



Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>

SAINSTEK (e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Numerik Bata Ringan Terpapar Temperatur Suhu Tinggi Menggunakan LUSAS V.19

Mustika Joni ^a, Harnedi Maizir ^b, Reni Suryanita ^c

^{a,c} Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Kampus Binawidya Jl. HR. Subranta Pekanbaru, Indonesia

^b Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru. Jl. Dirgantara No.4, Pekanbaru, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 29 Juli 2021

Revisi Akhir: 27 November 2021

Diterbitkan Online: 15 Desember 2021

KATA KUNCI

Bata Ringan, Penjalaran Panas, Kenyamanan Termal, Metode Wickström, Program LUSAS

KORESPONDENSI

Telepon: 08127513783

E-mail: reni.suryanita@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Penggunaan material bangunan sangat berpengaruh terhadap kenyamanan suhu ruang bangunan tersebut. Untuk itu penggunaan bata ringan menjadi lebih direkomendasikan bagi bangunan gedung di daerah beriklim tropis. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis numerik sifat termal distribusi penjaran panas pada bata ringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi penjaran panas pada bata ringan dengan variasi suhu dan waktu tertentu akibat diberikannya temperatur suhu tinggi. Analisis menggunakan program elemen hingga LUSAS v.19 dan dilakukan verifikasi menggunakan metode Wickström. Pada penelitian ini, data *input* yang digunakan adalah geometrik material, massa jenis, konduktivitas termal, dan kapasitas kalor jenis. Sedangkan pembebanan yang diberikan adalah temperature suhu tinggi dengan waktu paparan dan titik tinjau arah x dan y. Hasil perbandingan distribusi penjaran panas antara metode Wickstrom dan program LUSAS v.19 didapatkan suhu penjaran panas menggunakan program LUSAS v.19 lebih tinggi di awal, namun jika paparan dilakukan dalam waktu yang lama nilai distribusi penjaran panas menggunakan metode Wickström lebih tinggi dari pada menggunakan program LUSAS v.19. Persentase tahanan panas berbanding terbalik dengan massa jenis, sedangkan kecepatan penjaran panas berbanding lurus dengan massa jenis material. Hingga paparan suhu sebesar 1.000 °C dengan massa jenis 840 kg/m³ selama 2 jam, penjaran panas yang terjadi pada titik tinjau dengan metode Wickström adalah 942,912 °C dan program LUSAS v.19 adalah 931,148 °C. Hal ini menunjukkan keakuratan dari kedua metode ini adalah sebesar 98,752 %, sehingga metode ini dapat memberikan kontribusi bagi para perencana dalam melakukan proses desain dengan mempertimbangkan faktor kenyamanan termal pada ruangan.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan dunia konstruksi terhadap bata merah melahirkan inovasi baru salah satunya adalah bata ringan. Penggunaan bata ringan dilakukan sebagai solusi dari segi kemandirian dan kekuatan struktur, segi kenyamanan, segi kemudahan dan kecepatan dalam pelaksanaan di lapangan, serta menciptakan bata yang lebih ramah

lingkungan. Secara umum material yang digunakan pada bata ringan sama dengan bata merah konvensional, akan tetapi bata ringan memanfaatkan campuran bahan kimia berupa *foaming agent*, sehingga ketika dicampurkan dengan bahan lainnya *foaming agent* tersebut bereaksi dengan kalsium hidroksida atau kapur non aktif dan air membentuk gas hidrogen. Gas hidrogen tersebut mengembang dan melipatgandakan volume campuran sampai dengan dua kali lipat serta mempercepat pengembangan bahan campuran bata ringan. Berat jenis

yang lebih rendah dapat mengurangi massa bangunan sehingga memperkecil nilai beban mati pada perhitungan struktur.

Menurut [1], dinding yang menggunakan material bata ringan jenis Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan ketebalan 125 mm mampu menahan paparan panas empat kali lebih baik daripada dinding yang menggunakan bata merah dengan ketebalan 230 mm. Hal ini menunjukkan bahwa bata ringan sebagai isolator panas yang baik mampu menciptakan suhu ruangan yang lebih nyaman walaupun tanpa adanya pendingin udara atau *air conditioner* sehingga dapat mengurangi konsumsi energi listrik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [2] menyatakan bahwa kenyamanan termal suatu ruangan menjadi faktor yang sangat mempengaruhi aktivitas pengguna ruangan tersebut. Akan tetapi menurut [3] bangunan di daerah dengan iklim tropis mengalami kesulitan untuk memberikan kenyamanan dari segi termal, hal ini disebabkan oleh suhu udara, kelembaban relatif, dan radiasi sinar matahari. Sehingga penggunaan material bata ringan menjadi lebih direkomendasikan untuk dilakukan di daerah beriklim tropis diantaranya adalah di Kota Pekanbaru yang memiliki suhu udara minimum berkisar antara 20,2 °C - 23,0 °C dan suhu udara maksimum berkisar antara 34,1 °C - 35,6 °C [4].

