



TUGAS AKHIR TF - 141581

**PREDIKSI SIFAT TERMAL BATA RINGAN
BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN**

**GEDE PANJI WIRYAWAN
NRP. 2412100065**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Zulkifli, M.Sc.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT TF - 141581

THERMAL PROPERTY PREDICTION OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE (AAC) BASED ON COMPOSITION VARIATION USING NEURAL NETWORK

**GEDE PANJI WIRYAWAN
NRP. 2412100065**

**Supervisors:
Ir. Zulkifli, M.Sc
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**PREDIKSI SIFAT TERMAL BATA RINGAN
BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Gede Panji Wiryawan
NRP. 2412100065

Surabaya, Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Ir. Zulkifli, M.Sc.
NIP. 19581118 198701 1 001

Pembimbing II



Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.
NIP. 19840101 201212 1 002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

**PREDIKSI SIFAT TERMAL BATA RINGAN
BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

pada

**Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Oleh:

**GEDE PANJI WIRYAWAN
NRP. 2412100065**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Zulkifli, M.Sc  (Pembimbing I)
2. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Dr-ing. Doty D. Risanti, S.T., M.T.  (Ketua Penguji)
4. Lizda Johar M., S.T., M.T.  (Penguji)
5. Bagus Tris Atmaja, S.T., M.Sc.  (Penguji)

Surabaya, Juli 2016

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gede Panji Wiryawan

NRP : 2412100065

Jurusan : Teknik Fisika FTI – ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul:

***Prediksi Sifat Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi
Komposisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan***

adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2016

Yang membuat pernyataan



Gede Panji Wiryawan

PREDIKSI SIFAT TERMAL BATA RINGAN BERDASARKAN VARIASI KOMPOSISI MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Nama Mahasiswa : Gede Panji Wiryawan
NRP : 2412100065
Jurusan : Teknik Fisika FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Zulkifli, M.Sc.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc

Abstrak

Pada penelitian Tugas Akhir ini, Jaringan Syaraf Tiruan (JST) *Backpropagation* digunakan untuk memprediksi konduktivitas termal bata ringan jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC). Berdasarkan pelatihan dan evaluasi yang telah dilakukan terhadap 10 model JST dengan jumlah *hidden node* 1 sampai 10, didapati bahwa JST dengan 3 *hidden node* memiliki *performance* yang paling baik. Hal ini diketahui dari nilai MSE (*Mean Square Error*) rata-rata validasi untuk tiga kali pelatihan sebesar 0,003269. Jaringan ini selanjutnya digunakan untuk memprediksi konduktivitas termal empat jenis bata ringan. Hasil prediksi untuk masing-masing bata ringan AAC-1, AAC-2, AAC-3 dan AAC-4 berturut-turut adalah sebesar 0,243 W/mK; 0,29 W/mK; 0,32 W/mK; dan 0,32 W/mK. Selanjutnya, JST digunakan untuk mengetahui pengaruh komposisi Silikon (Si), Kalsium (Ca), Aluminium (Al), dan massa jenis terhadap konduktivitas bata ringan. Hasil simulasi JST menunjukkan bahwa konduktivitas termal meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi Si dan massa jenis, namun terjadi penurunan konduktivitas termal seiring kenaikan komposisi Al

Kata Kunci: Jaringan Syaraf Tiruan (JST) *backpropagation*, bata ringan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC), konduktivitas termal

THERMAL PROPERTY PREDICTION OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE (AAC) BASED ON COMPOSITION VARIATION USING NEURAL NETWORK

Name : Gede Panji Wiryawan
NRP : 2412100065
Department : Teknik Fisika FTI – ITS
Supervisor : Ir. Zulkifli, M.Sc.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc

Abstract

In this study, backpropagation neural network was used to predict thermal conductivity of autoclaved aerated concrete (AAC). Ten network models with various number of hidden nodes (1 to 10 hidden nodes) were trained each three times. Among the ten network models, network with 3 hidden nodes came out with the best performance (average MSE validation = 0,003269). This network was used to predict thermal conductivity of four AAC samples; i.e. AAC-1, AAC-2, AAC-3, AAC-4 and gave the following results: AAC-1 = 0.243 W/mK, AAC-2 = 0.29 W/mK, AAC-3 = 0.32 W/mK, AAC-4 = 0.32 W/mK. The network was then used to examine the influence of composition variation of Calcium (Ca), Aluminium (Al), Silicone (Si) and density on thermal conductivity of AAC. It was found that thermal conductivity increase along with density and concentration of Si, while the increase in concentration of Al leads to the decrease of thermal conductivity of AAC.

