



**ANALISIS NUMERIK PADA PROSES PEMBEKUAN ES
DI RUANG *BRINE TANK* PABRIK ES BALOK
TALANGSARI JEMBER MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh

Akhmad Sholihin

NIM 160210101061

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2020



**ANALISIS NUMERIK PADA PROSES PEMBEKUAN ES
DI RUANG *BRINE TANK* PABRIK ES BALOK
TALANGSARI JEMBER MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh

Akhmad Sholihin

NIM 160210101061

Dosen Pembimbing 1 : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing 2 : Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.

Dosen Penguji 1 : Prof. Drs. Dafik, M.Sc. Ph.D

Dosen Penguji 2 : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2020

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T., Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar, Nabi Muhammad S.A.W., ku persembahkan sebuah rasa syukur dengan penuh kebahagiaan atas perjalanan dan perjuangan studiku teriring rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

1. Bapak Mulyadi dan Ibu Mujiati, yang senantiasa mencurahkan doa, rasa cinta dan kasih sayang serta kakakku Sunarso Hadi,S.Pd.I. yang senantiasa memberi semangat;
2. Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. dan Bapak Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
3. Para guru dan dosen, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dalam banyak hal;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Teman-teman Algebra Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember Angkatan 2016 ;
6. Teman-teman seperjuangan Pemodelan Fajar, Theriq, Rio, Dinda, Devi, Mutia, Maulida, dan Mita;
7. Kedua keponakan tersayang Nursidatul Hadida dan Muhammad Dzikrihadi Ramadhani ;

HALAMAN MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾

"Maka sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan"

(Q.S. Al-Insyirah: 5)

"Bukan kita yang hebat, akan tetapi karena Allah yang memudahkan urusan kita."

"Mulailah dari tempatmu berada. Gunakan yang kau punya.
Lakukan yang kau bisa."

- Arthur Ashe -

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Akhmad Sholihin

NIM : 160210101061

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "*Analisis Numerik pada Pembekuan Es di Ruang Brine Tank Pabrik Es Balok Talangsari Jember Menggunakan Metode Volume Hingga*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 02 Februari 2020

Yang menyatakan,

Akhmad Sholihin

NIM 160210101061

HALAMAN PENGANTAR

**ANALISIS NUMERIK PADA PROSES PEMEBEKUAN ES
DI RUANG *BRINE TANK* PABRIK ES BALOK TALANGSARI
JEMBER MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA**

diajukan untuk dipertahankan di depan Tim Penguji sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan Program Studi Pendidikan Matematika pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Oleh:

Nama : Akhmad Sholihin
NIM : 160210101061
Tempat, tanggal Lahir : Banyuwangi, 6 November 1998
Jurusan / Program Studi : Pendidikan MIPA / Pendidikan Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
NIP 19820529 200912 1 003

Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.
NIP 19581209 198603 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul : Analisis Numerik pada Pembekuan Es di Ruang *Brine Tank* Pabrik Es Balok Talangsari Jember Menggunakan Metode Volume Hingga telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 12 Februari 2020
Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
NIP 19820529 200912 1 003

Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.
NIP 19581209 198603 1 003

Anggota I,

Anggota II,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc. Ph.D.
NIP 19680802 199303 1 004

Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.
NIP 19700307 199512 2 001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
NIP 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Analisis Numerik pada Pembekuan Es di Ruang *Brine Tank* Pabrik Es Balok Talangsari Jember Menggunakan Metode Volume Hingga; Akhmad Sholihin, 160210101061; 2020: 150 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Komputasi dapat digunakan dalam bidang industri, salah satu diantaranya adalah industri pembuatan es. Es adalah air yang membeku. Perubahan wujud atau pembekuan ini terjadi apabila air didinginkan di bawah 273 K pada tekanan atmosfer standar. Pada bidang perikanan es berfungsi guna menjaga kualitas ikan agar tetap segar. Kegiatan utama dari proses produksi es balok adalah proses pembekuan es di ruang *Brine system*. *Brine system* adalah pembuatan es balok dengan menggunakan cetakan es yang didinginkan melalui perantara air garam. *Brine system* menggunakan *Brine Tank* sebagai tangki yang berfungsi untuk tempat pembekuan es balok. *Brine Tank* berisi air dan garam berfungsi untuk menurunkan titik beku air sehingga bisa digunakan sebagai perantara pendingin cetakan es. *Brines* atau air garam berfungsi sebagai *refrigerant* untuk mengambil kalor dari air sehingga air menjadi dingin dan lama-kelamaan akan membeku (menjadi es).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui model matematika pada Pembekuan Es di Ruang *Brine Tank* dan menyelesaikan model menggunakan metode volume hingga. Mengetahui pengaruh temperatur awal air (bahan baku es), temperatur kolam dan konsentrasi garam terhadap proses pembekuan es balok. Mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menyelesaikan masalah proses pembekuan es di ruang *Brine Tank*.

Langkah-lagkah kegiatan penelitian meliputi penentuan model matematika proses pembekuan es di ruang *Brine Tank*. Langkah selanjutnya setelah mendapatkan matriks global dari proses diskritisasi adalah membuat algoritma dan pemrograman MATLAB. Kemudian melakukan simulasi dengan FLUENT untuk mengetahui pola temperatur es balok sesuai waktu yang diinginkan.

Adapun hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank* diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan diskritisasi QUICK

sebagai berikut.

$$\left[\frac{T_0 \alpha \rho c_p}{\alpha \rho c_p T_0 + \alpha_1 \rho_1 c_{p1} T_{kolam}} - 1 \right] \left[\left(\rho u (T_w - T_e) \Delta t \Delta y \Delta z \right) + \left(\rho v (T_s - T_n) \Delta t \Delta x \Delta z \right) + \left(\rho \omega (T_f - T_r) \Delta t \Delta x \Delta y \right) \right] = \left(\mu T_0 + \sigma \frac{\rho \gamma}{\frac{1}{2}(\rho + \rho_1)} \right) \left(\Delta t \Delta y \Delta z + \Delta t \Delta x \Delta z + \Delta t \Delta x \Delta y \right)$$

2. Temperatur awal memiliki pengaruh pada proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank*. Pada node-2 ke node-3 temperatur es dengan temperatur awal 301 terjadi penurunan suhu yang besar dibandingkan temperatur awal 302 dan temperatur awal 303. Hal itu disebabkan dari node-3 cetakan terendam di air garam. Sehingga semakin rendah temperatur awal yang digunakan, maka temperatur air semakin cepat menurun sehingga proses pembekuan es balok semakin cepat.
3. Temperatur kolam memiliki pengaruh pada proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank*. Pada node-13 penurunan temperatur es mulai stabil ditandai dengan jarak antar grafik relatif sama. Hal itu disebabkan pada node-13 temperatur es berjalan menuju temperatur kolam masing-masing. Sehingga semakin rendah temperatur kolam yang digunakan, maka temperatur air semakin cepat menurun sehingga proses pembekuan es balok semakin cepat.
4. Kosentrasi garam memiliki pengaruh pada proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank*. Pada node-2 ke node-3 temperatur es dengan kosentrasi garam 0.5 M terjadi penurunan suhu lebih besar dibandingkan kosentrasi garam 0.4 M dan kosentrasi garam 0.3 M. Hal itu disebabkan dari node-3 cetakan terendam di air garam. Semakin tinggi kosentrasi garam yang digunakan, maka temperatur air semakin cepat menurun sehingga proses pembekuan es balok semakin cepat.
5. Metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis temperatur setiap node pada proses pembekuan es di ruang *Brine Tank* dengan *error* yang diperoleh kurang dari 0.001.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Model Matematika Aliran Fluida pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah TCK. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada yang terhormat:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Laboratorium Matematika Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
9. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 02 Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGAJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMBANG	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Kebaharuan Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Model dan Pemodelan Matematika	6
2.2 Fluida	7
2.3 Es Balok	9
2.4 <i>Brine System</i>	10
2.5 Persamaan Fisika Terkait Pembekuan Es	12
2.5.1 Kalor Laten.....	12
2.5.2 <i>Brines</i> atau Air garam sebagai <i>Refrigerant</i>	14
2.6 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	15
2.7 Metode Volume Hingga.....	19

2.7.1	Persamaan Momentum	21
2.7.2	Persamaan Kuantitas Massa	22
2.7.3	Persamaan Energi	22
2.8	Pemrograman MATLAB	23
2.8.1	MATLAB	23
2.8.2	Metode Gauss Seidel	25
2.8.3	Galat (<i>Error</i>)	28
2.9	Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation</i> <i>Confective Kinematics</i> (QUICK)	30
2.10	Penelitian yang Relevan	32
BAB 3.	METODE PENELITIAN	34
3.1	Jenis Penelitian	34
3.2	Definisi Operasional	34
3.3	Prosedur Penelitian	35
3.4	Tempat Penelitian	37
3.5	Metode Pengumpulan Data	37
3.6	Analisis Data	37
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Model Matematika Prose Pembekuan Es Balok pada Ruang <i>Brine Tank</i>	39
4.1.1	Pembuktian Persamaan Momentum	40
4.1.2	Pembuktian Persamaan Energi.....	43
4.2	Penyelesaian Model Matematika Pembekuan Es pada Ruang <i>Brine Tank</i>	45
4.3	Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation</i> <i>Conective Kinematics</i> (QUICK)	49
4.4	Efektivitas Metode Volume Hingga dengan Menggunakan <i>Error</i> dalam Analisis Simulasi pada Pembekuan Es di Ruang <i>Brine Tank</i>	57
4.4.1	Format <i>Programming</i>	57
4.4.2	Penggunaan <i>Error</i> dan <i>Error Relatif</i>	59
4.4.3	Simulasi Pemodelan.....	60
4.5	Analisis dan Pembahasan	61

4.5.1	Komputasi MATLAB	61
4.5.2	Visualisasi Simulasi <i>Fluent</i>	66
4.5.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga pada Proses Pembekuan Es balok di ruang <i>Brine Tank</i>	72
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN		80
A. Matrik Penelitian		80
B. Surat Izin Penelitian		82
C. Hasil Simulasi Program MATLAB.....		83
D. ITERASI		96
LEMBAR REVISI.....		150

DAFTAR GAMBAR

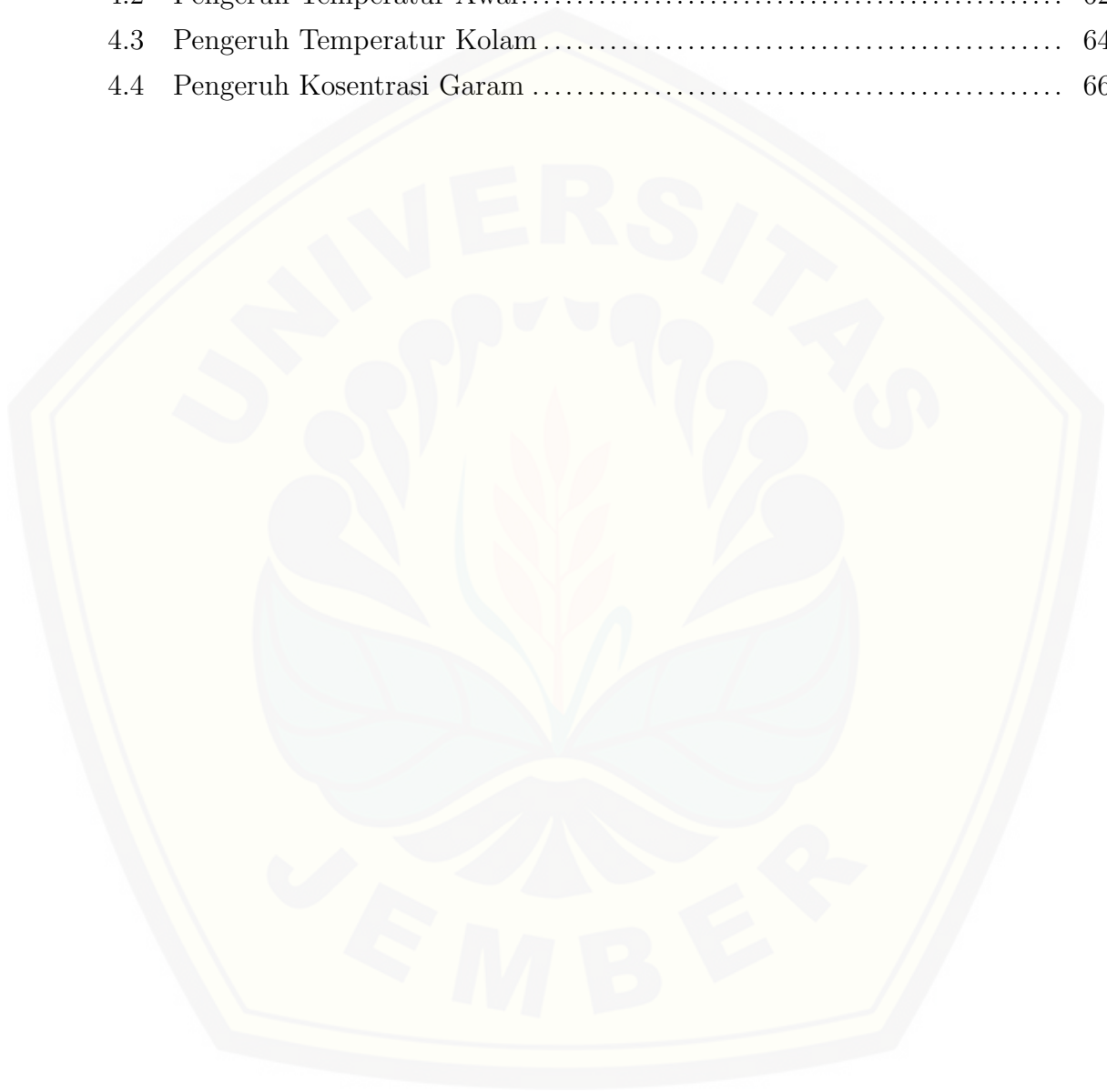
	Halaman
2.1 Tahap pemodelan matematika.....	7
2.2 Aliran laminar	8
2.3 Aliran turbulen	8
2.4 Aliran transisi.....	9
2.5 Es Balok.....	9
2.6 <i>System Brine</i>	11
2.7 <i>Brine Tank</i> Konvensional	12
2.8 Tampilan <i>software</i> GAMBIT versi 6.0	17
2.9 Tampilan <i>software</i> FLUENT versi 6.0	18
2.10 Contoh FLUENT.....	19
2.11 Model Volume Kendali	20
2.12 Sel Pusat dan Sel Vertex.....	21
2.13 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	21
2.14 Bagan Volume Kendali Persamaan Kontinuitas Massa	22
2.15 Diskritisasi QUICK.....	31
3.1 Diagram alir prosedur penelitian	36
4.1 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	41
4.2 Bagan Volume Kendali Persamaan Energi.....	43
4.3 Skema Diskritisasi Pembekuan Es Balok	55
4.4 Grafik Pengaruh Suhu Awal	61
4.5 Grafik Pengaruh Temperatur Kolam.....	63
4.6 Grafik Pengaruh Kosentrasi Garam	65
4.7 (Desain Geometri dalam Gambit).....	67
4.8 Simulasi Suhu Awal 301 K.....	67
4.9 Simulasi Suhu Awal 302 K.....	68
4.10 Simulasi Suhu Awal 303 K.....	68
4.11 Simulasi dengan Temperatur Kolam 266 K.....	69
4.12 Simulasi dengan Temperatur Kolam 267 K.....	69

4.13 Simulasi dengan Temperatur Kolam 268 K.....	70
4.14 Simulasi dengan Kosentrasi Garam 0.5 M	71
4.15 Simulasi dengan Kosentrasi Garam 0.4 M	71
4.16 Simulasi dengan Kosentrasi Garam 0.3 M	72

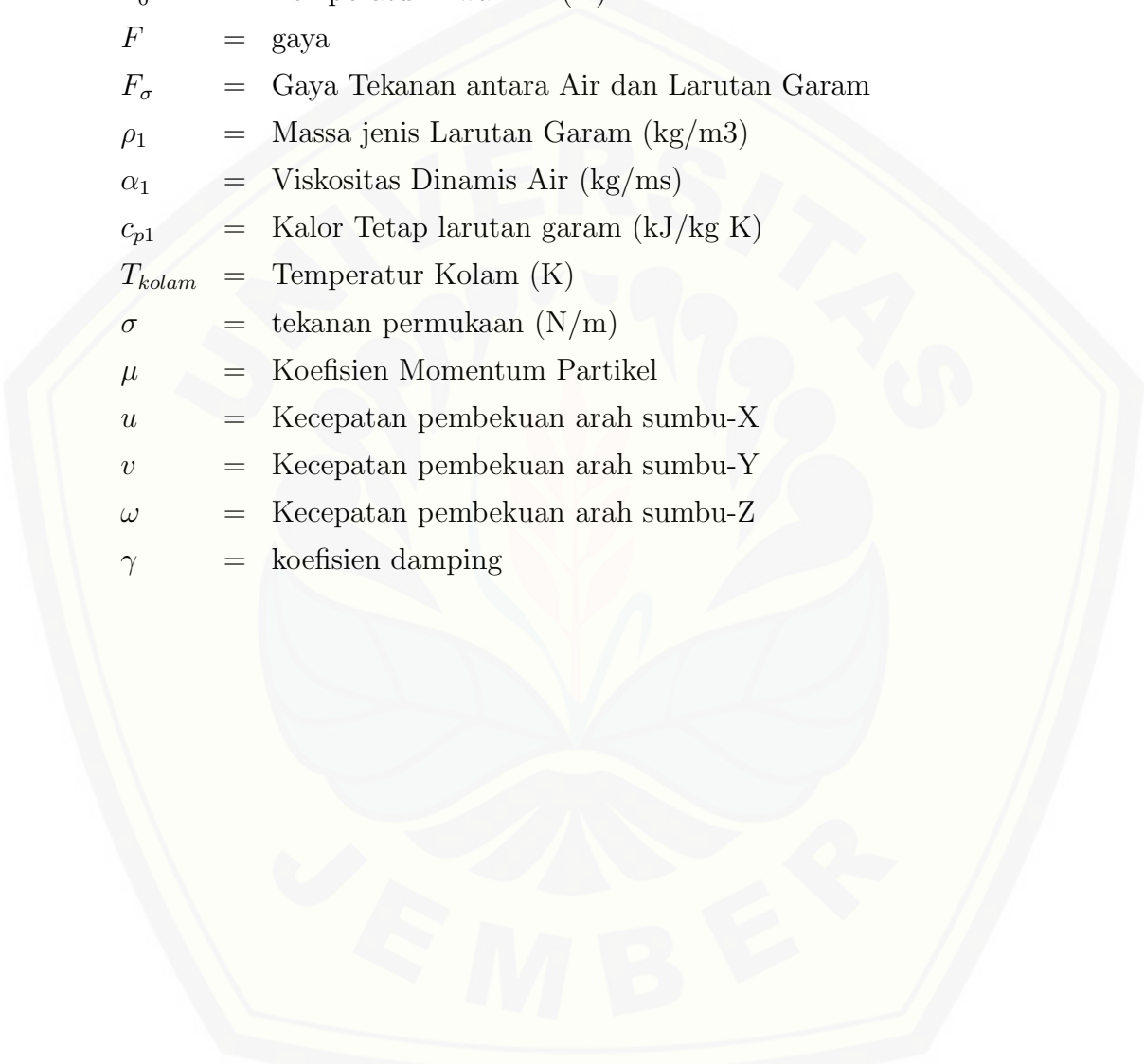


DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Parameter Beserta Satuan dan Sumber Data	60
4.2 Pengeruh Temperatur Awal.....	62
4.3 Pengeruh Temperatur Kolam	64
4.4 Pengeruh Kosentrasi Garam	66



DAFTAR LAMBANG



ρ	=	Massa jenis air (kg/m ³)
α	=	Viskositas Dinamis Air (kg/ms)
c_p	=	Kalor Tetap Air (kJ/kg K)
T_0	=	Temperatur Awal Air (K)
F	=	gaya
F_σ	=	Gaya Tekanan antara Air dan Larutan Garam
ρ_1	=	Massa jenis Larutan Garam (kg/m ³)
α_1	=	Viskositas Dinamis Air (kg/ms)
c_{p1}	=	Kalor Tetap larutan garam (kJ/kg K)
T_{kolam}	=	Temperatur Kolam (K)
σ	=	tekanan permukaan (N/m)
μ	=	Koefisien Momentum Partikel
u	=	Kecepatan pembekuan arah sumbu-X
v	=	Kecepatan pembekuan arah sumbu-Y
w	=	Kecepatan pembekuan arah sumbu-Z
γ	=	koefisien damping

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsep dan prinsip matematika banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Matematika sering digunakan untuk membantu menyelesaikan berbagai permasalahan yang khususnya berkaitan dengan komputasi atau perhitungan pada sebagian disiplin ilmu tertentu. Salah satu contoh kasus yang melibatkan matematika adalah Perpindahan panas dan perilaku aliran fluida yang dapat diprediksi menggunakan dua metode, yaitu penelitian eksperimental dan penghitungan numerik. Penghitungan numerik menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) bertujuan untuk mengetahui secara mendalam mengenai data yang dibutuhkan, memprediksi parameter yang berpengaruh, dan fenomena fisika yang terjadi guna mengefisienkan produk yang akan dibuat. Pemodelan CFD dilakukan dengan mengubah variabel-variabel yang ada, sehingga didapatkan hasil yang optimal serta mempersingkat siklus desain, biaya, dan pengembangan produk.

Indonesia merupakan salah satu negara maritim. Negara maritim adalah negara yang sebagian besar wilayahnya adalah perairan, luas daratannya lebih kecil daripada luas lautnya. Sebagai negara maritim Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah dalam bidang perikanan. Setiap daerah pesisir Indonesia berpotensi dibidang perikanan. Berbagai jenis ikan yang mempunyai nilai ekonomi seperti tuna, tuna kecil, cakalang, layur dan kakap serta tengiri menjadi penghasil utama nelayan pantai selatan. Kabupaten Jember merupakan salah satu kabupaten yang tergolong daerah pesisir selatan. Sehingga menjadi salah satu penghasil ikan yang melimpah. Namun, terdapat kebutuhan utama nelayan sebagai akibat dari penghasilan ikan yang melimpah yang harus dipenuhi yaitu ketersediaan es balok. Kabupaten Jember memiliki sejumlah pabrik pemasok es balok. salah satu pabrik es balok di Jember adalah pabrik es balok Talangsari Jember. Pabrik es ini merupakan pabrik es tertua

yang ada di Jember. Pabrik terletak di Jalan KH Siddiq No.21, Lingkungan Talangsari, Kelurahan Jember Kidul, Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember. Para nelayan ikan membutuhkan es untuk menjaga ikan tetap segar selain itu juga menjaga kualitas ikan. Kebutuhan es semakin meningkat seiring dengan meningkatnya hasil panen laut. Jika terjadi kelangkaan es balok maka akan memberikan dampak besar terhadap penghasilan nelayan karena harga ikan akan rendah dan ikan akan cepat rusak tidak terjaga kualitasnya.

Kegiatan utama dari proses produksi es balok adalah proses pembekuan es balok di ruang *brine tank*. Proses pembekuan es balok di ruang *brine tank* yang membutuhkan waktu yang lama. Sehingga produksi es balok dilakukan dalam skala besar. Proses pembekuan dimulai dengan *Ice can* (cetakan es) yang berisi air dicelupkan ke dalam *brine tank* dan terendam sampai level air di dalam *Ice can* sejajar dengan level *brine tank* (tangki proses). *Brine* atau air garam berfungsi sebagai *refrigerant* untuk mengambil kalor dari air sehingga air menjadi dingin dan lama-kelamaan air akan membeku (menjadi es). Proses pendinginan memakan waktu kurang lebih 24 jam agar es balok yang dihasilkan nantinya benar-benar matang. Pada *Brine Tank* juga dilengkapi dengan *agitator* (pengaduk air garam) agar larutan garam yang dihasilkan lebih merata dan *brine* tidak menjadi gel/bubur yang disebabkan karena temperatur terlalu dingin. Dari proses pembekuan yang telah dipaparkan tersebut sehingga timbul beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembekuan es diantaranya temperatur air garam (*Brine*), Konsentrasi air garam yang digunakan di ruang *brine tank* dan temperatur awal air bahan baku es balok.

Berdasarkan uraian diatas dan penelitian yang telah dilakukan oleh Sukborom yaitu mengenai pengaruh temperatur kolam terhadap waktu pembekuan es di pabrik es balok konvensional. Penelitian ini mengembangkan dengan melakukan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan *software* MATLAB dan *Discrete volume Method*. Penelitian ini juga melakukan simulasi proses pembekuan es pada FLUENT dengan faktor pengaruh pembekuan es balok yang berbeda serta dengan objek *brine tank* yang berbeda. *Brine tank* yang diteliti yaitu *brine tank* di pabrik es balok Talangsari Jember. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur *brine*, konsentrasi *brine* dan temperatur awal air bahan es terhadap pembekuan es

di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember. Penyelesaian model matematika dalam penelitian ini menggunakan metode volume hingga dengan Teknik Diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK). Proses analisis dan simulasi model matematika tersebut menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT.

Model matematika berkaitan erat dengan soal cerita yang disajikan berdasarkan permasalahan sehari-hari. Siswa harus memahami isi soal cerita yang telah disajikan, menentukan model matematika yang sesuai dan menyelesaikan permasalahan tersebut. Sebanyak lebih dari 50% guru menyatakan bahwa sebagian besar siswa mengalami kesalahan dalam menyelesaikan soal cerita (Marsudi, 2008: 1). Hal ini dikarenakan oleh kurangnya keterampilan siswa dalam menerjemahkan kalimat sehari-hari ke dalam kalimat matematika. Oleh karena itu, penentuan model matematika dari suatu soal cerita harus dirumuskan dengan tepat sehingga diperoleh penyelesaian yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Harapannya model matematika yang dianalisis dengan menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT serta dirumuskan berdasarkan permasalahan industri akan mampu mengasah kemampuan sebagai calon guru matematika.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur suhu es pada proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember sehingga waktu pembekuan dapat diminimalkan. Pabrik es Balok talangsari Jember dipilih sebagai objek dalam penelitian ini karena merupakan pabrik es tertua di Jember, produksinya berskala besar dan pabrik ini tetap operasi walaupun tidak sedang musim panen ikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- 1) bagaimana model matematika pada proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember ?
- 2) bagaimana pengaruh temperatur awal air (bahan baku es) terhadap pada pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember dengan

menggunakan metode volume hingga?

- 3) bagaimana pengaruh temperatur *brines* (cairan pendingin) terhadap proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember dengan menggunakan metode volume hingga?
- 4) bagaimana pengaruh konsentrasi garam terhadap proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember dengan menggunakan metode volume hingga?
- 5) bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis pada pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember berdasarkan *error* yang diperoleh?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

- 1) model matematika pada pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari jember;
- 2) proses yang dianalisis adalah pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari jember berdasarkan Temperature kolam atau *brine*, kosentrasi *brine*, temperatur awal air (bahan baku es);
- 3) cetakan es diasumsikan memiliki ukuran yang sama;
- 4) metode penyelesaian yang digunakan adalah metode volume hingga dengan Teknik Diskritisasi QUICK.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang di atas, maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) untuk mengembangkan model matematika pada proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari jember;
- 2) untuk mengetahui pengaruh temperatur awal air (bahan baku es) pada proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok konvensional dengan menggunakan metode volume hingga;
- 3) untuk mengetahui pengaruh temperatur *brine* (cairan pendingin) pada proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari jember dengan menggunakan metode volume hingga;

- 4) untuk mengetahui pengaruh konsentrasi atau kandungan garam pada proses pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari jember dengan menggunakan metode volume hingga;
- 5) untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis proses pembekuan es pada ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari jember berdasarkan *error* yang diperoleh;

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) menambah pengetahuan baru bagi peneliti dalam bidang teknologi komputasi;
- 2) menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika dengan memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga di program studi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember;
- 4) memberikan kontribusi kepada para pabrik es balok untuk meningkatkan produktivitas es balok khususnya dalam optimasi waktu pembuatan es balok.

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) mengembangkan model matematika sesuai dengan kondisi pabrik;
- 2) model matematika dalam penelitian ini diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan dikritisasi QUICK;
- 3) solusi numerik dari model matematika dalam penelitian ini akan diselesaikan dengan *software* MATLAB versi R2007a;
- 4) desain geometri yang dibuat berbentuk 3-dimensi ;
- 5) model aliran dalam penelitian ini akan disimulasikan menggunakan FLUENT versi 6.0;

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

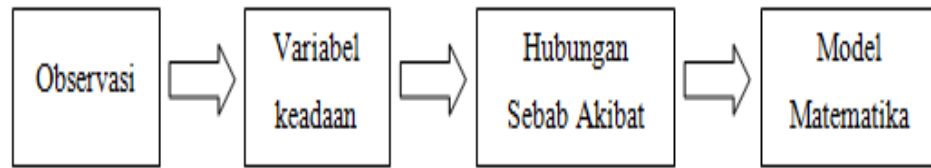
2.1 Model dan Pemodelan Matematika

Model matematika adalah representasi dari sistem nyata yang dijabarkan dalam bentuk simbol dan pernyataan matematika. Berdasarkan hal tersebut, model matematika merepresentasikan sebuah sistem dalam bentuk hubungan kuantitatif dan logika, berupa suatu persamaan matematika (Mananoma dan Soetopo, 2008:186).

Pemodelan matematika merupakan usaha perancangan rumusan matematika yang menggambarkan bagaimana mendapatkan penyelesaian masalah matematika yang digeneralisasikan untuk diterapkan pada perilaku atau kejadian alam. Setelah melalui proses simulasi maka diperlukan sebuah eksperimen kembali sebagai langkah pencocokan mengenai apakah model tersebut valid atau perlu diadakan revisi. Masalah yang sering muncul biasanya adalah mengenai nilai awal dan atau masalah syarat batas (Iswanto, 2012: 15-16). Beberapa tahap dalam penyusunan pemodelan matematika adalah sebagai berikut :

- a. pengamatan fenomena sistem fisik yang akan dimodelkan;
- b. mengidentifikasi beberapa elemen yang menyusun sistem, termasuk variabel dependent maupun variabel independent;
- c. identifikasi banyak elemen yang menyusun sistem dan pengidentifikasian hubungan sebab akibat, sebagaimana pada persamaan konservasi yang berhubungan dengan kuantitas keadaan sistem;
- d. penurunan model matematika menggunakan variabel dependen, yaitu dengan mengeksplor hubungan antara sebab akibat yang dimiliki (Iswanto, 2012: 20).

Berdasarkan uraian di atas, pemodelan matematika merupakan suatu upaya dalam merancang rumusan matematika guna menyelesaikan permasalahan kehidupan sehari-hari. Model matematika menyatakan permasalahan dalam



Gambar 2.1 Tahap pemodelan matematika

bentuk persamaan matematika. Oleh karena itu, pemodelan matematika pada pembekuan es di ruang *brine tank* pabrik produksi es balok merujuk pada permasalahan industri berdasarkan data-data yang diperoleh kemudian dimodelkan dalam suatu persamaan matematika.

