nilai koefisien difusi yang sama sebesar 1 pada saat $t = 0,1$ s.

Dari gambar 5, menggambarkan distribusi suhu pada saat 0,1 s, terlihat bahwa pada nilai konduktivitas 10 lebih cepat mencapai bidang batas dan telah memberikan sedikit pengaruh pada bidang batas sedangkan yang nilai konduktivitasnya 1 pengaruhnya belum sampai ke bidang batas.

Pada gambar 6., memberikan dinamika perubahan suhu dari dasar pelat, jika hasil ini dibandingkan dengan gambar 3, terlihat bahwa pada koefisien konduktivitas 10, lebih cepat terjadi perubahan panas pada sistem yang diteliti. Pada t sekitar 0,1 s telah terlihat pengaruh perpindahan panas telah mencapai bidang batas, sedangkan pada saat t 1 s, telah mempengaruhi bidang batas dan selanjutnya telah melakukan proses perpindahan panas secara konveksi dan terlihat proses perpindahan panas secara konveksi masih berjalan secara lambat



Gambar 6. Distribusi panas dari waktu-waktu yaitu pada saat 0,001s, 0,001 s, 0,1 s, 1 s, sampai 15 s.

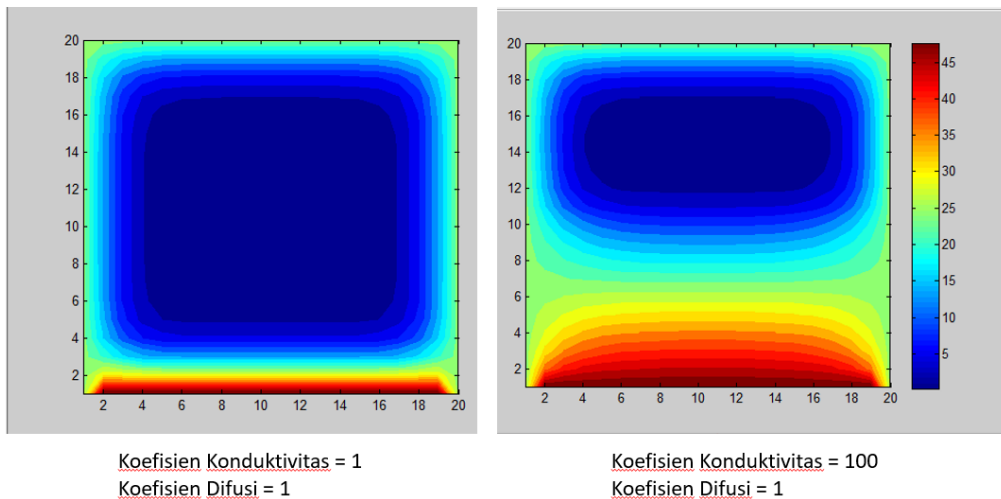


Gambar 7. Perbandingan distribusi panas dengan koefisien konduktivitas 10, pada saat $t = 15$ s dan $t = 50$ s..

Pada gambar 7, memperlihatkan distribusi panas pada saat $t = 15$ s dan $t = 50$ s, terlihat bahwa sudah tidak terjadi perubahan pola distribusinya hal ini disebabkan karena sudah tidak terjadi lagi gradien suhu sehingga sudah tidak terjadi lagi perubahan suhu pada setiap titik di dalam sistem yang dikaji.

Kasus 3. Nilai Koefisien Konduktivitas 100 dan Koefisien Difusi 1.

