

STUDI DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA KULIT MANUSIA YANG MENGALAMI CRYOTHERAPY DENGAN FINITE DIFFERENCE METHOD (FDM)

Slamet Wahyudi

Dsoen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
slamet_w72@ub.ac.id

Raf'ie Yusuf

Mahasiswa S1
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
fieysf@gmail.com

Alfiansyah Firdhani

Mahasiswa
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
alfifirdhani@gmail.com

**Zulfa Salsabila Rafiya
Firdaus**

Mahasiswa S1
Universitas Brawijaya
Teknik Mesin
zulfasalsabila985@gmail.com

Biological heat transfer studies the transfer of heat in biological systems from inside the human body or from outside to inside the body. The biological heat transfer equation uses the Pennes equation, which applies to the layers of skin made up of the epidermis, dermis, fat, and muscle. This investigation solves the biological heat transfer equation to obtain a one-dimensional unstable temperature distribution in human skin layers subjected to cryotherapy with cold packs at temperatures of 278 K and 283 K using the finite difference method (FDM). The results show that cold compresses influence the temperature distribution on human skin due to the very significant temperature difference between the heat sink temperature and the core temperature of the human body. The greater the temperature difference, the more significantly the temperature distribution in human skin decreases. This is due to the heat transfer that occurs due to two temperature differences, namely the core temperature of the body and the temperature of the cold substance, and is also favored by differences in thermal conductivity, density, and specific heat. that exist in every layer of the skin.

Keywords: Temperature Distribution, Cryotherapeutic, Bioheat Transfer, Finite Difference Method.

1. PENDAHULUAN

Biomekanika merupakan cabang ilmu dari ilmu biologi dan ilmu teknik mekanika. Salah satu ilmu mekanika yang diaplikasikan pada ilmu biologi adalah perpindahan panas atau kalor pada tubuh manusia. Seperti hukum termodinamika kedua yang isinya; “kalor mengalir secara alami dari temperatur tinggi ke temperatur rendah” oleh karena itu perpindahan panas dapat terjadi. Hal tersebut dapat dibuktikan pada tubuh manusia dengan ilmu biomekanika yang disebut dengan *bioheat-transfer*. Perpindahan panas yang terdapat dalam jaringan hidup di dalam tubuh manusia (*human tissue*) yang di dalamnya termasuk aliran darah, sistem organ, dan respon *thermal* suatu jaringan tubuh dari pengaruh stimulus yang berasal dari luar disebut sebagai *bioheat transfer* [1].

Kulit adalah organ terbesar pada tubuh manusia yang memiliki bobot 15% dari total berat tubuh manusia, kulit sendiri terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan epidermis, dermis, dan jaringan yang berisi lemak. Kulit memiliki banyak fungsi yang vital, contohnya adalah sebagai perlindungan fisik ke lingkungan luar, bahan kimia, serangan biologis, dan menjaga kadar air dalam tubuh serta perannya dalam termoregulasi [2]. Proses *biochemical* sangat bergantung pada temperatur, sehingga *heat transfer* memiliki peran yang sangat besar dalam makhluk hidup. Akibat dari peredaran darah yang selalu berjalan di dalam tubuh akan menghasilkan transfer energi termal yang dapat diaplikasikan sebagai diagnostik maupun *therapeutic* dari panas atau massa yang ditransfer. *Therapeutic* sendiri merupakan aplikasi dari *bioheat transfer* sebagai pengobatan yang dapat dibagi menjadi dua kondisi yaitu kondisi panas disebut dengan *thermotherapy* sedangkan pada kondisi dingin disebut dengan *cryotherapy* [3].

Cryotherapy merupakan penghancuran jaringan rusak secara terencana dan terkontrol dengan mengaplikasikan substansi bersuhu dingin dan merupakan bidang terapi dari fisioterapi. Prinsip dari *cryotherapy* adalah perubahan suhu menjadi sangat dingin dalam waktu yang sangat cepat. Dengan perubahan suhu yang sangat cepat dan waktu yang singkat akan menyebabkan kematian sel [4]. *Cold pack* merupakan produk alternatif pengganti *dry ice* dan es batu. Ketahanan beku *cold pack* dapat mencapai 8-12 jam tergantung box yang digunakan. Suhu *cold pack* sebagai pengganti es batu bertemperatur 5°C - 10°C. *Cold pack* dapat digunakan berulang-ulang selama kantung dari *cold pack* tidak bocor. Keunggulan dari *cold pack* diantaranya adalah dapat digunakan berkali-kali hanya dengan memasukan kembali ke dalam *freezer* dan tidak mencair pada bagian permukaan yang diaplikasikan [5].