2.2 Fluida

Fluida adalah zat yang dapat mengalir. Fluida menyesuaikan diri dengan bentuk wadah apapun dimana kita menemukannya karena tidak dapat menahan gaya yang bersinggungan dengan permukaannya (Halliday, 2005: 387). Fluida dapat dikatakan statis bila fluida tersebut dalam keadaan tidak bergerak atau diam pada suatu wadah dan dapat dikatakan kinematis bila fluida tersebut bergerak secara terus-menerus (*continue*) akibat adanya suatu gaya gesek ataupun tekanan sebarang kecilnya. Secara umum, bila dibedakan dari sudut kemampatannya *compresibility*, maka bentuk fluida terbagi dua jenis, yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. *Compressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya dapat berubah-ubah, contohnya zat berbentuk gas. Sedangkan *incompressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya tidak berubah atau perubahannya kecil sekali dan dianggap tidak ada, contohnya zat berbentuk cair (Mulyadi, 2009).

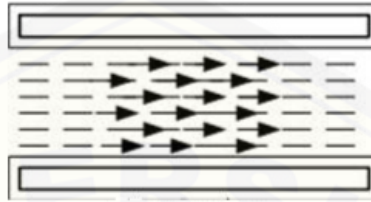
Fluida terdiri dari dua jenis yaitu fluida Newtonian dan non-Newtonian. Fluida Newtonian memiliki hubungan linear antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Namun, apabila dalam fluida non-Newtonian hubungannya tak linear. Gas dan cairan encer cenderung bersifat fluida Newtonian sedangkan hidrokarbon berantai panjang yang kental mungkin bersifat non-Newtonian.

Kondisi aliran fluida sangat bergantung dari kecepatan aliran fluida, semakin tinggi kecepatan akan mempengaruhi pola aliran, kondisi aliran akan berubah dari

laminar menjadi turbulen.

a. Aliran Laminar

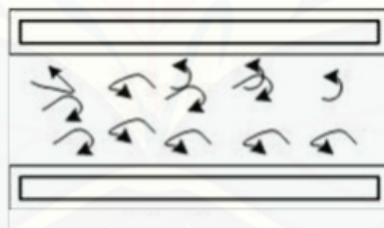
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



Gambar 2.2 Aliran laminar

b. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Aliran turbulen ini mempunyai nilai bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).

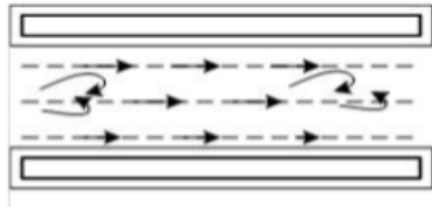


Gambar 2.3 Aliran turbulen

c. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri. Aliran transisi ini mempunyai nilai bilangan Reynolds antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).

Berdasarkan uraian di atas, fluida yang diteliti dalam penelitian ini berbentuk cair dan memiliki tipe aliran Transisi. Aliran fluida yang diteliti memiliki pergerakan partikel yang berubah dari pergerakan partikel dalam satu



Gambar 2.4 Aliran transisi

lapisan meluncur secara lancar ke pergerakan partikel yang tidak teratur proses pembekuan berlangsung.

2.3 Es Balok



Gambar 2.5 Es Balok
(Sumber: wikipedia.org)

Es adalah air yang membeku. Pembekuan air ini terjadi bila air didinginkan di bawah 0°C pada tekanan atmosfer standard. Es dapat dibentuk pada suhu yang lebih tinggi dengan tekanan yang lebih tinggi juga, dan air akan tetap sebagai cairan atau gas sampai -30°C pada tekanan yang lebih rendah. Es biasanya digunakan untuk mengawetkan hasil laut dan pendingin minuman kemasan.

Es balok merupakan salah satu jenis es yang banyak digunakan keperluan domestik. Produksi es balok banyak digunakan untuk proses pengawetan jangka waktu tertentu. Maker trainer adalah satu alat yang digunakan untuk membuat es balok dengan menggunakan garam sebagai refrigeran sekunder. Jumlah

kandungan garam yang digunakan sebagai refrigerant mempengaruhi janka waktu proses pembekuan air menjadi es (Hidayati dan Hendradinata, 2016:27).

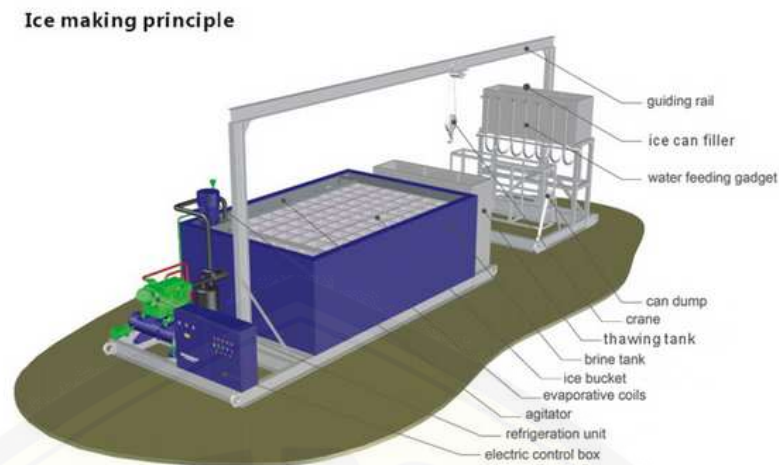
Prinsip dasar dalam proses produksi es balok adalah pembekuan air dengan memakai media larutan garam (brine) yang memiliki suhu mendekati titik beku larutannya. Proses pendinginan brine menggunakan bantuan sirkulasi *refrigerant* NaCl. Proses pembekuan dimulai dengan *Ice can* (cetakan es) yang berisi air dicelupkan ke dalam *brine tank* dan terendam sampai level air di dalam *Ice can* sejajar dengan level *brine tank* (tangki proses). *Brines* atau air garam berfungsi sebagai *refrigerant* untuk mengambil kalor dari air sehingga air menjadi dingin dan lama-kelamaan air akan membeku (menjadi es).

Proses pembekuan es di dalam ruang *Brine tank* menjadi daya tarik tersendiri untuk diteliti guna meningkatkan pengetahuan khususnya di bidang industri. Dengan tetap mempertahankan produk es balok maka mengurangi sampah plastik akibat bungkus es buatan rumah tangga biasa. Dalam pendistribusian ikan ke luar daerah-daerah sekitar Jember juga membutuhkan es untuk menjaga kualitas. Karena menggunakan es balok lebih tahan lama dibanding es buatan lemari es pada umumnya. Sehingga nelayan masih tidak akan terlepas dari produk es balok.

2.4 *Brine System*

Brine system adalah pembuatan es balok dengan menggunakan cetakan es yang didinginkan melalui perantara air garam. Salah satu komponen *Brine system* adalah *Brine Tank* (tank air garam). *Brine Tank* adalah tangki yang berfungsi untuk menempatkan media untuk tempat pembekuan es balok. *Brine Tank* berisi air dan garam dengan Perbandingan pada umumnya 1 : 4 (1 kg garam berbanding 4 kg air). Fungsi garam itu sendiri adalah menurunkan titik beku air sehingga bisa digunakan sebagai perantara pendingin cetakan es. *Brine* atau air garam berfungsi sebagai *refrigerant* untuk mengambil kalor dari air sehingga air menjadi dingin dan lama-kelamaan akan membeku (menjadi es). Proses pendinginan memakan waktu kurang lebih 24 jam agar es balok yang dihasilkan nantinya benar-benar matang.

Pada *Brine Tank* juga dilengkapi dengan *brine agitator* (pengaduk air garam) agar larutan garam yang dihasilkan lebih merata dan tidak menjadi



Gambar 2.6 *System Brine*
(Sumber:wikipedia.org)

gel/bubur yang disebabkan karena temperatur terlalu dingin. *Brine system* itu memproduksi dengan *cycle system*. *cycle system* adalah sistem pendingin dan panen yang berlangsung secara terus menerus. Selain itu yang perlu diketahui adalah cetakan es. Cetakan es yang ada pada *brine system* menggunakan bahan *galvanized* atau *stainless steel*. Hasil es yang dihasilkan juga cenderung padat dan keras

Prinsip terjadinya suatu pendinginan di dalam sistem refrigerasi adalah penyerapan kalor oleh suatu zat pendingin yang dinamakan refrigeran. Karena kalor yang berada di sekeliling refrigeran diserap, akibatnya *refrigerant* akan menguap sehingga temperatur di sekitar refrigeran akan bertambah dingin. Hal ini dapat terjadi mengingat penguapan memerlukan kalor. Di dalam suatu alat pendingin (misal lemari es) kalor diserap di evaporator dan dibuang ke kondensor.

Refrigeran merupakan suatu fluida, sistem kerja utaman Refrigeran pada suatu siklus refrigerasi yaitu menyerap panas pada temperatur dan tekanan rendah dan membuang panas pada temperatur dan tekanan tinggi. Umumnya refrigeran mengalami perubahan fasa dalam satu siklus (Sumardi,2016). Media pendingin *cooling media* adalah media yang digunakan untuk mengantarkan efek refrigerasi ke tempat yang membutuhkan. Sistem pendingin udara pada unit



Gambar 2.7 *Brine Tank* Konvensional
(Sumber:wikipedia.org)

yang besar, seperti bangunan komersial, menempatkan siklus pendingin terpusat pada suatu tempat. Dan ruangan yang menggunakan efek refrigerasi relatif jauh dari unit ini, untuk keperluan ini adalah lebih baik menggunakan medium lain daripada harus mensirkulasikan refrigeran ke tiap ruangan. Medium yang lain inilah yang disebut medium pendingin atau sering juga diistilahkan refrigeran sekunder. Medium yang umum digunakan adalah air, *glycol*, dan larutan garam. Cairan *absorbent (liquid absorbent)* adalah cairan yang digunakan untuk menyerap uap refrigeran.

2.5 Persamaan Fisika Terkait Pembekuan Es

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi mekanisme pembekuan es balok. Menurut Hidayati dan Hendradinata (2016), faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme pembekuan es pada ruang *Brine Tank* antara lain kalor laten dan faktor *Brines* garam sebagai *Refrigerant*.

2.5.1 Kalor Laten

Kalor laten atau panas laten adalah panas yang ditransferkan kepada zat murni yang akan mengubah wujud zat tetapi temperaturnya tidak naik. Misalnya pada peristiwa es yang mencair, pelelehan logam, dan penguapan larutan. Panas

laten terdiri atas

1. Kalor laten penguapan (*latent heat of vaporization*) adalah jumlah kalor yang harus ditambahkan kepada zat (cair) pada titik didihnya sampai wujudnya berubah menjadi uap seluruhnya pada suhu yang sama.
2. Kalor laten pengembunan (*latent heat of condensation*) adalah jumlah kalor yang harus dikeluarkan oleh zat pada titik embunnya, untuk mengubah wujud zat dari gas menjadi cair pada suhu yang sama
3. Kalor laten pencairan (*latent heat of fusion*) adalah jumlah kalor yang harus ditambahkan kepada zat padat pada titik leburnya untuk berubah menjadi cair pada suhu yang sama.
4. Kalor laten pembekuan (*latent heat of solidification*) adalah jumlah kalor yang harus dikeluarkan oleh zat cair pada titik bekunya untuk berubah dari cair menjadi padat pada suhu yang sama.

Secara umum kalor laten digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan :

$$Q = m h_1$$

Keterangan:

Q = Kalor total (J),

h_1 = Kalor Laten (J/Kg),

m = massa (Kg).

sedangkan kalor yang diakibatkan dari perubahan temperatur zat dikenal dengan Kalor sensibel (*sensibel heat*) dirumuskan dengan :

$$Q = m c \Delta T$$

Keterangan:

Q = kalor total (J),

c = kalor jenis (J/Kg),

m = massa (Kg),

ΔT = Perubahan suhu (C).

2.5.2 *Brines* atau Air garam sebagai *Refrigerant*

Sistem refrigerasi digunakan pada industri pabrik es untuk berbagai keperluan. Untuk memproduksi es dengan jumlah yang banyak diperlukan sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran sekunder. Refrigeran sekunder yang ideal harus diketahui komposisi konsentrasi campuran garam dan air yang tepat (Sumardi, 2012). Sebagai refrigeran Terdapat dua sifat larutan garam yang mempengaruhi pembekuan yaitu kerapatan atau Kandungan atau konsentrasi Garam dan Temperature air garam (*Brine*)

1. Kandungan Garam (NaCl)

larutan adalah campuran homogen dari dua zat - zat terlarut dan zat pelarut untuk melarutkannya. Konsentrasi merupakan jumlah atau banyak zat terlarut dalam suatu larutan. Pada umumnya konsentrasi dinyatakan pada satuan fisik, seperti halnya satuan volume, satuan kimia, ataupun satuan berat seperti mol, ekuivalen dan massa rumus. Berikut kandungan garam pada suatu larutan dapat dirumuskan :

$$\rho_0 = \frac{m_g}{v}$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis ($Kg \div m^3$),

m_g = massa garam (Kg),

V = Volume (m^3).

kandungan garam (NaCl) berpengaruh terhadap pembekuan es. larutan garam berfungsi sebagai Refrigeran (Hidayati dan Hendradinata, 2016). Molaritas larutan adalah banyaknya mol zat terlarut dalam 1 liter larutan. persamaan molaritas :

$$M = \frac{10 \times p \times \rho}{Mr}$$

Keterangan:

M = Molaritas,

p = persentase atau kadarlarutan,

ρ = Massa jenis(Kg/m^3)

Mr = Massa relatif zat terlarut(m^3)

2. Temperature *Brine*

Cairan pendingin mengalami kontak dengan air garam di brine tank. Karena temperatur dari air garam lebih tinggi dari cairan pendingin bahkan dari titik uap cairan pendingin, maka terjadi perpindahan panas dari air garam ke cairan pendingin bahkan sampai menyebabkan cairan pendingin menguap. Hal ini mengakibatkan temperatur air garam turun sampai dibawah temperatur beku air biasa. Air garam tidak mengalami perubahan fasa ke padat karena temperatur beku air garam jauh dibawah temperatur air biasa, bahkan bisa sampai 18 derajat celcius lebih rendah. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan temperatur air biasa ke temperatur beku sehingga terbentuklah es dari air biasa. Karena terjadi 2 kali pendinginan, yaitu pendinginan air garam oleh cairan pendingin dan pendinginan air biasa oleh air garam, maka sistem pendinginan ini disebut sistem pendinginan 2 tingkat(Saputro,2018). Untuk memodelkan pengaruh temperatur maka diperlukan rumus sebagai berikut :

$$Z = \frac{V \times L_0}{bT} \times (L_0 + \nu)$$

Keterangan:

Z = Waktu pembekuan (Jam),

V = volume cetakan es (m^3),

L_0 = lebar cetakan terpendek (m),

bT = temperature kolam (m),

ν = koefisien tranfer cetakan (m/s).

2.6 *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Computational Fluid Dynamics (CFD) dapat diartikan suatu sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait

seperti reaksi kimia dengan cara simulasi berbasis komputer. CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan 21 fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika (Tuakia, 2008: 2). Secara istilah CFD adalah suatu teknologi komputasi yang memungkinkan untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. Sebuah *software* CFD dapat mensimulasikan aliran fluida dengan pemodelan di komputer. Penggunaan *software* ini pengguna dapat membuat *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat-alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi nyata dilapangan. *Software* CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang telah didesain (Tuakia, 2008: 2).

CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga). Beberapa metode dalam perhitungan atau komputasi aljabar untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial meliputi :

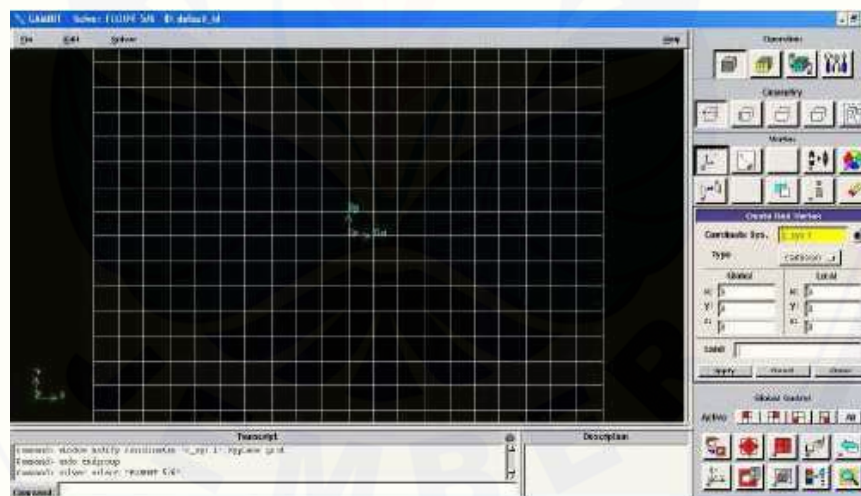
- a. metode beda hingga;
- b. metode volume hingga;
- c. metode elemen hingga;
- d. metode elemen batas;
- e. metode skema resolusi (Tuakia, 2008: 7).

Simulasi CFD memiliki tiga tahapan utama, yaitu *Preprocessing*, *Solver Manager*, dan *Postprocessing*. *Preprocessing* merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD (Tuakia, 2008: 6). Sebuah model pada *preprocessing* dibuat menjadi model yang dapat diterjemahkan oleh *software* simulasi. Langkah *preprocessing* merupakan langkah awal dimana bahasa pemrograman desain model akan diterjemahkan oleh *Solver Manager*. Model akan dibentuk sedemikian rupa sehingga terdapat beberapa bagian untuk memberikan batasa-batasan aliran fluida yang dijalankan dan membuat model menjadi suatu objek yang akan dialiri fluida. Objek yang dibentuk dalam tahap ini kemudian

diberikan kondisi batas dan kondisi dari fluida yang akan mengalir dalam kondisi batas tersebut untuk dapat dianalisa. Kondisi batas (*boundary*) ini berupa *inlet* (saluran fluida masuk), *outlet* (saluran fluida keluar) dan *wall* (dinding pembatas). Sedangkan fluida pada *software* CFD biasanya dinamakan sebagai domain (Yusuf, 2010).

Software solver CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Semua parameter yang telah dimasukkan dalam program *solver* akan diolah pada *software*. Proses perhitungan atau iterasi harus menentukan kriteria konvergensi yang akan dihitung. Konvergensi yang dimaksud adalah kesalahan atau perbedaan antara estimasi awal dan hasil akhir dari iterasi yang dilakukan oleh *Solver Manager* (Yusuf, 2010).

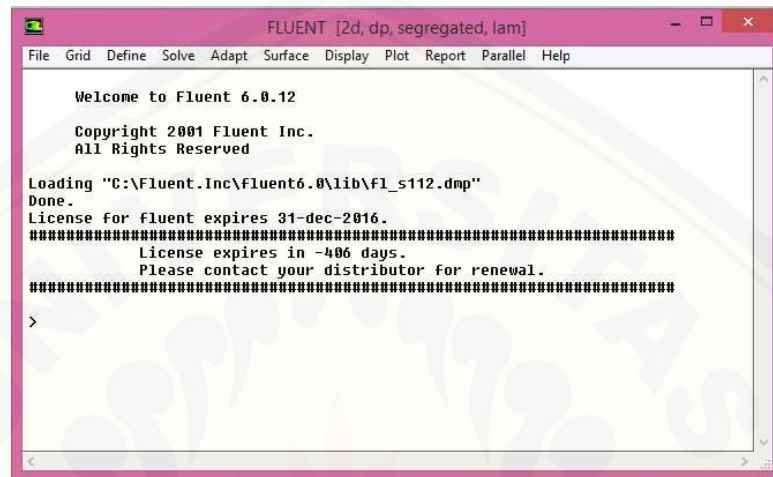
Postprocessing merupakan langkah terakhir dalam analisa CFD. Langkah ini akan menampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap *Solver Manager*. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model (Yusuf, 2010). Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi (Tuakia, 2008: 6).



Gambar 2.8 Tampilan *software* GAMBIT versi 6.0

GAMBIT merupakan singkatan dari *Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*. GAMBIT merupakan salah satu *processor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD, baik berupa *meshing* pada benda 2 dimensi maupun

benda 3 dimensi. Menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) saat penerimaan *input* memudahkan pengguna dalam pembuatan model dan proses *meshing*. GAMBIT dapat mengakomodasi berbagai macam aplikasi pemodelan dan mengimpor dari berbagai format, seperti ACIS, STEP, *Parasolid*, IGES, dan lain-lain, sehingga membuat pemodelan yang dilakukan lebih fleksibel, dapat digabungkan dengan berbagai format *software* pemodelan lain.



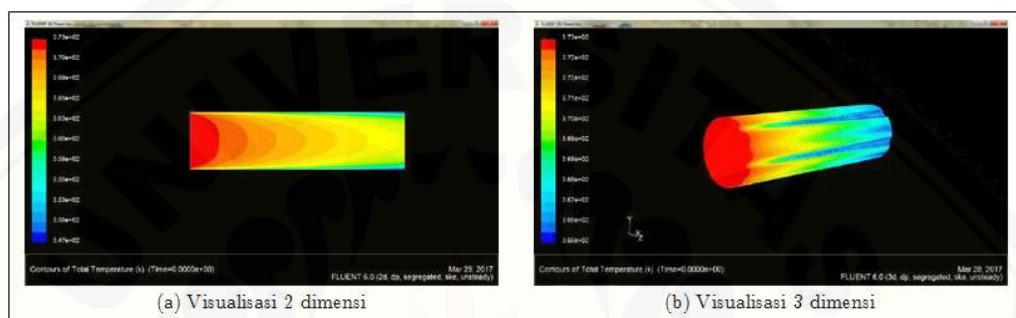
Gambar 2.9 Tampilan *software* FLUENT versi 6.0

Langkah-langkah umum penyelesaian analisis CFD pada FLUENT setelah merencanakan analisis CFD adalah sebagai berikut :

- a. mengimpor *mesh* model yang telah dibuat dengan GAMBIT (*grid*);
- b. melakukan pemeriksaan (*check*) pada *mesh* model;
- c. memilih *solver*;
- d. memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, misalnya laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain;
- e. menentukan sifat material yang akan dipakai;
- f. menentukan kondisi batas;
- g. mengatur parameter kontrol solusi;
- h. *initialize the flow field*;
- i. melakukan perhitungan/iterasi;
- j. memeriksa hasil iterasi;
- k. menyimpan hasil iterasi.

Berdasarkan langkah-langkah di atas, FLUENT dapat menghasilkan hasil simulasi berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya. Indikator-indikator yang sesuai dengan data-data berupa suhu, kecepatan, serta tekanan yang ada pada objek sebenarnya yang kita peroleh dari pengamatan dapat dimasukkan pada langkah-langkah tersebut (Tuakia, 2008: 138). GAMBIT versi 6.0 dan FLUENT versi 6.0 digunakan dalam penelitian ini untuk mensimulasikan model berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya.

Contoh peristiwa dalam kehidupan sehari-hari yang dapat disimulasikan menggunakan FLUENT :



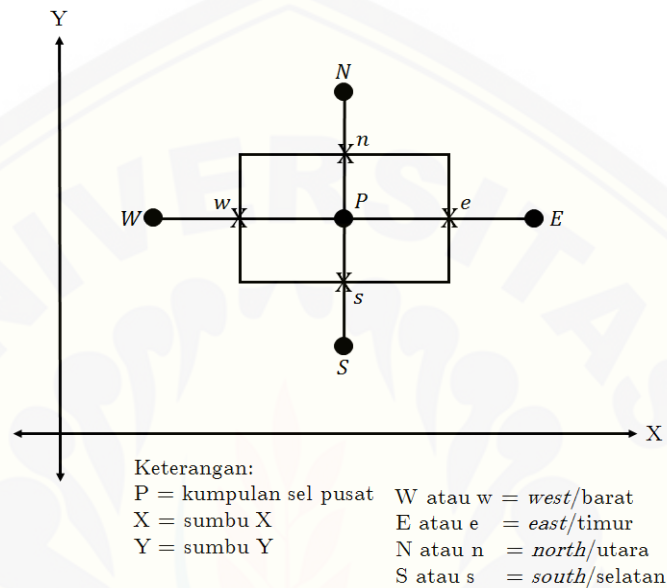
Gambar 2.10 Contoh FLUENT

2.7 Metode Volume Hingga

Metode volume hingga merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menyelesaikan suatu persamaan pemodelan matematika dengan suatu titik-titik diskrit yang kontinu dan setiap titik tersebut memiliki jarak yang sama atau teratur sehingga membentuk grid atau mesh. Metode volume hingga didasarkan pada bentuk integral hukum kekekalan. Metode ini membagi domain menjadi banyak sel dan mengambil nilai pendekatan rata-rata kuantitas dalam setiap sel. Di setiap waktu, nilai-nilai tersebut diperbarui oleh pendekatan flux pada setiap ujung sel. Keakuratan metode ini sangat bergantung pada fungsi flux numeris yang memberikan pendekatan flux yang sesungguhnya sebaik mungkin. Kesalahan yang dihasilkan oleh penampilan metode numeris ini akan dianalisis secara kuantitatif serta melakukan perbandingan antara grafik penyelesaian numeris dengan grafik penyelesaian analitis (Mungkasi, 2011).

Pada penelitian ini menggunakan metode volume hingga karena faktor yang dianalisis berupa temperatur, selain itu Persamaan matematika yang

akan dibangun dalam penelitian ini yaitu persamaan momentum, persamaan kontinuitas massa dan persamaan energi. Dengan menggunakan Metode volume hingga dan diskritisasi QUICK ketiga persamaan akan lebih mudah untuk didiskritisasi. Aliran suatu fluida dapat dibangun menggunakan persamaan matematika yang umumnya menggunakan rumus-rumus fisika seperti hukum kekekalan energi, hukum kekekalan massa, dan hukum kekekalan momentum.

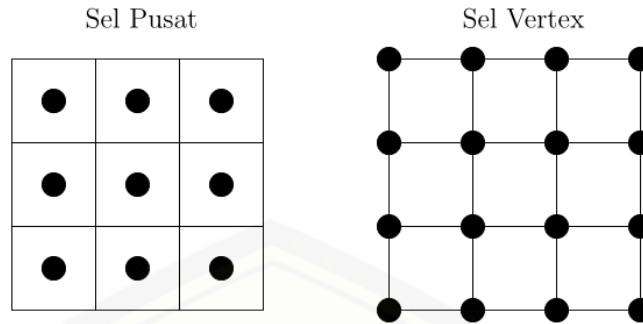


Gambar 2.11 Model Volume Kendali

Penyelesaian aliran fluida pada pembekuan es di dalam ruang *Brine Tank* dengan metode volume hingga ini menggunakan teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK). Teknik diskritisasi QUICK dipilih karena penyelesaian model matematika menggunakan metode volume hingga dan grid pada domain terstruktur. Dengan tiga persamaan alur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika yaitu hukum persamaan momentum, hukum kontinuitas massa dan hukum kekekalan energi.

Pada Gambar (2.12) menunjukkan letak sebuah titik pada volume kendali yang terpusat. Sel pusat berfungsi sebagai titik acuan yang mewakili setiap bagian dari model yang telah dipartisi. Sedangkan sel vertex berfungsi sebagai diskritisasi metode volume hingga. Sel pusat dan sel vertex mewakili bidang yang dimodelkan. Penelitian ini akan digunakan volume kendali dua dimensi seperti pada Gambar

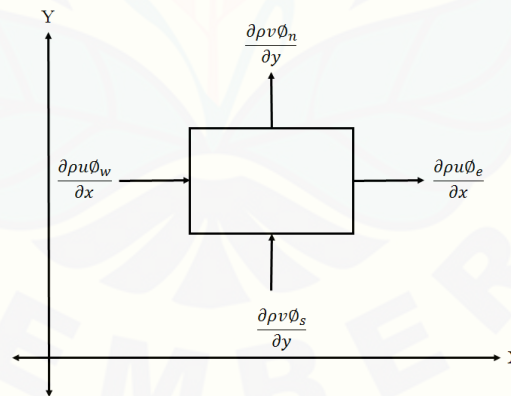
(2.11) untuk memodelkan pembekuan es pada ruang *Brine Tank*.



Gambar 2.12 Sel Pusat dan Sel Vertex

2.7.1 Persamaan Momentum

Persamaan momentum merupakan bentuk persamaan diferensial yang menghubungkan dengan gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali, salah satunya adalah tekanan (P). Gaya yang lain terdiri dari dua jenis, yaitu gaya beban dan gaya permukaan. Gaya beban disebabkan oleh medan dari luar (gravitasi, magnet, elektromagnet) yang bekerja pada keseluruhan massa dalam unsur tersebut (Welty, 2004). Gaya permukaan disebabkan oleh tegangan pada sisi-sisi permukaan volume kendali.



Gambar 2.13 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

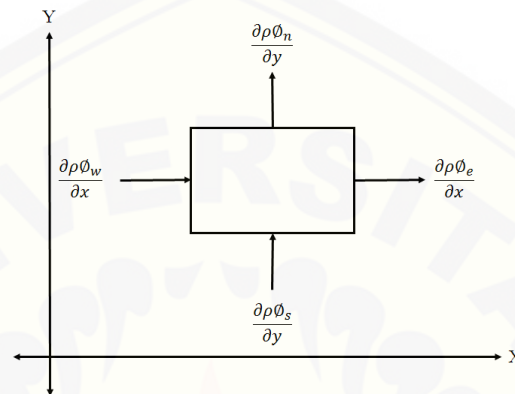
Berdasarkan hukum kekekalan momentum maka rumus umum dari persamaan momentum adalah:

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = \sum F \tag{2.1}$$

Fluks momentum terjadi di keempat sisi seperti pada Gambar 2.6 yaitu dua masuk dan dua keluar. F adalah gaya-gaya ang bekerja pada volume kendali yaitu *pressure/tekanan* (P), *gravitasi* (g), dan *gaya kekentalan* (μ).

2.7.2 Persamaan Kuantitas Massa

Semua persamaan differensial dasar gerak fluida dapat diturunkan dengan meninjau sebuah volume keunsuran atau suatu sistem keunsuran (Welty, 2004).



Gambar 2.14 Bagan Volume Kendali Persamaan Kontinuitas Massa

Aliran melalui setiap sisi unsur itu kira-kira satu dimensi, sehingga rumus umum dari persamaan massa adalah:

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [input-output] = 0 \quad (2.3)$$

Massa dari suatu sistem tertutup akan konstan meskipun terjadi berbagai macam proses di dalam sistem tersebut. Massa dapat berubah bentuk, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.

2.7.3 Persamaan Energi

Semua persamaan differensial dasar gerak fluida dapat diturunkan dengan meninjau sebuah volume keunsuran atau suatu sistem keunsuran (Welty, 2004). Energi dalam sistem merupakan jumlah total semua energi molekul pada sistem.

Apabila usaha dilakukan pada sistem atau sistem memperoleh kalor dari lingkungannya, maka energi dalam sistem akan naik.

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = Source \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [fluks\ energi\ keluar - fluks\ energi\ masuk] = Source \quad (2.5)$$

2.8 Pemrograman MATLAB

2.8.1 MATLAB

Algorithm atau dalam bahasa Indonesia kita sebut dengan algoritma adalah logika, metode dan tahapan (urutan) sistematis yang digunakan untuk memecahkan suatu permasalahan (Utami dan Sukrisno, 2005: 19-20). Algoritma merupakan suatu prosedur yang jelas untuk menyelesaikan suatu persoalan dengan menggunakan langkah-langkah tertentu. Beberapa ciri dari algoritma menurut Donald E. Knuth (dalam Suarga, 2012: 2) adalah sebagai berikut :

- a. algoritma mempunyai awal dan akhir, suatu algoritma memiliki langkah yang terbatas;
- b. setiap langkah harus didefinisikan dengan tepat sehingga tidak memiliki arti ganda dan tidak membingungkan (*not ambiguous*);
- c. memiliki masukan (*input*) sebagai kondisi awal;
- d. memiliki keluaran (*output*) sebagai kondisi akhir;
- e. algoritma harus efektif dan mampu menyelesaikan persoalan bila diikuti benar.