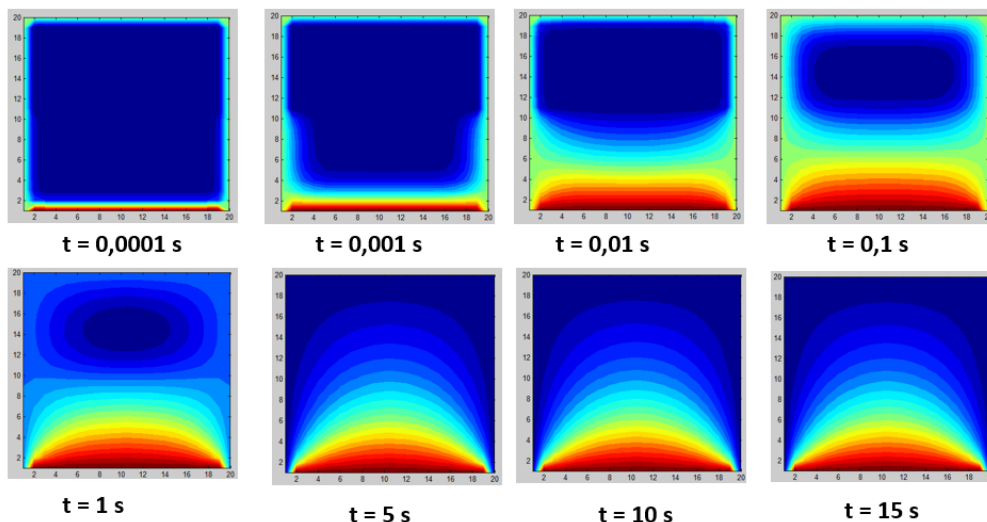
Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah, dimana konduktivitas panas bahan bernilai 100 dan nilai koefisien difusi bernilai 1. Pada keadaan awal distribusi suhu pada bahan diberikan sebesar $25^{\circ}C$ dan pada bagian ujung bawah pelat yang merupakan sumber panas sebesar $50^{\circ}C$



Gambar 8. Perbandingan distribusi panas dengan koefisien konduktivitas 1 dengan 100 pada koefisien difusi bernilai 1 pada saat $t = 0,1$ s.

Pada gambar 8. memperlihatkan perbandingan distribusi panas pada saat $t = 0,1$ s pada keadaan koefisien konduktivitas 1 dengan 100 pada saat koefisien difusinya bernilai sama yaitu 1. Terlihat bahwa pada konduktivitas 10, distribusi panas sudah mencapai bidang batas sedangkan pada nilai konduktivitas 1 belum mencapai bidang batas, hal ini memberikan informasi bahwa pengaruh nilai konduktivitas yang besar akan mempengaruhi distribusi panas pada pelat dan setelah mencapai bidang batas akan mempengaruhi keadaan konveksi.

Pada gambar 9., memperlihatkan dinamika perubahan suhu sistem dari waktu ke waktu yaitu dari $t = 0,0001$ s sampai $t = 15$ s. Pada saat $t = 0,01$ s, terlihat bahwa telah terjadi perubahan suhu secara konveksi dan terlihat lebih jelas pada saat $t = 0,1$ s, sedangkan pada saat $t = 5$ s, telah terjadi perubahan suhu yang menuju kestabilan sehingga pada waktu di atas $t = 5$ s, suhu tidak terlihat lagi perubahan bentuk distribusi suhu pada sistem, dan terlihat juga terjadi perubahan suhu secara konveksi.



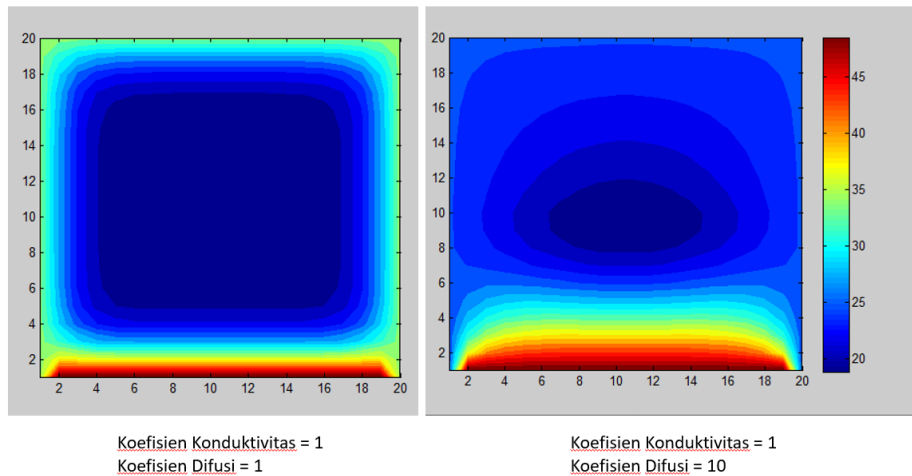
Gambar 9. Distribusi panas dari waktu-waktu yaitu pada saat 0,001s, 0,001 s, 0,1 s, 1 s, sampai 15 s.