Oleh karena semakin berkembangnya bangunan yang menggunakan bata ringan maka semakin berkembang pula penelitian untuk menganalisis bata ringan ini. Dalam penelitian ini dilakukan analisis numerik tentang sifat termal yaitu lama penjaran panas pada bata ringan dengan menggunakan program LUSAS V.19 dan dilakukan verifikasi hasil dengan menggunakan metode Wikstrom [5]. Analisis dilakukan dengan memberikan variasi pada massa jenis atau density dan besaran temperatur pada material bata ringan. Massa jenis atau density pada penelitian ini menggunakan hasil eksperimental pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh [6]. Temperatur yang dianalisis dimulai dari 30 °C hingga 1.000 °C, pemberian temperatur dengan suhu hingga 1.000 °C diasumsikan sebagai beban yang bekerja pada material yang disebabkan oleh suatu peristiwa kebakaran dengan durasi waktu 2 jam. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi sifat termal bata ringan pada masyarakat pengguna dan praktisi bangunan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bata ringan adalah material yang terbuat dari bahan dasar utama yang terdiri dari pasir, semen, air, dan ditambah dengan bahan kimia berupa *foam agent*. *Foam agent* adalah suatu larutan dari bahan surfaktan yang dilarutkan dengan air. larutan *foam agent* yang dicampurkan dengan air menghasilkan gelembung halus yang disebut dengan *foaming agent* yang akan melipatgandakan dan memperbesar volume material bata ringan tanpa menambahkan berat dari bata ringan itu sendiri, serta tanpa menurunkan kekuatannya.

Bata ringan dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular*

Lightweight Concrete (CLC). Pengelompokan tersebut berdasarkan dari proses pengeringan, dimana AAC mengalami proses pengeringan dalam mesin autoklaf bertekanan tinggi sedangkan CLC mengalami proses pengeringan secara alami. CLC merupakan material yang bersifat ramah lingkungan dikarenakan energi yang dihasilkan dalam pembuatannya lebih kecil, sehingga polusi yang ditimbulkan sangat sedikit. Massa jenis atau density CLC sekitar 350-1.800 kg/m³. Namun tingkat kepadatan yang umum digunakan ialah 1.200 kg/m³ [7].

Bata ringan jenis CLC memiliki beberapa keunggulan diantaranya dapat menahan paparan panas dan suhu tinggi dengan baik serta mampu meredam suara dengan baik, memiliki kekuatan yang lebih besar dengan massa jenis atau density yang lebih kecil, bentuk dan ukuran bata ringan lebih presisi dan seragam, serta waktu yang diperlukan dalam pengerjaan dengan menggunakan bata ringan lebih cepat, dikarenakan bata ringan memiliki dimensi yang lebih besar.

2.1. Thermal Conductivity

Thermal conductivity adalah penjaran panas melalui benda padat tanpa disertai dengan perpindahan zat perantaranya. Kecepatan penjaran panas dapat ditunjukkan berdasarkan nilai konduktivitas termal material tersebut. Semakin besar nilai konduktivitasnya maka material tersebut akan semakin baik dalam menghantarkan panas. Konduktivitas termal dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis agregat, porositas beton, dan kadar kelembaban. Nilai konduktivitas termal mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan temperatur, tetapi nilai tersebut hampir mendekati konstan Menurut Hukum Fourier konduktivitas termal merupakan penjaran kalor tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat perantaranya. Penjaran ini biasanya terjadi pada benda padat. Kalor berpindah dari sisi yang bersuhu tinggi ke sisi yang bersuhu lebih rendah. Konduktivitas termal bata ringan biasanya 5 – 30 % dari beton normal dan berkisar antara 0,1 W/m⁰K sampai 0,7 W/m⁰K [7]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [8], nilai konduksi termal untuk bata ringan berbeda berdasarkan nilai massa jenis atau density, nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Nilai Konduktivitas Termal Bata Ringan

Massa Jenis (Kg/m ³)	Konduktivitas Termal (W/ m ⁰ K)
600	0,19
1000	0,43
1400	0,59
mortar	0,96

2.1.1. Spesific Heat Capacity

Spesific heat capacity adalah karakteristik yang menggambarkan jumlah energi yang dibutuhkan tiap suatu satuan massa material agar temperaturnya berubah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [8], nilai kalor jenis untuk bata ringan berbeda berdasarkan nilai massa jenis atau density, nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Nilai *Specific heat capacity* Bata Ringan

Massa Jenis (Kg/m ³)	Kapasitas Kalor Jenis (M.J/m ³ K)
600	0,54
1000	0,81
1400	0,98
mortar	1,47

2.1.2. Metode Wickström

Metode perhitungan sederhana yang dikemukakan oleh Wickström (1979) digunakan untuk menghitung temperatur pada pelat dinding atau lantai, balok, dan kolom yang terbakar [5]. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung suhu pada penampang bentang tengah bata ringan yang terpapar suhu tinggi pada tiga sisi. Namun metode ini tidak dapat memperhitungkan kemungkinan hancurnya bata ringan.