Berdasarkan uraian di atas, algoritma merupakan suatu prosedur sistematis tertentu yang digunakan dalam memecahkan suatu permasalahan. Setiap penyelesaian masalah yang dilakukan sesuai dengan langkah-langkah tertentu yang telah dirancang akan memperoleh suatu penyelesaian dengan tepat.

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan komputasi matematik, menganalisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan, dan menghasilkan tampilan grafik dan antarmuka grafikal (Sianipar, 2013: 1-2). Program ini pada awalnya merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin numerik proyek LINPACK dan EISPACK. Namun sekarang, program ini

merupakan produk komersial dari perusahaan *Mathwork, Inc* yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* (terutama fungsi-fungsi dasar MATLAB). Selain itu, MATLAB merupakan bahasa pemrograman tingkat berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain. MATLAB banyak digunakan pada:

- a. matematika dan komputasi;
- b. pengembangan algoritma;
- c. pemrograman *modeling*, simulasi, dan pembuatan *prototype*;
- d. analisa data, eksplorasi, dan visualisasi;
- e. analisis numerik dan statistik (Pusadan, 2014: 1).

terdapat beberapa tampilan MATLAB terkait dengan pembuatan algoritma dan pemrograman diantaranya *Command Window*, *MATLAB Editor (M-File)*, dan *Figure Window* yang digunakan dalam penelitian ini. *Command window* adalah tampilan utama dari MATLAB dan terbuka saat MATLAB mulai dijalankan. *Command window* dapat digunakan untuk mengeksekusi perintah (*commands*), membuka tampilan yang lain, menjalankan program yang telah ditulis oleh pemrogram (*user*) dan meng-atur MATLAB. Cara menuliskan ekspresi MATLAB pada *command window* yaitu sebelum menulis ekspresi harus didahului dengan tanda *prompt (>>)*. Tanda *prompt* secara otomatis akan muncul pada *software* MATLAB versi baru.

Penulisan barisan ekspresi dalam MATLAB pada *Command Window* biasanya dilakukan pada setiap baris sehingga tidak cocok jika digunakan untuk membuat program yang kompleks. perintah menggunakan *Command Window* sebenarnya tidak efisien dikarenakan barisan yang telah tersimpan di history tidak dapat dibaca kembali seandainya telah keluar dari MATLAB. Apalagi jika dilakukan banyak sekali perulangan barisan perintah yang sama. Sehingga MATLAB menyediakan suatu struktur untuk membuat fungsi anda sendiri atau suatu teknik pemrograman dalam bentuk M-File (*MATLAB editor*). *MATLAB editor* hanya disediakan pada MATLAB versi 5 ke atas. *MATLAB editor* secara spesifik berfungsi sebagai *editor script* (perintah-perintah seperti fungsi, luas,

volume, dll). Langkah-langkah untuk menampilkan MATLAB *editor* yaitu sebagai berikut:

- 1) klik menu *File*, kemudian pilih *New*
- 2) pilih *M-File*, maka MATLAB akan menampilkan MATLAB *editor*.

fitur atau tampilan dalam MATLAB berikutnya yang digunakan dalam menganalisis adalah *Figure Window*. *Figure Window* akan terbuka secara otomatis ketika perintah (*command*) untuk menampilkan grafik dieksekusi. *Figure Window* akan menunjukkan hasil visualisasi dari *script* MATLAB dalam bentuk grafik (dua dimensi atau tiga dimensi). Maka MATLAB merupakan sebuah *software* yang dapat digunakan untuk melakukan komputasi matematik guna menyelesaikan permasalahan yang melibatkan operasi matematika dan mampu menghasilkan grafik. Grafik dari hasil simulasi menggunakan MATLAB versi R2019a tersebut akan dianalisis secara sistematis dan kemudian akan diperoleh sebuah kesimpulan dari permasalahan yang akan diteliti.

2.8.2 Metode Gauss Seidel

Metode iterasi Gauss-Seidel adalah metode yang menggunakan proses iterasi hingga diperoleh nilai-nilai yang berubah-ubah (Samosir, 2014: 56). Suatu sistem persamaan linier dapat dituliskan dengan bentuk $AX = B$ dengan A merupakan matriks koefisien dari X , X merupakan matriks variabel sistem persamaan, dan B merupakan matriks konstanta dari sistem persamaan. Sistem $AX = B$ dan Q adalah matriks non-singular dapat dituliskan dalam bentuk:

$$AX = B \quad (2.6)$$

$$(Q - A)X + AX = (Q - A)X + B$$

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.7)$$

selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.8)$$

Sebuah matriks A dapat dituliskan dalam bentuk $A = L + D + U$, dengan L adalah matriks segitiga bawah, D adalah matriks diagonal, dan U adalah matriks

segitiga atas. $Q = D + L$ dipilih pada iterasi Gauss-Seidel, tetapi pada iterasi SOR dipilih $Q = \frac{1}{\omega}D + L$ dengan ω adalah faktor skala. Sehingga Persamaan menjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 QX^{(k)} &= (Q - A)X^{(k-1)} + B \\
 \left(\frac{1}{\omega}D + L\right)X^{(k)} &= \left(\frac{1}{\omega}D + L - A\right)X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D + D + L - A\right)X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D - U\right)X^{(k-1)} + B \\
 \omega D^{-1}\left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)}\right) &= \omega D^{-1}\left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D - U\right)X^{(k-1)} + B\right] \\
 X^{(k)} &= \omega D^{-1}\left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega}D - D - U\right)X^{(k-1)} + B\right] \\
 X^{(k)} &= -\omega D^{-1}LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1}U)X^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}LX^{(k)} - \omega D^{-1}UX^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}(LX^{(k)} + UX^{(k-1)} - B) \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

untuk $k = 1, 2, 3, \dots$. Sistem persamaan linier merupakan sistem persamaan dengan pangkat dari variabelnya adalah 1. Sistem persamaan linier dengan n persamaan dan n variabel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
 &\vdots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned} \quad (2.10)$$

dapat dituliskan dalam bentuk pemecahan mulai x_1 sampai x_n seperti berikut:

$$\begin{aligned}
x_1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \cdots - a_{1n}x_n) \\
x_2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \cdots - a_{2n}x_n) \\
x_3 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - \cdots - a_{3n}x_n) \\
&\vdots \\
x_n &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1})
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Nilai x_1 yang telah diperoleh pada iterasi Gauss-Seidel kemudian dimasukkan ke dalam x_2 yang akan dicari, karena nilai x_1 yang diperoleh lebih dekat dengan nilai eksak. Selanjutnya untuk mencari nilai x_3 maka tinggal memasukkan nilai x_1 dan x_2 yang telah diperoleh dan seterusnya sampai diperoleh akar dari sistem persamaan tersebut. Berikut contoh langkah-langkah penyelesaiannya:

1. iterasi ke-1

$$\begin{aligned}
x_1^1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \cdots - a_{1n}x_n^0) \\
x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \cdots - a_{2n}x_n^0) \\
x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \cdots - a_{3n}x_n^0) \\
&\vdots \\
x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
\end{aligned} \tag{2.12}$$

2. iterasi ke-2

$$\begin{aligned}
x_1^2 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^1 - a_{13}x_3^1 - \cdots - a_{1n}x_n^1) \\
x_2^2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^2 - a_{23}x_3^1 - \cdots - a_{2n}x_n^1) \\
x_3^2 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^2 - a_{32}x_2^2 - \cdots - a_{3n}x_n^1) \\
&\vdots \\
x_n^2 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^2 - a_{n2}x_2^2 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^2)
\end{aligned} \tag{2.13}$$

3. dan seterusnya sampai langkah k .

Sehingga untuk mencari nilai x_i menggunakan iterasi Gauss-Seidel dengan langkah $k = 1, 2, 3, \dots$ adalah sebagai berikut.

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.14)$$

Sedangkan untuk mencari nilai x_i menggunakan iterasi SOR dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ untuk langkah k adalah sebagai berikut.

$$x_i^k = (1 - \omega)x_i^{k-1} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad (2.15)$$

(Anton, 1987: 359).

Berdasarkan Persamaan (2.9) dan Persamaan (2.15), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss-Seidel. Metode Gauss-Seidel inilah yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linier yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

2.8.3 Galat (*Error*)

Galat atau biasa disebut *error* dalam metode numerik adalah selisih antara nilai eksak (nilai sejati) dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik yang disebut dengan nilai hampiran (nilai aproksimasi). Hasil yang diperoleh dari perhitungan numerik bukanlah hasil yang sama persis dengan nilai sejatinya. Nilai aproksimasi akan selalu memiliki selisih dengan nilai eksak, karena nilai aproksimasi merupakan hasil yang diperoleh dengan proses iterasi (*looping*) untuk menghampiri nilai sebenarnya. Galat merupakan Salah satu aspek peting yang harus diperhatikan dalam perhitungan komputasi numerik adalah keakuratan hasil yang diperoleh (Sianipar, 2013). Hal ini dikarenakan penyelesaian yang diperoleh melalui komputasi numerik masih memuat beberapa galat. Adanya galat bukan berarti nilai hampiran yang diperoleh dengan metode numerik salah, karena galat tersebut dapat ditekan sekecil mungkin sehingga hasil yang didapat sangat mendekati nilai sebenarnya. Galat (*error*) disimbolkan dengan E , jawaban sebenarnya disimbolkan dengan X_T , dan

jawaban pendekatan atau jawaban yang diperoleh dari proses iterasi disimbolkan dengan X_A , maka galat dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Error}(E) = X_T - X_A$$

Menurut Lukanto (2011: 6) galat dapat digolongkan dalam dua jenis yaitu:

a. Galat Mutlak

Kesalahan mutlak dari suatu angka, pengukuran, atau perhitungan adalah perbedaan numerik nilai sesungguhnya terhadap nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil iterasi atau perhitungan. Jika a' adalah nilai pendekatan dari nilai eksak a . maka galat mutlak dari a adalah:

$$E_a = a - a' = \delta a$$

b. Galat Relatif (E_R)

$$E_R = \frac{E_a}{a} = \frac{\delta a}{a}$$

E_R atau δa didefinisikan sebagai galat relatif, kemudian persentase galat dihitung dari galat relatif yang diberikan dalam bentuk :

$$P_R = 100E_R$$

Selain itu terdapat tiga sumber utama penyebab galat dalam perhitungan numerik:

- a. Galat percobaan (galat bawaan/melekat) dapat terjadi karena kekeliruan dalam memberikan data atau kesalahan dalam asumsi terhadap data.
- b. Galat pemotongan (pemotongan barisan langkah komputasi) merupakan penentuan nilai sebagai angka pecahan yang dinormalisir. Penurunan rumus dalam metode numerik menggunakan proses iterasi yang jumlahnya tak terhingga, sehingga jumlah iterasi dibatasi sampai langkah ke- n dalam proses penghitungannya. Hasil hampiran diperoleh dari hasil penghitungan sampai langkah ke- n , sedangkan nilai penghitungan langkah n keatas merupakan galat pemotongan. Galat pemotongan akan menjadi semakin kecil jika nilai n diperbesar, namun jumlah proses penghitungannya akan semakin banyak.
- c. Galat pembulatan merupakan penentuan jumlah angka di belakang koma. Hampir semua proses penghitungan dalam metode numerik menggunakan

bilangan real. Adanya galat pembulatan dikarenakan penyajian bilangan real yang panjangnya tak terhingga tidak bisa disajikan secara tepat.

Berdasarkan uraian di atas, keakuratan hasil yang diperoleh dalam perhitungan komputasi numerik harus diperhatikan karena hasil yang diperoleh masih memuat beberapa galat. Galat dari proses iterasi semakin kecil menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh semakin mendekati nilai sebenarnya. Adapun batasan galat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,01.

2.9 Teknik Diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics* (QUICK)

Diskritisasi adalah cara yang digunakan untuk memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah-daerah kecil yang disebut dengan *grid* atau *mesh* dengan tujuan untuk mempermudah dalam memperoleh penyelesaian atau solusi numerik. Dalam penelitian ini, teknik diskritisasi yang digunakan adalah teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics* (QUICK). Bentuk geometris dari aliran fluida pada masing-masing domain dibuat dalam bentuk *grid*. *Grid* dari domain dapat berupa *grid* yang terstruktur atau *grid* tidak terstruktur dan *grid* dalam koordinat kartesius atau *grid* non kartesius. Masing-masing *grid* memiliki kontrol *face* dan kontrol *node*. Kontrol bidang untuk tiga dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_n, \phi_s, \phi_b, \phi_t$, sedangkan kontrol titik terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_N, \phi_S, \phi_B, \phi_T$. Penyebaran polutan pada PLTU akan dimodelkan dalam dua dimensi pada arah horizontal (pada sumbu x) dan arah vertikal (pada sumbu y). Kontrol *face* untuk dua dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_s, \phi_n$, sedangkan kontrol titik terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_S, \phi_N$ (Fatahillah, 2014).

Pendiskritisasian dengan menggunakan metode QUICK untuk merubah nilai pada bidang menjadi nilai pada titik, diilustrasikan seperti Gambar 2.16

QUICK *scheme* pada Apsley (dalam Fatahillah, 2014), untuk kecepatan lebih besar dari nol adalah:

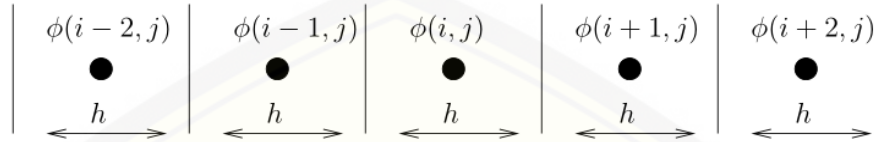
$$\phi_n(i, j) = \phi(i, j) + g_1(\phi(i + 1, j) - \phi(i, j)) + g_2(\phi(i, j) - \phi(i - 1, j)) \quad (2.16)$$

dengan bobot g_1 :

$$g_1 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i, j) - \phi(i - 1, j)]}{[\phi(i + 1, j) - \phi(i, j)][\phi(i + 1, j) - \phi(i - 1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{3}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{3}{8} \quad (2.17)$$

dan bobot untuk g_2 :

$$g_2 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i + 1, j) - \phi(i, j)]}{[\phi(i + 1, j) - \phi(i, j)][\phi(i + 1, j) - \phi(i - 1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{1}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{1}{8} \quad (2.18)$$



Gambar 2.15 Diskritisasi QUICK

Substitusikan nilai g_1 dan g_2 , sehingga diperoleh rumus untuk $\phi_n(i, j)$:

$$\begin{aligned} \phi_w(i, j) &= \phi(i - 1, j) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i - 1, j)] + g_2[\phi(i - 1, j) - \phi(i - 2, j)] \\ &= \phi(i - 1, j) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i - 1, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i - 1, j) - \phi(i - 2, j)] \\ &= -\frac{1}{8}\phi(i - 2, j) + \frac{3}{4}\phi(i - 1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai $\phi_s(i, j)$, $\phi_e(i, j)$, $\phi_w(i, j)$ yaitu:

$$\begin{aligned} \phi_s(i, j) &= \phi(i, j - 1) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)] + g_2[\phi(i, j - 1) - \phi(i, j - 2)] \\ &= \phi(i, j - 1) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j - 1) - \phi(i, j - 2)] \\ &= -\frac{1}{8}\phi(i, j - 2) + \frac{3}{4}\phi(i, j - 1) + \frac{3}{8}\phi(i, j) \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \phi_e(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i + 1, j) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i - 1, j)] \\ &= \phi(i, j) + \frac{3}{8}[\phi(i + 1, j) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i - 1, j)] \\ &= -\frac{1}{8}\phi(i - 1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i + 1, j) \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned}
\phi_n(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i, j + 1) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)] \\
&= \phi(i - 1, j) + \frac{3}{8}[\phi(i, j + 1) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i, j - 1) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j + 1)
\end{aligned} \tag{2.22}$$

Keterangan:

g_1 = gaya permukaan 1,

g_2 = gaya permukaan 2,

i = diskritisasi pada sumbu x,

j = diskritisasi pada sumbu y,

ϕ_n = kontrol permukaan *north* atau utara,

ϕ_s = kontrol permukaan *south* atau selatan,

ϕ_e = kontrol permukaan *east* atau timur,

ϕ_w = kontrol permukaan *west* atau barat.

2.10 Penelitian yang Relevan

Adapun beberapa penelitian yang relevan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Sukborom, Susana, dan Juan (2017) dengan judul "*Effects of feed water temperature, pool temperature, and pool side heat transfer coefficient on freezing time of the conventional block ice production*". Penelitian ini mendeskripsikan mengenai pengaruh temperatur air garam *brine*, temperatur awal air bahan baku es balok dan koefisien transfer dinding kolam terhadap pembekuan di pabrik es balok konvensional. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa temperatur air kolam berpengaruh terhadap pembekuan es. Namun dalam penelitian tersebut belum dilakukan simulasi dengan FLUENT sehingga pergerakan fluida saat proses pembekuan tidak terlihat. Pembaharuan dari penelitian sebelumnya adalah melakukan simulasi menggunakan FLUENT. Pengaruh terhadap model matematika pembekuan es lebih dikembangkan
- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Tomasz Michaek dengan judul "*Simulations of the water freezing process - numerical benchmarks*". Penelitian ini mendeskripsikan tentang proses pembekuan air. Berdasarkan hasil penelitian

tersebut diketahui bahwa dalam proses pembekuan air terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Pembekuan yang diamati merupakan pembekuan air dalam skala kecil. proses simulasinya menggunakan bentuk objek 2 dimensi. Pemberuan dari sebelumnya adalah objek yang diamati merupakan system brine tank di suatu pabrik dan simulasi berbentuk 3-dimensi. pembekuannya

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini akan dibahas mengenai pembekuan es pada ruang *brine tank* pabrik es balok Talangsari Jember. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperature air garam, kandungan garam dan kelembapan udara terhadap pembekuan es pada ruang *brine tank*. Penelitian ini menggunakan metode volume hingga dengan diskritisasi QUICK dalam penyelesaian model matematika. Proses simulasi dan analisis model matematika tersebut menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian sangat penting bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian simulasi. Penelitian simulasi merupakan sebuah *replikasi* atau visualisas dari perilaku sebuah sistem. Secara umum simulasi merupakan sebuah model yang berisi seperangkat variabel yang menampilkan ciri utama dari sistem kehidupan nyata. Penelitian simulasi bertujuan untuk mencari gambaran melalui sebuah sistem berskala kecil dimana di dalam model tersebut akan dilakukan control terhadap suatu variabel yang telah ditentukan untuk melihat pengaruhnya. Simulasi memungkinkan keputusan-keputusan yang akan menentukan bagaimana ciri-ciri utama itu bisa dimodifikasi secara nyata. Pada penelitian ini, peneliti memodelkan proses pembekuan es di ruang *brine tank* menggunakan metode volume hingga sehingga diperoleh hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya. Dalam penelitian murni(*pure research*)

3.2 Definisi Operasional

Peneliti mendefinisikan beberapa istilah yang perlu dipahami untuk menghindari salah penafsiran, maka disajikan beberapa definisi operasional sebagai berikut.

1. Analisis numerik adalah kegiatan menganalisis galat(*error*) dan kecepatan konvergensi sebuah metode.
2. *Brine Tank* adalah ruang atau wadah berfungsi menurunkan temperatur air sehingga air membeku menjadi es. Pada ruang *Brine Tank* terdapat sistem yang mempengaruhi proses pembekuan es tersebut. Kemudian sistem di dalam *Brine Tank* tersebut akan dimodelkan kedalam model matematika.
3. Model matematika adalah bentuk representasi dari proses pembekuan es di ruang *Brine Tank* dalam bentuk persamaan matematika. Persamaan tersebut

menyajikan relasi antara variabel dan parameter yang terlibat dalam sistem.

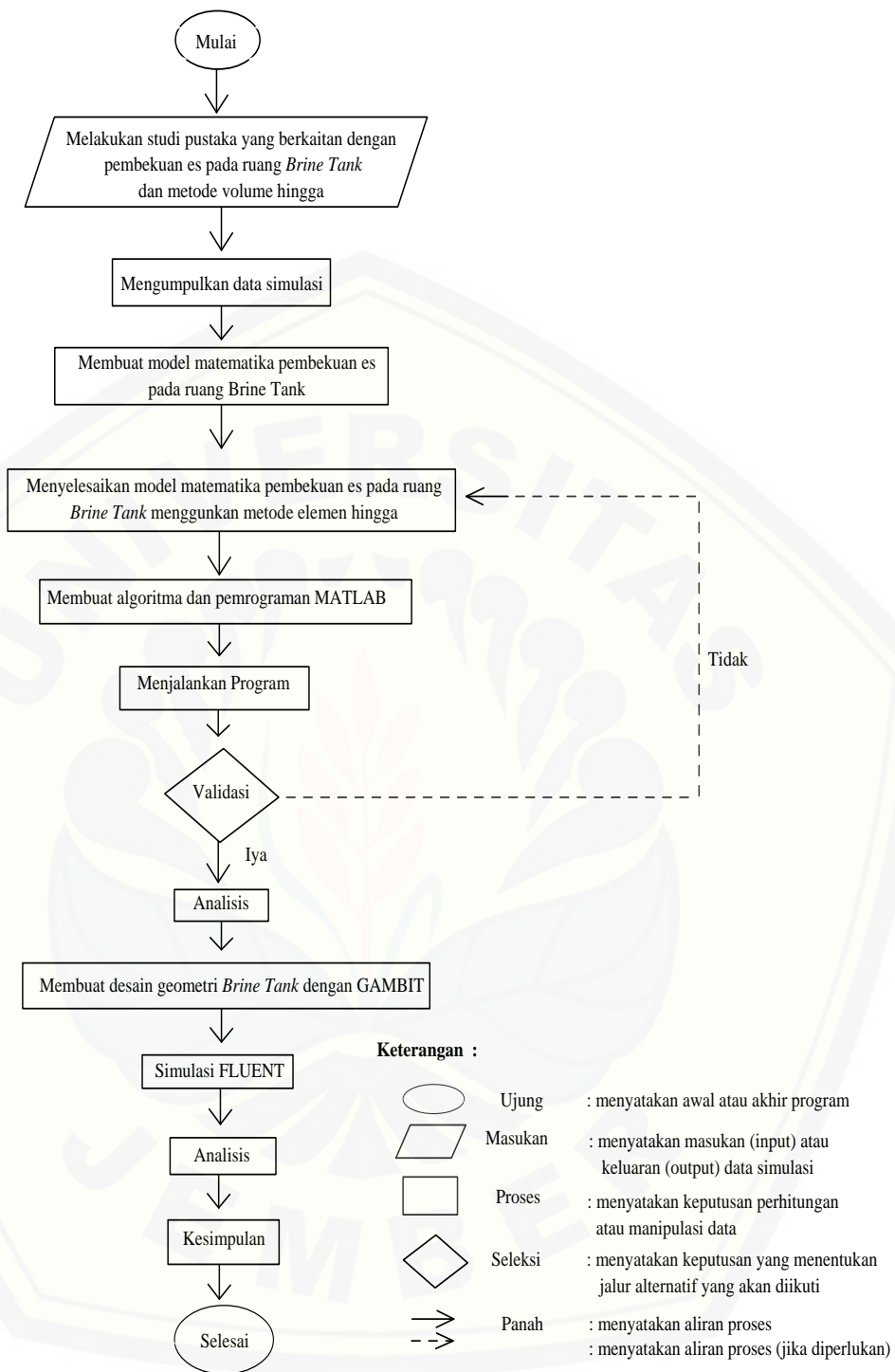
4. Metode volume hingga adalah metode pendekatan numerik yang digunakan untuk menyelesaikan model matematika dari proses pembekuan es di ruang *Brine Tank*.

3.3 Prosedur Penelitian

Suatu penelitian memerlukan prosedur penelitian sebagai acuan dasar langkah-langkah berupa serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memperoleh data-data yang akan dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun prosedur penelitian ini yaitu:

1. melakukan studi pustaka yang berkaitan tentang proses pembekuan pada ruang *brine tanks* serta variabel-variabel yang mempengaruhi pembekuan dan metode volume hingga;
2. mengumpulkan data berdasarkan variabel-variabel yang ditentukan, data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data simulasi;
3. membentuk model matematika dari persamaan momentum dan persamaan kontinuitas massa guna, serta persamaan energi;
4. menyelesaikan model matematika menggunakan volume hingga;
5. membuat algoritma dan pemrograman MATLAB;
6. menganalisis algoritma dari model matematika pada proses pembekuan pada ruang *brine tank*;
7. membuat desain geometri dan menentukan kondisi batas proses pembekuan pada ruang *brine tank* menggunakan GAMBIT;
8. membuat simulasi model proses pembekuan es di ruang *brine tank* menggunakan FLUENT;
9. menganalisis hasil dari penyimulasian dengan FLUENT ;
10. memberikan kesimpulan dan hasil.

Untuk lebih memahami langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat dalam diagram alir (*flowchart*) dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

3.4 Tempat Penelitian

Penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* pada penelitian ini dilakukan di laboratorium matematika gedung III FKIP Universitas Jember dengan sarana dan prasarana pendukung yang telah tersedia yaitu adanya komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan program FLUENT untuk simulasi pemodelan serta sumber-sumber lainnya.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ilmiah adalah prosedur yang sistematis untuk memperoleh data yang diperlukan (Satori dan Komariah, 2013: 103). Kegiatan mengumpulkan data bertujuan untuk memperoleh data atau informasi yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian. Metode dokumentasi berfungsi untuk menghimpun bahan-bahan yang dipergunakan di dalam kerangka atau landasan teori secara kolektif dan dalam penyusunan hipotesis secara tajam (Sugiyono, 2014: 181). Data penelitian yang dikumpulkan berupa fakta-fakta mengenai objek yang diteliti.

Metode dokumentasi yaitu metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda dan sebagainya (Arikunto, 1992). Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi suhu pembekuan pada ruang *brine tank*, ukuran cetakan es, volume cairan pendingin dalam *brine tank* dan konsentrasi *brines* (larutan garam) dengan mempelajari jurnal ilmiah, data-data dari internet serta hasil observasi dan wawancara ke salah satu pabrik es balok di Jember.

Metode wawancara adalah proses memperoleh keterangan untuk tujuan penelitian dengan cara tanya jawab. Metode wawancara dilakukan dengan tanya jawab pada salah satu karyawan Pabrik es Talangsari Jember dengan tujuan untuk mencari data fisik dari *brine tank* Pabrik es Talangsari Jember yang meliputi ukuran *brine tank* (m), ukuran cetakan es balok (m), kecepatan aliran gas pendingin (kondensor) (m/s), perbandingan garam dan air yang digunakan.

3.6 Analisis Data

Data memberikan gambaran tentang suatu keadaan atau persoalan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data simulasi. Analisa data

merupakan proses akhir yang sangat penting dalam suatu penelitian. Analisis data diperlukan guna menyusun data sehingga dapat dimengerti dengan mudah. Data yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan secara sistematis dan dianalisa secara logis berdasarkan rancangan penelitian yang telah disusun. Hasil analisis data tersebut kemudian digunakan sebagai acuan dalam penarikan kesimpulan dari hasil suatu penelitian yang telah dilakukan.

Langkah pertama adalah membangun model matematika proses pembekuan es di ruang *brine tank*. Langkah berikutnya, menyelesaikan model matematika tersebut menggunakan metode volume hingga. Tahap selanjutnya melakukan diskritisasi menggunakan teknik QUICK hingga diperoleh matriks yang menyatakan persamaan dari setiap kontrol volume atau setiap node. Dari persamaan ini, peneliti akan menyelesaikan secara numerik menggunakan program MATLAB sehingga diperoleh penyelesaian yang konvergen. Hasil dari penyelesaian tersebut mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Hasil yang diperoleh dari perhitungan dikatakan benar apabila terdapat *error* yang kecil antara perhitungan MATLAB dengan nilai eksak. Akan tetapi, apabila hasil dari perhitungan MATLAB dengan sebenarnya terdapat perbedaan yang signifikan, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan pengecekan ulang proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB hingga diperoleh hasil yang benar. Batasan untuk toleransi pada metode iterasi adalah 0,001. Keakuratan model matematika pada pembekuan di ruang *brine tank* dapat ditentukan dengan menggunakan *error* yang terdapat pada metode Gauss-Seidel setelah melakukan simulasi model matematika proses pembekuan pada ruang *brine tank*. Model matematika yang dibentuk pada GAMBIT adalah proses pembekuan pada ruang *brine tank*, kemudian model matematika tersebut akan disimulasikan dengan FLUENT. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, model matematika proses pembekuan pada ruang *brine tank* yang disajikan dalam *output* kontur gambar secara dua dimensi akan dapat dilihat secara jelas.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Model matematika proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank* merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum dan persamaan energi serta diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan diskritisasi QUICK sebagai berikut.

$$\left[\frac{T_0 \alpha \rho c_p}{\alpha \rho c_p T_0 + \alpha_1 \rho_1 c_{p1} T_{kolam}} - 1 \right] \left[\left(\rho u (T_w - T_e) \Delta t \Delta y \Delta z \right) + \left(\rho v (T_s - T_n) \Delta t \Delta x \Delta z \right) + \left(\rho \omega (T_f - T_r) \Delta t \Delta x \Delta y \right) \right] = \left(\mu T_0 + \sigma \frac{\rho \gamma}{\frac{1}{2}(\rho + \rho_1)} \right) \left(\Delta t \Delta y \Delta z + \Delta t \Delta x \Delta z + \Delta t \Delta x \Delta y \right)$$

2. Temperatur awal memiliki pengaruh pada proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank*. Pada node-2 ke node-3 temperatur es dengan temperatur awal 301 terjadi penurunan suhu yang besar dibandingkan temperatur awal 302 dan temperatur awal 303. Hal itu disebabkan dari node-3 cetakan terendam di air garam. Sehingga semakin rendah temperatur awal yang digunakan, maka temperatur air semakin cepat menurun sehingga proses pembekuan es balok semakin cepat.
3. Temperatur kolam memiliki pengaruh pada proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank*. Pada node-13 penurunan temperatur es mulai stabil ditandai dengan jarak antar grafik relatif sama. Hal itu disebabkan pada node-13 temperatur es berjalan menuju temperatur kolam masing-masing. Sehingga semakin rendah temperatur kolam yang digunakan, maka

temperatur air semakin cepat menurun sehingga proses pembekuan es balok semakin cepat.

4. Kosentrasi garam memiliki pengaruh pada proses pembekuan es balok di ruang *Brine Tank*. Pada node-2 ke node-3 temperatur es dengan kosentrasi garam 0.5 M terjadi penurunan suhu lebih besar dibandingkan kosentrasi garam 0.4 M dan kosentrasi garam 0.3 M. Hal itu disebabkan dari node-3 cetakan terendam di air garam. Semakin tinggi kosentrasi garam yang digunakan, maka temperatur air semakin cepat menurun sehingga proses pembekuan es balok semakin cepat.
5. Metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis temperatur setiap node pada proses pembekuan es di ruang *Brine Tank* dengan *error* yang diperoleh kurang dari 0.001.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis numerik pada proses pembekuan es di ruang *Brine Tank*:

1. Pemodelan matematika proses pembekuan es di ruang *Brine Tank* menggunakan metode volume hingga ini dapat dikembangkan dengan melakukan penelitian berdasarkan analisis faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses pembekuan es balok.
2. Simulasi proses pembekuan es di ruang *Brine Tank* dapat menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT dengan versi terbaru ataupun menggunakan *software* simulasi selain MATLAB dan FLUENT.