Penelitian tentang respon temperature kulit terhadap cryotherapy [6-7], menghasilkan efek pendinginan jaringan yang berbeda dari waktu ke waktu. Sedangkan Castello, J.T. et.al [8] melakukan penelitian tentang otot, kulit dan jaringan inti setelah diperlakukan air pada suhu -110°C dan 8°C, menunjukkan bahwa paparan WBC tunggal menurunkan suhu otot dan inti ke tingkat yang sama dengan yang dialami setelah CWI. Sedangkan, Boerner, E dan Podbileska, H. [9] meneliti tentang Penerapan imaging termal untuk menilai distribusi suhu kulit superfisial setelah cryotherapy dan ultrasound local.

Beberapa penelitian juga tentang distribusi temperatur kulit dengan finite difference method diantaranya Kumari, B dan Adlakha N [10] melakukan studi tentang studi distribusi temperature pada daerah periperal dari tubuh manusia setelah dan selama Latihan dengan metode finite difference method. Sedangkan Gurung, D.B dan Shresta D.C [11] menggunakan model matematika untuk studi distribusi temperature pada lapisan dermal kulit selama Latihan fisik. Sedangkan, Agrawal, M dan Pardasani, K.R [12] melakukan studi tentang distribusi temperatur pada kulit dan kedalam jaringan lengan manusia menggunakan finite element method. Sedangkan penelitian tentang distribusi temperature steady state pada daerah dermal dari anggota tubuh manusia berbentuk runcing tidak teratur dengan eksentrisitas variabel [13].

Pada studi ini model matematika dari persamaan *bioheat transfer* satu dimensi pada jaringan kulit manusia diperoleh dengan memodifikasi persamaan Pennes, sedangkan penyelesaiannya melalui pendekatan dengan *finite difference method* yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar perpindahan panas yang terjadi dan distribusi temperatur unsteady pada empat lapisan kulit manusia.

2. METODE DAN BAHAN

Metode penelitian yang dipakai pada penelitian ini ada metode penelitian numerik. Metode numerik dipakai untuk mencari persamaan model matematika yang telah ditemukan oleh Pennes untuk persamaan *bioheat transfer* dan penyelesaian persamaan menggunakan *finite difference method* [14]. Mencari distribusi temperatur karena pengaruh aplikasi *cold pack* pada jaringan kulit manusia merupakan tujuan dari penelitian yang menggunakan metode numerik ini. Hasil dari penelitian ini adalah nilai temperatur tiap node pada empat lapisan kulit yang ditinjau pada waktu

tertentu dengan pengaplikasian *cold pack* yang bertemperatur 278 K dan 283 K.

2.1. Pre-Processing

Pada tahap *pre-processing* akan dilakukan beberapa langkah awal sebelum masuk ke tahap *process* dan *post process*. Langkah-langkah pada *pre-processing* yaitu;

1. Dengan FDM, akan ditentukan dan dibuat daerah yang akan diselesaikan dan diuraikan menjadi node-node dan elemen. Daerah pada penelitian ini merupakan bidang satu dimensi dengan garis kartesius sepanjang 0-0,0328 meter seperti ditunjukkan pada gambar 1, dengan mencari Δx .

dengan:

Δx = jarak setiap titik (meter)

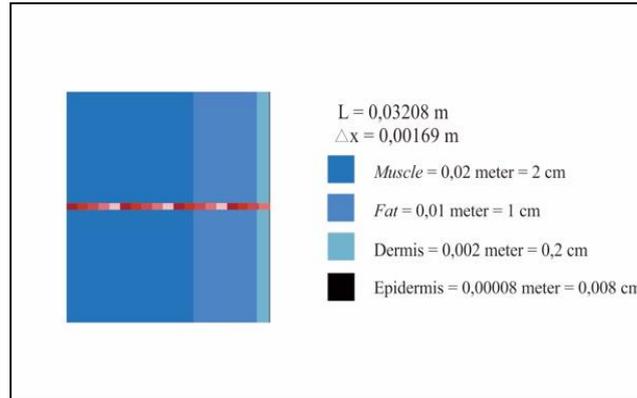
L = panjang total tebal lapisan (meter)