2.1.3. Program Elemen Hingga LUSAS

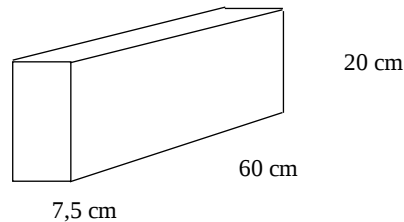
Program elemen hingga merupakan suatu metode numerik untuk pemecahan masalah terhadap permasalahan fisik yang dijumpai pada analisis teknik. Metode ini merupakan suatu pendekatan dalam menyelesaikan permasalahan fisik yang kompleks. *London University Stress Analysis System (LUSAS)* merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh sekelompok peneliti di Universitas London yang dipimpin oleh Dr. Paul Lyons pada tahun 1982. *LUSAS* dapat digunakan untuk menganalisis secara detail perilaku struktur serta transfer suhu. *LUSAS* memiliki empat produk utama yaitu civil and structural, bridge, analyst, dan composite. Menurut [6] tahapan analisis pada *LUSAS* terbagi atas tiga tahapan utama yaitu modelling, running the analysis, dan viewing the result. Modelling merupakan tahapan awal yang perlu dilakukan dalam menganalisis suatu studi kasus maupun perilaku struktur. Permodelan dalam *LUSAS* memperhitungkan unsur geometrik maupun karakteristik struktur meliputi bahan, pembebanan, dan tumpuan. Pada permodelan terbagi menjadi beberapa garis besar, yaitu: geometry, attributes, loadcases, meshing, utilities, dan control. Running the analysis merupakan tahap setelah permodelan telah selesai dengan sempurna. Model yang telah diselesaikan kemudian dianalisis menggunakan *LUSAS Solver* yang menganalisis serta mengeluarkan hasil analisis pada tahap berikutnya. *LUSAS Solver* juga dapat mendeteksi kesalahan pada permodelan sebelum dilakukan analisis serta menawarkan beberapa opsi dalam perbaikan model yang telah dibuat.

Setelah *LUSAS Solver* telah menyelesaikan analisis pada model, maka hasil analisis dapat dilihat pada *LUSAS Modeller*. Hasil yang disediakan pada *LUSAS Modeller* dapat berupa perilaku deformasi, nilai, vektor, kontur, serta diagram pada model. Selain itu, hasil analisis pada

LUSAS Modeller mencakup tegangan, regangan, perpindahan, pembebanan, dan reaksi pada model.

3. METODOLOGI

Geometrik material pada penelitian ini meliputi dimensi panjang, lebar, dan tinggi. Material bata ringan yang digunakan pada analisis dimodelkan dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Spesifikasi Material Bata Ringan

Pada Gambar 1 diketahui bahwa material bata ringan yang dianalisis memiliki dimensi panjang 60 cm, lebar 7,5 cm, dan tinggi 20 cm. Penelitian dilakukan dengan variasi *density* yaitu 730 kg/m³, 750 kg/m³, 770 kg/m³, 805 kg/m³ dan 840 kg/m³, diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [7] dan [10].

Analisis distribusi temperatur pada penampang posisi tengah bentang bata ringan dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Menentukan suhu tinggi yang terpapar pada bata ringan (T) beserta durasi pemanasannya (t),
2. Menentukan nilai rasio antara temperatur pemanasan pada permukaan balok dengan suhu atmosfer, dengan nilai yang dipengaruhi oleh durasi paparan suhu tinggi (t) dengan persamaan:

$$n_w = 1 - 0,0616t^{-0,88}$$

3. Menentukan nilai *thermal diffusivity* (α) dimana nilainya dipengaruhi oleh *thermal conductivity*, nilai *specific heat* (c_c), *density* (ρ_c) pada suhu tertentu, dengan persamaan:

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{\rho_c \times c_c}$$

4. Menentukan nilai u_x dengan nilai yang dipengaruhi oleh *thermal diffusivity* (α), nilai referensi α_c yaitu $417 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, durasi paparan suhu tinggi (t), dan x (dalam m) adalah jarak antara titik yang ditinjau dengan sisi yang terpapar oleh suhu tinggi pada arah lebar balok, dengan persamaan:

$$u_x = \frac{\alpha}{\alpha_c} \times \frac{t}{x^2}$$

5. Menentukan nilai n_x yaitu fungsi dari waktu terpaparnya suhu tinggi, dimana nilainya dipengaruhi oleh nilai u_x , dengan persamaan:

$$n_x = 0,18 \ln u_x - 0,81$$

6. Menentukan nilai n_y dengan persamaan yang ada pada tahap ke 5, dengan menggantikan nilai x dengan nilai y yang merupakan jarak antara titik yang ditinjau dan sisi balok yang terpapar suhu tinggi pada arah tinggi balok.