Kasus 4. Nilai Koefisien Konduktivitas 1 dan Koefisien Difusi 10.

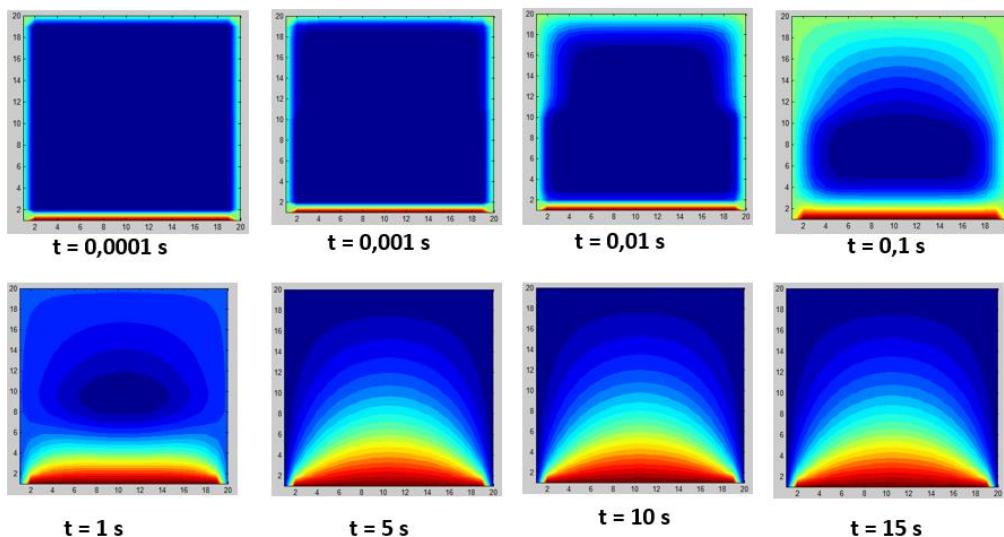
Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah, dimana konduktivitas panas bahan bernilai 1 dan nilai koefisien difusi bernilai 10. Pada keadaan awal distribusi suhu pada bahan diberikan sebesar 25°C dan pada bagian ujung bawah pelat yang merupakan sumber panas sebesar 50°C .

Pada gambar 4.10. memperlihatkan perbandingan distribusi panas pada saat $t = 0,1$ s pada keadaan koefisien difusi 1 dengan 10 pada saat koefisien konduktivitasnya bernilai sama yaitu 1.

Terlihat bahwa terdapat perbedaan pola sebaran panas di dalam sampel, pada saat $t = 0,1$, terlihat bahwa pada bagian konveksi telah terjadi perubahan suhu yang lebih besar dibandingkan dengan koefisien difusi 1..



Gambar 10. Perbandingan distribusi panas dengan koefisien difusi 1 dengan 10 dengan koefisien konduktivitas yang sama yaitu 1, pada koefisien difusi bernilai 1 pada saat $t = 0,1$ s.