N = jumlah titik

Jarak antar node diperoleh dengan mengetahui panjang kulit yang digunakan merupakan panjang total dari 4 lapisan yang digunakan dalam penelitian yaitu sebesar $L = 0,03208$ m. Dalam penentuan jarak antar 20 node,

persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut : $\Delta x = \frac{L}{M-1} = \frac{0,03208 \text{ m}}{20-1} = 0,00168 \text{ m}$

2. *Meshing*, yaitu proses untuk membagi komponen menjadi bagian elemen yang kecil untuk dianalisis lebih lanjut. Semakin tinggi tingkat konvergensi, maka kualitas *meshing* semakin baik. Pembagian komponen pada penelitian ini membagi empat jaringan kulit menjadi 20 node.



Gambar 1. Lapisan kulit manusia

3. Penentuan persamaan atur atau *governing equation* (persamaan Pennes) dan persamaan yang dibutuhkan diluar persamaan atur yaitu

$$T_m^{i+1} = \frac{k\Delta t [T_{m-1}^i + T_{m+1}^i]}{\rho C p \Delta x^2} + T_m^i \left[1 - 2 \frac{k\Delta t}{\rho C p \Delta x^2} - \frac{\omega_b C_b \Delta t}{\rho C p} \right] + T_a \left[\frac{\omega_b C_b \Delta t}{\rho C p} \right] + \frac{\Delta t [Q_m]}{\rho C p}$$

4. Penentuan parameter yang diamati pada subjek penelitian (kulit manusia). Dalam penelitian ini, parameter yang diteliti adalah;
 - o Kondisi *unsteady*
 - o Suhu tubuh manusia yang terpapar suhu lingkungan adalah 310 K
 - o Jaringan kulit lengan bagian bawah (*forearm*)
 - o Diberikan *cold pack* pada bagian yang diteliti dengan suhu *cold pack* 278 K dan 283 K
 - o *Cold pack* menempel dan dianggap *heat transfer* secara konduksi.
 - o Lapisan kulit manusia yang digunakan sebanyak 4 lapisan yaitu epidermis, dermis, *fat* (lemak) dan *muscles* (otot) dengan ukuran tebal setiap lapisan berbeda.
5. Penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dan kondisi awal (*initial condition*).
 - o Kondisi awal (*initial condition*)
 - Pada $x = 0$ maka
 - $t = 0$ detik
 - Pada $x = 32,08$ mm maka
 - $t = 15$ detik
 - o Kondisi batas (*boundary condition*) ada 2 yaitu
 - Pada $x = 0$ maka
 - $T(0, t) = 310$ K
 - Pada $x = 32,08$ mm maka
 - $T(L, t) = 273$ dan 283 K

2.2. Solver

Tahap *processing* merupakan penyelesaian penelitian dengan metode numerik. Metode numerik yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *finite difference* yang merupakan metode sederhana dalam penyelesaian kasus satu dimensi. Diskretisasi persamaan atur atau *governing equation* dilakukan pada tahap *processing* berupa persamaan linier. Persamaan Pennes yang diskretasi menggunakan *finite difference*

method menghasilkan persamaan berikut yang dipakai untuk menghitung distribusi temperature pada node-node yang telah ditentukan.

$$T_m^{i+1} = \frac{k\Delta t [T_{m-1}^i + T_{m+1}^i]}{\rho C_p \Delta x^2} + T_m^i \left[1 - 2 \frac{k\Delta t}{\rho C_p \Delta x^2} - \frac{\omega_b C_b \Delta t}{\rho C_p} \right] + T_a \left[\frac{\Delta t \omega_b C_b}{\rho C_p} \right] + \frac{\Delta t [Q_m]}{\rho C_p}$$

Persamaan diatas dipakai pada node ke-2 hingga node ke-19 dimana pada node-node tersebut terbagi menjadi 3 lapisan yaitu lapisan *muscle* pada node pertama hingga ke-12, lapisan *fat* pada node ke-13 sampai node ke-18, lapisan *dermis* pada node ke-19. Berbeda dengan node ke-20, karena node ini bersentuhan dengan *cold pack* yang menempel langsung dengan kulit, maka persamaannya adalah sebagai berikut;

$$kA \frac{T_{m-1}^i - T_m^i}{\Delta x} + kA \frac{T_{m+1}^i - T_m^i}{\Delta x} + \omega_b C_b A \Delta x (T_a - T_m^i) + Q_m A \Delta x = \rho A \Delta x C_p \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t}$$