7. Menentukan nilai temperatur $T(x,y)$ pada suatu titik di

penampang balok (x,y) pada kondisi terpapar suhu tinggi θ_f dengan waktu terpapar suhu tinggi t dengan persamaan sebagai berikut:

$$T(x, y) = [n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y] \theta_f$$

Sedangkan tahap pemodelan analisis termal menggunakan LUSAS versi 19 (V.19) lisensi Universitas Riau [11] sebagai berikut.

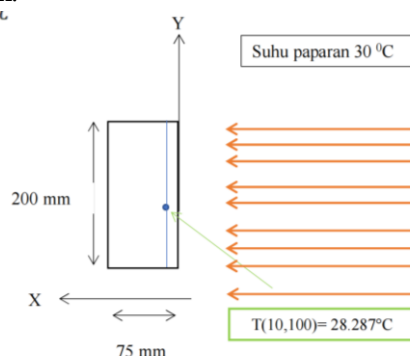
1. Menjalankan program atau *software* LUSAS v.19 pada model analisis *Civil & Structural Plus*. Selanjutnya membuat model baru melalui menu *new model*. Pilih *Thermal* pada *Analysis type* kemudian pilih kategori analisis 3D karena analisis yang akan dilakukan merupakan analisis tiga dimensi. Pilih satuan yang akan digunakan yaitu N, mm, t, s, C dan *timescale* yang digunakan *Hours*.
2. Kemudian membuat geometrik bata ringan dengan menggunakan fitur *line*, kemudian memasukkan data koordinat x sebagai garis dengan sumbu x. Garis pada sumbu x dapat ditranslasikan menggunakan fitur *sweep* menjadi permukaan pada koordinat x, y. Kemudian permukaan dapat ditranslasikan menggunakan fitur *sweep* ke arah z menjadi volume (x,y,z) .
3. Membuat *mesh* atau jaringan melalui menu *attributes* dan memilih *mesh*. *Mesh* yang akan dibuat berupa *mesh volume* untuk beton dan *mesh line* untuk tulangan. Pilih *field* untuk *Thermal element type*. Bentuk elemen yang digunakan *tetrahedral* dan model interpolasi *quadratic* dengan bentuk *mesh* yang lebih kompleks sehingga hasil analisis diharapkan mendekati perilaku bata ringan yang sebenarnya.
4. Karakteristik material penyusun dibuat dengan menu material pada *attributes*. Sifat material yang digunakan adalah *isotropic* karena mengasumsikan material memiliki sifat yang sama kesemua arah. Pada *isotropic*, mengisi data *thermal conductivity* untuk bata ringan, *specific heat capacity* untuk bata ringan dan *density* untuk bata ringan.
5. Tumpuan dibuat dengan menggunakan menu *support* pada *attributes*. Tumpuan yang digunakan yaitu berupa tumpuan sendi dan tumpuan rol.
6. Untuk pembebanan dibuat dengan mengklik menu *attributes* dan memilih *loading*. Pada *Loading* kemudian memilih *Prescribed*. Beban yang dimaksud pada kasus ini adalah *Thermal loading* yang akan dipaparkan pada balok. *Prescribed temperature* atau suhu tinggi pemanasan.
7. Data *mesh* (jaringan), geometrik, material, tumpuan, dan pembebanan dimasukkan ke dalam model balok beton bertulang. Memasukkan data dapat dilakukan dengan memblok bata ringan kemudian *drag* seluruh data ke dalam gambar yang dipilih.
8. Mengatur analisis pada bata ringan berupa analisis nonlinier. Analisis nonlinier yang diatur adalah durasi lamanya beban suhu bekerja pada permodelan. Adapun pengaturan time domain yang pada LUSAS adalah dengan memasukkan initial time step yaitu interval waktu hasil analisis dan total response time yaitu total waktu pembakaran. Sedangkan max time steps or increment adalah banyaknya tahapan waktu output dari analisis.

9. Kemudian, analisis bata ringan dilakukan dengan mengklik *solve now*. Hasil analisis dapat dilihat pada *layers* berupa kontur, vektor, perubahan bentuk, diagram, dan nilai.