Keywords: *Backpropagation neural network, autoclaved aerated concrete, thermal conductivity*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Prediksi Sifat Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan”** ini dengan baik. Laporan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak mungkin selesai tanpa bantuan dan dukungan pihak-pihak yang terlibat, untuk itu penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada:

1. Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Sc, Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Fisika FTI – ITS.
2. Ir. Zulkifli, M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama. Terima kasih atas kritik, saran, dan arahan yang diberikan selama penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir hingga penyusunan laporan ini.
3. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc selaku pembimbing kedua. Terima kasih atas kritik, saran, dan arahan selama penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir, hingga penyusunan laporan ini.
4. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisyah, selaku dosen wali penulis. Terima kasih atas bantuan, arahan, dan nasehat yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS.
5. Dr.-ing Doty Dewi Risanti, Dyah Sawitri, S.T., M.T., dan Lizda Johar Mawarani, S.T., selaku dosen pengajar bidang minat Rekayasa Bahan.
6. Bagus Tris Atmaja, S.T. M.Sc. selaku dosen penguji.
7. Para dosen dan karyawan Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS.
8. Laboratorium Pengujian Balai Tata Bangunan, Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung.

9. Laboratorium SEM-EDS Jurusan Teknik Material Metalurgi FTI – ITS.
10. Bapak Made Dresta dan Ibu Nyoman Sriasih, selaku orang tua penulis.
11. Teman-teman di Laboratorium Rekayasa Bahan Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS. Terima kasih untuk waktu-waktu yang telah kita habiskan bersama

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan ini mungkin masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu penulis amat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Besar harapan penulis agar laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, terutama yang ingin mengetahui aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan dalam bidang rekayasa bahan.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Beton Berpori (Celular Concrete)	5
2.2. Bata Ringan (<i>Autoclaved Aerated Concrete</i>)	6
2.3. Proses Pembuatan Bata Ringan	6
2.4. Konduktivitas Termal Bata Ringan	11
2.5. Jaringan Syaraf Biologi	12
2.6. Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	13
2.7. <i>Software Matlab</i>	20
BAB III METODOLOGI	25
3.1. Pengumpulan Sampel Bata Ringan	27
3.2. Pengukuran Massa Jenis Bata Ringan	27
3.3. Uji EDX	28
3.4. Uji Konduktivitas Termal	28
3.5. Pembuatan Database JST	30
3.6. Pembuatan Program JST	36

3.7. Evaluasi dan Penentuan Model JST yang Digunakan	38
3.8. Pengujian JST	39
3.9. Analisis Pengaruh Komposisi Terhadap Konduktivitas Termal Bata Ringan	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Pengukuran Massa Jenis	41
4.2. Uji EDX	41
4.3. Uji Konduktivitas Termal	42
4.4. Hasil Pelatihan dan Evaluasi JST	43
4.5. Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan	47
4.6. Pengaruh Variasi Si, Ca, Al dan massa jenis terhadap konduktivitas termal bata ringan	48
BAB V PENUTUP	57
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1	Penampang (Kiri) <i>Low Temperature Cured Cellular Concrete</i> ; (kanan) <i>Autoclaved Aerated Concrete</i> Bata Ringan (<i>Autoclaved Aerated Concrete</i>) 6
Gambar 2.2	Serbuk Aluminium yang digunakan pada pembuatan AAC Konduktivitas Termal Bata Ringan 7
Gambar 2.3	Proses pembuatan AAC 8
Gambar 2.4	Foto SEM yang menunjukkan <i>Artificial pore</i> pada AAC 9
Gambar 2.5	Variasi fasa pada sistem $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ dalam rentang suhu 50 sampai 1000 °C 10
Gambar 2.6	Tobermorite kristalin yang terdapat pada matriks AAC 10
Gambar 2.7	Kurva XRD bata ringan (atas) berbasis semen-pasir dan (bawah) berbasis semen- <i>fly ash</i> 11
Gambar 2.8	Jaringan Syaraf Biologi 12
Gambar 2.9	Model neuron sederhana 14
Gambar 2.10	Representasi grafik fungsi identitas 15
Gambar 2.11	Representasi grafik fungsi <i>logistic sigmoid</i> 16
Gambar 2.12	Representasi grafik fungsi identitas 16
Gambar 2.13	Arsitektur JST <i>Single layer</i> 17
Gambar 2.14	Arsitektur JST <i>multilayer</i> 18
Gambar 2.15	Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation 19
Gambar 2.16	Tampilan Desktop Matlab R2015a 21
Gambar 2.17	Tampilan GUI <i>Neural Network Start</i> 23
Gambar 2.18	Contoh baris perintah program Jaringan Syaraf Tiruan pada Matlab 23