Untuk mencari Δt pada *finite difference method* secara eksplisit, digunakan :

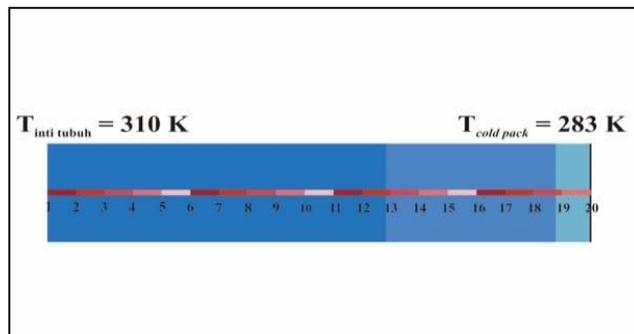
$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{2 \times \alpha \left(1 + \frac{h \times \Delta x}{k} \right)}$$

2.3. Post-Processing

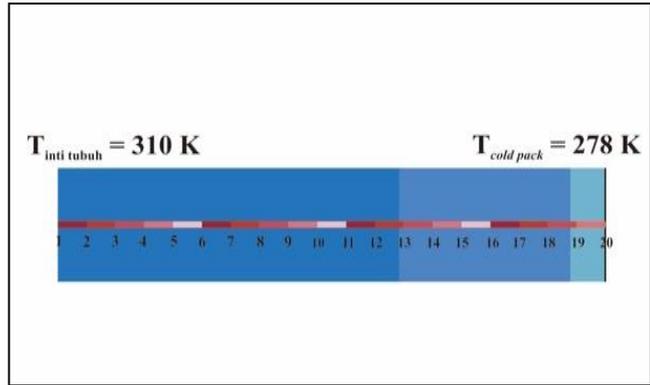
Post processing merupakan tahap terakhir yang berkaitan dengan analisis hasil yang didapatkan dari tahap *processing* dan digambarkan secara visual berupa grafik serta membandingkan penelitian ini dengan penelitian yang pernah dilakukan. Setelah hasil didapatkan, tahap terakhir adalah menyimpulkan dari penelitian ini.

3. HASIL DAN DISKUSI

Jumlah lapisan kulit yang digunakan dalam penelitian adalah sebanyak 4 lapisan, dari yang paling dalam adalah *fat*, *muscle*, *dermis*, dan epidermis merupakan lapisan terluar. Masing-masing lapisan memiliki nilai dan C_p yang berbeda. Pada penelitian ini menggunakan variasi temperature *cold pack* yang bervariasi yaitu 278 K dan 283 K. Penelitian pada masing - masing lapisan sesuai dengan keberadaan node dengan jumlah node yaitu 20 node, dengan nilai Q_m sebesar 1000 W/m³ dalam kondisi suhu *cold pack* 278 K dan 283 K dengan proses konduksi dan mengabaikan nilai konveksi dari lingkungan karena *cold pack* menempel pada lapisan kulit secara langsung serta nilai $K_{av} = 0,35$ W/mK, sepeeti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Lapisan kulit manusia dengan Cryotherapy $T_{cold\ pack} = 283\ K$

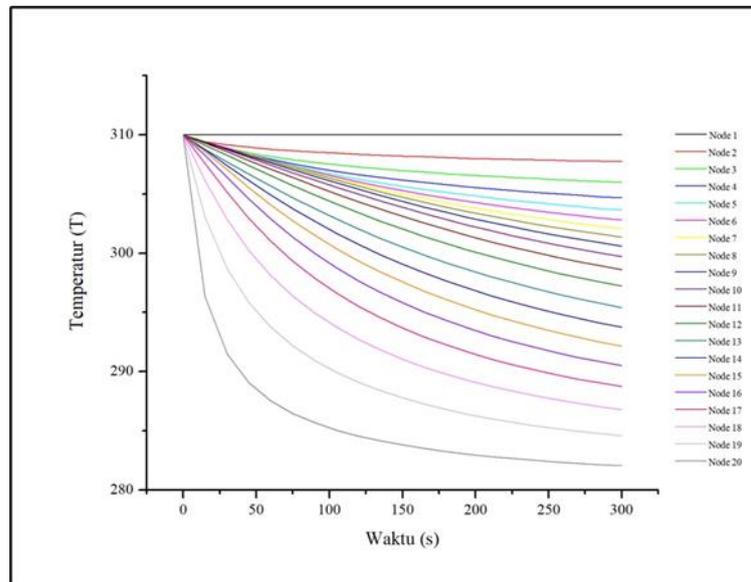


Gambar 3 Lapisan kulit manusia dengan Cryotherapy $T_{\text{cold pack}} = 278 \text{ K}$