DAFTAR PUSTAKA

- Arhami, M. dan A. Desiani. 2005. *Pemrograman MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Arikunto, S. 1992. *Prosedur Penelitian Suatu Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Fatahillah, A. 2012). *Mathematical Modelling and Numerical Solution of Iron Corrosion Problem Based on Condensation Chemical Properties*.IIUM Engineering Journal. , NO.12, Vol.6, hal 106-112.
- Fatahillah, Dafik, EE Riastutik, Susanto. 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffee Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern using Finite Volume Method*. Unej, No. 9, Vol. 7, hal 28.
- Fatahillah, Arif. 2014. *Analisis Numerik Profil Sedimentasi Pasir pada Pertemuan Dua Sungai Berbantuan Software Fluent*. Kadikma, No. 3, Vol. 5, hal 35-40.
- Halliday, Resnick, dan Walker. 2005. *Fisika Dasar (Edisi 7)*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyanti, Dafik, dan Fatahillah. 2015. *Analisis Kecepatan Aliran Hidrogen Peroksida (H₂O₂) Pada Sterilisasi Sahursn Akar Gigi Menggunakan Metode Numerik Volume Hingga*). Kadikma, No.2, Vol.6, Hal 13-26.
- Hidayati, B., hendradinata. (Desember, 2016 . *Analisis Performa Pengaruh Jumlah Kandungan Garam (Nacl) Pada Industrial Ice Balok Maker Sebagai Condary Refrigerant* . Jurnal PETRA, NO.2, Vol.2, hal 27-30.
- Iramawati, Chandra, dkk. 2018. *Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembapan dan Suhu Udara terhadap konsentrasi SO₂ Ambien dan Pemetaan SO₂ Ambien di Sekitar PT. Kawasan Industri Medan*. Jurnal Dampak, Vol. 15, No. 2, hal 72-76.

- Iswanto, R. J. 2012. *Pemodelan Matematika Aplikasi dan Terapannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Koestoer, R. A. 2002. *Perpindahan Kalor: untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba.
- Luknanto, D. 2001. *Metode Numerik*. Yogyakarta: Teknik Sipil FT UGM.
- Manonama, Tiny dan W. Soetopo. (Juni, 2008). *Pemodelan Sebagai Sarana dalam Mencapai Solusi Optimal*. [Online]. Jurnal Teknik Sipil, No.3, Vol 8, hal 184-192.
- Michalek, T. (Januari, 2003) . *Simulations Of The Water Freezing Process - Numerical Benchmarks*. TASK QUARTERLY 7 No.3, hal 389-408.
- Mulyadi, Muhammad. 2009. *Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat terbang dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD)*. [online]. <http://www.gunadarma.ac.id> [16 Juli 2019]
- Mungkasi, Sudi. 2011. *Metode Volume Hingga untuk Menyelesaikan Masalah Bendungan Bobol*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Munir, Rinaldi. 2015. *Metode Numerik*. Bandung: Informatika Bandung.
- Nazir. 2005. *Metode Penelitian*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Orona, D. J., Susana E. Z., dan J. M. Peralta. 2017. *Computational Fluid Dynamics Combined With Discrete Element Method and Discrete Phase Model For Studying A Food Hydrofluidization System*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.

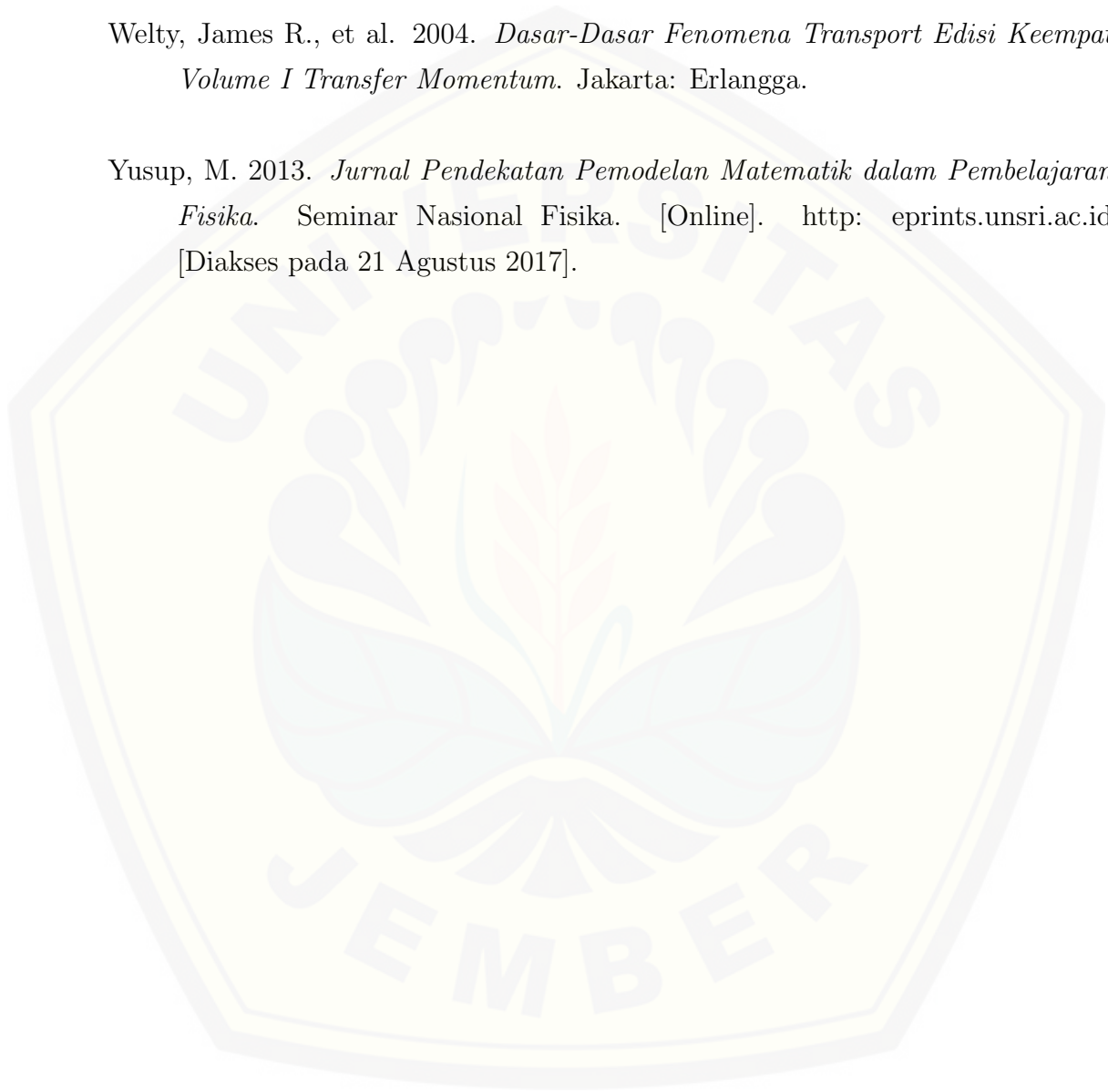
- Samosir, K. K. dan Masykur. (Mei, 2014). *Perbandingan Metode Fast-Decouple dan Metode Gauss-Seidell dalam Solusi Aliran Daya Sistem Distribusi 20KV dengan Menggunakan Etap Power Station dan MATLAB*. Singuda Ensikom, No. 2, Vol. 7, hal 55-60.
- Santoso. 1984. *Pemodelan Matematika*. Jakarta: Erlangga.
- Saputro, G. W. (Maret, 2018). *Pengaruh Kecepatan Aliran Air Garam Terhadap Perpindahan Panas Pada Permukaan Blok Es Di Mesin Pembuat Es.No.3*, Vol 8, hal 1-17.
- Satori, D. dan A. Komariah. 2013. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Sianipar, R. H. 2013. *Pemrograman MATLAB dalam Contoh dan Terapan*. Bandung: Informatika.
- Sukborom P., Chinsuwan A. (Mei, 2017). *Effects of feed water temperature, pool temperature, and pool side heat transfer coefficient on freezing time of the conventional block ice production*. International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies. Energy Procedia 79 (2017). hal 63-68.
- Suarga. 2012. *Algoritma dan Pemrograman*. Yogyakarta: Andi.
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Sumardi, K. (Agustus, 2016). *Reformulasi Larutan Antibeku (Antifreezes) Sebagai Refrigeran Sekunder Pada Sistem Refrigerasi*. Jurnal Teknik. No.2, Vol 8, hal 4-9.
- Tuakia, F. 2008. *Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika.

Utami, E. dan Sukrisno. 2005. *10 Langkah Belajar Logika dan Algoritma, Menggunakan Bahasa C dan C++ di GNU/Linux*. Yogyakarta: Andi.

White, Frank M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.

Welty, James R., et al. 2004. *Dasar-Dasar Fenomena Transport Edisi Keempat Volume I Transfer Momentum*. Jakarta: Erlangga.

Yusup, M. 2013. *Jurnal Pendekatan Pemodelan Matematik dalam Pembelajaran Fisika*. Seminar Nasional Fisika. [Online]. [http: eprints.unsri.ac.id](http://eprints.unsri.ac.id) [Diakses pada 21 Agustus 2017].




LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Matrik Penelitian

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Jenis Penelitian
Analisis Numerik Pada Pembekuan Es di Ruang <i>Brine Tank</i> Pabrik Es Balok Talangsari Jember Metode Volume	1. Bagaimana model matematika pada pembekuan es di ruang <i>Brine Tank</i> 2. Bagaimana analisis pengaruh temperatur <i>Brine</i> terhadap pembekuan es di ruang <i>Brine Tank</i> menggunakan metode volume hingga? 3. Bagaimana analisis pengaruh konsentrasi garam terhadap pembekuan es di ruang	1. Model matematika 2. konsentrasi garam 3. Temperatur air garam 4. Temperatur air bahan es	1. Menentukan model matematika pada pembekuan es di ruang <i>Brine Tank</i> . 2. Mengetahui pengaruh konsentrasi air garam terhadap pembekuan es di ruang <i>Brine Tank</i> . 3. Mengetahui pengaruh temperatur air garam terhadap pembekuan es di ruang <i>Brine Tank</i> . 4. Mengetahui pengaruh temperatur air bahan es	1. Pabrik es balok Talangsari Jember 2. Sukborom, Susana, dan Juan (2017). <i>Effects of feed water temperature pool temperature, temperature, and pool side heat transfer coefficient on freezing time</i>	Penelitian Murni

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Jenis Penelitian
	<p><i>Brine tank</i> menggunakan metode volume hingga ?</p> <p>4. Bagaimana analisis pengaruh temperatur awal air terhadap pembekuan es di ruang <i>Brine tank</i> menggunakan metode volume hingga ?</p> <p>5. bagaimana efektifitas metode volume dalam pembekuan es di ruang <i>Brine tank</i> ?</p> <p>6. bagaimana cara mengasah kemampuan <i>Technological Knowledge</i> melalui analisis numerik pada pembekuan es di ruang <i>Brine tank</i> ?</p>		<p>terhadap pembekuan es di ruang <i>Brine tank</i>.</p> <p>5. Mengetahui efektifitas metode volume hingga dalam menganalisis aliran fluida pada pembekuan es di ruang <i>Brine tank</i>.</p> <p>6. Mengetahui cara mengasah kemampuan TCK melalui analisis numerik pada pembekuan es di ruang <i>Brine tank</i> menggunakan metode volume hingga</p>	<p>of the conventional block ice production Journal Computers and Fluids.</p>	

LAMPIRAN B. Surat Izin Penelitian



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
Telepon: (0331)- 330224, 334267, 337422, 333147 • Faksimile: 0331-339029
Laman: www.fkip.unej.ac.id

Nomor : 9 1.2 8JN25.1.5/LT/2019
Lampiran : -
Hal : Permohonan Izin Penelitian

12 NOV 2019


Yth. General PT. Pabrik Es Wira Jatim

Diberitahukan dengan hormat, bahwa mahasiswa FKIP Universitas Jember di bawah ini:

Nama : Akhmad Sholihin
NIM : 160210101061
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Matematika
Rencana Penelitian : Bulan November 2019

Berkenaan dengan penyelesaian studinya, mahasiswa tersebut bermaksud melaksanakan penelitian di instansi yang saudara pimpin dengan judul "Analisis Numerik Proses Pembekuan Es Balok di Ruang *Brine Tank* Pabrik Es Talangsari Jember Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah Kemampuan TCK". Sehubungan dengan hal tersebut, mohon saudara memberikan izin dan sekaligus memberikan bantuan informasi yang diperlukan.

Demikian permohonan ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasama yang baik kami sampaikan terima kasih.

a.n. Dekan
Wakil Dekan I,

Prof. Dr. Suratno, M.Si
NIP. 196706251992031003

LAMPIRAN C. HASIL SIMULASI PROGRAM MATLAB

B.1 Format *Programming* Simulasi Proses Pemebejukan Es di Ruang *Brine Tank* Berdasarkan Temperatur Awal Menggunakan Metode Iterasi Gauss Seidel.

```

clear all; clc;

disp('=====');
disp('= SIMULASI PROGRAM PROSES PEMBEKUAN ES DI RUANG BRINE TANK =');
disp('=          PABRIK ES BALOK TALANGSARI JEMBER          =');
disp('=          Dipengaruhi Oleh TEMPERATUR AWAL          =');
disp('=          Menggunakan Metode Gauss-Seidel          =');
disp('=          Oleh: AKHMAD SHOLIHIN          =');
disp('=          NIM 160210101061          =');
disp('=====');
%TAHAP INPUT
m=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu x = ');
n=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu y = ');
l=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu z = ');
u1=input('Temperatur awal 1 (K) = ');
u2=input('Temperatur awal 2 (K) = ');
tol=input('masukkan batas toleransi = ');
for i=1:m*n*l;
    k=1:1;
    X0(i,k)=input(['Tebakan awal X (',num2str(i),':',num2str(k),')=']);
end
%TAHAP INISIALISASI
deltx=0.15;
delty=0.15;
deltaz=0.3 ;
deltt=10 ;
rho=999.8;           %Massa jenis air (kg/m3)
alfa=0.001003;      %Viskositas Dinamis Air (kg/ms)
cp=4182;            %Kalor Tetap Air (kJ/kg K)

```

```

rho1=12225.6;           %Massa jenis Larutan Garam (kg/m3)
alfa1=0.00186;        %Viskositas Dinamis garam (kg/ms)
cp1=10244.5;          %Kalor Tetap larutan garam (kJ/kg K)
Tkolam=266;;          %Temperatur Kolam (K)
u=-0.015;             %kecepatan sb x
v=-0.015;             %kecepatan sb y
w=-0.015;             %kecepatan sb z
sigma=0.0735;         %tekanan permukaan (N/m)
miu=0.5;              %Koefisien Momentum Partikel
gamma=1;              %koefisien damping
QS=alfa1*rho1*cp1*Tkolam; %Rumus kalor
for T0=T1:dt:T3;
    Q0=T0*alfa*cp*rho;
    Q1=(T1-21)-14.*(1-1./(x.^(7/5)));
    Q2=(T1+dt-18)-18.*(1-1./(x.^(7/5)));
    Q3=(T3-15)-22.*(1-1./(x.^(6/5))) ;
X_all=[];
%Pendefinisian Matriks
A =((-1/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
B =((7/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
C =((-3/8)*rho*((3*T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*(u*Deltat*Deltay*Deltaz +
    v*Deltat*Deltax*Deltaz+ w*Deltat*Deltay*Deltax
D =((-3/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
E =((-1/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
F =((7/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
G =((-3/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz

```

```

H =((-1/8)*rho*w*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltay
I =((7/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltay
J =((-3/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))+1)*Deltat*Deltax*Deltay
K =((miu*T0)+(sigma*(rho*gamma)/((1/2)*(rho+rh1))))*
    Deltat*Deltay*Deltaz +((miu*T0)+ (sigma*(rho*gamma)/
    ((1/2)*(rho+rh1))))*Deltat*Deltax*Deltaz+((miu*T0)
    +(sigma*(rho*gamma)/((1/2)*(rho+rh1))))*Deltat*Deltax*Deltay
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
P=zeros(m*n*1:m*n*1);
%pendefinisian untuk i,j,k
P(1:m*n*1+1:m^2*n^2*1^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j,k
P(m*n*1+1:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-1)=D;
%pendefinisian untuk i-1,j,k
P(2:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-(m*n*1-1))=B;
%pendefinisian untuk i-2,j,k
P(3:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-(m*n*1))=A;
%pendefinisian untuk i,j+1,k
P(n*m*(m*m*1)+1:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-4)=G;
%pendefinisian untuk i,j-1,k
P(n*m*(m*m*1)+2:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-3)=F;;
%pendefinisian untuk i,j-2,k
P(n*m*(m*m*1)+3:4*m*n*1+4:(m^2*n^2*1^2)-2)=E;
%pendefinisian untuk i,j-2,k
P(5*(m*m*1)+4:4*m*n*1+4:(m^2*n^2*1^2)-2)=E;
%pendefinisian untuk i,j,k+1
P(8*m*n*1+1:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-6)=J;
%pendefinisian untuk i,j,k-1
P(m*n+1:m*n*1+1:(m^2*n^2*1^2)-(4*m*n*1))=I;
%pendefinisian untuk i,j,k-2 P(m*1:m*n*1+1:m^2*n*1^2)=H;

```

```

%pendefinisian untuk konstanta
Q(1:m*n*1,1)=K;
K=zeros(m*n:m*n);
%pendefinisian untuk i-2,j
K(3:m*n+1:(m*n)^2-2*(m*n))=A;
K(m*n*(m-2)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K(m*n*(m-1)+m+2:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
%pendefinisian untuk i-1,j
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K;
%pendefinisian konstanta
L(1:(m*n),1)=H;

%TAHAP Pengerjaan Matriks
R=X0'; w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N;
    for i=1:m*n;
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
end
e=abs(X1-X0);

```

```

error=norm(e);
reller=error/(norm(X1)+eps);
X0=X1;
R=[R,X0'];
if(error<tol)|(reller<tol),break,end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]); R; X1;
X_all=[X_all X1]; Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)]; end

%PLOT GRAFIK
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'ro','MarkerEdgeColor','K',
'MarkerFaceColor','c','linewidth',1.5);
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],'fontweight','bold',
'fontsize',12);
ylabel('Penurunan Suhu (K)','color',[0 0 1],'fontweight','bold',
'fontsize',12);
title('SIMULASI PENGARUH TEMPERATUR AWAL PADA PROSES PEMBEKUAN ES BALOK ',
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',12);
legend(strcat('kecepatan angin =',num2str((u1:du:u2)'),' m/s'));
grid on; hold on; disp('Gauss-Seidel method converged');

```

C.2 Format *Programming* Simulasi Proses Pemebejukan Es di Ruang *Brine Tank* Berdasarkan Temperatur Kolam Menggunakan Metode Iterasi Gauss Seidel.

```

clear all; clc;
disp('=====');
disp('= SIMULASI PROGRAM PROSES PEMBEKUAN ES DI RUANG BRINE TANK =');
disp('=          PABRIK ES BALOK TALANGSARI JEMBER          =');
disp('=          Dipengaruhi Oleh TEMPERATUR KOLAM          =');
disp('=          Menggunakan Metode Gauss-Seidel            =');
disp('=          Oleh: AKHMAD SHOLIHIN                        =');

```

```

disp('=                               NIM 160210101061                               =');
disp('=====');
%TAHAP INPUT
m=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu x = ');
n=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu y = ');
l=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu z = ');
TK1=input('Temperatur Kolam 1 (K) = ');
TK2=input('Temperatur Kolam 2 (K) = ');
tol=input('masukkan batas toleransi = ');
for i=1:m*n*l;
    k=1:1;
    X0(i,k)=input(['Tebakan awal X (',num2str(i),':',num2str(k),')=']);
end
%TAHAP INISIALISASI
deltx=0.15;
delty=0.15;
deltaz=0.3 ;
deltt=10 ;
rho=999.8;           %Massa jenis air (kg/m3)
alfa=0.001003;      %Viskositas Dinamis Air (kg/ms)
cp=4182;            %Kalor Tetap Air (kJ/kg K)
rho1=12225.6;       %Massa jenis Larutan Garam (kg/m3)
alfa1=0.00186;     %Viskositas Dinamis garam (kg/ms)
cp1=10244.5;       %Kalor Tetap larutan garam (kJ/kg K)
T0=303;;           %Temperatur Awal (K)
u=-0.015;          %kecepatan sb x
v=-0.015;          %kecepatan sb y
w=-0.005;          %kecepatan sb z
sigma=0.0735;      %tekanan permukaan (N/m)
miu=0.5;           %Koefisien Momentum Partikel
gamma=1;           %koefisien damping
QS=alfa1*rho1*cp1*TKolam; %Rumus kalor
for T0=TK1:dt:TK3;

```

```

Q0=T0*alfa*cp*rho;
Q1=(T1-21)-14.*(1-1./(x.^(7/5)));
Q2=(T1+dt-18)-18.*(1-1./(x.^(7/5)));
Q3=(T3-15)-22.*(1-1./(x.^(6/5))) ;
X_all=[];
%Pendefinisian Matriks
A =((-1/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
B =((7/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
C =((-3/8)*rho*((3*T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*(u*Deltat*Deltay*Deltaz +
    v*Deltat*Deltax*Deltaz+ w*Deltat*Deltay*Deltax
D =((-3/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
E =((-1/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
F =((7/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
G =((-3/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
H =((-1/8)*rho*w*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltay
I =((7/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltay
J =((-3/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))+1)*Deltat*Deltax*Deltay
K =((miu*T0)+(sigma*(rho*gamma)/((1/2)*(rho+rh1))))*
    Deltat*Deltay*Deltaz +((miu*T0)+ (sigma*(rho*gamma)/
    ((1/2)*(rho+rh1))))*Deltat*Deltax*Deltaz+((miu*T0)
    +(sigma*(rho*gamma)/((1/2)*(rho+rh1))))*Deltat*Deltax*Deltay
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
K=zeros(m*n:m*n);

```

```

%pendefinisian untuk i-2,j
K(3:m*n+1:(m*n)^2-2*(m*n))=A;
K(m*n*(m-2)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K(m*n*(m-1)+m+2:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
%pendefinisian untuk i-1,j
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m^2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K;
%pendefinisian konstanta
L(1:(m*n),1)=H;

%TAHAP Pengerjaan Matriks
R=X0'; w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N;
    for i=1:m*n;
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)+eps);
    X0=X1;

```



```

R=[R,X0'];
if(error<tol)|(reeller<tol),break,end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reeller)]); R; X1;
X_all=[X_all X1]; Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)]; end

%PLOT GRAFIK
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'ro','MarkerEdgeColor','K',
'MarkerFaceColor','c','linewidth',1.5);
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],'fontweight','bold',
'fontsize',12);
ylabel('Penurunan Suhu (K)','color',[0 0 1],'fontweight','bold',
'fontsize',12);
title('SIMULASI PENGARUH TEMPERATUR KOLAM PADA PROSES PEMBEKUAN ES BALOK ',
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',12);
legend(strcat('kecepatan angin =',num2str((u1:du:u2)),' m/s'));
grid on; hold on; disp('Gauss-Seidel method converged');

```

B.3 Format *Programming* Simulasi Proses Pemebejukan Es di Ruang *Brine Tank* Berdasarkan Kosentrasi Garam Menggunakan Metode Iterasi Gauss Seidel.

```

clear all; clc;
disp('=====');
disp('= SIMULASI PROGRAM PROSES PEMBEKUAN ES DI RUANG BRINE TANK =');
disp('=          PABRIK ES BALOK TALANGSARI JEMBER          =');
disp('=          Dipengaruhi Oleh Kosentrasi Garam          =');
disp('=          Menggunakan Metode Gauss-Seidel            =');
disp('=          Oleh: AKHMAD SHOLIHIN                        =');
disp('=          NIM 160210101061                             =');
disp('=====');
m=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu x = ');

```

```

n=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu y = ');
l=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu z = ');
rho1=input('Kosentrasi Garam 1 (K) = ');
rho2=input('Kosentrasi Garam 2 (K) = ');
tol=input('masukkan batas toleransi = ');
for i=1:m*n*l;
    k=1:1;
    X0(i,k)=input(['Tebakan awal X (',num2str(i),':',num2str(k),')=']);
end
%TAHAP INISIALISASI
deltx=0.15;
delty=0.15;
deltaz=0.3 ;
deltt=10 ;
rho=999.8; %Massa jenis air (kg/m3)
alfa=0.001003; %Viskositas Dinamis Air (kg/ms)
cp=4182; %Kalor Tetap Air (kJ/kg K)
alfa1=0.00186; %Viskositas Dinamis garam (kg/ms)
cp1=10244.5; %Kalor Tetap larutan garam (kJ/kg K)
Tkolam=266;; %Temperatur Kolam (K)
T0=303;; %Temperatur Awall (K)
u=-0.015; %kecepatan sb x
v=-0.015; %kecepatan sb x
w=-0.015; %kecepatan sb x
sigma=0.0735; %tekanan permukaan (N/m)
miu=0.5; %Koefisien Momentum Partikel
gamma=1; %koefisien damping
QS=alfa1*rho1*cp1*Tkolam; %Rumus kalor
for T0=rho1:dr:rho3;
    Q0=T0*alfa*cp*rho;
    Q1=(T1-21)-14.*(1-1./(x.^(7/5)));
    Q2=(T1+dt-18)-18.*(1-1./(x.^(7/5)));
    Q3=(T3-15)-22.*(1-1./(x.^(6/5))) ;

```

```

X_all=[];
%Pendefinisian Matriks
A =((-1/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
B =((7/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
C =((-3/8)*rho*((3*T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*(u*Deltat*Deltay*Deltaz +
    v*Deltat*Deltax*Deltaz+ w*Deltat*Deltay*Deltax
D =((-3/8)*rho*u*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltay*Deltaz
E =((-1/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
F =((7/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
G =((-3/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltaz
H =((-1/8)*rho*w*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltay
I =((7/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))-1)*Deltat*Deltax*Deltay
J =((-3/8)*rho*v*((T0*alpha*rho*cp)/(alpha*rho*cp*T0 +
    alpha1*rho1*cp1*Tkolam))+1)*Deltat*Deltax*Deltay
K =((miu*T0)+(sigma*(rho*gamma)/((1/2)*(rho+rh1))))*
    Deltat*Deltay*Deltaz +((miu*T0)+ (sigma*(rho*gamma)/
    ((1/2)*(rho+rh1))))*Deltat*Deltax*Deltaz+((miu*T0)
    +(sigma*(rho*gamma)/((1/2)*(rho+rh1))))*Deltat*Deltax*Deltay
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
K=zeros(m*n:m*n);
%pendefinisian untuk i-2,j
K(3:m*n+1:(m*n)^2-2*(m*n))=A;
K(m*n*(m-2)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K(m*n*(m-1)+m+2:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;

```

```

%pendefisian untuk i-1,j
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K;
%pendefinisian konstanta
L(1:(m*n),1)=H;

%TAHAP Pengerjaan Matriks
R=X0'; w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N;
    for i=1:m*n;
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)+eps);
    X0=X1;
    R=[R,X0'];
    if(error<tol)|(reller<tol),break,end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);

```

```
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reeller)]); R; X1;
X_all=[X_all X1]; Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)]; end

%PLOT GRAFIK
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'ro','MarkerEdgeColor','K',
     'MarkerFaceColor','c','linewidth',1.5);
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],'fontweight','bold',
     'fontsize',12);
ylabel('Penurunan Suhu (K)','color',[0 0 1],'fontweight','bold',
     'fontsize',12);
title('SIMULASI PENGARUH KOSENTRASI GARAM PADA PROSES PEMBEKUAN ES BALOK ',
     'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',12);
legend(strcat('kecepatan angin =',num2str((u1:du:u2))),' m/s');
grid on; hold on; disp('Gauss-Seidel method converged');
```

LAMPIRAN D1. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi proses pembekuan es balok dengan suhu awal 301 K dan suhu kolom 266 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	301.3214	295.8167	292.1578	291.2569	289.8709	287.7534	286.2458	285.2783	284.9725	284.7209
node-2	288.0036	287.4834	286.9886	286.5142	286.0592	285.6224	285.2026	284.7991	284.4108	284.0370
node-3	275.5761	275.4624	275.3512	275.2423	275.1358	275.0315	274.9293	274.8293	274.7313	274.6352
node-4	271.8868	271.8400	271.7939	271.7485	271.7038	271.6596	271.6161	271.5732	271.5309	271.4892
node-5	270.1682	270.1433	270.1187	270.0944	270.0703	270.0465	270.0230	269.9997	269.9766	269.9538
node-6	269.1890	269.1738	269.1587	269.1437	269.1289	269.1141	269.0996	269.0851	269.0707	269.0565
node-7	268.5624	268.5522	268.5420	268.5320	268.5220	268.5120	268.5022	268.4924	268.4827	268.4731
node-8	268.1296	268.1224	268.1151	268.1079	268.1008	268.0937	268.0866	268.0796	268.0727	268.0657
node-9	267.8143	267.8089	267.8035	267.7981	267.7928	267.7875	267.7822	267.7769	267.7717	267.7665
node-10	267.5752	267.5710	267.5668	267.5627	267.5585	267.5544	267.5503	267.5463	267.5422	267.5382
node-11	266.5574	266.5558	266.5542	266.5527	266.5512	266.5496	266.5481	266.5466	266.5451	266.5436
node-12	266.4877	266.4865	266.4853	266.4840	266.4828	266.4816	266.4804	266.4792	266.4780	266.4768
node-13	266.4318	266.4308	266.4298	266.4288	266.4278	266.4268	266.4258	266.4248	266.4239	266.4229
node-14	266.3860	266.3852	266.3844	266.3835	266.3827	266.3819	266.3811	266.3803	266.3795	266.3787
node-15	266.3480	266.3473	266.3466	266.3459	266.3452	266.3445	266.3438	266.3432	266.3425	266.3418
node-16	266.3159	266.3153	266.3148	266.3142	266.3136	266.3130	266.3124	266.3119	266.3113	266.3107
node-17	266.2886	266.2881	266.2876	266.2871	266.2866	266.2861	266.2856	266.2851	266.2846	266.2842
node-18	266.2652	266.2647	266.2643	266.2639	266.2634	266.2630	266.2626	266.2621	266.2617	266.2613
node-19	266.2448	266.2444	266.2440	266.2436	266.2432	266.2429	266.2425	266.2421	266.2417	266.2414
node-20	266.2269	266.2266	266.2263	266.2259	266.2256	266.2253	266.2249	266.2246	266.2243	266.2239