Setelah melakukan permodelan, tahapan selanjutnya adalah menjalankan permodelan atau running the analysis. Model yang telah selesai pada tahap permodelan selanjutnya dianalisis menggunakan LUSAS Solver yang juga dapat mendeteksi kesalahan pada permodelan sebelum analisis dilakukan dengan menawarkan beberapa pilihan untuk perbaikan. Tahapan selanjutnya adalah menjalankan permodelan adalah melihat hasil analisis atau viewing the result. Hasil analisis dapat dilihat pada LUSAS Modeller, yang berupa nilai penyebaran panas dan grafik penyebaran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis distribusi penjaralan panas akibat temperature suhu tinggi dilakukan pada titik tengah bentang bata ringan, dengan posisi titik tinjau adalah x pada 10 mm dan y pada 100 mm, yang dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Titik Tinjau Analisis

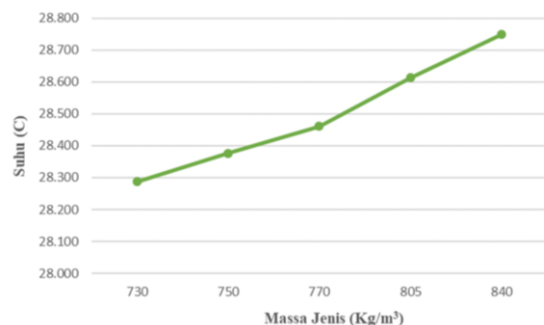
Untuk perhitungan pada titik kedalaman yang sama namun dengan massa jenis atau density $730 \text{ kg/m}^3 - 840 \text{ kg/m}^3$ dan dipaparkan dengan suhu 30°C selama 2 jam dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Distribusi Temperatur Terpapar Suhu 30°C

Massa Jenis (Kg/m^3)	Konduktivitas Termal ($\text{W/m}^0\text{K}$)	Kapasitas Kalor Jenis (J/kgK)	T ($^\circ\text{C}$)
730,000	0,268	859,932	28.287
750,000	0,280	855,000	28.377
770,000	0,292	850,325	28.461
805,000	0,313	842,702	28.614
840,000	0,334	835,714	28.749

Berdasarkan dari hasil perhitungan distribusi temperatur pada suhu 30°C menggunakan metode Wickstrom pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai massa jenis atau *density* dari bata ringan maka semakin cepat hantaran panas yang terjadi. Temperatur suhu

dengan nilai terkecil adalah $28,287^{\circ}\text{C}$ untuk *density* 730 kg/m^3 , sedangkan nilai terbesarnya adalah sebesar $28,749^{\circ}\text{C}$ untuk *density* 840 kg/m^3 . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Grafik Distribusi Temperatur Paparan Suhu 30°C

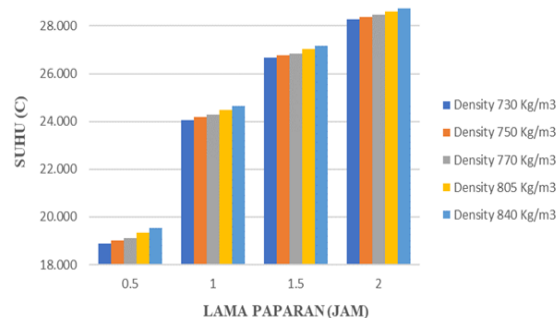
Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai *density* berbanding lurus dengan besaran distribusi penyaluran panas pada material bata ringan. Hal ini dikarenakan oleh nilai *thermal conductivity* yang semakin tinggi dari bata ringan. Distribusi temperatur 30°C dengan meninjau titik yang sama tetapi dengan variasi durasi pemanasan yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hubungan Suhu dengan Lama Paparan

Massa Jenis (Kg/m³)	Lama Paparan (Jam)	Suhu (°C)
730	0.5	18.872
	1	24.058
	1.5	26.657
	2	28.287
750	0.5	19.000
	1	24.170
	1.5	26.756
	2	28.377
770	0.5	19.120
	1	24.274
	1.5	26.849
	2	28.461
805	0.5	19.338
	1	24.464
	1.5	27.018
	2	28.614
840	0.5	19.532
	1	24.633
	1.5	27.167
	2	28.749

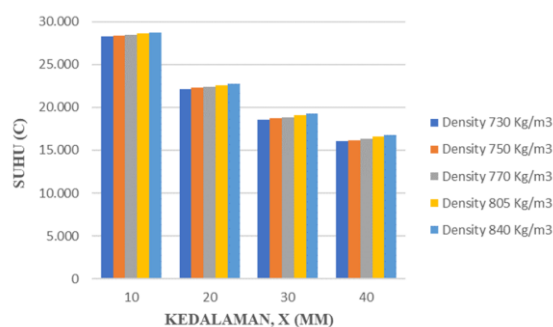
Dari Tabel 4 di atas dapat diketahui bahwa dengan paparan suhu yang sama yaitu 30°C dan ditinjau pada

titik yang sama didapatkan suhu terendah terjadi pada bata ringan dengan *density* 730 kg/m^3 didapatkan suhu sebesar $18,872^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk suhu tertinggi dengan *density* 840 kg/m^3 didapatkan suhu sebesar $28,749^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4 Hubungan Suhu dan Lama Paparan