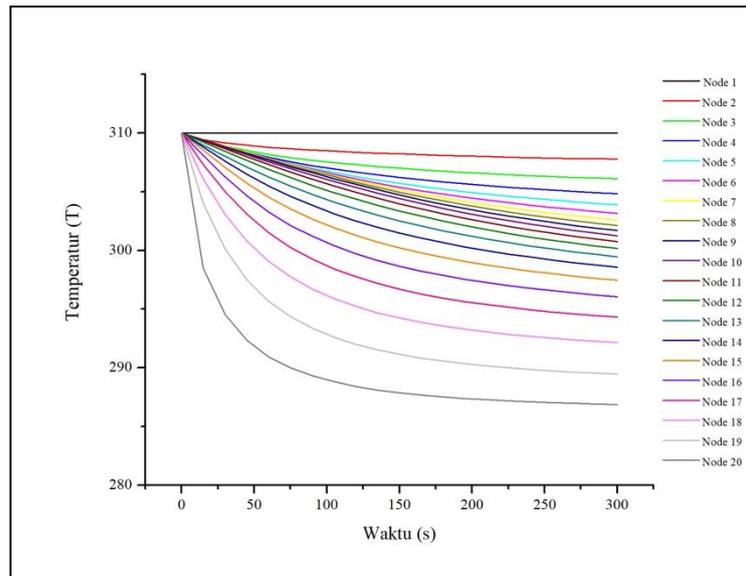
3.1. Model matematika dari Aplikasi Finite Difference Method (FDM) dalam kondisi unsteady dan satu dimensi terhadap Distribusi temperatur pada empat Lapisan Kulit

Model matematika didapat dengan menggunakan *finite difference method* yang memodifikasi persamaan Pennes. Model matematika perlu dimodifikasi karena pada penelitian ini digunakan kondisi *unsteady* dimana perubahan temperatur dipengaruhi oleh waktu sehingga diskretasi model matematika memerlukan tambahan terhadap waktu. Penelitian ini menggunakan 20 node dimana node pertama merupakan ketetapan suhu inti tubuh manusia yaitu 310 K.

Node ke-2 sampai node ke-12 terletak di lapisan kulit bagian *muscle*, node ke-13 sampai node ke-18 terletak di lapisan kulit bagian *fat*, node ke-19 terletak di lapisan kulit bagian *epidermis*, dan node ke-20 terletak di lapisan kulit bagian *epidermis* yang bersentuhan langsung dengan *cold pack* dan dianggap menghantarkan panas secara konduksi. Sehingga memiliki persamaan sebagai berikut untuk node ke-20; Penelitian distribusi temperatur pada empat lapisan kulit manusia dengan kondisi *unsteady state* dan *one dimensional* dihitung dengan menggunakan *finite difference method* (FDM) secara eksplisit. Dengan aplikasi *cold pack* yang bersentuhan secara langsung dengan tangan bagian *forearm* yang memiliki dua variasi temperatur yaitu 283 K dan 278 K. Berikut grafik dari penelitian ini;



Gambar 4 Distribusi temperatur lapisan kulit manusia dengan Cryotherapy $T_{\text{cold pack}} = 283 \text{ K}$



Gambar 5 Distribusi temperatur lapisan kulit manusia dengan Cryotherapy $T_{\text{cold pack}} = 278 \text{ K}$

Gambar 4 dan 5 merupakan hasil dari perhitungan distribusi temperatur pada empat lapisan kulit yaitu *muscle*, *fat*, *dermis*, dan *epidermis* yang dihitung menggunakan *finite difference method* (FDM) dengan pengaplikasian *cold pack* yang bersentuhan secara langsung dengan lapisan kulit bagian terluar yaitu *epidermis*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 20 node yang jaraknya antar node adalah 0,00168 m. Sumbu X pada Figure 4 dan 5 merupakan waktu yang digunakan pada penelitian yaitu 300 sekon (s) dan sumbu Y merupakan temperatur dalam satuan Kelvin (K).