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	284.0147	284.3297	284.9948	284.6716	284.3595	284.0580	283.7665	283.4845	283.2116	283.9475
node-2	283.6769	283.3297	282.9948	282.6716	282.3595	282.0580	281.7665	281.4845	281.2116	280.9475
node-3	274.5411	274.4489	274.3584	274.2698	274.1828	274.0975	274.0138	273.9317	273.8511	273.7720
node-4	271.4481	271.4075	271.3675	271.3280	271.2890	271.2506	271.2126	271.1752	271.1383	271.1018
node-5	269.9312	269.9088	269.8867	269.8648	269.8432	269.8217	269.8005	269.7795	269.7587	269.7381
node-6	269.0424	269.0284	269.0146	269.0008	268.9872	268.9737	268.9603	268.9470	268.9338	268.9207
node-7	268.4635	268.4540	268.4446	268.4352	268.4259	268.4167	268.4075	268.3984	268.3893	268.3803
node-8	268.0588	268.0520	268.0452	268.0384	268.0317	268.0250	268.0184	268.0118	268.0053	267.9987
node-9	267.7614	267.7562	267.7511	267.7460	267.7409	267.7359	267.7309	267.7259	267.7210	267.7160
node-10	267.5342	267.5302	267.5262	267.5223	267.5183	267.5144	267.5105	267.5066	267.5028	267.4989
node-11	266.5421	266.5406	266.5391	266.5377	266.5362	266.5348	266.5333	266.5319	266.5304	266.5290
node-12	266.4756	266.4744	266.4732	266.4720	266.4709	266.4697	266.4685	266.4674	266.4662	266.4651
node-13	266.4219	266.4209	266.4200	266.4190	266.4181	266.4171	266.4162	266.4152	266.4143	266.4134
node-14	266.3779	266.3771	266.3763	266.3755	266.3747	266.3739	266.3731	266.3723	266.3715	266.3708
node-15	266.3411	266.3405	266.3398	266.3391	266.3385	266.3378	266.3371	266.3365	266.3358	266.3352
node-16	266.3101	266.3096	266.3090	266.3084	266.3079	266.3073	266.3067	266.3062	266.3056	266.3051
node-17	266.2837	266.2832	266.2827	266.2822	266.2817	266.2812	266.2808	266.2803	266.2798	266.2793
node-18	266.2608	266.2604	266.2600	266.2596	266.2592	266.2587	266.2583	266.2579	266.2575	266.2571
node-19	266.2410	266.2406	266.2403	266.2399	266.2395	266.2392	266.2388	266.2384	266.2381	266.2377
node-20	266.2236	266.2233	266.2230	266.2226	266.2223	266.2220	266.2217	266.2214	266.2210	266.2207

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	283.6916	282.4436	283.2805	282.9427	282.6167	282.3019	281.9979	281.7040	281.4199	281.1450
node-2	280.6916	280.4436	280.2032	279.9701	279.7439	279.5242	279.3110	279.1038	278.9025	278.7067
node-3	273.6943	273.6181	273.5432	273.4697	273.3974	273.3265	273.2567	273.1882	273.1209	273.0547
node-4	271.0658	271.0303	270.9952	270.9606	270.9264	270.8926	270.8593	270.8263	270.7938	270.7617
node-5	269.7177	269.6976	269.6776	269.6578	269.6382	269.6188	269.5996	269.5806	269.5618	269.5431
node-6	268.9077	268.8948	268.8821	268.8694	268.8568	268.8444	268.8320	268.8198	268.8076	268.7955
node-7	268.3714	268.3625	268.3537	268.3450	268.3363	268.3277	268.3191	268.3106	268.3022	268.2938
node-8	267.9923	267.9858	267.9794	267.9730	267.9667	267.9604	267.9542	267.9479	267.9418	267.9356
node-9	267.7111	267.7063	267.7014	267.6966	267.6918	267.6870	267.6823	267.6775	267.6728	267.6682
node-10	267.4951	267.4913	267.4875	267.4837	267.4800	267.4762	267.4725	267.4688	267.4651	267.4615
node-11	266.5276	266.5262	266.5247	266.5233	266.5219	266.5206	266.5192	266.5178	266.5164	266.5150
node-12	266.4639	266.4628	266.4617	266.4605	266.4594	266.4583	266.4572	266.4561	266.4550	266.4539
node-13	266.4124	266.4115	266.4106	266.4096	266.4087	266.4078	266.4069	266.4060	266.4051	266.4042
node-14	266.3700	266.3692	266.3684	266.3677	266.3669	266.3662	266.3654	266.3646	266.3639	266.3631
node-15	266.3345	266.3339	266.3332	266.3326	266.3319	266.3313	266.3307	266.3300	266.3294	266.3288
node-16	266.3045	266.3040	266.3034	266.3029	266.3023	266.3018	266.3012	266.3007	266.3001	266.2996
node-17	266.2788	266.2784	266.2779	266.2774	266.2769	266.2765	266.2760	266.2755	266.2751	266.2746
node-18	266.2567	266.2562	266.2558	266.2554	266.2550	266.2546	266.2542	266.2538	266.2534	266.2530
node-19	266.2373	266.2370	266.2366	266.2363	266.2359	266.2356	266.2352	266.2348	266.2345	266.2341
node-20	266.2204	266.2201	266.2198	266.2194	266.2191	266.2188	266.2185	266.2182	266.2179	266.2176

Node	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	i=41	i=42	i=43
node-1	281.8789	281.6211	281.4715	283.2805	282.9427	282.6167	282.3019	281.9979	281.7040	281.4199
node-2	278.5164	278.3312	278.1509	277.9755	277.8046	277.6382	277.4759	277.3178	277.1637	277.0133
node-3	272.9896	272.9257	272.8627	272.8009	272.7400	272.6801	272.6213	272.5633	272.5063	272.4501
node-4	270.7300	270.6986	270.6677	270.6371	270.6069	270.5770	270.5475	270.5183	270.4895	270.4610
node-5	269.5246	269.5063	269.4882	269.4702	269.4525	269.4348	269.4174	269.4001	269.3829	269.3660
node-6	268.7835	268.7717	268.7599	268.7482	268.7366	268.7250	268.7136	268.7023	268.6910	268.6798
node-7	268.2854	268.2772	268.2689	268.2608	268.2526	268.2446	268.2366	268.2286	268.2207	268.2128
node-8	267.9295	267.9234	267.9174	267.9114	267.9054	267.8995	267.8936	267.8877	267.8819	267.8761
node-9	267.6635	267.6589	267.6543	267.6497	267.6451	267.6406	267.6361	267.6316	267.6271	267.6227
node-10	267.4578	267.4542	267.4505	267.4469	267.4434	267.4398	267.4362	267.4327	267.4292	267.4257
node-11	266.5137	266.5123	266.5110	266.5096	266.5083	266.5070	266.5057	266.5043	266.5030	266.5017
node-12	266.4528	266.4517	266.4506	266.4495	266.4484	266.4474	266.4463	266.4452	266.4442	266.4431
node-13	266.4033	266.4024	266.4015	266.4006	266.3997	266.3988	266.3980	266.3971	266.3962	266.3954
node-14	266.3624	266.3616	266.3609	266.3602	266.3594	266.3587	266.3580	266.3572	266.3565	266.3558
node-15	266.3281	266.3275	266.3269	266.3262	266.3256	266.3250	266.3244	266.3238	266.3232	266.3225
node-16	266.2991	266.2985	266.2980	266.2975	266.2969	266.2964	266.2959	266.2953	266.2948	266.2943
node-17	266.2741	266.2737	266.2732	266.2728	266.2723	266.2718	266.2714	266.2709	266.2705	266.2700
node-18	266.2526	266.2522	266.2518	266.2514	266.2510	266.2506	266.2502	266.2498	266.2494	266.2490
node-19	266.2338	266.2334	266.2331	266.2327	266.2324	266.2320	266.2317	266.2313	266.2310	266.2307
node-20	266.2173	266.2169	266.2166	266.2163	266.2160	266.2157	266.2154	266.2151	266.2148	266.2145

Node	i=41	i=42	i=43	i=44	i=45	i=46	iterasi-47	i=48	i=49	i=50
node-1	281.1450	280.8789	280.6211	280.3715	280.0007	280.0007	280.0007	280.0007	280.0007	280.0007
node-2	276.8666	276.7235	276.5838	276.4474	271.7854	271.7244	271.6175	271.5364	271.4575	271.3057
node-3	272.3949	272.3405	272.2870	272.2342	269.1842	269.1535	269.1237	269.0936	269.0644	269.0068
node-4	270.4328	270.4050	270.3775	270.3503	268.0978	268.0836	268.0673	268.0537	268.0331	268.0107
node-5	269.3491	269.3325	269.3160	269.2996	267.5214	267.5135	267.5041	267.4969	267.4874	267.4719
node-6	268.6688	268.6578	268.6468	268.6360	266.2268	266.2215	266.2171	266.2144	266.2120	266.1402
node-7	268.2050	268.1973	268.1896	268.1819	266.9371	266.9334	266.9293	266.9267	266.9221	266.9194
node-8	267.8703	267.8646	267.8588	267.8532	266.7782	266.7759	266.7732	266.7707	266.7671	266.7627
node-9	267.6182	267.6138	267.6095	267.6051	266.6583	266.6561	266.6545	266.6523	266.6501	266.6467
node-10	267.4222	267.4187	267.4152	267.4118	266.5691	266.5672	266.5653	266.5646	266.5622	266.5573
node-11	266.5004	266.4991	266.4978	266.4966	266.4953	266.4940	266.4927	266.4915	266.4902	266.4890
node-12	266.4421	266.4410	266.4400	266.4389	266.4379	266.4369	266.4359	266.4348	266.4338	266.4328
node-13	266.3945	266.3936	266.3928	266.3919	266.3911	266.3902	266.3894	266.3885	266.3877	266.3869
node-14	266.3551	266.3543	266.3536	266.3529	266.3522	266.3515	266.3508	266.3501	266.3494	266.3487
node-15	266.3219	266.3213	266.3207	266.3201	266.3195	266.3189	266.3183	266.3177	266.3171	266.3165
node-16	266.2938	266.2933	266.2927	266.2922	266.2917	266.2912	266.2907	266.2902	266.2897	266.2891
node-17	266.2696	266.2691	266.2687	266.2682	266.2678	266.2674	266.2669	266.2665	266.2660	266.2656
node-18	266.2486	266.2482	266.2478	266.2475	266.2471	266.2467	266.2463	266.2459	266.2455	266.2451
node-19	266.2303	266.2300	266.2296	266.2293	266.2289	266.2286	266.2283	266.2279	266.2276	266.2273
node-20	266.2142	266.2139	266.2136	266.2133	266.2130	266.2127	266.2124	266.2121	266.2118	266.2115

Node	iterasi-51	exsak	error
node-1	280.0000	279.9998	0.0002
node-2	271.3050	271.3060	0.0010
node-3	269.0072	269.0078	0.0006
node-4	268.0102	268.0109	0.0007
node-5	267.4709	267.4711	0.0002
node-6	267.1395	267.1388	0.0007
node-7	266.9183	266.9187	0.0004
node-8	266.7617	266.7610	0.0007
node-9	266.6459	266.6457	0.0002
node-10	266.5574	266.5573	0.0001
node-11	266.4877	266.4875	0.0002
node-12	266.4318	266.4316	0.0002
node-13	266.3860	266.3864	0.0004
node-14	266.3480	266.3475	0.0005
node-15	266.3159	266.3157	0.0002
node-16	266.2886	266.2889	0.0003
node-17	266.2652	266.2646	0.0006
node-18	266.2448	266.2443	0.0005
node-19	266.2269	266.2265	0.0004
node-20	266.2112	266.2110	0.0002

LAMPIRAN D2. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi proses pembekuan es balok dengan suhu awal 302 K dan suhu kolom 266 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	301.9503	300.5834	299.9871	299.4296	299.0925	298.8276	298.5132	298.1872	297.8194	297.3514
node-2	284.2437	283.5078	283.0383	282.5899	282.1614	281.7515	281.3592	280.9832	280.6228	280.2770
node-3	272.8207	272.7264	272.6342	272.5442	272.4563	272.3704	272.2864	272.2043	272.1240	272.0455
node-4	269.8664	269.8306	269.7953	269.7606	269.7265	269.6929	269.6598	269.6272	269.5951	269.5635
node-5	268.5846	268.5666	268.5488	268.5313	268.5139	268.4968	268.4798	268.4630	268.4465	268.4301
node-6	267.8911	267.8806	267.8701	267.8598	267.8495	267.8394	267.8293	267.8194	267.8095	267.7997
node-7	267.4651	267.4583	267.4515	267.4448	267.4382	267.4316	267.4250	267.4185	267.4121	267.4057
node-8	267.1807	267.1760	267.1713	267.1667	267.1621	267.1575	267.1529	267.1484	267.1439	267.1395
node-9	266.9794	266.9760	266.9726	266.9692	266.9658	266.9625	266.9592	266.9559	266.9526	266.9493
node-10	266.8305	266.8279	266.8253	266.8228	266.8203	266.8177	266.8152	266.8127	266.8102	266.8078
node-11	266.7166	266.7146	266.7126	266.7106	266.7086	266.7067	266.7047	266.7028	266.7008	266.6989
node-12	266.6271	266.6255	266.6239	266.6223	266.6208	266.6192	266.6176	266.6161	266.6145	266.6130
node-13	266.5552	266.5539	266.5526	266.5513	266.5500	266.5487	266.5475	266.5462	266.5450	266.5437
node-14	266.4963	266.4952	266.4942	266.4931	266.4921	266.4910	266.4900	266.4889	266.4879	266.4868
node-15	266.4474	266.4465	266.4456	266.4447	266.4438	266.4430	266.4421	266.4412	266.4403	266.4395
node-16	266.4062	266.4054	266.4047	266.4039	266.4032	266.4024	266.4017	266.4010	266.4002	266.3995
node-17	266.3711	266.3705	266.3698	266.3692	266.3685	266.3679	266.3672	266.3666	266.3660	266.3653
node-18	266.3409	266.3404	266.3398	266.3392	266.3387	266.3381	266.3376	266.3370	266.3365	266.3359
node-19	266.3147	266.3142	266.3137	266.3132	266.3127	266.3123	266.3118	266.3113	266.3108	266.3103
node-20	266.2918	266.2913	266.2909	266.2905	266.2900	266.2896	266.2892	266.2888	266.2883	266.2879

Node	i=11	i=12	i=13	i=145	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	297.0036	296.8564	296.4834	296.1861	295.8129	295.5921	295.4275	295.1326	294.8992	294.5186
node-2	279.9450	279.6260	279.3193	279.0243	278.7403	278.4667	278.2031	277.9488	277.7036	277.4668
node-3	271.9687	271.8936	271.8200	271.7481	271.6776	271.6086	271.5410	271.4748	271.4100	271.3464
node-4	269.5323	269.5017	269.4714	269.4417	269.4123	269.3834	269.3549	269.3268	269.2991	269.2718
node-5	268.4139	268.3979	268.3821	268.3665	268.3510	268.3357	268.3206	268.3056	268.2908	268.2762
node-6	267.7901	267.7805	267.7710	267.7615	267.7522	267.7430	267.7338	267.7247	267.7157	267.7068
node-7	267.3993	267.3930	267.3868	267.3806	267.3745	267.3683	267.3623	267.3563	267.3503	267.3444
node-8	267.1350	267.1306	267.1263	267.1219	267.1176	267.1133	267.1091	267.1048	267.1006	267.0965
node-9	266.9461	266.9429	266.9397	266.9365	266.9333	266.9302	266.9270	266.9239	266.9208	266.9178
node-10	266.8053	266.8029	266.8004	266.7980	266.7956	266.7932	266.7908	266.7885	266.7861	266.7838
node-11	266.6970	266.6951	266.6932	266.6913	266.6894	266.6875	266.6857	266.6838	266.6820	266.6801
node-12	266.6115	266.6099	266.6084	266.6069	266.6054	266.6039	266.6024	266.6009	266.5994	266.5980
node-13	266.5425	266.5412	266.5400	266.5387	266.5375	266.5363	266.5351	266.5339	266.5327	266.5315
node-14	266.4858	266.4848	266.4838	266.4827	266.4817	266.4807	266.4797	266.4787	266.4777	266.4767
node-15	266.4386	266.4377	266.4369	266.4360	266.4352	266.4343	266.4335	266.4326	266.4318	266.4309
node-16	266.3987	266.3980	266.3973	266.3965	266.3958	266.3951	266.3944	266.3937	266.3929	266.3922
node-17	266.3647	266.3641	266.3635	266.3628	266.3622	266.3616	266.3610	266.3603	266.3597	266.3591
node-18	266.3354	266.3348	266.3343	266.3337	266.3332	266.3327	266.3321	266.3316	266.3311	266.3305
node-19	266.3099	266.3094	266.3089	266.3084	266.3080	266.3075	266.3070	266.3066	266.3061	266.3056
node-20	266.2875	266.2871	266.2867	266.2863	266.2858	266.2854	266.2850	266.2846	266.2842	266.2838

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	294.3714	294.0913	293.7521	293.4834	292.9886	292.5142	292.0592	291.6224	291.2026	290.7991
node-2	277.2381	277.0171	276.8035	276.5969	276.3970	276.2034	276.0159	275.8343	275.6582	275.4875
node-3	271.2842	271.2231	271.1633	271.1046	271.0471	270.9906	270.9353	270.8810	270.8277	270.7753
node-4	269.2449	269.2184	269.1922	269.1664	269.1410	269.1159	269.0911	269.0667	269.0426	269.0188
node-5	268.2617	268.2474	268.2332	268.2192	268.2054	268.1917	268.1781	268.1647	268.1514	268.1383
node-6	267.6979	267.6892	267.6805	267.6719	267.6633	267.6549	267.6465	267.6382	267.6299	267.6218
node-7	267.3385	267.3327	267.3269	267.3211	267.3154	267.3098	267.3041	267.2986	267.2930	267.2875
node-8	267.0923	267.0882	267.0841	267.0800	267.0760	267.0720	267.0680	267.0640	267.0601	267.0562
node-9	266.9147	266.9117	266.9086	266.9056	266.9026	266.8997	266.8967	266.8938	266.8909	266.8880
node-10	266.7814	266.7791	266.7768	266.7745	266.7722	266.7699	266.7677	266.7654	266.7632	266.7610
node-11	266.6783	266.6765	266.6747	266.6729	266.6711	266.6693	266.6675	266.6657	266.6640	266.6622
node-12	266.5965	266.5950	266.5936	266.5921	266.5907	266.5892	266.5878	266.5864	266.5850	266.5836
node-13	266.5303	266.5291	266.5279	266.5267	266.5255	266.5243	266.5232	266.5220	266.5208	266.5197
node-14	266.4757	266.4747	266.4737	266.4727	266.4717	266.4708	266.4698	266.4688	266.4679	266.4669
node-15	266.4301	266.4293	266.4284	266.4276	266.4268	266.4259	266.4251	266.4243	266.4235	266.4227
node-16	266.3915	266.3908	266.3901	266.3894	266.3887	266.3880	266.3873	266.3866	266.3859	266.3852
node-17	266.3585	266.3579	266.3573	266.3567	266.3561	266.3555	266.3549	266.3543	266.3537	266.3531
node-18	266.3300	266.3295	266.3289	266.3284	266.3279	266.3274	266.3268	266.3263	266.3258	266.3253
node-19	266.3052	266.3047	266.3042	266.3038	266.3033	266.3029	266.3024	266.3019	266.3015	266.3010
node-20	266.2834	266.2830	266.2826	266.2821	266.2817	266.2813	266.2809	266.2805	266.2801	266.2797

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	290.4108	290.0370	289.6769	288.7521	288.4834	287.9886	287.5142	286.0592	286.6224	286.2026
node-2	275.3219	275.1612	275.0052	274.8536	274.7064	274.5634	274.4243	274.2890	274.1575	274.0294
node-3	270.7240	270.6736	270.6241	270.5755	270.5278	270.4809	270.4348	270.3896	270.3451	270.3014
node-4	268.9954	268.9722	268.9494	268.9268	268.9046	268.8826	268.8610	268.8396	268.8184	268.7976
node-5	268.1253	268.1124	268.0997	268.0870	268.0746	268.0622	268.0500	268.0379	268.0259	268.0141
node-6	267.6136	267.6056	267.5977	267.5898	267.5819	267.5742	267.5665	267.5588	267.5512	267.5437
node-7	267.2821	267.2766	267.2713	267.2659	267.2606	267.2554	267.2501	267.2449	267.2398	267.2347
node-8	267.0523	267.0484	267.0446	267.0408	267.0370	267.0332	267.0295	267.0257	267.0220	267.0184
node-9	266.8851	266.8822	266.8793	266.8765	266.8737	266.8709	266.8681	266.8653	266.8625	266.8598
node-10	266.7587	266.7565	266.7543	266.7522	266.7500	266.7478	266.7457	266.7435	266.7414	266.7393
node-11	266.6605	266.6587	266.6570	266.6553	266.6535	266.6518	266.6501	266.6484	266.6467	266.6451
node-12	266.5821	266.5807	266.5793	266.5780	266.5766	266.5752	266.5738	266.5724	266.5711	266.5697
node-13	266.5185	266.5174	266.5162	266.5151	266.5139	266.5128	266.5117	266.5105	266.5094	266.5083
node-14	266.4659	266.4650	266.4640	266.4631	266.4621	266.4612	266.4602	266.4593	266.4584	266.4574
node-15	266.4219	266.4211	266.4203	266.4195	266.4187	266.4179	266.4171	266.4163	266.4155	266.4147
node-16	266.3845	266.3838	266.3831	266.3824	266.3818	266.3811	266.3804	266.3797	266.3790	266.3784
node-17	266.3525	266.3519	266.3513	266.3507	266.3501	266.3495	266.3489	266.3483	266.3478	266.3472
node-18	266.3248	266.3242	266.3237	266.3232	266.3227	266.3222	266.3217	266.3212	266.3207	266.3202
node-19	266.3006	266.3001	266.2997	266.2992	266.2988	266.2983	266.2979	266.2974	266.2970	266.2966
node-20	266.2793	266.2789	266.2785	266.2781	266.2777	266.2773	266.2770	266.2766	266.2762	266.2758

Node	i=41	iterasi-42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	286.7991	286.4108	286.0370	285.6769	285.9592	285.6224	284.5026	284.2461	284.1083	284.0394
node-2	273.9048	273.7835	273.6653	273.5501	273.4379	273.3285	273.2219	273.1179	273.0164	272.9174
node-3	270.2584	270.2162	270.1747	270.1339	270.0938	270.0543	270.0155	269.9773	269.9397	269.9027
node-4	268.7770	268.7567	268.7366	268.7168	268.6972	268.6778	268.6587	268.6398	268.6212	268.6028
node-5	268.0023	267.9907	267.9792	267.9678	267.9565	267.9454	267.9343	267.9233	267.9125	267.9017
node-6	267.5363	267.5289	267.5216	267.5143	267.5071	267.5000	267.4929	267.4858	267.4789	267.4719
node-7	267.2296	267.2245	267.2195	267.2146	267.2096	267.2047	267.1998	267.1950	267.1902	267.1854
node-8	267.0147	267.0111	267.0075	267.0039	267.0003	266.9968	266.9932	266.9897	266.9863	266.9828
node-9	266.8570	266.8543	266.8516	266.8489	266.8462	266.8436	266.8409	266.8383	266.8357	266.8331
node-10	266.7372	266.7350	266.7330	266.7309	266.7288	266.7267	266.7247	266.7227	266.7206	266.7186
node-11	266.6434	266.6417	266.6401	266.6384	266.6368	266.6351	266.6335	266.6319	266.6303	266.6287
node-12	266.5684	266.5670	266.5657	266.5644	266.5630	266.5617	266.5604	266.5591	266.5578	266.5565
node-13	266.5072	266.5061	266.5050	266.5039	266.5028	266.5017	266.5006	266.4995	266.4985	266.4974
node-14	266.4565	266.4556	266.4547	266.4537	266.4528	266.4519	266.4510	266.4501	266.4492	266.4483
node-15	266.4139	266.4131	266.4123	266.4116	266.4108	266.4100	266.4093	266.4085	266.4077	266.4070
node-16	266.3777	266.3770	266.3764	266.3757	266.3750	266.3744	266.3737	266.3731	266.3724	266.3718
node-17	266.3466	266.3460	266.3455	266.3449	266.3443	266.3437	266.3432	266.3426	266.3420	266.3415
node-18	266.3197	266.3192	266.3187	266.3182	266.3177	266.3172	266.3167	266.3162	266.3157	266.3152
node-19	266.2961	266.2957	266.2952	266.2948	266.2944	266.2939	266.2935	266.2930	266.2926	266.2922
node-20	266.2754	266.2750	266.2746	266.2742	266.2738	266.2735	266.2731	266.2727	266.2723	266.2719

Node	iterasi-51	exsak	error
node-1	284.0000	283.9993	0.0007
node-2	272.8207	272.8198	0.0009
node-3	269.8664	269.8662	0.0002
node-4	268.5846	268.5849	0.0003
node-5	267.8911	267.8908	0.0003
node-6	267.4651	267.4644	0.0007
node-7	267.1807	267.1809	0.0002
node-8	266.9794	266.9790	0.0004
node-9	266.8305	266.8302	0.0003
node-10	266.7166	266.7168	0.0002
node-11	266.6271	266.6272	0.0001
node-12	266.5552	266.5550	0.0002
node-13	266.4963	266.4968	0.0005
node-14	266.4474	266.4472	0.0002
node-15	266.4062	266.4058	0.0004
node-16	266.3711	266.3705	0.0006
node-17	266.3409	266.3412	0.0003
node-18	266.3147	266.3143	0.0004
node-19	266.2918	266.2915	0.0003
node-20	266.2715	266.2717	0.0002

LAMPIRAN D3. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi proses pembekuan es balok dengan suhu awal 303 K dan suhu kolom 266 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7059	302.4118	302.1176	301.8235	301.5294	301.2353	300.9412	300.6471	300.3529	300.0588
node-2	288.0000	287.3985	286.8246	286.2766	285.7528	285.2519	284.7723	284.3128	283.8723	283.4497
node-3	274.3364	274.2211	274.1085	273.9985	273.8910	273.7860	273.6834	273.5830	273.4849	273.3890
node-4	270.7256	270.6818	270.6387	270.5963	270.5546	270.5135	270.4731	270.4332	270.3940	270.3554
node-5	269.1589	269.1369	269.1152	269.0938	269.0725	269.0516	269.0309	269.0104	268.9901	268.9701
node-6	268.3113	268.2985	268.2857	268.2731	268.2605	268.2481	268.2359	268.2237	268.2116	268.1997
node-7	267.7907	267.7823	267.7741	267.7659	267.7578	267.7497	267.7417	267.7338	267.7259	267.7181
node-8	267.4431	267.4373	267.4316	267.4259	267.4203	267.4147	267.4091	267.4036	267.3981	267.3927
node-9	267.1970	267.1928	267.1887	267.1846	267.1804	267.1764	267.1723	267.1683	267.1643	267.1603
node-10	267.0150	267.0119	267.0088	267.0056	267.0025	266.9995	266.9964	266.9933	266.9903	266.9873
node-11	266.8758	266.8734	266.8710	266.8685	266.8661	266.8637	266.8613	266.8590	266.8566	266.8542
node-12	266.7664	266.7645	266.7625	266.7606	266.7587	266.7568	266.7549	266.7530	266.7511	266.7492
node-13	266.6785	266.6769	266.6754	266.6738	266.6722	266.6707	266.6691	266.6676	266.6661	266.6645
node-14	266.6066	266.6053	266.6040	266.6027	266.6014	266.6001	266.5988	266.5976	266.5963	266.5950
node-15	266.5468	266.5457	266.5446	266.5436	266.5425	266.5414	266.5403	266.5393	266.5382	266.5371
node-16	266.4965	266.4955	266.4946	266.4937	266.4928	266.4919	266.4910	266.4901	266.4892	266.4882
node-17	266.4536	266.4528	266.4520	266.4512	266.4504	266.4496	266.4489	266.4481	266.4473	266.4465
node-18	266.4167	266.4160	266.4153	266.4146	266.4139	266.4133	266.4126	266.4119	266.4112	266.4106
node-19	266.3846	266.3840	266.3834	266.3828	266.3822	266.3817	266.3811	266.3805	266.3799	266.3793
node-20	266.3566	266.3561	266.3555	266.3550	266.3545	266.3540	266.3535	266.3529	266.3524	266.3519

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.7647	299.4706	299.1765	298.8824	298.5882	298.2941	298.0000	297.7059	297.4118	297.1176
node-2	283.0439	282.6540	282.2792	281.9186	281.5714	281.2371	280.9149	280.6041	280.3044	280.0150
node-3	273.2951	273.2033	273.1134	273.0254	272.9393	272.8549	272.7724	272.6915	272.6122	272.5345
node-4	270.3173	270.2798	270.2429	270.2065	270.1706	270.1353	270.1004	270.0661	270.0323	269.9989
node-5	268.9504	268.9308	268.9115	268.8923	268.8734	268.8547	268.8363	268.8180	268.7999	268.7820
node-6	268.1879	268.1761	268.1645	268.1530	268.1416	268.1303	268.1191	268.1080	268.0970	268.0861
node-7	267.7103	267.7026	267.6950	267.6874	267.6799	267.6724	267.6650	267.6577	267.6504	267.6431
node-8	267.3873	267.3819	267.3765	267.3712	267.3660	267.3607	267.3555	267.3504	267.3452	267.3401
node-9	267.1563	267.1524	267.1485	267.1446	267.1407	267.1369	267.1331	267.1293	267.1255	267.1217
node-10	266.9843	266.9813	266.9783	266.9754	266.9724	266.9695	266.9666	266.9637	266.9608	266.9579
node-11	266.8519	266.8496	266.8472	266.8449	266.8426	266.8403	266.8381	266.8358	266.8335	266.8313
node-12	266.7473	266.7455	266.7436	266.7418	266.7399	266.7381	266.7363	266.7345	266.7326	266.7308
node-13	266.6630	266.6615	266.6600	266.6585	266.6570	266.6555	266.6540	266.6525	266.6510	266.6496
node-14	266.5938	266.5925	266.5913	266.5900	266.5888	266.5875	266.5863	266.5851	266.5838	266.5826
node-15	266.5361	266.5350	266.5340	266.5329	266.5319	266.5308	266.5298	266.5288	266.5277	266.5267
node-16	266.4874	266.4865	266.4856	266.4847	266.4838	266.4829	266.4820	266.4811	266.4803	266.4794
node-17	266.4458	266.4450	266.4442	266.4435	266.4427	266.4419	266.4412	266.4404	266.4397	266.4389
node-18	266.4099	266.4092	266.4086	266.4079	266.4073	266.4066	266.4059	266.4053	266.4046	266.4040
node-19	266.3787	266.3781	266.3776	266.3770	266.3764	266.3758	266.3753	266.3747	266.3741	266.3735
node-20	266.3514	266.3509	266.3504	266.3499	266.3494	266.3489	266.3483	266.3478	266.3473	266.3468