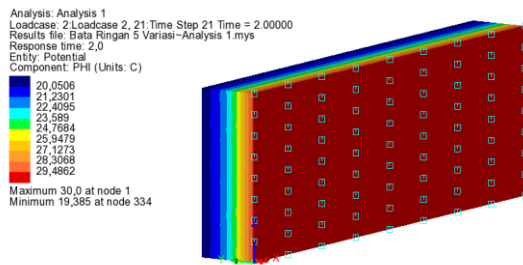
Berdasarkan grafik hubungan distribusi temperatur akibat lama paparan panas pada suhu 30°C menggunakan metode Wickstrom pada Gambar 4 maka diketahui bahwa semakin lama waktu paparan dan semakin tinggi nilai *density* maka semakin cepat perambatan suhu pada bata ringan. Hasil perhitungan menggunakan metode Wickstrom dengan meninjau suhu di beberapa titik pada bata ringan dengan *density* $730\text{ kg/m}^3 - 840\text{ kg/m}^3$ yang diberikan paparan panas dengan suhu 30°C selama 2 jam dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan Kedalaman Titik Tinjau terhadap Suhu

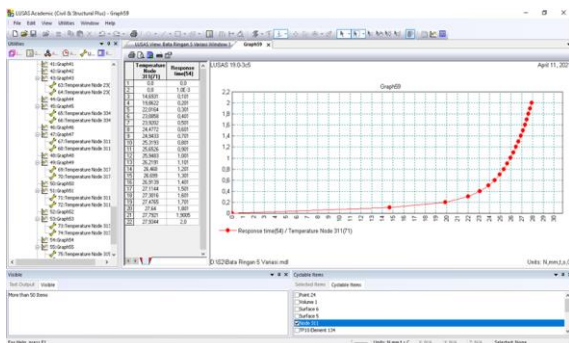
Pada Gambar 5 dapat diperoleh kesimpulan bahwa semakin jauh titik tinjau dari asal paparan maka perambatan suhu yang terjadi pada titik ditinjau semakin kecil nilainya, semakin rapat massa pada material bata ringan maka semakin cepat pula material menghantarkan penyebaran panas.

Analisis distribusi temperature menggunakan program elemen hingga LUSAS v.19 merupakan hasil dari *output* yang berbentuk pola kontur distribusi temperatur pada penampang tengah bata ringan. Pola kontur ini mempresentasikan distribusi temperatur pada penampang dengan lebih detail. Pola kontur bata ringan dengan *density* 730 Kg/m^3 dengan suhu 30°C yang dipaparkan pada 1 sisi selama 2 jam, sehingga dapat diketahui efek penyerapan panas yang dapat dilakukan oleh bata ringan terhadap suhu panas yang dipaparkan dapat dilihat pada Gambar 6.



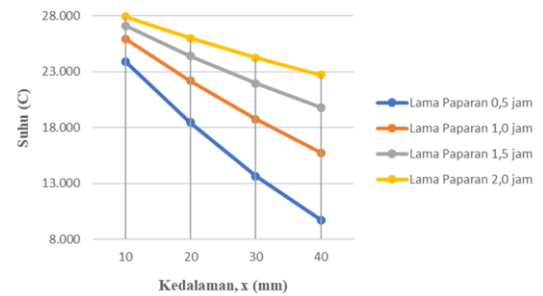
Gambar 6 Distribusi Temperatur Selama 2 jam

Berdasarkan Gambar 6 di atas dapat kita lihat bahwa dengan paparan suhu sebesar 30°C selama 2 jam pada bagian sisi bata ringan yang paling dekat dengan sumber paparan panas merupakan sisi yang paling besar menyerap panas ditandai dengan warna merah kecoklatan yaitu sebesar $29,4862^{\circ}\text{C}$. Pola kontur penjarangan panas dapat dilihat berdasarkan perbedaan warna hasil analisisnya, sisi yang paling jauh dari sumber paparan panas berwarna biru tua dengan nilai sebesar $20,0506^{\circ}\text{C}$.