Pada gambar 4 dan 5, dapat dilihat grafik distribusi temperatur mengalami penurunan dari suhu inti tubuh yaitu 310 K yang dipengaruhi oleh aplikasi *cold pack*. Pada Figure 4, temperatur *cold pack* yang dipakai adalah 283 K. Node pertama tidak mengalami penurunan karena merupakan ketetapan temperatur inti tubuh. Sedangkan node ke-2 sampai node ke-20 mengalami penurunan. Node ke-2 sampai node ke-12 terletak pada lapisan kulit bagian *muscle*. Pada grafik dapat dilihat gradien penurunan yang terjadi dari node pertama ke node ke-2 yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan perhitungan yang masih menggunakan kondisi batas yaitu temperatur inti tubuh pada node pertama. Penurunan yang terjadi pada node ke-3 dan ke-4 masih dipengaruhi oleh kondisi batas pada node pertama. Node ke-5 sampai node ke-12 penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan pada perhitungan sudah menggunakan temperatur hasil dari node sebelumnya dan sesudahnya. Serta kesamaan letak lapisan kulit yaitu pada lapisan *muscle* sehingga memiliki nilai densitas dan panas spesifik yang sama. Penurunan temperature di node ke-13 tidak terlalu signifikan dan penurunan temperatur yang lebih signifikan terjadi pada node ke-16 pada node ke-20. Hal ini dikarenakan node ke-13 sampai node ke-18 terletak di lapisan kulit bagian *fat* yang memiliki nilai densitas dan panas spesifik yang berbeda dengan lapisan *muscle*. Sedangkan penurunan yang terjadi pada node ke-16 mulai terlihat signifikan dikarenakan letaknya semakin dekat dengan *cold pack*. Penurunan distribusi temperatur terus terjadi sampai node ke-20. Hal ini dikarenakan node ke-20 merupakan node terakhir sehingga bersentuhan langsung dengan *cold pack* yang memiliki perbedaan temperatur yang sangat tinggi.

Gambar 5 menunjukkan grafik distribusi temperatur pada empat lapisan kulit yang memakai *cold pack* dengan temperatur 278 K. Node pertama tidak mengalami penurunan karena merupakan ketetapan temperatur inti tubuh. Sedangkan node ke-2 sampai node ke-20 mengalami penurunan. Node ke-2 sampai node ke-12 terletak pada lapisan kulit bagian *muscle*. Pada grafik dapat dilihat gradien penurunan yang terjadi dari node pertama ke node ke-2 yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan perhitungan yang masih menggunakan kondisi batas yaitu temperatur inti tubuh pada node pertama. Penurunan yang terjadi pada node ke-3 dan ke-4 masih dipengaruhi oleh kondisi batas pada node pertama. Node ke-5 sampai node ke-12 penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan pada perhitungan sudah

menggunakan temperatur hasil dari node sebelumnya dan sesudahnya. Serta kesamaan letak lapisan kulit yaitu pada lapisan *muscle* sehingga memiliki nilai densitas dan panas spesifik yang sama. Berbeda dengan Figure 4, penurunan yang lebih terlihat signifikan dimulai dari node ke-13 dengan letak yang sama, akan tetapi pada Figure 5, nilai temperatur *cold pack* yang digunakan lebih rendah sehingga mempengaruhi hasil perhitungan distribusi temperatur. Penurunan distribusi temperatur pada lapisan kulit terus terjadi sampai node ke-20. Pada node ke-20 penurunan distribusi temperatur terjadi paling besar. Hal ini dikarenakan lapisan kulit pada node ke-20 adalah *epidermis* yang bersentuhan langsung dengan *cold pack* yang memiliki perbedaan temperature yang lebih tinggi dari Figure 4.

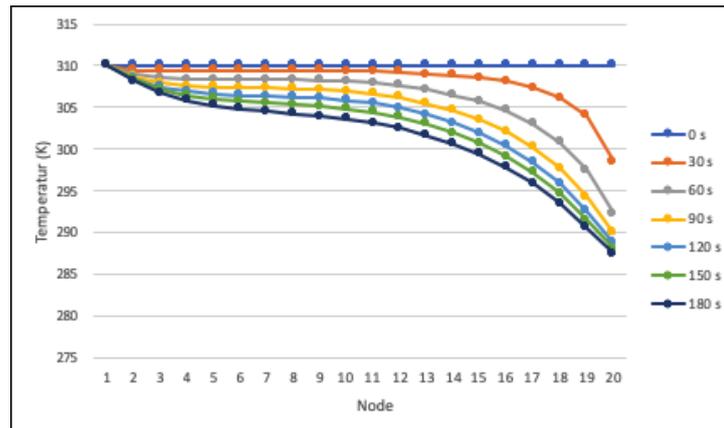
3.2. Pengaruh penggunaan cold pack terhadap distribusi temperatur pada lapisan kulit yang dihitung menggunakan finite difference method (FDM) untuk cryotherapy.