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.8235	296.5294	296.2353	295.9412	295.6471	295.3529	295.0588	294.7647	294.4706	294.1765
node-2	279.7355	279.4654	279.2043	278.9518	278.7074	278.4708	278.2417	278.0197	277.8045	277.5959
node-3	272.4584	272.3838	272.3107	272.2390	272.1687	272.0997	272.0320	271.9656	271.9005	271.8365
node-4	269.9660	269.9336	269.9016	269.8700	269.8389	269.8083	269.7780	269.7482	269.7187	269.6897
node-5	268.7643	268.7468	268.7295	268.7124	268.6955	268.6787	268.6621	268.6457	268.6295	268.6134
node-6	268.0753	268.0645	268.0539	268.0434	268.0330	268.0226	268.0124	268.0022	267.9921	267.9821
node-7	267.6360	267.6288	267.6217	267.6147	267.6077	267.6008	267.5940	267.5871	267.5804	267.5736
node-8	267.3351	267.3300	267.3250	267.3200	267.3151	267.3102	267.3053	267.3005	267.2957	267.2909
node-9	267.1180	267.1143	267.1106	267.1069	267.1032	267.0996	267.0960	267.0924	267.0888	267.0853
node-10	266.9551	266.9523	266.9494	266.9466	266.9438	266.9410	266.9383	266.9355	266.9328	266.9301
node-11	266.8290	266.8268	266.8246	266.8224	266.8202	266.8180	266.8158	266.8137	266.8115	266.8094
node-12	266.7290	266.7273	266.7255	266.7237	266.7219	266.7202	266.7184	266.7167	266.7150	266.7132
node-13	266.6481	266.6466	266.6452	266.6437	266.6423	266.6408	266.6394	266.6380	266.6366	266.6351
node-14	266.5814	266.5802	266.5790	266.5778	266.5766	266.5754	266.5742	266.5730	266.5718	266.5706
node-15	266.5257	266.5247	266.5236	266.5226	266.5216	266.5206	266.5196	266.5186	266.5176	266.5166
node-16	266.4785	266.4776	266.4768	266.4759	266.4751	266.4742	266.4733	266.4725	266.4716	266.4708
node-17	266.4382	266.4374	266.4367	266.4359	266.4352	266.4345	266.4337	266.4330	266.4323	266.4315
node-18	266.4033	266.4027	266.4020	266.4014	266.4007	266.4001	266.3995	266.3988	266.3982	266.3976
node-19	266.3730	266.3724	266.3718	266.3713	266.3707	266.3702	266.3696	266.3690	266.3685	266.3679
node-20	266.3463	266.3458	266.3453	266.3448	266.3443	266.3439	266.3434	266.3429	266.3424	266.3419

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	293.8824	293.5882	293.2941	293.0000	292.7059	292.4118	292.1176	291.8235	291.5294	291.2353
node-2	277.3934	277.1970	277.0063	276.8211	276.6412	276.4663	276.2963	276.1310	275.9702	275.8137
node-3	271.7738	271.7122	271.6517	271.5923	271.5339	271.4766	271.4203	271.3650	271.3107	271.2573
node-4	269.6610	269.6327	269.6048	269.5772	269.5501	269.5232	269.4967	269.4706	269.4448	269.4193
node-5	268.5975	268.5818	268.5662	268.5508	268.5356	268.5205	268.5056	268.4908	268.4761	268.4616
node-6	267.9722	267.9624	267.9527	267.9430	267.9335	267.9240	267.9146	267.9052	267.8960	267.8868
node-7	267.5670	267.5603	267.5538	267.5472	267.5408	267.5343	267.5279	267.5216	267.5153	267.5090
node-8	267.2861	267.2814	267.2767	267.2720	267.2674	267.2628	267.2582	267.2537	267.2492	267.2447
node-9	267.0817	267.0782	267.0747	267.0713	267.0678	267.0644	267.0610	267.0576	267.0542	267.0508
node-10	266.9273	266.9247	266.9220	266.9193	266.9166	266.9140	266.9114	266.9087	266.9061	266.9035
node-11	266.8072	266.8051	266.8030	266.8009	266.7988	266.7967	266.7946	266.7925	266.7905	266.7884
node-12	266.7115	266.7098	266.7081	266.7064	266.7047	266.7030	266.7013	266.6997	266.6980	266.6963
node-13	266.6337	266.6323	266.6309	266.6295	266.6281	266.6268	266.6254	266.6240	266.6226	266.6213
node-14	266.5695	266.5683	266.5671	266.5660	266.5648	266.5637	266.5625	266.5614	266.5602	266.5591
node-15	266.5156	266.5146	266.5136	266.5127	266.5117	266.5107	266.5097	266.5088	266.5078	266.5068
node-16	266.4699	266.4691	266.4683	266.4674	266.4666	266.4658	266.4649	266.4641	266.4633	266.4625
node-17	266.4308	266.4301	266.4293	266.4286	266.4279	266.4272	266.4265	266.4258	266.4250	266.4243
node-18	266.3969	266.3963	266.3957	266.3950	266.3944	266.3938	266.3932	266.3925	266.3919	266.3913
node-19	266.3674	266.3668	266.3663	266.3657	266.3652	266.3646	266.3641	266.3635	266.3630	266.3625
node-20	266.3414	266.3409	266.3404	266.3399	266.3395	266.3390	266.3385	266.3380	266.3375	266.3371

Node	i=41	i=42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	290.9412	290.6471	290.3529	290.0588	289.7647	289.4706	289.1765	288.8824	288.5882	288.0007
node-2	275.6614	275.5131	275.3687	275.2279	275.0908	274.9571	274.8268	274.6996	274.5756	274.4546
node-3	271.2048	271.1532	271.1024	271.0525	271.0035	270.9552	270.9078	270.8611	270.8152	270.7700
node-4	269.3941	269.3693	269.3447	269.3205	269.2965	269.2729	269.2495	269.2265	269.2037	269.1812
node-5	268.4473	268.4331	268.4190	268.4051	268.3913	268.3777	268.3641	268.3507	268.3375	268.3244
node-6	267.8777	267.8687	267.8597	267.8508	267.8420	267.8333	267.8246	267.8160	267.8075	267.7990
node-7	267.5028	267.4967	267.4905	267.4845	267.4784	267.4724	267.4665	267.4606	267.4547	267.4489
node-8	267.2402	267.2358	267.2313	267.2270	267.2226	267.2183	267.2140	267.2097	267.2054	267.2012
node-9	267.0475	267.0442	267.0409	267.0376	267.0343	267.0310	267.0278	267.0246	267.0214	267.0182
node-10	266.9010	266.8984	266.8958	266.8933	266.8908	266.8882	266.8857	266.8832	266.8808	266.8783
node-11	266.7864	266.7843	266.7823	266.7803	266.7783	266.7763	266.7743	266.7723	266.7703	266.7684
node-12	266.6947	266.6930	266.6914	266.6898	266.6881	266.6865	266.6849	266.6833	266.6817	266.6801
node-13	266.6199	266.6186	266.6172	266.6159	266.6145	266.6132	266.6119	266.6105	266.6092	266.6079
node-14	266.5579	266.5568	266.5557	266.5546	266.5534	266.5523	266.5512	266.5501	266.5490	266.5479
node-15	266.5059	266.5049	266.5040	266.5030	266.5021	266.5011	266.5002	266.4993	266.4983	266.4974
node-16	266.4616	266.4608	266.4600	266.4592	266.4584	266.4576	266.4568	266.4560	266.4552	266.4544
node-17	266.4236	266.4229	266.4222	266.4215	266.4208	266.4201	266.4194	266.4187	266.4180	266.4174
node-18	266.3907	266.3901	266.3895	266.3889	266.3882	266.3876	266.3870	266.3864	266.3858	266.3852
node-19	266.3619	266.3614	266.3608	266.3603	266.3598	266.3592	266.3587	266.3582	266.3576	266.3571
node-20	266.3366	266.3361	266.3356	266.3352	266.3347	266.3342	266.3337	266.3333	266.3328	266.3323

Node	iterasi-51	Eksas	error
node-1	288.0000	288.0000	0.0000
node-2	274.3364	274.3358	0.0006
node-3	270.7256	270.7261	0.0005
node-4	269.1589	269.1592	0.0003
node-5	268.3113	268.3107	0.0006
node-6	267.7907	267.7916	0.0009
node-7	267.4431	267.4425	0.0006
node-8	267.1970	267.1962	0.0008
node-9	267.0150	267.0153	0.0003
node-10	266.8758	266.8764	0.0006
node-11	266.7664	266.7670	0.0006
node-12	266.6785	266.6777	0.0008
node-13	266.6066	266.6071	0.0005
node-14	266.5468	266.5468	0.0007
node-15	266.4965	266.4963	0.0002
node-16	266.4536	266.4541	0.0005
node-17	266.4167	266.4171	0.0004
node-18	266.3846	266.3855	0.0009
node-19	266.3566	266.3559	0.0007
node-20	266.3319	266.3321	0.0002

LAMPIRAN D4. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi proses pembekuan es balok dengan suhu kolom 266 K dan suhu awal 303 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7059	302.4118	302.1176	301.8235	301.5294	301.2353	300.9412	300.6471	300.3529	300.0588
node-2	288.0000	287.3985	286.8246	286.2766	285.7528	285.2519	284.7723	284.3128	283.8723	283.4497
node-3	274.3364	274.2211	274.1085	273.9985	273.8910	273.7860	273.6834	273.5830	273.4849	273.3890
node-4	270.7256	270.6818	270.6387	270.5963	270.5546	270.5135	270.4731	270.4332	270.3940	270.3554
node-5	269.1589	269.1369	269.1152	269.0938	269.0725	269.0516	269.0309	269.0104	268.9901	268.9701
node-6	268.3113	268.2985	268.2857	268.2731	268.2605	268.2481	268.2359	268.2237	268.2116	268.1997
node-7	267.7907	267.7823	267.7741	267.7659	267.7578	267.7497	267.7417	267.7338	267.7259	267.7181
node-8	267.4431	267.4373	267.4316	267.4259	267.4203	267.4147	267.4091	267.4036	267.3981	267.3927
node-9	267.1970	267.1928	267.1887	267.1846	267.1804	267.1764	267.1723	267.1683	267.1643	267.1603
node-10	267.0150	267.0119	267.0088	267.0056	267.0025	266.9995	266.9964	266.9933	266.9903	266.9873
node-11	266.8758	266.8734	266.8710	266.8685	266.8661	266.8637	266.8613	266.8590	266.8566	266.8542
node-12	266.7664	266.7645	266.7625	266.7606	266.7587	266.7568	266.7549	266.7530	266.7511	266.7492
node-13	266.6785	266.6769	266.6754	266.6738	266.6722	266.6707	266.6691	266.6676	266.6661	266.6645
node-14	266.6066	266.6053	266.6040	266.6027	266.6014	266.6001	266.5988	266.5976	266.5963	266.5950
node-15	266.5468	266.5457	266.5446	266.5436	266.5425	266.5414	266.5403	266.5393	266.5382	266.5371
node-16	266.4965	266.4955	266.4946	266.4937	266.4928	266.4919	266.4910	266.4901	266.4892	266.4882
node-17	266.4536	266.4528	266.4520	266.4512	266.4504	266.4496	266.4489	266.4481	266.4473	266.4465
node-18	266.4167	266.4160	266.4153	266.4146	266.4139	266.4133	266.4126	266.4119	266.4112	266.4106
node-19	266.3846	266.3840	266.3834	266.3828	266.3822	266.3817	266.3811	266.3805	266.3799	266.3793
node-20	266.3566	266.3561	266.3555	266.3550	266.3545	266.3540	266.3535	266.3529	266.3524	266.3519

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.7647	299.4706	299.1765	298.8824	298.5882	298.2941	298.0000	297.7059	297.4118	297.1176
node-2	283.0439	282.6540	282.2792	281.9186	281.5714	281.2371	280.9149	280.6041	280.3044	280.0150
node-3	273.2951	273.2033	273.1134	273.0254	272.9393	272.8549	272.7724	272.6915	272.6122	272.5345
node-4	270.3173	270.2798	270.2429	270.2065	270.1706	270.1353	270.1004	270.0661	270.0323	269.9989
node-5	268.9504	268.9308	268.9115	268.8923	268.8734	268.8547	268.8363	268.8180	268.7999	268.7820
node-6	268.1879	268.1761	268.1645	268.1530	268.1416	268.1303	268.1191	268.1080	268.0970	268.0861
node-7	267.7103	267.7026	267.6950	267.6874	267.6799	267.6724	267.6650	267.6577	267.6504	267.6431
node-8	267.3873	267.3819	267.3765	267.3712	267.3660	267.3607	267.3555	267.3504	267.3452	267.3401
node-9	267.1563	267.1524	267.1485	267.1446	267.1407	267.1369	267.1331	267.1293	267.1255	267.1217
node-10	266.9843	266.9813	266.9783	266.9754	266.9724	266.9695	266.9666	266.9637	266.9608	266.9579
node-11	266.8519	266.8496	266.8472	266.8449	266.8426	266.8403	266.8381	266.8358	266.8335	266.8313
node-12	266.7473	266.7455	266.7436	266.7418	266.7399	266.7381	266.7363	266.7345	266.7326	266.7308
node-13	266.6630	266.6615	266.6600	266.6585	266.6570	266.6555	266.6540	266.6525	266.6510	266.6496
node-14	266.5938	266.5925	266.5913	266.5900	266.5888	266.5875	266.5863	266.5851	266.5838	266.5826
node-15	266.5361	266.5350	266.5340	266.5329	266.5319	266.5308	266.5298	266.5288	266.5277	266.5267
node-16	266.4874	266.4865	266.4856	266.4847	266.4838	266.4829	266.4820	266.4811	266.4803	266.4794
node-17	266.4458	266.4450	266.4442	266.4435	266.4427	266.4419	266.4412	266.4404	266.4397	266.4389
node-18	266.4099	266.4092	266.4086	266.4079	266.4073	266.4066	266.4059	266.4053	266.4046	266.4040
node-19	266.3787	266.3781	266.3776	266.3770	266.3764	266.3758	266.3753	266.3747	266.3741	266.3735
node-20	266.3514	266.3509	266.3504	266.3499	266.3494	266.3489	266.3483	266.3478	266.3473	266.3468

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.8235	296.5294	296.2353	295.9412	295.6471	295.3529	295.0588	294.7647	294.4706	294.1765
node-2	279.7355	279.4654	279.2043	278.9518	278.7074	278.4708	278.2417	278.0197	277.8045	277.5959
node-3	272.4584	272.3838	272.3107	272.2390	272.1687	272.0997	272.0320	271.9656	271.9005	271.8365
node-4	269.9660	269.9336	269.9016	269.8700	269.8389	269.8083	269.7780	269.7482	269.7187	269.6897
node-5	268.7643	268.7468	268.7295	268.7124	268.6955	268.6787	268.6621	268.6457	268.6295	268.6134
node-6	268.0753	268.0645	268.0539	268.0434	268.0330	268.0226	268.0124	268.0022	267.9921	267.9821
node-7	267.6360	267.6288	267.6217	267.6147	267.6077	267.6008	267.5940	267.5871	267.5804	267.5736
node-8	267.3351	267.3300	267.3250	267.3200	267.3151	267.3102	267.3053	267.3005	267.2957	267.2909
node-9	267.1180	267.1143	267.1106	267.1069	267.1032	267.0996	267.0960	267.0924	267.0888	267.0853
node-10	266.9551	266.9523	266.9494	266.9466	266.9438	266.9410	266.9383	266.9355	266.9328	266.9301
node-11	266.8290	266.8268	266.8246	266.8224	266.8202	266.8180	266.8158	266.8137	266.8115	266.8094
node-12	266.7290	266.7273	266.7255	266.7237	266.7219	266.7202	266.7184	266.7167	266.7150	266.7132
node-13	266.6481	266.6466	266.6452	266.6437	266.6423	266.6408	266.6394	266.6380	266.6366	266.6351
node-14	266.5814	266.5802	266.5790	266.5778	266.5766	266.5754	266.5742	266.5730	266.5718	266.5706
node-15	266.5257	266.5247	266.5236	266.5226	266.5216	266.5206	266.5196	266.5186	266.5176	266.5166
node-16	266.4785	266.4776	266.4768	266.4759	266.4751	266.4742	266.4733	266.4725	266.4716	266.4708
node-17	266.4382	266.4374	266.4367	266.4359	266.4352	266.4345	266.4337	266.4330	266.4323	266.4315
node-18	266.4033	266.4027	266.4020	266.4014	266.4007	266.4001	266.3995	266.3988	266.3982	266.3976
node-19	266.3730	266.3724	266.3718	266.3713	266.3707	266.3702	266.3696	266.3690	266.3685	266.3679
node-20	266.3463	266.3458	266.3453	266.3448	266.3443	266.3439	266.3434	266.3429	266.3424	266.3419

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	293.8824	293.5882	293.2941	293.0000	292.7059	292.4118	292.1176	291.8235	291.5294	291.2353
node-2	277.3934	277.1970	277.0063	276.8211	276.6412	276.4663	276.2963	276.1310	275.9702	275.8137
node-3	271.7738	271.7122	271.6517	271.5923	271.5339	271.4766	271.4203	271.3650	271.3107	271.2573
node-4	269.6610	269.6327	269.6048	269.5772	269.5501	269.5232	269.4967	269.4706	269.4448	269.4193
node-5	268.5975	268.5818	268.5662	268.5508	268.5356	268.5205	268.5056	268.4908	268.4761	268.4616
node-6	267.9722	267.9624	267.9527	267.9430	267.9335	267.9240	267.9146	267.9052	267.8960	267.8868
node-7	267.5670	267.5603	267.5538	267.5472	267.5408	267.5343	267.5279	267.5216	267.5153	267.5090
node-8	267.2861	267.2814	267.2767	267.2720	267.2674	267.2628	267.2582	267.2537	267.2492	267.2447
node-9	267.0817	267.0782	267.0747	267.0713	267.0678	267.0644	267.0610	267.0576	267.0542	267.0508
node-10	266.9273	266.9247	266.9220	266.9193	266.9166	266.9140	266.9114	266.9087	266.9061	266.9035
node-11	266.8072	266.8051	266.8030	266.8009	266.7988	266.7967	266.7946	266.7925	266.7905	266.7884
node-12	266.7115	266.7098	266.7081	266.7064	266.7047	266.7030	266.7013	266.6997	266.6980	266.6963
node-13	266.6337	266.6323	266.6309	266.6295	266.6281	266.6268	266.6254	266.6240	266.6226	266.6213
node-14	266.5695	266.5683	266.5671	266.5660	266.5648	266.5637	266.5625	266.5614	266.5602	266.5591
node-15	266.5156	266.5146	266.5136	266.5127	266.5117	266.5107	266.5097	266.5088	266.5078	266.5068
node-16	266.4699	266.4691	266.4683	266.4674	266.4666	266.4658	266.4649	266.4641	266.4633	266.4625
node-17	266.4308	266.4301	266.4293	266.4286	266.4279	266.4272	266.4265	266.4258	266.4250	266.4243
node-18	266.3969	266.3963	266.3957	266.3950	266.3944	266.3938	266.3932	266.3925	266.3919	266.3913
node-19	266.3674	266.3668	266.3663	266.3657	266.3652	266.3646	266.3641	266.3635	266.3630	266.3625
node-20	266.3414	266.3409	266.3404	266.3399	266.3395	266.3390	266.3385	266.3380	266.3375	266.3371

Node	i=41	i=42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	290.9412	290.6471	290.3529	290.0588	289.7647	289.4706	289.1765	288.8824	288.5882	288.0007
node-2	275.6614	275.5131	275.3687	275.2279	275.0908	274.9571	274.8268	274.6996	274.5756	274.4546
node-3	271.2048	271.1532	271.1024	271.0525	271.0035	270.9552	270.9078	270.8611	270.8152	270.7700
node-4	269.3941	269.3693	269.3447	269.3205	269.2965	269.2729	269.2495	269.2265	269.2037	269.1812
node-5	268.4473	268.4331	268.4190	268.4051	268.3913	268.3777	268.3641	268.3507	268.3375	268.3244
node-6	267.8777	267.8687	267.8597	267.8508	267.8420	267.8333	267.8246	267.8160	267.8075	267.7990
node-7	267.5028	267.4967	267.4905	267.4845	267.4784	267.4724	267.4665	267.4606	267.4547	267.4489
node-8	267.2402	267.2358	267.2313	267.2270	267.2226	267.2183	267.2140	267.2097	267.2054	267.2012
node-9	267.0475	267.0442	267.0409	267.0376	267.0343	267.0310	267.0278	267.0246	267.0214	267.0182
node-10	266.9010	266.8984	266.8958	266.8933	266.8908	266.8882	266.8857	266.8832	266.8808	266.8783
node-11	266.7864	266.7843	266.7823	266.7803	266.7783	266.7763	266.7743	266.7723	266.7703	266.7684
node-12	266.6947	266.6930	266.6914	266.6898	266.6881	266.6865	266.6849	266.6833	266.6817	266.6801
node-13	266.6199	266.6186	266.6172	266.6159	266.6145	266.6132	266.6119	266.6105	266.6092	266.6079
node-14	266.5579	266.5568	266.5557	266.5546	266.5534	266.5523	266.5512	266.5501	266.5490	266.5479
node-15	266.5059	266.5049	266.5040	266.5030	266.5021	266.5011	266.5002	266.4993	266.4983	266.4974
node-16	266.4616	266.4608	266.4600	266.4592	266.4584	266.4576	266.4568	266.4560	266.4552	266.4544
node-17	266.4236	266.4229	266.4222	266.4215	266.4208	266.4201	266.4194	266.4187	266.4180	266.4174
node-18	266.3907	266.3901	266.3895	266.3889	266.3882	266.3876	266.3870	266.3864	266.3858	266.3852
node-19	266.3619	266.3614	266.3608	266.3603	266.3598	266.3592	266.3587	266.3582	266.3576	266.3571
node-20	266.3366	266.3361	266.3356	266.3352	266.3347	266.3342	266.3337	266.3333	266.3328	266.3323

Node	iterasi-51	Eksas	error
node-1	288.0000	288.0000	0.0000
node-2	274.3364	274.3358	0.0006
node-3	270.7256	270.7261	0.0005
node-4	269.1589	269.1592	0.0003
node-5	268.3113	268.3107	0.0006
node-6	267.7907	267.7916	0.0009
node-7	267.4431	267.4425	0.0006
node-8	267.1970	267.1962	0.0008
node-9	267.0150	267.0153	0.0003
node-10	266.8758	266.8764	0.0006
node-11	266.7664	266.7670	0.0006
node-12	266.6785	266.6777	0.0008
node-13	266.6066	266.6071	0.0005
node-14	266.5468	266.5468	0.0007
node-15	266.4965	266.4963	0.0002
node-16	266.4536	266.4541	0.0005
node-17	266.4167	266.4171	0.0004
node-18	266.3846	266.3855	0.0009
node-19	266.3566	266.3559	0.0007
node-20	266.3319	266.3321	0.0002

LAMPIRAN D5. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi proses pembekuan es balok dengan suhu kolom 267 K dan suhu awal 303 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7087	302.4175	302.1262	301.8350	301.5437	301.2524	300.9612	300.6699	300.3786	300.0874
node-2	288.2873	287.4866	286.9953	286.5248	286.0739	285.6414	285.2262	284.8274	284.4440	284.0752
node-3	275.8294	275.7203	275.6135	275.5091	275.4070	275.3070	275.2092	275.1134	275.0196	274.9277
node-4	272.3188	272.2749	272.2315	272.1888	272.1467	272.1053	272.0644	272.0241	271.9844	271.9452
node-5	270.7123	270.6892	270.6664	270.6439	270.6215	270.5995	270.5776	270.5561	270.5347	270.5136
node-6	269.8087	269.7947	269.7809	269.7671	269.7535	269.7400	269.7267	269.7134	269.7003	269.6872
node-7	269.2363	269.2270	269.2178	269.2087	269.1996	269.1906	269.1816	269.1727	269.1639	269.1552
node-8	268.8444	268.8378	268.8313	268.8248	268.8184	268.8120	268.8056	268.7993	268.7930	268.7867
node-9	268.5608	268.5560	268.5511	268.5463	268.5415	268.5368	268.5321	268.5274	268.5227	268.5180
node-10	268.3472	268.3434	268.3397	268.3360	268.3323	268.3287	268.3250	268.3214	268.3178	268.3142
node-11	268.1809	268.1780	268.1750	268.1721	268.1692	268.1663	268.1634	268.1606	268.1577	268.1549
node-12	268.0483	268.0459	268.0435	268.0412	268.0388	268.0365	268.0342	268.0318	268.0295	268.0272
node-13	267.9402	267.9383	267.9363	267.9344	267.9325	267.9305	267.9286	267.9267	267.9248	267.9229
node-14	267.8507	267.8491	267.8475	267.8458	267.8442	267.8426	267.8410	267.8394	267.8378	267.8362
node-15	267.7755	267.7741	267.7727	267.7713	267.7700	267.7686	267.7672	267.7659	267.7645	267.7632
node-16	267.7114	267.7102	267.7090	267.7078	267.7067	267.7055	267.7043	267.7032	267.7020	267.7009
node-17	267.6563	267.6552	267.6542	267.6532	267.6522	267.6512	267.6501	267.6491	267.6481	267.6471
node-18	267.6084	267.6075	267.6066	267.6057	267.6048	267.6039	267.6030	267.6022	267.6013	267.6004
node-19	267.5664	267.5656	267.5648	267.5641	267.5633	267.5625	267.5617	267.5609	267.5602	267.5594
node-20	267.5294	267.5287	267.5280	267.5273	267.5266	267.5259	267.5252	267.5246	267.5239	267.5232

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.7961	299.5049	299.2136	298.9223	298.6311	298.3398	298.0485	297.7573	297.4660	297.1748
node-2	283.7202	283.3783	283.0488	282.7310	282.4243	282.1283	281.8423	281.5659	281.2987	281.0401
node-3	274.8377	274.7496	274.6632	274.5785	274.4955	274.4141	274.3343	274.2560	274.1793	274.1039
node-4	271.9066	271.8685	271.8310	271.7940	271.7575	271.7215	271.6859	271.6509	271.6163	271.5822
node-5	270.4927	270.4720	270.4515	270.4313	270.4113	270.3914	270.3718	270.3524	270.3332	270.3142
node-6	269.6743	269.6615	269.6488	269.6363	269.6238	269.6114	269.5991	269.5870	269.5749	269.5630
node-7	269.1465	269.1379	269.1293	269.1208	269.1124	269.1040	269.0957	269.0874	269.0792	269.0711
node-8	268.7805	268.7744	268.7683	268.7622	268.7561	268.7501	268.7441	268.7382	268.7323	268.7264
node-9	268.5134	268.5088	268.5042	268.4997	268.4951	268.4906	268.4862	268.4817	268.4773	268.4729
node-10	268.3106	268.3071	268.3036	268.3000	268.2965	268.2931	268.2896	268.2861	268.2827	268.2793
node-11	268.1520	268.1492	268.1464	268.1436	268.1408	268.1381	268.1353	268.1326	268.1298	268.1271
node-12	268.0249	268.0227	268.0204	268.0181	268.0159	268.0136	268.0114	268.0091	268.0069	268.0047
node-13	267.9210	267.9191	267.9173	267.9154	267.9135	267.9117	267.9098	267.9080	267.9061	267.9043
node-14	267.8346	267.8331	267.8315	267.8299	267.8284	267.8268	267.8253	267.8237	267.8222	267.8206
node-15	267.7618	267.7605	267.7592	267.7578	267.7565	267.7552	267.7539	267.7525	267.7512	267.7499
node-16	267.6997	267.6986	267.6974	267.6963	267.6951	267.6940	267.6929	267.6917	267.6906	267.6895
node-17	267.6461	267.6451	267.6441	267.6432	267.6422	267.6412	267.6402	267.6392	267.6382	267.6373
node-18	267.5995	267.5987	267.5978	267.5969	267.5961	267.5952	267.5943	267.5935	267.5926	267.5918
node-19	267.5586	267.5579	267.5571	267.5563	267.5556	267.5548	267.5541	267.5533	267.5526	267.5518
node-20	267.5225	267.5218	267.5212	267.5205	267.5198	267.5191	267.5185	267.5178	267.5171	267.5164

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.8835	296.5922	296.3010	296.0097	295.7184	295.4272	295.1359	294.8447	294.5534	294.2621
node-2	280.7898	280.5475	280.3127	280.0851	279.8645	279.6504	279.4427	279.2410	279.0452	278.8549
node-3	274.0300	273.9574	273.8862	273.8163	273.7477	273.6803	273.6141	273.5490	273.4851	273.4224
node-4	271.5485	271.5153	271.4825	271.4501	271.4182	271.3867	271.3555	271.3248	271.2944	271.2645
node-5	270.2954	270.2767	270.2583	270.2400	270.2220	270.2041	270.1864	270.1688	270.1515	270.1343
node-6	269.5511	269.5393	269.5277	269.5161	269.5046	269.4933	269.4820	269.4708	269.4597	269.4486
node-7	269.0630	269.0549	269.0470	269.0391	269.0312	269.0234	269.0156	269.0079	269.0003	268.9927
node-8	268.7206	268.7148	268.7090	268.7033	268.6976	268.6920	268.6863	268.6808	268.6752	268.6697
node-9	268.4685	268.4641	268.4598	268.4555	268.4512	268.4469	268.4427	268.4385	268.4343	268.4301
node-10	268.2759	268.2725	268.2691	268.2658	268.2624	268.2591	268.2558	268.2525	268.2492	268.2460
node-11	268.1244	268.1217	268.1190	268.1164	268.1137	268.1110	268.1084	268.1058	268.1032	268.1006
node-12	268.0025	268.0003	267.9981	267.9960	267.9938	267.9916	267.9895	267.9873	267.9852	267.9831
node-13	267.9025	267.9007	267.8989	267.8971	267.8953	267.8935	267.8917	267.8899	267.8881	267.8864
node-14	267.8191	267.8176	267.8161	267.8145	267.8130	267.8115	267.8100	267.8085	267.8070	267.8056
node-15	267.7486	267.7473	267.7460	267.7447	267.7435	267.7422	267.7409	267.7396	267.7384	267.7371
node-16	267.6884	267.6872	267.6861	267.6850	267.6839	267.6828	267.6817	267.6806	267.6795	267.6784
node-17	267.6363	267.6353	267.6344	267.6334	267.6324	267.6315	267.6305	267.6296	267.6286	267.6277
node-18	267.5909	267.5901	267.5892	267.5884	267.5875	267.5867	267.5859	267.5850	267.5842	267.5834
node-19	267.5511	267.5503	267.5496	267.5488	267.5481	267.5473	267.5466	267.5459	267.5451	267.5444
node-20	267.5158	267.5151	267.5145	267.5138	267.5131	267.5125	267.5118	267.5112	267.5105	267.5099

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	293.9709	293.6796	293.3883	293.0971	292.8058	292.5146	292.2233	291.9320	291.6408	291.3495
node-2	278.6700	278.4901	278.3153	278.1451	277.9795	277.8183	277.6613	277.5083	277.3593	277.2140
node-3	273.3607	273.3000	273.2404	273.1818	273.1242	273.0676	273.0119	272.9570	272.9031	272.8501
node-4	271.2349	271.2057	271.1768	271.1483	271.1201	271.0923	271.0648	271.0377	271.0108	270.9843
node-5	270.1173	270.1004	270.0837	270.0672	270.0508	270.0346	270.0185	270.0026	269.9868	269.9712
node-6	269.4377	269.4269	269.4161	269.4055	269.3949	269.3844	269.3740	269.3636	269.3534	269.3432
node-7	268.9851	268.9776	268.9702	268.9628	268.9555	268.9482	268.9409	268.9337	268.9266	268.9195
node-8	268.6642	268.6587	268.6533	268.6479	268.6425	268.6372	268.6319	268.6266	268.6214	268.6162
node-9	268.4259	268.4218	268.4177	268.4136	268.4095	268.4055	268.4014	268.3974	268.3934	268.3895
node-10	268.2427	268.2395	268.2363	268.2331	268.2299	268.2267	268.2236	268.2205	268.2173	268.2142
node-11	268.0980	268.0954	268.0928	268.0902	268.0877	268.0851	268.0826	268.0801	268.0776	268.0751
node-12	267.9809	267.9788	267.9767	267.9746	267.9726	267.9705	267.9684	267.9663	267.9643	267.9622
node-13	267.8846	267.8829	267.8811	267.8794	267.8776	267.8759	267.8742	267.8725	267.8708	267.8691
node-14	267.8041	267.8026	267.8011	267.7997	267.7982	267.7967	267.7953	267.7938	267.7924	267.7910
node-15	267.7358	267.7346	267.7333	267.7321	267.7308	267.7296	267.7283	267.7271	267.7259	267.7246
node-16	267.6774	267.6763	267.6752	267.6741	267.6730	267.6720	267.6709	267.6698	267.6688	267.6677
node-17	267.6267	267.6258	267.6249	267.6239	267.6230	267.6220	267.6211	267.6202	267.6193	267.6183
node-18	267.5825	267.5817	267.5809	267.5801	267.5793	267.5784	267.5776	267.5768	267.5760	267.5752
node-19	267.5437	267.5429	267.5422	267.5415	267.5408	267.5400	267.5393	267.5386	267.5379	267.5372
node-20	267.5092	267.5086	267.5079	267.5073	267.5066	267.5060	267.5053	267.5047	267.5041	267.5034