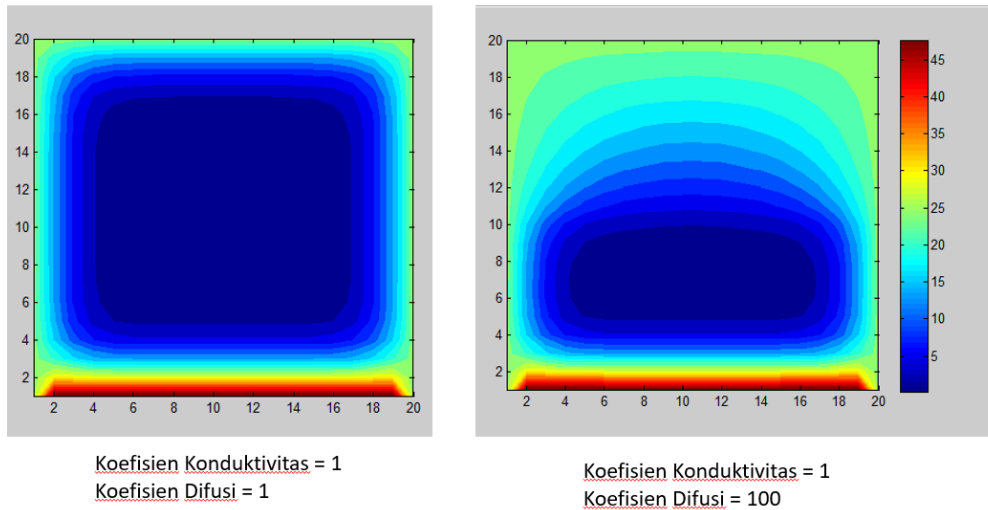


Gambar 11. Distribusi panas dari waktu-waktu yaitu pada saat 0,0001s, 0,001 s, 0,01 s, 0,1 s, sampai 15 s.

Pada gambar 11., memperlihatkan dinamika perubahan suhu sistem dari waktu ke waktu yaitu dari $t = 0,0001$ s sampai $t = 15$ s. Pada saat $t = 0,01$ s, terlihat bahwa telah terjadi perubahan suhu secara konveksi dan terlihat lebih jelas pada saat $t = 0,1$ s, sedangkan pada saat $t = 5$ s, telah terjadi perubahan suhu yang menuju ke stabilan sehingga pada waktu di atas $t = 5$ s, suhu tidak terlihat lagi perubahan bentuk distribusi suhu pada sistem, dan terlihat juga terjadi perubahan suhu secara konveksi.

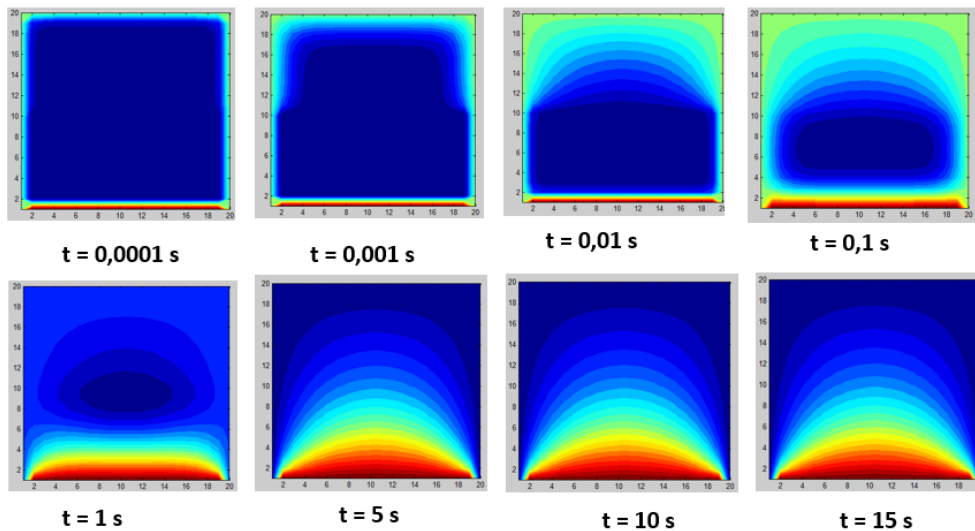
Kasus 5. Nilai Koefisien Konduktivitas 1 dan Koefisien Difusi 100.