Gambar 4 dan 5 merupakan grafik hasil distribusi temperatur pada empat lapisan kulit yang dihitung menggunakan *finite difference method* (FDM) dengan kondisi *unsteady* pada rentang waktu 0-300 sekon serta menggunakan dua *cold pack* yang memiliki temperatur berbeda, yaitu pada Figure 4 memakai *cold pack* bertemperatur 283 K dan Figure 5 memakai *cold pack* bertemperatur 278 K. Figure 4 dan Figure 5 menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap penggunaan *cold pack* yang berbeda temperatur. Gambar 4 menunjukkan grafik yang dipengaruhi oleh *cold pack* dengan nilai temperature 283 K. Pada grafik, nilai distribusi temperatur cenderung menurun dari node ke-2 sampai node ke-20. Penurunan yang sangat signifikan terjadi pada node ke-20 karena lapisan kulit *epidermis* bersentuhan secara langsung dengan *cold pack*. Figure 5 menunjukkan grafik yang dipengaruhi oleh *cold pack* dengan nilai temperature 278 K. Pada grafik, nilai distribusi temperatur cenderung menurun dengan gradien yang lebih besar dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada Figure 4. Hal ini disebabkan karena Figure 5 memiliki temperatur *cold pack* yang lebih rendah dari Figure 5 sehingga mempengaruhi perhitungan nilai distribusi temperatur.

Panas atau kalor (*heat*) merupakan bentuk dari energi yang dapat berpindah dari satu sistem ke sistem lainnya karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor yang terjadi pada lapisan kulit manusia dengan penggunaan *cold pack* untuk *cryotherapy* terjadi secara konduksi. Penurunan nilai distribusi temperatur yang dipengaruhi oleh penggunaan *cold pack* disebabkan oleh perpindahan kalor yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Nilai temperatur inti tubuh adalah 310 K dimana memiliki partikel yang lebih kuat sedangkan nilai temperatur dari *cold pack* adalah 283 K dan 278 K dimana memiliki partikel energi yang lebih lemah. Hal tersebut menyebabkan terjadinya distribusi temperatur pada lapisan kulit manusia disebabkan karena penggunaan *cold pack* untuk *cryotherapy*.

3.3. Perbandingan Aplikasi Finite Difference Method (Fdm) Untuk Mengetahui Distribusi Temperatur pada Kulit Manusia Dengan Penggunaan Cold Pack untuk Cryotherapy dan Bioheat Transfer with Active Thermoregulation oleh Bulinski, P. et al (2017)

Penelitian yang dilakukan dibandingkan dengan penelitian [16] tentang model pendinginan pada lapisan kulit manusia dengan material kuningan sebagai substansi dingin yang dihitung dengan memodifikasi persamaan Pennes dan disimulasikan dengan ANSYS.



Gambar 6. Distribusi temperatur kulit manusia dengan FDM

Figure 6 merupakan grafik distribusi temperatur setiap 30 sekon pada empat lapisan kulit manusia dengan penggunaan *cold pack* untuk *cryotherapy*. Pada Figure 7, menunjukkan grafik distribusi temperatur dari rentang 0-180 sekon yang menggunakan penyelesaian *finite difference method* (FDM) dengan temperatur *cold pack* 283 K. Sumbu Y mewakili temperatur dalam Kelvin (K) sedangkan sumbu X mewakili node. Dalam penelitian, grafik menunjukkan distribusi temperatur yang cenderung menurun seiring dengan jarak atau nodenya. Penurunan temperatur dapat dilihat secara signifikan pada node ke-20 karena bersentuhan secara langsung dengan *cold pack*.