Node	i=41	i=42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	291.0583	290.7670	290.4757	290.1845	289.8932	289.6019	289.3107	289.0194	288.2282	288.0005
node-2	277.0723	276.9341	276.7993	276.6678	276.5394	276.4141	276.2916	276.1721	276.0552	275.9410
node-3	272.7979	272.7466	272.6960	272.6463	272.5973	272.5491	272.5016	272.4549	272.4088	272.3635
node-4	270.9581	270.9322	270.9067	270.8814	270.8564	270.8317	270.8073	270.7831	270.7592	270.7356
node-5	269.9558	269.9404	269.9252	269.9102	269.8953	269.8805	269.8659	269.8514	269.8371	269.8228
node-6	269.3331	269.3231	269.3131	269.3033	269.2935	269.2838	269.2741	269.2646	269.2551	269.2457
node-7	268.9124	268.9054	268.8985	268.8915	268.8847	268.8778	268.8711	268.8643	268.8576	268.8510
node-8	268.6110	268.6059	268.6008	268.5957	268.5906	268.5856	268.5806	268.5756	268.5706	268.5657
node-9	268.3855	268.3816	268.3777	268.3738	268.3699	268.3661	268.3623	268.3585	268.3547	268.3509
node-10	268.2111	268.2080	268.2050	268.2019	268.1989	268.1958	268.1928	268.1898	268.1868	268.1839
node-11	268.0726	268.0701	268.0677	268.0652	268.0628	268.0603	268.0579	268.0555	268.0531	268.0507
node-12	267.9602	267.9582	267.9562	267.9541	267.9521	267.9501	267.9481	267.9462	267.9442	267.9422
node-13	267.8674	267.8657	267.8640	267.8623	267.8606	267.8590	267.8573	267.8557	267.8540	267.8524
node-14	267.7895	267.7881	267.7867	267.7853	267.7838	267.7824	267.7810	267.7796	267.7782	267.7768
node-15	267.7234	267.7222	267.7210	267.7198	267.7186	267.7174	267.7162	267.7150	267.7138	267.7126
node-16	267.6667	267.6656	267.6645	267.6635	267.6625	267.6614	267.6604	267.6593	267.6583	267.6573
node-17	267.6174	267.6165	267.6156	267.6147	267.6138	267.6129	267.6120	267.6111	267.6102	267.6093
node-18	267.5744	267.5736	267.5728	267.5720	267.5712	267.5704	267.5696	267.5688	267.5680	267.5672
node-19	267.5364	267.5357	267.5350	267.5343	267.5336	267.5329	267.5322	267.5315	267.5308	267.5301
node-20	267.5028	267.5022	267.5015	267.5009	267.5003	267.4996	267.4990	267.4984	267.4978	267.4971

Node	iterasi-51	Eksak	Error
node-1	288.0000	288.0000	0.0000
node-2	275.8294	275.8301	0.0007
node-3	272.3188	272.3193	0.0005
node-4	270.7123	270.7118	0.0005
node-5	269.8087	269.8091	0.0004
node-6	269.2363	269.2351	0.0002
node-7	268.8444	268.8438	0.0006
node-8	268.5608	268.5611	0.0003
node-9	268.3472	268.3468	0.0004
node-10	268.1809	268.1815	0.0006
node-11	268.0483	268.0474	0.0009
node-12	267.9402	267.9399	0.0003
node-13	267.8507	267.8509	0.0002
node-14	267.7755	267.7751	0.0004
node-15	267.7114	267.7107	0.0007
node-16	267.6563	267.6556	0.0007
node-17	267.6084	267.6088	0.0004
node-18	267.5664	267.5659	0.0005
node-19	267.5294	267.5292	0.0002
node-20	267.4965	267.4961	0.0004

LAMPIRAN D6. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi proses pembekuan es balok dengan suhu kolom 267 K dan suhu awal 303 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7103	302.4205	302.1308	301.8410	301.5513	301.2615	300.9718	300.6821	300.3923	300.1026
node-2	288.0000	287.5110	287.0431	286.5951	286.1656	285.7537	285.3583	284.9785	284.6134	284.2621
node-3	276.4090	276.3050	276.2034	276.1039	276.0066	275.9114	275.8183	275.7270	275.6377	275.5502
node-4	273.0656	273.0237	272.9824	272.9417	272.9016	272.8621	272.8232	272.7848	272.7470	272.7097
node-5	271.5355	271.5136	271.4918	271.4703	271.4491	271.4281	271.4073	271.3867	271.3664	271.3463
node-6	270.6750	270.6616	270.6485	270.6354	270.6224	270.6096	270.5968	270.5842	270.5717	270.5593
node-7	270.1298	270.1210	270.1122	270.1035	270.0948	270.0863	270.0777	270.0693	270.0609	270.0526
node-8	269.7565	269.7503	269.7441	269.7379	269.7318	269.7257	269.7196	269.7136	269.7076	269.7017
node-9	269.4865	269.4819	269.4773	269.4727	269.4681	269.4636	269.4591	269.4546	269.4502	269.4457
node-10	269.2830	269.2794	269.2759	269.2724	269.2689	269.2654	269.2619	269.2585	269.2550	269.2516
node-11	269.1247	269.1219	269.1191	269.1163	269.1135	269.1108	269.1080	269.1053	269.1026	269.0999
node-12	268.9984	268.9961	268.9938	268.9916	268.9894	268.9871	268.9849	268.9827	268.9805	268.9783
node-13	268.8955	268.8936	268.8918	268.8899	268.8881	268.8862	268.8844	268.8826	268.8808	268.8790
node-14	268.8102	268.8087	268.8071	268.8056	268.8040	268.8025	268.8010	268.7994	268.7979	268.7964
node-15	268.7385	268.7372	268.7359	268.7346	268.7333	268.7320	268.7307	268.7294	268.7281	268.7268
node-16	268.6775	268.6764	268.6753	268.6741	268.6730	268.6719	268.6708	268.6697	268.6686	268.6675
node-17	268.6250	268.6240	268.6231	268.6221	268.6211	268.6202	268.6192	268.6182	268.6173	268.6163
node-18	268.5794	268.5785	268.5777	268.5768	268.5760	268.5752	268.5743	268.5735	268.5726	268.5718
node-19	268.5394	268.5387	268.5379	268.5372	268.5365	268.5357	268.5350	268.5342	268.5335	268.5328
node-20	268.5042	268.5035	268.5029	268.5022	268.5015	268.5009	268.5002	268.4996	268.4989	268.4983

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.8128	299.5231	299.2333	298.9436	298.6539	298.3641	298.0744	297.7846	297.4949	297.2051
node-2	283.9240	283.5984	283.2846	282.9819	282.6899	282.4079	282.1355	281.8723	281.6178	281.3715
node-3	275.4645	275.3806	275.2983	275.2176	275.1386	275.0611	274.9851	274.9105	274.8374	274.7656
node-4	272.6730	272.6367	272.6010	272.5657	272.5309	272.4966	272.4628	272.4294	272.3965	272.3640
node-5	271.3264	271.3067	271.2872	271.2679	271.2488	271.2299	271.2113	271.1928	271.1745	271.1564
node-6	270.5470	270.5348	270.5227	270.5107	270.4988	270.4871	270.4754	270.4638	270.4523	270.4409
node-7	270.0443	270.0361	270.0279	270.0198	270.0118	270.0038	269.9959	269.9880	269.9802	269.9724
node-8	269.6958	269.6899	269.6841	269.6783	269.6725	269.6668	269.6611	269.6554	269.6498	269.6442
node-9	269.4413	269.4369	269.4326	269.4283	269.4239	269.4197	269.4154	269.4111	269.4069	269.4027
node-10	269.2482	269.2448	269.2415	269.2381	269.2348	269.2315	269.2282	269.2249	269.2216	269.2184
node-11	269.0972	269.0945	269.0918	269.0892	269.0865	269.0839	269.0813	269.0786	269.0760	269.0735
node-12	268.9761	268.9740	268.9718	268.9696	268.9675	268.9653	268.9632	268.9611	268.9590	268.9569
node-13	268.8772	268.8754	268.8736	268.8718	268.8700	268.8683	268.8665	268.8647	268.8630	268.8612
node-14	268.7949	268.7934	268.7919	268.7904	268.7889	268.7874	268.7860	268.7845	268.7830	268.7816
node-15	268.7256	268.7243	268.7230	268.7217	268.7205	268.7192	268.7180	268.7167	268.7155	268.7142
node-16	268.6664	268.6653	268.6642	268.6631	268.6620	268.6609	268.6599	268.6588	268.6577	268.6567
node-17	268.6154	268.6144	268.6135	268.6125	268.6116	268.6107	268.6097	268.6088	268.6079	268.6069
node-18	268.5710	268.5701	268.5693	268.5685	268.5677	268.5669	268.5660	268.5652	268.5644	268.5636
node-19	268.5320	268.5313	268.5306	268.5299	268.5291	268.5284	268.5277	268.5270	268.5262	268.5255
node-20	268.4976	268.4970	268.4963	268.4957	268.4950	268.4944	268.4938	268.4931	268.4925	268.4919

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.9154	296.6257	296.3359	296.0462	295.7564	295.4667	295.1769	294.8872	294.5975	294.3077
node-2	281.1332	280.9024	280.6788	280.4620	280.2519	280.0480	279.8502	279.6581	279.4716	279.2904
node-3	274.6952	274.6261	274.5583	274.4917	274.4264	274.3622	274.2991	274.2372	274.1763	274.1165
node-4	272.3319	272.3003	272.2691	272.2382	272.2078	272.1778	272.1481	272.1188	272.0899	272.0614
node-5	271.1384	271.1207	271.1031	271.0858	271.0685	271.0515	271.0346	271.0179	271.0014	270.9850
node-6	270.4296	270.4184	270.4073	270.3963	270.3854	270.3745	270.3638	270.3531	270.3425	270.3320
node-7	269.9647	269.9571	269.9495	269.9420	269.9345	269.9270	269.9196	269.9123	269.9050	269.8978
node-8	269.6387	269.6331	269.6277	269.6222	269.6168	269.6114	269.6060	269.6007	269.5954	269.5902
node-9	269.3986	269.3944	269.3903	269.3862	269.3821	269.3780	269.3740	269.3700	269.3660	269.3620
node-10	269.2151	269.2119	269.2087	269.2055	269.2023	269.1992	269.1960	269.1929	269.1898	269.1867
node-11	269.0709	269.0683	269.0657	269.0632	269.0607	269.0581	269.0556	269.0531	269.0506	269.0481
node-12	268.9548	268.9527	268.9506	268.9485	268.9465	268.9444	268.9424	268.9403	268.9383	268.9363
node-13	268.8595	268.8578	268.8561	268.8543	268.8526	268.8509	268.8492	268.8475	268.8458	268.8442
node-14	268.7801	268.7786	268.7772	268.7758	268.7743	268.7729	268.7715	268.7700	268.7686	268.7672
node-15	268.7130	268.7117	268.7105	268.7093	268.7081	268.7068	268.7056	268.7044	268.7032	268.7020
node-16	268.6556	268.6545	268.6535	268.6524	268.6514	268.6503	268.6493	268.6482	268.6472	268.6461
node-17	268.6060	268.6051	268.6042	268.6032	268.6023	268.6014	268.6005	268.5996	268.5987	268.5978
node-18	268.5628	268.5620	268.5612	268.5604	268.5596	268.5588	268.5580	268.5572	268.5564	268.5556
node-19	268.5248	268.5241	268.5234	268.5227	268.5220	268.5213	268.5206	268.5199	268.5192	268.5185
node-20	268.4912	268.4906	268.4900	268.4893	268.4887	268.4881	268.4875	268.4868	268.4862	268.4856

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	294.0180	293.7282	293.4385	293.1487	292.8590	292.5692	292.2795	291.9898	291.7000	291.4103
node-2	279.1142	278.9430	278.7764	278.6144	278.4567	278.3031	278.1536	278.0079	277.8660	277.7276
node-3	274.0578	274.0000	273.9433	273.8875	273.8326	273.7786	273.7256	273.6734	273.6220	273.5715
node-4	272.0332	272.0054	271.9779	271.9507	271.9239	271.8974	271.8713	271.8454	271.8198	271.7946
node-5	270.9688	270.9528	270.9369	270.9211	270.9055	270.8901	270.8748	270.8596	270.8446	270.8297
node-6	270.3216	270.3113	270.3011	270.2909	270.2808	270.2708	270.2609	270.2511	270.2413	270.2316
node-7	269.8906	269.8835	269.8764	269.8693	269.8623	269.8554	269.8485	269.8416	269.8348	269.8281
node-8	269.5849	269.5797	269.5746	269.5694	269.5643	269.5593	269.5542	269.5492	269.5442	269.5392
node-9	269.3580	269.3541	269.3502	269.3463	269.3424	269.3385	269.3347	269.3309	269.3271	269.3233
node-10	269.1836	269.1805	269.1774	269.1744	269.1713	269.1683	269.1653	269.1623	269.1594	269.1564
node-11	269.0457	269.0432	269.0408	269.0383	269.0359	269.0335	269.0311	269.0287	269.0263	269.0239
node-12	268.9342	268.9322	268.9302	268.9282	268.9262	268.9243	268.9223	268.9203	268.9184	268.9164
node-13	268.8425	268.8408	268.8392	268.8375	268.8359	268.8342	268.8326	268.8309	268.8293	268.8277
node-14	268.7658	268.7644	268.7630	268.7616	268.7602	268.7588	268.7574	268.7560	268.7547	268.7533
node-15	268.7008	268.6996	268.6984	268.6972	268.6960	268.6948	268.6937	268.6925	268.6913	268.6901
node-16	268.6451	268.6441	268.6430	268.6420	268.6410	268.6400	268.6389	268.6379	268.6369	268.6359
node-17	268.5969	268.5960	268.5951	268.5942	268.5933	268.5924	268.5915	268.5907	268.5898	268.5889
node-18	268.5548	268.5540	268.5532	268.5524	268.5517	268.5509	268.5501	268.5493	268.5486	268.5478
node-19	268.5178	268.5171	268.5164	268.5157	268.5150	268.5143	268.5136	268.5129	268.5123	268.5116
node-20	268.4850	268.4843	268.4837	268.4831	268.4825	268.4819	268.4813	268.4807	268.4801	268.4795

Node	iterasi-41	iterasi-42	iterasi-43	iterasi-41	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	291.1205	290.8308	290.5410	290.2513	289.9616	289.6718	289.3821	289.0923	288.8026	288.5128
node-2	277.5927	277.4611	277.3327	277.2074	277.0852	276.9658	276.8492	276.7353	276.6240	276.5153
node-3	273.5218	273.4729	273.4248	273.3774	273.3308	273.2848	273.2396	273.1951	273.1513	273.1081
node-4	271.7696	271.7450	271.7206	271.6965	271.6727	271.6492	271.6260	271.6030	271.5802	271.5578
node-5	270.8150	270.8004	270.7859	270.7716	270.7574	270.7434	270.7294	270.7156	270.7020	270.6884
node-6	270.2220	270.2125	270.2030	270.1936	270.1843	270.1750	270.1658	270.1567	270.1477	270.1387
node-7	269.8214	269.8147	269.8080	269.8015	269.7949	269.7884	269.7820	269.7755	269.7692	269.7628
node-8	269.5343	269.5294	269.5245	269.5197	269.5149	269.5101	269.5053	269.5006	269.4959	269.4912
node-9	269.3196	269.3158	269.3121	269.3084	269.3047	269.3010	269.2974	269.2938	269.2902	269.2866
node-10	269.1534	269.1505	269.1476	269.1447	269.1418	269.1389	269.1360	269.1332	269.1303	269.1275
node-11	269.0215	269.0192	269.0168	269.0145	269.0121	269.0098	269.0075	269.0052	269.0029	269.0006
node-12	268.9145	268.9126	268.9106	268.9087	268.9068	268.9049	268.9030	268.9011	268.8992	268.8973
node-13	268.8261	268.8245	268.8229	268.8213	268.8197	268.8181	268.8165	268.8149	268.8133	268.8118
node-14	268.7519	268.7506	268.7492	268.7479	268.7465	268.7452	268.7438	268.7425	268.7412	268.7399
node-15	268.6890	268.6878	268.6867	268.6855	268.6843	268.6832	268.6821	268.6809	268.6798	268.6786
node-16	268.6349	268.6339	268.6329	268.6319	268.6309	268.6299	268.6289	268.6279	268.6270	268.6260
node-17	268.5880	268.5871	268.5863	268.5854	268.5845	268.5837	268.5828	268.5820	268.5811	268.5802
node-18	268.5470	268.5463	268.5455	268.5447	268.5440	268.5432	268.5424	268.5417	268.5409	268.5402
node-19	268.5109	268.5102	268.5095	268.5089	268.5082	268.5075	268.5068	268.5062	268.5055	268.5048
node-20	268.4788	268.4782	268.4776	268.4770	268.4764	268.4758	268.4752	268.4747	268.4741	268.4735

Node	iterasi-51	Eksak	Error
node-1	288.0000	287.9995	0.0005
node-2	276.4090	276.4096	0.0006
node-3	273.0656	273.0670	0.0004
node-4	271.5355	271.5357	0.0002
node-5	270.6750	270.6759	0.0009
node-6	270.1298	270.1302	0.0004
node-7	269.7565	269.7571	0.0006
node-8	269.4865	269.4862	0.0003
node-9	269.2830	269.2833	0.0003
node-10	269.1247	269.1256	0.0009
node-11	268.9984	268.9979	0.0005
node-12	268.8955	268.8951	0.0004
node-13	268.8102	268.8100	0.0002
node-14	268.7385	268.7383	0.0002
node-15	268.6775	268.6773	0.0002
node-16	268.6250	268.6244	0.0006
node-17	268.5794	268.5791	0.0003
node-18	268.5394	268.5389	0.0005
node-19	268.5042	268.5039	0.0003
node-20	268.4729	268.4731	0.0002

LAMPIRAN D7. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi pengaruh konsentrasi garam 0.4 mol terhadap proses pembekuan es balok dengan suhu kolom 266 K dan suhu awal 303 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7065	302.4130	302.1195	301.8261	301.5326	301.2391	300.9456	300.6521	300.3586	300.0652
node-2	288.0000	287.4773	286.9768	286.4972	286.0372	285.5957	285.1716	284.7639	284.3718	283.9944
node-3	275.4817	275.3678	275.2564	275.1474	275.0407	274.9363	274.8340	274.7339	274.6358	274.5396
node-4	271.7951	271.7485	271.7026	271.6574	271.6128	271.5689	271.5256	271.4829	271.4408	271.3992
node-5	270.0865	270.0618	270.0374	270.0133	269.9894	269.9658	269.9424	269.9193	269.8964	269.8738
node-6	269.1165	269.1015	269.0865	269.0717	269.0570	269.0425	269.0281	269.0138	268.9996	268.9855
node-7	268.4976	268.4875	268.4775	268.4676	268.4578	268.4480	268.4383	268.4286	268.4191	268.4096
node-8	268.0712	268.0641	268.0570	268.0499	268.0429	268.0359	268.0289	268.0220	268.0152	268.0084
node-9	267.7559	267.7506	267.7453	267.7401	267.7349	267.7297	267.7245	267.7194	267.7143	267.7092
node-10	267.5265	267.5224	267.5183	267.5142	267.5102	267.5062	267.5022	267.4982	267.4942	267.4902
node-11	267.3432	267.3399	267.3367	267.3335	267.3303	267.3271	267.3239	267.3207	267.3175	267.3144
node-12	267.1964	267.1938	267.1911	267.1885	267.1859	267.1833	267.1807	267.1782	267.1756	267.1730
node-13	267.0764	267.0743	267.0721	267.0699	267.0678	267.0656	267.0635	267.0614	267.0593	267.0572
node-14	266.9767	266.9749	266.9731	266.9713	266.9695	266.9677	266.9659	266.9641	266.9623	266.9606
node-15	266.8927	266.8911	266.8896	266.8881	266.8865	266.8850	266.8835	266.8820	266.8804	266.8789
node-16	266.8209	266.8196	266.8183	266.8170	266.8157	266.8143	266.8130	266.8117	266.8104	266.8091
node-17	266.7591	266.7579	266.7568	266.7556	266.7545	266.7533	266.7522	266.7511	266.7499	266.7488
node-18	266.7052	266.7042	266.7032	266.7022	266.7012	266.7002	266.6992	266.6982	266.6972	266.6962
node-19	266.6579	266.6570	266.6561	266.6553	266.6544	266.6535	266.6526	266.6517	266.6509	266.6500
node-20	266.6161	266.6153	266.6145	266.6137	266.6130	266.6122	266.6114	266.6106	266.6099	266.6091

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.7717	299.4782	299.1847	298.8912	298.5977	298.3042	298.0108	297.7173	297.4238	297.1303
node-2	283.6309	283.2805	282.9427	282.6167	282.3019	281.9979	281.7040	281.4199	281.1450	280.8789
node-3	274.4455	274.3532	274.2627	274.1740	274.0870	274.0017	273.9180	273.8359	273.7553	273.6763
node-4	271.3583	271.3179	271.2781	271.2388	271.2000	271.1618	271.1240	271.0868	271.0501	271.0138
node-5	269.8514	269.8293	269.8073	269.7856	269.7642	269.7429	269.7219	269.7011	269.6805	269.6601
node-6	268.9716	268.9578	268.9441	268.9305	268.9170	268.9037	268.8904	268.8773	268.8642	268.8513
node-7	268.4001	268.3908	268.3814	268.3722	268.3630	268.3539	268.3449	268.3359	268.3270	268.3181
node-8	268.0016	267.9949	267.9882	267.9815	267.9749	267.9683	267.9618	267.9553	267.9489	267.9425
node-9	267.7041	267.6991	267.6941	267.6892	267.6842	267.6793	267.6744	267.6696	267.6647	267.6599
node-10	267.4863	267.4824	267.4785	267.4746	267.4708	267.4669	267.4631	267.4593	267.4555	267.4517
node-11	267.3113	267.3082	267.3051	267.3020	267.2989	267.2958	267.2928	267.2897	267.2867	267.2837
node-12	267.1705	267.1680	267.1654	267.1629	267.1604	267.1579	267.1555	267.1530	267.1505	267.1481
node-13	267.0550	267.0529	267.0509	267.0488	267.0467	267.0446	267.0426	267.0405	267.0385	267.0364
node-14	266.9588	266.9570	266.9553	266.9535	266.9518	266.9500	266.9483	266.9466	266.9449	266.9432
node-15	266.8774	266.8759	266.8744	266.8730	266.8715	266.8700	266.8685	266.8670	266.8656	266.8641
node-16	266.8078	266.8066	266.8053	266.8040	266.8027	266.8014	266.8002	266.7989	266.7976	266.7964
node-17	266.7477	266.7466	266.7455	266.7443	266.7432	266.7421	266.7410	266.7399	266.7388	266.7377
node-18	266.6952	266.6943	266.6933	266.6923	266.6913	266.6904	266.6894	266.6884	266.6875	266.6865
node-19	266.6491	266.6483	266.6474	266.6465	266.6457	266.6448	266.6440	266.6431	266.6423	266.6414
node-20	266.6083	266.6075	266.6068	266.6060	266.6053	266.6045	266.6037	266.6030	266.6022	266.6015

Node	i=213	i=224	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.8368	296.5433	296.2499	295.9564	295.6629	295.3694	295.0759	294.7824	294.4889	294.1955
node-2	280.6211	280.3715	280.1295	279.8948	279.6671	279.4461	279.2316	279.0232	278.8208	278.6240
node-3	273.5987	273.5225	273.4477	273.3742	273.3021	273.2312	273.1616	273.0931	273.0259	272.9598
node-4	270.9780	270.9427	270.9078	270.8734	270.8394	270.8058	270.7727	270.7400	270.7077	270.6757
node-5	269.6399	269.6199	269.6001	269.5805	269.5611	269.5419	269.5229	269.5040	269.4854	269.4669
node-6	268.8385	268.8258	268.8132	268.8007	268.7883	268.7759	268.7637	268.7516	268.7396	268.7277
node-7	268.3094	268.3006	267.9235	267.9172	267.9110	267.9048	267.8986	267.8925	267.8865	267.8804
node-8	267.9361	267.9298	268.2919	268.2833	268.2748	268.2663	268.2578	268.2495	268.2411	268.2329
node-9	267.6551	267.6504	267.6456	267.6409	267.6362	267.6316	267.6269	267.6223	267.6177	267.6131
node-10	267.4480	267.4443	267.4405	267.4369	267.4332	267.4295	267.4259	267.4222	267.4186	267.4150
node-11	267.2807	267.2777	267.2748	267.2718	267.2689	267.2659	267.2630	267.2601	267.2572	267.2543
node-12	267.1456	267.1432	267.1408	267.1383	267.1359	267.1335	267.1311	267.1288	267.1264	267.1240
node-13	267.0344	267.0324	267.0304	267.0284	267.0264	267.0244	267.0224	267.0204	267.0184	267.0165
node-14	266.8627	266.8612	266.9380	266.9364	266.9347	266.9330	266.9313	266.9296	266.9280	266.9263
node-15	266.7951	266.7939	266.8598	266.8583	266.8569	266.8554	266.8540	266.8526	266.8512	266.8497
node-16	266.7366	266.7356	266.7926	266.7914	266.7901	266.7889	266.7877	266.7864	266.7852	266.7840
node-17	266.6863	266.6851	266.7345	266.7334	266.7323	266.7312	266.7301	266.7291	266.7280	266.7269
node-18	266.6856	266.6846	266.6836	266.6827	266.6817	266.6808	266.6799	266.6789	266.6780	266.6770
node-19	266.6406	266.6397	266.6389	266.6381	266.6372	266.6364	266.6355	266.6347	266.6339	266.6331
node-20	266.6007	266.6000	266.5992	266.5985	266.5977	266.5970	266.5962	266.5955	266.5947	266.5940

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	293.9020	293.6085	293.3150	293.0215	292.7280	292.4346	292.1411	291.8476	291.5541	291.2606
node-2	278.4326	278.2465	278.0654	277.8891	277.7174	277.5503	277.3874	277.2286	277.0739	276.9230
node-3	272.8949	272.8310	272.7682	272.7065	272.6458	272.5860	272.5273	272.4695	272.4126	272.3566
node-4	270.6442	270.6131	270.5823	270.5519	270.5219	270.4922	270.4629	270.4340	270.4053	270.3771
node-5	269.4486	269.4305	269.4126	269.3948	269.3772	269.3597	269.3424	269.3253	269.3084	269.2916
node-6	268.7159	268.7041	268.6925	268.6809	268.6695	268.6581	268.6468	268.6356	268.6245	268.6135
node-7	267.8744	267.8684	267.8625	268.2003	268.1923	268.1844	268.1765	268.1687	268.1609	268.1531
node-8	268.2247	268.2165	268.2084	267.8566	267.8507	267.8449	267.8391	267.8333	267.8276	267.8219
node-9	267.6086	267.6041	267.5996	267.5951	267.5907	267.5862	267.5818	267.5774	267.5731	267.5687
node-10	267.4114	267.4079	267.4043	267.4008	267.3973	267.3938	267.3903	267.3869	267.3834	267.3800
node-11	267.2514	267.2486	267.2457	267.2429	267.2401	267.2372	267.2344	267.2317	267.2289	267.2261
node-12	267.1217	267.1193	267.1170	267.1147	267.1124	267.1100	267.1077	267.1055	267.1032	267.1009
node-13	267.0145	267.0126	267.0106	267.0087	267.0067	267.0048	267.0029	267.0010	266.9991	266.9972
node-14	266.9247	266.9230	266.9214	266.9197	266.9181	266.9165	266.9148	266.9132	266.9116	266.9100
node-15	266.8483	266.8469	266.8455	266.8441	266.8427	266.8413	266.8399	266.8386	266.8372	266.8358
node-16	266.7828	266.7815	266.7803	266.7791	266.7779	266.7767	266.7755	266.7743	266.7731	266.7719
node-17	266.7259	266.7248	266.7238	266.7227	266.7217	266.7206	266.7196	266.7185	266.7175	266.7164
node-18	266.6761	266.6752	266.6742	266.6733	266.6724	266.6715	266.6705	266.6696	266.6687	266.6678
node-19	266.6322	266.6314	266.6306	266.6298	266.6289	266.6281	266.6273	266.6265	266.6257	266.6249
node-20	266.5933	266.5925	266.5918	266.5911	266.5903	266.5896	266.5889	266.5882	266.5874	266.5867

Node	iterasi-41	iterasi-42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	290.9671	290.6736	290.3802	290.0867	289.7932	289.4997	289.2062	288.9127	288.6193	288.3258
node-2	276.7758	276.6322	276.4920	276.3552	276.2215	276.0910	275.9635	275.8390	275.7172	275.5981
node-3	272.3015	272.2473	272.1939	272.1414	272.0896	272.0386	271.9885	271.9390	271.8903	271.8424
node-4	270.3491	270.3215	270.2942	270.2672	270.2405	270.2141	270.1880	270.1622	270.1367	270.1114
node-5	269.2749	269.2584	269.2421	269.2259	269.2098	269.1939	269.1782	269.1626	269.1471	269.1317
node-6	268.6026	268.5917	268.5809	268.5703	268.5596	268.5491	268.5387	268.5283	268.5180	268.5078
node-7	268.1455	268.1378	268.1302	268.1227	268.1152	268.1078	268.1004	268.0930	268.0857	268.0785
node-8	267.8162	267.8106	267.8050	267.7994	267.7938	267.7883	267.7828	267.7774	267.7720	267.7666
node-9	267.5644	267.5601	267.5558	267.5516	267.5474	267.5432	267.5390	267.5348	267.5306	267.5265
node-10	267.3765	267.3731	267.3698	267.3664	267.3630	267.3597	267.3564	267.3530	267.3497	267.3465
node-11	267.2234	267.2206	267.2179	267.2151	267.2124	267.2097	267.2070	267.2044	267.2017	267.1990
node-12	267.0986	267.0964	267.0941	267.0919	267.0897	267.0874	267.0852	267.0830	267.0808	267.0786
node-13	266.9953	266.9934	266.9915	266.9897	266.9878	266.9859	266.9841	266.9822	266.9804	266.9786
node-14	266.9084	266.9068	266.9052	266.9036	266.9021	266.9005	266.8989	266.8973	266.8958	266.8942
node-15	266.8344	266.8331	266.8317	266.8303	266.8290	266.8276	266.8263	266.8249	266.8236	266.8223
node-16	266.7707	266.7696	266.7684	266.7672	266.7660	266.7649	266.7637	266.7625	266.7614	266.7602
node-17	266.7154	266.7144	266.7133	266.7123	266.7113	266.7103	266.7092	266.7082	266.7072	266.7062
node-18	266.6669	266.6660	266.6651	266.6642	266.6633	266.6624	266.6615	266.6606	266.6597	266.6588
node-19	266.6241	266.6233	266.6225	266.6217	266.6209	266.6201	266.6193	266.6185	266.6177	266.6169
node-20	266.5860	266.5853	266.5846	266.5839	266.5831	266.5824	266.5817	266.5810	266.5803	266.5796