Pada kasus ini sumber panas diberikan pada bagian bawah, dimana konduktivitas panas bahan bernilai 1 dan nilai koefisien difusi bernilai 100. Pada keadaan awal distribusi suhu pada bahan diberikan sebesar 25°C dan pada bagian ujung bawah pelat yang merupakan sumber panas sebesar 50°C .



Gambar 12. Perbandingan distribusi panas dengan koefisien difusi 1 dengan 10 dengan koefisien konduktivitas yang sama yaitu 1, pada koefisien difusi bernilai 1 pada saat $t = 0,1$ s.

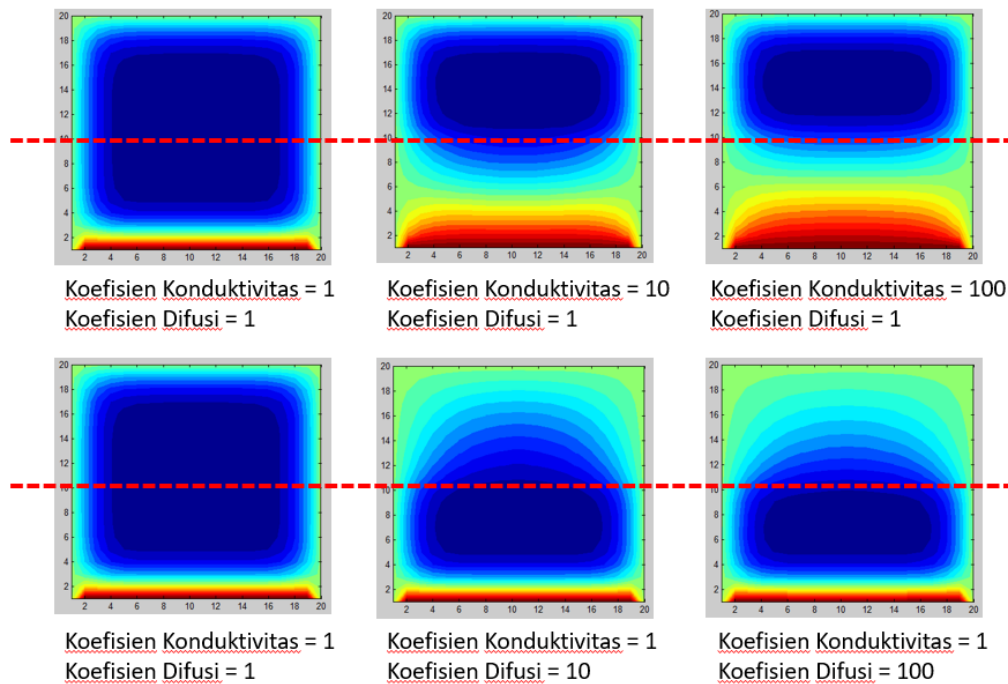
Pada gambar 4.12. memperlihatkan perbandingan distribusi panas pada saat $t = 0,1$ s pada keadaan koefisien difusi 1 dengan 100 pada saat koefisien konduktivitasnya bernilai sama yaitu 1. Terlihat bahwa terdapat perbedaan pola sebaran panas di dalam sampel, pada saat $t = 0,1$, terlihat bahwa pada bagian konveksi telah terjadi perubahan suhu yang lebih besar dibandingkan dengan koefisien difusi 1.



Gambar 13. Distribusi panas dari waktu-waktu yaitu pada saat 0,0001s, 0,001 s, 0,01 s, 0,1 s, sampai 15 s.

Pada gambar 13., memperlihatkan dinamika perubahan suhu sistem dari waktu ke waktu yaitu dari $t = 0,0001$ s sampai $t = 15$ s. Pada saat $t = 0,0001$ s, terlihat bahwa telah terjadi perubahan suhu secara konveksi dan terlihat lebih jelas pada saat $t = 0,01$ s, sedangkan pada saat $t = 5$ s, telah terjadi perubahan suhu yang menuju ke stabilan sehingga pada waktu di atas $t = 5$ s, suhu tidak terlihat lagi perubahan bentuk distribusi suhu pada sistem, dan terlihat juga terjadi perubahan suhu secara konveksi

Rangkuman dari sebaran panas pada saat $t = 0,1$ s untuk semua kondisi diberikan pada gambar berikut ini.