Gambar 7 Distribusi Temperatur dengan Paparan Panas 30°C

Berdasarkan hasil analisis program LUSAS V.19 yang dapat dilihat pada Gambar 7 di atas, didapatkan hasil bahwa hantaran panas pada kedalaman x sebesar 10 mm saat waktu awal yaitu dengan waktu kurang dari 0,2 jam atau 12 menit penjarangan panas mencapai suhu hampir 15°C . Kemudian kenaikan suhu seiring bertambahnya waktu paparan panas terjadi lebih lambat, pada waktu 2 jam penjarangan panas mencapai suhu $27,934^{\circ}\text{C}$. Hal ini dapat disimpulkan bahwa bata ringan yang diberikan paparan panas sebesar 30°C selama 2 jam, penjarangan panas yang terjadi pada titik tinjau x sejauh 10 mm dan y sejauh 100 mm belum mencapai 30°C .

Grafik distribusi temperature penjarangan panas pada bata ringan dengan kedalaman x sejauh 10 mm, 20 mm, 30 mm, dan sejauh 40 mm dengan paparan suhu sebesar 30°C dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.

Gambar 8 Hubungan Kedalaman dengan Suhu pada Paparan Suhu 30°C

Berdasarkan Gambar 8 dapat diperoleh bahwa lama paparan juga mempengaruhi perubahan suhu bahkan sampai kebagian dalam dari bata ringan tersebut, secara keseluruhan kenaikan suhu terjadi secara perlahan dan tidak ada kenaikan suhu yang terjadi secara signifikan. Berdasarkan hasil analisis menggunakan LUSAS V.19 dapat diketahui berapa persentase tahanan panas pada bata ringan tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Nilai Persentase Tahanan Panas

Density (Kg/m^3)	% Tahanan Panas
730	35,383
750	34,521
770	33,595
805	31,990
840	30,570

Berdasarkan Tabel 5 di atas dapat diambil nilai persentase tahanan panas tertinggi adalah dengan *density* 730 kg/m^3 sebesar 35,383%, sedangkan nilai persentase tahanan panas terendah adalah dengan *density* 840 kg/m^3 sebesar 30,57%. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar nilai *density* pada bata ringan menghasilkan persentase tahanan panas yang semakin kecil.

Perbandingan hasil analisis distribusi temperatur menggunakan metode Wickstrom dan analisis LUSAS V.19 pada bata ringan dengan dilihat pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6 Perbandingan Hasil Analisis

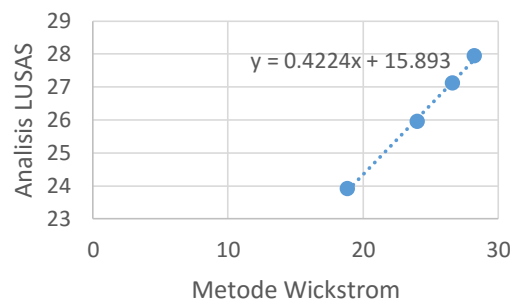
Suhu Paparan ($^{\circ}\text{C}$)	Lama Paparan (Jam)	Suhu pada Titik Tinjau $x = 10 \text{ mm}$, $y = 100 \text{ mm}$ ($^{\circ}\text{C}$)	
		Metode Wickstrom	Analisis LUSAS
30	0.5	18.872	23.920
	1	24.058	25.948
	1.5	26.657	27.114
	2	28.287	27.934
100	0.5	62.908	79.734
	1	80.195	86.494
	1.5	88.856	90.381
	2	94.291	93.114

200	0.5	125.816	159.468
	1	160.389	172.989
	1.5	177.711	180.763
300	2	188.582	186.230
	0.5	188.724	239.202
	1	240.584	259.483
	1.5	266.567	271.144
400	2	282.874	279.344
	0.5	251.632	318.936
	1	320.779	345.977
	1.5	355.423	361.525
500	2	377.165	372.459
	0.5	314.540	398.670
	1	400.973	432.472
	1.5	444.279	451.907
600	2	471.456	465.574
	0.5	377.448	478.404
	1	481.168	518.966
	1.5	533.134	542.288
700	2	565.747	558.689
	0.5	440.356	558.138
	1	561.363	605.460
	1.5	621.990	632.669
800	2	660.038	651.804
	0.5	503.263	637.872
	1	641.558	691.955
	1.5	710.846	723.051
900	2	754.329	744.918
	0.5	566.171	717.606
	1	721.752	778.449
	1.5	799.702	813.432
1000	2	848.621	838.033
	0.5	629.079	797.340
	1	801.947	864.944
	1.5	888.557	903.813
	2	942.912	931.148

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai temperatur pada titik tinjau ($x = 10$ mm, $y = 100$ mm) yang diperoleh dari analisis program LUSAS V.19 lebih besar daripada hasil perhitungan metode Wickström pada saat awal paparan panas, sehingga mengindikasikan bahwa penjalaran panas pada perhitungan metode Wickström lebih lambat di awal daripada penjalaran panas hasil analisis LUSAS v.19, akan tetapi penjalaran panas menggunakan metode Wickström menjadi lebih cepat setelah bertambahnya waktu paparan daripada hasil analisis LUSAS V.19.