Gambar 2.19	Arsitektur JST dengan satu <i>input layer</i> (13 variabel input), 1 hidden layer yang memiliki 20 node dan satu output layer pada Matlab.	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	26
Gambar 3.2	Sampel bata ringan yang telah	27
Gambar 3.3	dipotong	27
Gambar 3.4	Dimensi sampel untuk pengukuran massa jenis	28
Gambar 3.5	Sampel bata ringan untuk uji EDX	29
Gambar 3.6	Dimensi sampel untuk uji konduktivitas termal	29
Gambar 3.7	<i>Setup</i> pengujian konduktivitas termal bata ringan	33
Gambar 3.8	Arsitektur JST yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini	34
Gambar 4.1	Diagram alir pembuatan program JST	44
Gambar 4.1	Arsitektur JST dengan konfigurasi 5 – 3 – 1.	44
Gambar 4.2	Plot perbandingan <i>performance</i> training dan validasi JST-2	45
Gambar 4.3	Plot <i>validation check</i> JST-2	46
Gambar 4.4	Plot regresi training dan validasi JST-2	47
Gambar 4.5	Kurva hubungan antara variasi komposisi Si dengan konduktivitas termal	48
Gambar 4.6	Kurva hubungan antara variasi komposisi Ca dengan konduktivitas termal	51
Gambar 4.7	Kurva hubungan antara variasi komposisi Al dengan konduktivitas termal	53
Gambar 4.8	Hubungan antara konduktivitas termal dengan variasi massa jenis bata ringan	55

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1	Kandungan mineral pada semen Portland 7
Tabel 2.2	Serbuk Aluminium yang digunakan pada pembuatan AAC 7
Tabel 3.1	Matriks pengukuran massa jenis bata ringan 28
Tabel 3.2	Spesifikasi alat TC-32 <i>Thermal Conductivity Meter</i> 29
Tabel 3.3	Matriks Data <i>Training (Input)</i> 31
Tabel 3.4	Statistik Data <i>Training (Input)</i> 31
Tabel 3.5	Matriks Data <i>Training (Target)</i> 32
Tabel 3.6	Statistik Data <i>Training (Target)</i> 32
Tabel 3.7	Parameter pelatihan Levenberg-Marquardt (trainlm) pada Matlab 37
Tabel 3.8	Matriks Evaluasi Model JST 39
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Massa Jenis Bata Ringan 41
Tabel 4.2	Kandungan unsur yang terdapat pada bata ringan 42
Tabel 4.3	Konduktivitas termal bata ringan 42
Tabel 4.4	Hubungan antara massa jenis dan konduktivitas termal bata ringan dihitung menggunakan persamaan (2.6) 43
Tabel 4.5	Perbandingan MSE training dan validasi masing-masing model JST dengan variasi <i>hidden node</i> 44
Tabel 4.6	Perbandingan MSE Validasi JST dengan 3 <i>hidden node</i> untuk 3 kali training 45
Tabel 4.7	Perbandingan antara nilai prediksi JST dan nilai konduktivitas termal bata ringan hasil pengukuran 47