Gambar 14. Distribusi panas dari waktu-waktu yaitu pada saat 0,0001s, 0,001 s, 0,01 s, 0,1 s, sampai 15 s.

Pada gambar 14, terlihat pada bagian atas yang menjadi variabel peubahnya adalah koefisien konduktivitas dari bahan sehingga perubahan suhu dominan berada pada bagian pelat yang terjadi perpindahan panas secara konduktif. Sedangkan pada bagian bawah yang menjadi variabel peubahnya adalah koefisien difusi terlihat bahwa perubahan suhu dominan terjadi pada bagian atas yang merupakan bagian yang terjadi perpindahan secara konveksi.

Dari hasil simulasi ini memberikan gambaran bahwa keberadaan koefisien konduktivitas dan koefisien difusi memberikan pengaruh yang besar terhadap proses perpindahan panas dari sistem gabungan dari perpindahan panas secara konduktif dan konveksi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Proses perpindahan panas bergantung pada nilai koefisien konduktivitas dan koefisien difusi. Pada sistem yang memiliki nilai koefisien konduktivitas yang besar dibandingkan koefisien difusi maka proses perpindahan secara konduktif lebih dominan dibandingkan dengan perpindahan secara konveksi. Pada sistem yang memiliki nilai koefisien konduktivitas yang kecil dibandingkan koefisien difusi maka proses perpindahan secara konveksi lebih dominan dibandingkan dengan perpindahan secara konduktif. Proses perpindahan panas akan terhenti pada waktu yang relatif sama untuk seluruh kondisi simulasi yang dilakukan yaitu pada saat $t = 5$ s, hal ini ditandai dengan sudah tidak berubahnya pola dari distribusi pada simulasi yang dilakukan.

4.2 Saran

Untuk melakukan proses iterasi yang lebih lama untuk mendapatkan informasi yang banyak mengenai proses perpindahan panas maka diperlukan perangkat komputer yang memadai, karena proses perhitungannya akan menjadi lebih lama dan ini akan terbantu jika komputer yang digunakan memiliki spesifikasi yang memadai dalam proses iterasi yang panjang dan lama. Perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan suhu awal sistem yang ekstrim sehingga dapat melihat pengaruh suhu terhadap perpindahan panas pada sampel yang digunakan.

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.
- Fadilah, L. A Y, 2019, "Penyelesaian Numerik Persamaan Difusi Konveksi 1 D Menggunakan Metode Galerkin – Beda Hingga:", Skripsi, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Fahendri, Festiyed dan Hidayati, 2014, "Analisa Numerik Distribusi Panas Tak Tunak pada Heatsink Menggunakan Metode Finite Different", Jurnal Pillar of Physics, Vol. 4, November 2014, hal. 81-88.
- LD Su, Jiang ZW, and Jiang TS, 2015 "Numerical Method for One-Dimensional Convection-diffusion Equation Using Radical Basis Functions", Journal of Physical Mathematics, Vol 6 Issue 1, DOI 10.4172/2090-0902.1000136.
- Narumi, C., Takayama Mori and Estaner Claro Romao, 2015, "Numerical Simulation by Finite Difference Method of 2D Convection-Diffusion in Cylindrical Coordinates", Applied Mathematical Sciences, Vol. 9, No. 123, pages 6157 -6165.
- Nasution, D I, 2019, "Analisa Perpindahan Panas Konveksi pada Pendingin Komponen Elektronik", Skripsi, UMSU, Medan.
- Rahman, Sudarmono, 2023, "Kajian Numerik Distribusi panas pada Gabungan Pelat Berbeda Koefisien Konduktivitas Termal dengan Menggunakan FDM 2 Dimensi", Jurnal Saintifik, Vol. 9, No. 1. Januari 2023. Hal 121-127.