Dari hasil perbandingan kedua metode tersebut diperoleh

persamaan regresi linier yang berguna untuk mendapatkan hubungan fungsional antara dua variabel atau lebih yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Regresi Linier Suhu 30 °C

Berdasarkan Gambar 9 di atas diperoleh persamaan regresi linier dari hasil analisis LUSAS V.19 dan perhitungan metode Wickstrom pada suhu 30 °C dengan nilai intersep (*intercept*) sebesar 15,893 dan nilai slop (*slope*) sebesar 0,4224, sehingga diperoleh persamaan regresi liniernya adalah $y = 0,4224 x + 15,893$.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis ang telah dilakukan .

1. Distribusi penjalaran panas dipengaruhi oleh nilai massa jenis, suhu yang dipaparkan, dan lama paparan suhu tersebut.
2. Dengan lama waktu paparan, besaran temperatur suhu yang dipaparkan, serta kedalaman pada sumbu x dan y yang sama, diperoleh bahwa semakin besar nilai massa jenis atau density maka hantaran panas semakin cepat.
3. Distribusi penjalaran panas dipengaruhi oleh nilai massa jenis semakin besar nilai massa jenis atau density pada bata ringan akan menghasilkan persentase tahanan panas yang semakin kecil.
4. Hasil perbandingan didapatkan bahwa suhu penjalaran panas menggunakan program LUSAS V.19 lebih tinggi di awal dibandingkan dengan menggunakan metode Wickstrom, namun jika paparan dilakukan dalam waktu yang lama nilai distribusi penjalaran panas menggunakan metode Wickstrom lebih tinggi dari pada menggunakan program LUSAS V.19.
5. Hingga paparan suhu sebesar 1.000 °C dengan massa jenis atau *density* 840 kg/m³ selama 2 jam, penjalaran panas yang terjadi pada titik tinjau dengan metode Wickström adalah 942,912 °C dan program LUSAS V.19 adalah 931,148 °C. Hal ini menunjukkan keakuratan dari kedua metode ini adalah sebesar 98,752 %.
6. Persamaan regresi linier dengan suhu 30 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C, dan 1.000 °C diperoleh nilai slop (*slope*) yang hampir mendekati yaitu 0,4225.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Taufik, A. Kurniawandy, and D. Arita, "Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Foaming Agent," *J. Saintis*, vol. 17, no. 1, pp. 52–62, 2017.
- [2] J. Rilatupa, "Aspek kenyamanan termal pada pengkondisian ruang dalam," *J. Sains dan Teknol. EMAS*, vol. 18, no. 3, pp. 191–198, 2008.
- [3] E. I. Santoso, "Kenyamanan Termal Indoor pada Bangunan di Daerah Beriklim Tropis Lembab," *Indones. Green Technol. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–19, 2012.
- [4] L. Handayani and M. Adri, "Penerapan JST (Backpropagation) untuk Prediksi Curah Hujan (Studi Kasus: Kota Pekanbaru)," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*, 2015.
- [5] U. Wickström, "A Very Simple Method for Estimating Temperature in Fire Exposed Concrete Structures. Swedish National Testing Institute," *SP Rep.*, 1987.
- [6] R. Dearn and R. Suryanita, "Analisis Sifat Mekanik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete Menggunakan Program LUSAS V17," *Sainstek (e-Journal)*, vol. 7, no. 2, pp. 72–79, 2019.
- [7] R. Suryanita, Y. Firzal, H. Maizir, I. Mustafa, and M. F. Bin Arshad, "Experimental Study on Performance of Cellular Lightweight Concrete due to Exposure High Temperature," *Int. J. GEOMATE*, vol. 21, no. 83, pp. 12–14, 2021.
- [8] A. O. Mydin, H. Awang, and A. F. Roslan, "Determination of lightweight foamed concrete thermal properties integrating various additives," *Elixir Cem. Con. Com.*, vol. 48, no. January 2012, pp. 9286–9291, 2012.
- [9] U. Wickström, *A Very Simple Method for Estimating Temperature in Fire Exposed Concrete Structures*, New Techno. Swedish: Swedish National Testing Institute, 1987.
- [10] R. Suryanita, W. Rahmadhan, and A. Kamaldi, "Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan Beton pada Suhu Tinggi dengan Software LUSAS," *MEDIA Komun. Tek. SIPIL*, vol. 25, no. 1, pp. 115–122.
- [11] LUSAS, "LUSAS, Infrastructure Analysis and Design Software (Lisensi Universitas Riau)." 2018.