Node	iterasi-51	Eksak	Error
node-1	288.0000	287.9995	0.0005
node-2	275.4817	275.4821	0.0004
node-3	271.7951	271.7949	0.0002
node-4	270.0865	270.0863	0.0002
node-5	269.1165	269.1171	0.0006
node-6	268.4976	268.4974	0.0002
node-7	268.0712	268.0709	0.0003
node-8	267.7612	267.7610	0.0002
node-9	267.5265	267.5268	0.0003
node-10	267.3432	267.3427	0.0005
node-11	267.1964	267.1963	0.0001
node-12	267.0764	267.0762	0.0002
node-13	266.9767	266.9773	0.0006
node-14	266.8927	266.8929	0.0002
node-15	266.8209	266.8213	0.0004
node-16	266.7591	266.7591	0.0005
node-17	266.7052	266.7043	0.0009
node-18	266.6579	266.6581	0.0002
node-19	266.6161	266.6159	0.0002
node-20	266.5789	266.5773	0.0004

LAMPIRAN D8. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi pengaruh konsentrasi garam 0.3 mol terhadap proses pembekuan es balok dengan suhu kolom 266 K dan suhu awal 303 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7002	302.4004	302.1005	301.8007	301.5009	301.2011	300.9013	300.6014	300.3016	300.0018
node-2	288.0000	287.5212	287.0619	286.6208	286.1969	285.7893	285.3971	285.0193	284.6553	284.3043
node-3	276.1846	276.0726	275.9630	275.8556	275.7503	275.6472	275.5461	275.4471	275.3499	275.2546
node-4	272.4906	272.4429	272.3958	272.3494	272.3036	272.2584	272.2139	272.1699	272.1265	272.0837
node-5	270.7148	270.6888	270.6630	270.6375	270.6122	270.5872	270.5625	270.5380	270.5138	270.4898
node-6	269.6795	269.6632	269.6471	269.6311	269.6152	269.5994	269.5838	269.5683	269.5530	269.5377
node-7	269.0048	268.9937	268.9827	268.9717	268.9609	268.9501	268.9394	268.9287	268.9182	268.9077
node-8	268.5318	268.5238	268.5158	268.5079	268.5000	268.4922	268.4844	268.4767	268.4690	268.4613
node-9	268.1827	268.1766	268.1706	268.1646	268.1587	268.1528	268.1469	268.1410	268.1352	268.1294
node-10	267.9149	267.9102	267.9055	267.9008	267.8962	267.8916	267.8870	267.8824	267.8778	267.8733
node-11	267.7034	267.6996	267.6958	267.6921	267.6884	267.6847	267.6810	267.6773	267.6736	267.6699
node-12	267.5322	267.5291	267.5260	267.5230	267.5199	267.5169	267.5139	267.5108	267.5078	267.5048
node-13	267.3910	267.3884	267.3859	267.3833	267.3808	267.3782	267.3757	267.3732	267.3707	267.3682
node-14	267.2726	267.2705	267.2683	267.2662	267.2640	267.2619	267.2597	267.2576	267.2555	267.2533
node-15	267.1721	267.1702	267.1683	267.1665	267.1647	267.1628	267.1610	267.1592	267.1573	267.1555
node-16	267.0856	267.0840	267.0824	267.0808	267.0792	267.0776	267.0760	267.0744	267.0728	267.0713
node-17	267.0104	267.0090	267.0076	267.0062	267.0049	267.0035	267.0021	267.0007	266.9993	266.9980
node-18	266.9446	266.9434	266.9422	266.9409	266.9397	266.9385	266.9373	266.9361	266.9348	266.9336
node-19	266.8865	266.8854	266.8843	266.8832	266.8821	266.8811	266.8800	266.8789	266.8778	266.8767
node-20	266.8348	266.8338	266.8329	266.8319	266.8309	266.8300	266.8290	266.8280	266.8271	266.8261

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.7020	299.4022	299.1023	298.8025	298.5027	298.2029	297.9031	297.6032	297.3034	297.0036
node-2	283.9657	283.6387	283.3229	283.0177	282.7225	282.4369	282.1604	281.8926	281.6331	281.3816
node-3	275.1612	275.0696	274.9796	274.8914	274.8048	274.7197	274.6362	274.5543	274.4738	274.3947
node-4	272.0415	271.9998	271.9587	271.9181	271.8780	271.8384	271.7994	271.7608	271.7227	271.6851
node-5	270.4660	270.4425	270.4193	270.3962	270.3734	270.3508	270.3284	270.3063	270.2843	270.2626
node-6	269.5226	269.5076	269.4927	269.4780	269.4633	269.4488	269.4344	269.4201	269.4060	269.3919
node-7	268.8973	268.8869	268.8766	268.8664	268.8563	268.8462	268.8362	268.8263	268.8164	268.8066
node-8	268.4538	268.4462	268.4387	268.4312	268.4238	268.4164	268.4091	268.4018	268.3946	268.3873
node-9	268.1236	268.1179	268.1122	268.1065	268.1008	268.0952	268.0896	268.0840	268.0785	268.0730
node-10	267.8687	267.8642	267.8597	267.8553	267.8508	267.8464	267.8420	267.8376	267.8333	267.8289
node-11	267.6663	267.6627	267.6591	267.6555	267.6519	267.6483	267.6448	267.6413	267.6377	267.6342
node-12	267.5018	267.4989	267.4959	267.4930	267.4900	267.4871	267.4842	267.4813	267.4784	267.4755
node-13	267.3657	267.3632	267.3607	267.3583	267.3558	267.3534	267.3509	267.3485	267.3461	267.3437
node-14	267.2512	267.2491	267.2470	267.2450	267.2429	267.2408	267.2387	267.2367	267.2346	267.2326
node-15	267.1537	267.1519	267.1501	267.1483	267.1465	267.1448	267.1430	267.1412	267.1395	267.1377
node-16	267.0697	267.0681	267.0666	267.0650	267.0635	267.0619	267.0604	267.0589	267.0573	267.0558
node-17	266.9966	266.9952	266.9939	266.9925	266.9912	266.9898	266.9885	266.9871	266.9858	266.9844
node-18	266.9324	266.9312	266.9300	266.9288	266.9276	266.9264	266.9252	266.9241	266.9229	266.9217
node-19	266.8757	266.8746	266.8735	266.8725	266.8714	266.8704	266.8693	266.8683	266.8672	266.8662
node-20	266.8251	266.8242	266.8232	266.8223	266.8213	266.8204	266.8195	266.8185	266.8176	266.8166

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.7038	296.4040	296.1041	295.8043	295.5045	295.2047	294.9049	294.6050	294.3052	294.0054
node-2	281.1376	280.9009	280.6712	280.4480	280.2312	280.0206	279.8157	279.6165	279.4227	279.2340
node-3	274.3170	274.2406	274.1656	274.0919	274.0194	273.9482	273.8781	273.8092	273.7415	273.6748
node-4	271.6479	271.6113	271.5750	271.5392	271.5039	271.4689	271.4344	271.4003	271.3666	271.3333
node-5	270.2411	270.2198	270.1986	270.1777	270.1570	270.1365	270.1161	270.0960	270.0761	270.0563
node-6	269.3779	269.3641	269.3504	269.3367	269.3232	269.3098	269.2964	269.2832	269.2701	269.2571
node-7	268.7968	268.7872	268.7775	268.7680	268.7585	268.7491	268.7397	268.7304	268.7211	268.7120
node-8	268.3802	268.3731	268.3660	268.3589	268.3519	268.3449	268.3380	268.3311	268.3243	268.3175
node-9	268.0675	268.0620	268.0566	268.0512	268.0458	268.0405	268.0352	268.0299	268.0246	268.0194
node-10	267.8246	267.8203	267.8160	267.8118	267.8075	267.8033	267.7991	267.7949	267.7907	267.7866
node-11	267.6307	267.6273	267.6238	267.6204	267.6169	267.6135	267.6101	267.6067	267.6033	267.5999
node-12	267.4726	267.4697	267.4669	267.4640	267.4612	267.4584	267.4556	267.4528	267.4500	267.4472
node-13	267.3412	267.3389	267.3365	267.3341	267.3317	267.3293	267.3270	267.3246	267.3223	267.3199
node-14	267.2305	267.2285	267.2264	267.2244	267.2224	267.2204	267.2184	267.2164	267.2144	267.2124
node-15	267.1359	267.1342	267.1324	267.1307	267.1290	267.1272	267.1255	267.1238	267.1221	267.1204
node-16	267.0543	267.0528	267.0512	267.0497	267.0482	267.0467	267.0452	267.0437	267.0422	267.0408
node-17	266.9831	266.9818	266.9804	266.9791	266.9778	266.9765	266.9752	266.9739	266.9725	266.9712
node-18	266.9205	266.9193	266.9182	266.9170	266.9158	266.9147	266.9135	266.9124	266.9112	266.9101
node-19	266.8651	266.8641	266.8630	266.8620	266.8609	266.8599	266.8589	266.8579	266.8568	266.8558
node-20	266.8157	266.8148	266.8138	266.8129	266.8120	266.8111	266.8101	266.8092	266.8083	266.8074

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	293.7056	293.4058	293.1059	292.8061	292.5063	292.2065	291.9067	291.6068	291.3070	291.0072
node-2	279.0504	278.8715	278.6972	278.5273	278.3617	278.2002	278.0427	277.8890	277.7390	277.5925
node-3	273.6092	273.5447	273.4812	273.4188	273.3573	273.2968	273.2372	273.1785	273.1207	273.0638
node-4	271.3004	271.2679	271.2357	271.2039	271.1725	271.1415	271.1108	271.0804	271.0504	271.0207
node-5	270.0367	270.0173	269.9980	269.9790	269.9601	269.9414	269.9228	269.9044	269.8862	269.8681
node-6	269.2442	269.2313	269.2186	269.2060	269.1934	269.1810	269.1686	269.1564	269.1442	269.1321
node-7	268.7028	268.6938	268.6847	268.6758	268.6669	268.6580	268.6493	268.6405	268.6318	268.6232
node-8	268.3107	268.3039	268.2972	268.2906	268.2840	268.2774	268.2708	268.2643	268.2578	268.2514
node-9	268.0141	268.0090	268.0038	267.9986	267.9935	267.9884	267.9834	267.9783	267.9733	267.9683
node-10	267.7824	267.7783	267.7742	267.7701	267.7661	267.7620	267.7580	267.7540	267.7500	267.7460
node-11	267.5966	267.5933	267.5899	267.5866	267.5833	267.5800	267.5767	267.5735	267.5702	267.5670
node-12	267.4444	267.4417	267.4389	267.4362	267.4334	267.4307	267.4280	267.4253	267.4226	267.4199
node-13	267.3176	267.3153	267.3130	267.3107	267.3084	267.3061	267.3038	267.3015	267.2993	267.2970
node-14	267.2104	267.2084	267.2065	267.2045	267.2026	267.2006	267.1987	267.1967	267.1948	267.1929
node-15	267.1187	267.1170	267.1153	267.1136	267.1119	267.1102	267.1085	267.1069	267.1052	267.1035
node-16	267.0393	267.0378	267.0363	267.0348	267.0334	267.0319	267.0305	267.0290	267.0276	267.0261
node-17	266.9699	266.9686	266.9674	266.9661	266.9648	266.9635	266.9622	266.9609	266.9597	266.9584
node-18	266.9089	266.9078	266.9066	266.9055	266.9043	266.9032	266.9021	266.9009	266.8998	266.8987
node-19	266.8548	266.8538	266.8527	266.8517	266.8507	266.8497	266.8487	266.8477	266.8467	266.8457
node-20	266.8065	266.8055	266.8046	266.8037	266.8028	266.8019	266.8010	266.8001	266.7992	266.7983

Node	iterasi-41	iterasi-42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	290.7074	290.4076	290.1077	289.8079	289.5081	289.2083	288.9085	288.6086	288.3088	288.0090
node-2	277.4495	277.3098	277.1733	277.0399	276.9094	276.7819	276.6572	276.5352	276.4158	276.2990
node-3	273.0078	272.9526	272.8982	272.8446	272.7918	272.7398	272.6885	272.6380	272.5882	272.5391
node-4	270.9914	270.9623	270.9336	270.9052	270.8771	270.8494	270.8219	270.7947	270.7678	270.7412
node-5	269.8502	269.8325	269.8149	269.7975	269.7802	269.7630	269.7460	269.7292	269.7125	269.6959
node-6	269.1201	269.1082	269.0964	269.0846	269.0730	269.0614	269.0499	269.0385	269.0272	269.0159
node-7	268.6146	268.6061	268.5977	268.5892	268.5809	268.5726	268.5643	268.5561	268.5479	268.5398
node-8	268.2449	268.2386	268.2322	268.2259	268.2196	268.2134	268.2072	268.2010	268.1949	268.1888
node-9	267.9633	267.9584	267.9535	267.9486	267.9437	267.9389	267.9340	267.9292	267.9244	267.9197
node-10	267.7420	267.7381	267.7342	267.7303	267.7264	267.7225	267.7187	267.7148	267.7110	267.7072
node-11	267.5638	267.5606	267.5574	267.5542	267.5510	267.5478	267.5447	267.5416	267.5384	267.5353
node-12	267.4172	267.4146	267.4119	267.4093	267.4066	267.4040	267.4014	267.3988	267.3962	267.3936
node-13	267.2948	267.2925	267.2903	267.2880	267.2858	267.2836	267.2814	267.2792	267.2770	267.2748
node-14	267.1909	267.1890	267.1871	267.1852	267.1833	267.1814	267.1795	267.1777	267.1758	267.1739
node-15	267.1019	267.1002	267.0986	267.0969	267.0953	267.0937	267.0920	267.0904	267.0888	267.0872
node-16	267.0247	267.0232	267.0218	267.0204	267.0189	267.0175	267.0161	267.0147	267.0133	267.0118
node-17	266.9571	266.9559	266.9546	266.9533	266.9521	266.9508	266.9496	266.9483	266.9471	266.9459
node-18	266.8976	266.8964	266.8953	266.8942	266.8931	266.8920	266.8909	266.8898	266.8887	266.8876
node-19	266.8447	266.8437	266.8427	266.8417	266.8407	266.8397	266.8387	266.8377	266.8368	266.8358
node-20	266.7974	266.7965	266.7956	266.7947	266.7938	266.7930	266.7921	266.7912	266.7903	266.7894

Node	iterasi-51	Eksak	Error
node-1	288.0000	287.9995	0.0005
node-2	276.1846	276.1853	0.0007
node-3	272.4906	272.4909	0.0003
node-4	270.7148	270.7151	0.0003
node-5	269.6795	269.6793	0.0002
node-6	269.0048	269.0056	0.0008
node-7	268.5318	268.5321	0.0003
node-8	268.1827	268.1823	0.0004
node-9	267.9149	267.9154	0.0005
node-10	267.7034	267.7030	0.0004
node-11	267.5322	267.5319	0.0003
node-12	267.3910	267.3918	0.0008
node-13	267.2726	267.2724	0.0002
node-14	267.1721	267.1719	0.0002
node-15	267.0856	267.0850	0.0006
node-16	267.0104	267.0101	0.0003
node-17	266.9446	266.9458	0.0008
node-18	266.8865	266.8863	0.0002
node-19	266.8348	266.8340	0.0008
node-20	266.7886	266.7891	0.0005

LAMPIRAN D9. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi pengaruh konsentrasi garam 0.5 M terhadap proses pembekuan es balok dengan suhu kolom 266 K dan suhu

awal 303 K dengan toleransi 0.001.

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	302.7059	302.4118	302.1176	301.8235	301.5294	301.2353	300.9412	300.6471	300.3529	300.0588
node-2	288.0000	287.3985	286.8246	286.2766	285.7528	285.2519	284.7723	284.3128	283.8723	283.4497
node-3	274.3364	274.2211	274.1085	273.9985	273.8910	273.7860	273.6834	273.5830	273.4849	273.3890
node-4	270.7256	270.6818	270.6387	270.5963	270.5546	270.5135	270.4731	270.4332	270.3940	270.3554
node-5	269.1589	269.1369	269.1152	269.0938	269.0725	269.0516	269.0309	269.0104	268.9901	268.9701
node-6	268.3113	268.2985	268.2857	268.2731	268.2605	268.2481	268.2359	268.2237	268.2116	268.1997
node-7	267.7907	267.7823	267.7741	267.7659	267.7578	267.7497	267.7417	267.7338	267.7259	267.7181
node-8	267.4431	267.4373	267.4316	267.4259	267.4203	267.4147	267.4091	267.4036	267.3981	267.3927
node-9	267.1970	267.1928	267.1887	267.1846	267.1804	267.1764	267.1723	267.1683	267.1643	267.1603
node-10	267.0150	267.0119	267.0088	267.0056	267.0025	266.9995	266.9964	266.9933	266.9903	266.9873
node-11	266.8758	266.8734	266.8710	266.8685	266.8661	266.8637	266.8613	266.8590	266.8566	266.8542
node-12	266.7664	266.7645	266.7625	266.7606	266.7587	266.7568	266.7549	266.7530	266.7511	266.7492
node-13	266.6785	266.6769	266.6754	266.6738	266.6722	266.6707	266.6691	266.6676	266.6661	266.6645
node-14	266.6066	266.6053	266.6040	266.6027	266.6014	266.6001	266.5988	266.5976	266.5963	266.5950
node-15	266.5468	266.5457	266.5446	266.5436	266.5425	266.5414	266.5403	266.5393	266.5382	266.5371
node-16	266.4965	266.4955	266.4946	266.4937	266.4928	266.4919	266.4910	266.4901	266.4892	266.4882
node-17	266.4536	266.4528	266.4520	266.4512	266.4504	266.4496	266.4489	266.4481	266.4473	266.4465
node-18	266.4167	266.4160	266.4153	266.4146	266.4139	266.4133	266.4126	266.4119	266.4112	266.4106
node-19	266.3846	266.3840	266.3834	266.3828	266.3822	266.3817	266.3811	266.3805	266.3799	266.3793
node-20	266.3566	266.3561	266.3555	266.3550	266.3545	266.3540	266.3535	266.3529	266.3524	266.3519

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	299.7647	299.4706	299.1765	298.8824	298.5882	298.2941	298.0000	297.7059	297.4118	297.1176
node-2	283.0439	282.6540	282.2792	281.9186	281.5714	281.2371	280.9149	280.6041	280.3044	280.0150
node-3	273.2951	273.2033	273.1134	273.0254	272.9393	272.8549	272.7724	272.6915	272.6122	272.5345
node-4	270.3173	270.2798	270.2429	270.2065	270.1706	270.1353	270.1004	270.0661	270.0323	269.9989
node-5	268.9504	268.9308	268.9115	268.8923	268.8734	268.8547	268.8363	268.8180	268.7999	268.7820
node-6	268.1879	268.1761	268.1645	268.1530	268.1416	268.1303	268.1191	268.1080	268.0970	268.0861
node-7	267.7103	267.7026	267.6950	267.6874	267.6799	267.6724	267.6650	267.6577	267.6504	267.6431
node-8	267.3873	267.3819	267.3765	267.3712	267.3660	267.3607	267.3555	267.3504	267.3452	267.3401
node-9	267.1563	267.1524	267.1485	267.1446	267.1407	267.1369	267.1331	267.1293	267.1255	267.1217
node-10	266.9843	266.9813	266.9783	266.9754	266.9724	266.9695	266.9666	266.9637	266.9608	266.9579
node-11	266.8519	266.8496	266.8472	266.8449	266.8426	266.8403	266.8381	266.8358	266.8335	266.8313
node-12	266.7473	266.7455	266.7436	266.7418	266.7399	266.7381	266.7363	266.7345	266.7326	266.7308
node-13	266.6630	266.6615	266.6600	266.6585	266.6570	266.6555	266.6540	266.6525	266.6510	266.6496
node-14	266.5938	266.5925	266.5913	266.5900	266.5888	266.5875	266.5863	266.5851	266.5838	266.5826
node-15	266.5361	266.5350	266.5340	266.5329	266.5319	266.5308	266.5298	266.5288	266.5277	266.5267
node-16	266.4874	266.4865	266.4856	266.4847	266.4838	266.4829	266.4820	266.4811	266.4803	266.4794
node-17	266.4458	266.4450	266.4442	266.4435	266.4427	266.4419	266.4412	266.4404	266.4397	266.4389
node-18	266.4099	266.4092	266.4086	266.4079	266.4073	266.4066	266.4059	266.4053	266.4046	266.4040
node-19	266.3787	266.3781	266.3776	266.3770	266.3764	266.3758	266.3753	266.3747	266.3741	266.3735
node-20	266.3514	266.3509	266.3504	266.3499	266.3494	266.3489	266.3483	266.3478	266.3473	266.3468

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	296.8235	296.5294	296.2353	295.9412	295.6471	295.3529	295.0588	294.7647	294.4706	294.1765
node-2	279.7355	279.4654	279.2043	278.9518	278.7074	278.4708	278.2417	278.0197	277.8045	277.5959
node-3	272.4584	272.3838	272.3107	272.2390	272.1687	272.0997	272.0320	271.9656	271.9005	271.8365
node-4	269.9660	269.9336	269.9016	269.8700	269.8389	269.8083	269.7780	269.7482	269.7187	269.6897
node-5	268.7643	268.7468	268.7295	268.7124	268.6955	268.6787	268.6621	268.6457	268.6295	268.6134
node-6	268.0753	268.0645	268.0539	268.0434	268.0330	268.0226	268.0124	268.0022	267.9921	267.9821
node-7	267.6360	267.6288	267.6217	267.6147	267.6077	267.6008	267.5940	267.5871	267.5804	267.5736
node-8	267.3351	267.3300	267.3250	267.3200	267.3151	267.3102	267.3053	267.3005	267.2957	267.2909
node-9	267.1180	267.1143	267.1106	267.1069	267.1032	267.0996	267.0960	267.0924	267.0888	267.0853
node-10	266.9551	266.9523	266.9494	266.9466	266.9438	266.9410	266.9383	266.9355	266.9328	266.9301
node-11	266.8290	266.8268	266.8246	266.8224	266.8202	266.8180	266.8158	266.8137	266.8115	266.8094
node-12	266.7290	266.7273	266.7255	266.7237	266.7219	266.7202	266.7184	266.7167	266.7150	266.7132
node-13	266.6481	266.6466	266.6452	266.6437	266.6423	266.6408	266.6394	266.6380	266.6366	266.6351
node-14	266.5814	266.5802	266.5790	266.5778	266.5766	266.5754	266.5742	266.5730	266.5718	266.5706
node-15	266.5257	266.5247	266.5236	266.5226	266.5216	266.5206	266.5196	266.5186	266.5176	266.5166
node-16	266.4785	266.4776	266.4768	266.4759	266.4751	266.4742	266.4733	266.4725	266.4716	266.4708
node-17	266.4382	266.4374	266.4367	266.4359	266.4352	266.4345	266.4337	266.4330	266.4323	266.4315
node-18	266.4033	266.4027	266.4020	266.4014	266.4007	266.4001	266.3995	266.3988	266.3982	266.3976
node-19	266.3730	266.3724	266.3718	266.3713	266.3707	266.3702	266.3696	266.3690	266.3685	266.3679
node-20	266.3463	266.3458	266.3453	266.3448	266.3443	266.3439	266.3434	266.3429	266.3424	266.3419

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40
node-1	293.8824	293.5882	293.2941	293.0000	292.7059	292.4118	292.1176	291.8235	291.5294	291.2353
node-2	277.3934	277.1970	277.0063	276.8211	276.6412	276.4663	276.2963	276.1310	275.9702	275.8137
node-3	271.7738	271.7122	271.6517	271.5923	271.5339	271.4766	271.4203	271.3650	271.3107	271.2573
node-4	269.6610	269.6327	269.6048	269.5772	269.5501	269.5232	269.4967	269.4706	269.4448	269.4193
node-5	268.5975	268.5818	268.5662	268.5508	268.5356	268.5205	268.5056	268.4908	268.4761	268.4616
node-6	267.9722	267.9624	267.9527	267.9430	267.9335	267.9240	267.9146	267.9052	267.8960	267.8868
node-7	267.5670	267.5603	267.5538	267.5472	267.5408	267.5343	267.5279	267.5216	267.5153	267.5090
node-8	267.2861	267.2814	267.2767	267.2720	267.2674	267.2628	267.2582	267.2537	267.2492	267.2447
node-9	267.0817	267.0782	267.0747	267.0713	267.0678	267.0644	267.0610	267.0576	267.0542	267.0508
node-10	266.9273	266.9247	266.9220	266.9193	266.9166	266.9140	266.9114	266.9087	266.9061	266.9035
node-11	266.8072	266.8051	266.8030	266.8009	266.7988	266.7967	266.7946	266.7925	266.7905	266.7884
node-12	266.7115	266.7098	266.7081	266.7064	266.7047	266.7030	266.7013	266.6997	266.6980	266.6963
node-13	266.6337	266.6323	266.6309	266.6295	266.6281	266.6268	266.6254	266.6240	266.6226	266.6213
node-14	266.5695	266.5683	266.5671	266.5660	266.5648	266.5637	266.5625	266.5614	266.5602	266.5591
node-15	266.5156	266.5146	266.5136	266.5127	266.5117	266.5107	266.5097	266.5088	266.5078	266.5068
node-16	266.4699	266.4691	266.4683	266.4674	266.4666	266.4658	266.4649	266.4641	266.4633	266.4625
node-17	266.4308	266.4301	266.4293	266.4286	266.4279	266.4272	266.4265	266.4258	266.4250	266.4243
node-18	266.3969	266.3963	266.3957	266.3950	266.3944	266.3938	266.3932	266.3925	266.3919	266.3913
node-19	266.3674	266.3668	266.3663	266.3657	266.3652	266.3646	266.3641	266.3635	266.3630	266.3625
node-20	266.3414	266.3409	266.3404	266.3399	266.3395	266.3390	266.3385	266.3380	266.3375	266.3371

Node	i=41	i=42	iterasi-43	iterasi-44	iterasi-45	iterasi-46	iterasi-47	iterasi-48	iterasi-49	iterasi-50
node-1	290.9412	290.6471	290.3529	290.0588	289.7647	289.4706	289.1765	288.8824	288.5882	288.0007
node-2	275.6614	275.5131	275.3687	275.2279	275.0908	274.9571	274.8268	274.6996	274.5756	274.4546
node-3	271.2048	271.1532	271.1024	271.0525	271.0035	270.9552	270.9078	270.8611	270.8152	270.7700
node-4	269.3941	269.3693	269.3447	269.3205	269.2965	269.2729	269.2495	269.2265	269.2037	269.1812
node-5	268.4473	268.4331	268.4190	268.4051	268.3913	268.3777	268.3641	268.3507	268.3375	268.3244
node-6	267.8777	267.8687	267.8597	267.8508	267.8420	267.8333	267.8246	267.8160	267.8075	267.7990
node-7	267.5028	267.4967	267.4905	267.4845	267.4784	267.4724	267.4665	267.4606	267.4547	267.4489
node-8	267.2402	267.2358	267.2313	267.2270	267.2226	267.2183	267.2140	267.2097	267.2054	267.2012
node-9	267.0475	267.0442	267.0409	267.0376	267.0343	267.0310	267.0278	267.0246	267.0214	267.0182
node-10	266.9010	266.8984	266.8958	266.8933	266.8908	266.8882	266.8857	266.8832	266.8808	266.8783
node-11	266.7864	266.7843	266.7823	266.7803	266.7783	266.7763	266.7743	266.7723	266.7703	266.7684
node-12	266.6947	266.6930	266.6914	266.6898	266.6881	266.6865	266.6849	266.6833	266.6817	266.6801
node-13	266.6199	266.6186	266.6172	266.6159	266.6145	266.6132	266.6119	266.6105	266.6092	266.6079
node-14	266.5579	266.5568	266.5557	266.5546	266.5534	266.5523	266.5512	266.5501	266.5490	266.5479
node-15	266.5059	266.5049	266.5040	266.5030	266.5021	266.5011	266.5002	266.4993	266.4983	266.4974
node-16	266.4616	266.4608	266.4600	266.4592	266.4584	266.4576	266.4568	266.4560	266.4552	266.4544
node-17	266.4236	266.4229	266.4222	266.4215	266.4208	266.4201	266.4194	266.4187	266.4180	266.4174
node-18	266.3907	266.3901	266.3895	266.3889	266.3882	266.3876	266.3870	266.3864	266.3858	266.3852
node-19	266.3619	266.3614	266.3608	266.3603	266.3598	266.3592	266.3587	266.3582	266.3576	266.3571
node-20	266.3366	266.3361	266.3356	266.3352	266.3347	266.3342	266.3337	266.3333	266.3328	266.3323

Node	iterasi-51	Eksas	error
node-1	288.0000	288.0000	0.0000
node-2	274.3364	274.3358	0.0006
node-3	270.7256	270.7261	0.0005
node-4	269.1589	269.1592	0.0003
node-5	268.3113	268.3107	0.0006
node-6	267.7907	267.7916	0.0009
node-7	267.4431	267.4425	0.0006
node-8	267.1970	267.1962	0.0008
node-9	267.0150	267.0153	0.0003
node-10	266.8758	266.8764	0.0006
node-11	266.7664	266.7670	0.0006
node-12	266.6785	266.6777	0.0008
node-13	266.6066	266.6071	0.0005
node-14	266.5468	266.5468	0.0007
node-15	266.4965	266.4963	0.0002
node-16	266.4536	266.4541	0.0005
node-17	266.4167	266.4171	0.0004
node-18	266.3846	266.3855	0.0009
node-19	266.3566	266.3559	0.0007
node-20	266.3319	266.3321	0.0002

LAMPIRAN LEMBAR REVISI



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN RI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
 Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
 Telepon: 0331- 334988, 330738 Faks: 0331-334988
 Laman: www.fkip.unej.ac.id

LEMBAR REVISI SKRIPSI

NAMA MAHASISWA : Akhmad Sholihin
 NIM : 160210101061
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Numerik pada Proses Pembekuan Es di Ruang Brine Tank Pabrik Es Balok Talangsari Jember Menggunakan Metode Volume Hingga
 TANGGAL UJIAN : 12 Februari 2020
 PEMBIMBING : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
 Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.

MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN

No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	viii	Model matematika disederhakan
2.	75	Kesimpulan diperinci terkait hasil perbedaan pengaruh masing-masing variabel
3.	97	Lampiran hasil iterasi diperkecil
4.	61	Pembahasan ditambah alasan penurunan suhu dan batas maksimal konsentrasi garam
5.	Artikel	Template artikel disesuaikan dengan tempat publikasi artikel
6.	Artikel	Pembahasan artikel fokus pada hasil simulasi dan nilai numerik
7.		
8.		

PERSETUJUAN TIM PENGUJI

JABATAN	NAMA TIM PENGUJI	TTD dan Tanggal
Ketua	Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.	
Sekretaris	Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.	26/2/2020
Anggota	Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.	
	Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.	26/2/2020

Jember, 12 Februari 2020
 Mengetahui / menyetujui :
 Dosen Pembimbing I,

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
 NIP. 19820529 200912 1 003

Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.
 NIP. 19581209 198603 1 003

Mahasiswa Yang Bersangkutan

 Akhmad Sholihin
 NIM. 160210101061

Mengetahui,
 Ketua Jurusan P.MIPA

Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes.
 NIP. 19600309 198702 2 002