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut;

Model matematika yang didapat dari persamaan Pennes yang dimodifikasi sesuai pada empat lapisan kulit manusia dengan kondisi *one dimensional* dan *unsteady* yang diselesaikan dengan *finite difference method*. Penurunan nilai distribusi temperatur yang dipengaruhi oleh penggunaan *cold pack* disebabkan oleh perpindahan kalor secara konduksi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Nilai temperatur inti tubuh adalah 310 K dimana memiliki partikel yang lebih kuat sedangkan nilai temperatur dari *cold pack* adalah 283 K dan 278 K dimana memiliki partikel energi yang lebih lemah. Hal tersebut menyebabkan terjadinya distribusi temperatur pada lapisan kulit manusia disebabkan karena penggunaan *cold pack* untuk *cryotherapy*. Hal ini disebabkan karena adanya perpindahan kalor yang terjadi akibat dua perbedaan temperatur yaitu temperatur inti tubuh dan temperatur substansi dingin dan juga didukung dengan perbedaan konduktivitas termal, densitas, dan panas spesifik yang berbeda di tiap lapisan kulit.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PENNES, H. H. Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperature in The Resting Human Forearm, *Journal of Applied Physics*. v.1, n.2, pp. 93-122, 1948.
- [2] KANITAKIS, J. Anatomy, histology and immunohistochemistry of normal human skin. *European Journal of Dermatology*. v.12, n.4, pp. 390-399, 2002.
- [3] VALVANO, W. J., *Bioheat Transfer, in Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*. 2nd edition. The University of Texas. 2005.
- [4] SABILA, Y. A. Krioterapi Dermatologi. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*. v.10. n 2, pp. 299-303, 2019.
- [5] KRISTANTO, A DAN AROFIATI. Efektifitas Penggunaan *Cold Pack* dibandingkan Reklaksasi Nafas Dalam untuk Mengatasi Nyeri Pasca *Open Reduction Internal Fixation (ORIF)*. *Indonesian Journal of Nursing Practices*. v.1, n.1, pp. 68-75, 2016.
- [6] CHESTERTON, L.S, FOSTER, N.E, ROS, L. Skin Temperature response of cryotherapy, *Archives of Physical Medicine and rehabilitation*. v.8, Issue.4, pp.543-549. April 2002.
- [7] PALMER, J.E. AND KNIGHT, K.L. Ankle and thigh skin surface temperature changes with repeated ice pack application. *J Athl Train* .v.31, pp. 319-23, 1996.

- [8] CASTELLO, J.T. CULLIGAN, K. SELFEN, J. DONNELLY, A.E. Muscle, Skin and Core Temperature after -110°C Cold Air and 8°C Water Treatment. *PloS One*. v.7.n.11, pp.1-11, 2012
- [9] BOERNER, E, PODBIELSKA, H. Application of thermal imaging to assess the superficial skin temperature distribution after local cryotherapy and ultrasound. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. v.131, pp. 2049–2055, 2018.
- [10] BABITA KUMARI AND NEERU ADLAKHA. One Dimensional Finite Difference Model to Study Temperature Distribution in Peripheral Regions of a Human Body During and After Exercise. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*. v.3. n.2, pp. 179-186. June 2013.
- [11] GURUNG, D.B AND SHRESTHA, D.C. Mathematical Study of Temperature Distribution in Human Dermal Part during Physical Exercises. *Journal of the Institute of Engineering*, v.12. n.1, pp. 63-76. 2016.
- [12] AGRAWAL, M AND PARDASANI, K.R. Finite element model to study temperature distribution in skin and deep tissues of human limbs, *J Therm Biol*. v.62, pp. 98-105. Juni 2016
- [13] AGRAWAL. M, PARDASANI, K.R. ADLAKHA, N. Steady state temperature distribution in dermal regions of an irregular tapered shaped human limb with variable eccentricity. *J Therm Biol*. v.44, pp. 27-34. August 2014.
- [14] CENGEL, YA AND GHAFAR, A.J. *Heat And Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth Edition*. Published by McGraw-Hill Education, New York, 2015.
- [15] BULIŃSKI, P. ADAMCZYK, W. OSTROWSKI, Z. *Bioheat transfer Model with Active Thermoregulation: Sensitivity of Temperature Field on Tissue Properties. Biomedical Engineering Lab. Innovations in Biomedical Engineering* pp. v.256, 259-266, 2016.
- [16] LY, Y.G. & LIU J. *Effect of transient temperature on thermoreceptor response and thermal sensation*. Building and Environment, Vol. 42: 656-64. 2007.