Tabel 4.8	Konduktivitas termal mineral yang terdapat pada bata ringan	49
Tabel 4.9	Variasi nilai Konduktivitas termal dan Vf terhadap variasi komposisi Si hasil simulasi JST	50
Tabel 4.10	Variasi nilai Konduktivitas termal dan Vf terhadap variasi komposisi Ca hasil simulasi JST	52
Tabel 4.11	Variasi nilai Konduktivitas termal dan Vf terhadap variasi komposisi Al hasil simulasi JST	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Konsumsi energi suatu bangunan dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya berkaitan dengan kemampuan insulasi termal material yang digunakan dalam konstruksi bangunan tersebut. Penggunaan material dengan kemampuan insulasi termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi listrik untuk kebutuhan pendinginan dalam ruangan suatu bangunan. Salah satu material yang saat ini banyak digunakan karena memiliki kemampuan insulasi termal yang baik adalah bata ringan. Bata ringan memiliki struktur berpori sehingga memiliki massa jenis yang lebih rendah dan kemampuan insulasi termal yang lebih baik dibanding bata konvensional.

Kemampuan insulasi termal material, termasuk bata ringan ditentukan oleh konduktivitas termalnya dimana semakin kecil nilai konduktivitas termal, semakin baik pula kemampuan insulasi termalnya. Pada kasus bata ringan, faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas termal antara lain: massa jenis, kandungan uap air, suhu, porositas, dan komposisi mineral penyusun bata ringan [1-3].

Penelitian yang dilakukan oleh Stuharova (2016) [1] menunjukkan bahwa terdapat hubungan *nonlinear* antara konduktivitas termal, massa jenis dan kandungan uap air bata ringan. Hubungan ini dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis, yang dikembangkan dari data hasil eksperimen. Pada beberapa kasus tertentu, data eksperimen yang ada tidak memungkinkan untuk digunakan dalam memodelkan hubungan antara sifat suatu material dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya dalam bentuk persamaan matematis. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan pendekatan lain, salah satunya yaitu dengan melakukan pemodelan berbasis Jaringan Syaraf Tiruan.

Artificial Neural Network (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan sistem pemroses informasi dengan kemampuan

untuk belajar, mengingat, dan menyelesaikan permasalahan berdasarkan proses belajar (*training*) yang diberikan kepadanya [4]. JST telah banyak diterapkan dalam berbagai penelitian untuk memprediksi sifat-sifat material termasuk diantaranya yaitu sifat termal dan sifat mekanik berdasarkan data-data eksperimen yang tersedia di berbagai literatur [5-7].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang diangkat pada Tugas Akhir ini adalah

- Bagaimana membuat jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan untuk memprediksi koefisien konduktivitas termal bata ringan?
- Bagaimana pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al, terhadap konduktivitas termal bata ringan?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

- Membuat jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi koefisien konduktivitas termal bata ringan berdasarkan pengaruh komposisi Si, Ca, Al dan suhu lingkungan.
- Mengetahui pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al terhadap konduktivitas termal bata ringan berdasarkan model jaringan syaraf tiruan yang didapat.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

- Bata ringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bata ringan jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC)
- Jaringan syaraf tiruan yang digunakan adalah *feed forward backpropagation* dengan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt
- Data training JST dihimpun dari penelitian yang dilakukan oleh: Baspinar, et al. (2012) [8], Kurama, et al. (2009) [9], dan Kunchariyakun, et al. (2015) [10].

- Data uji JST diperoleh dari data pengukuran massa jenis, uji EDX dan uji konduktivitas termal empat sampel bata ringan yang diperoleh.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

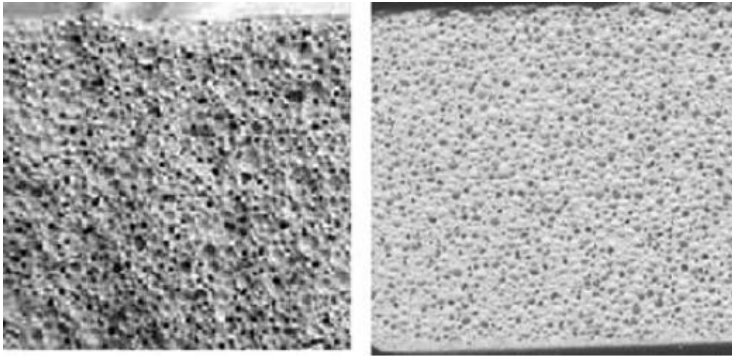
2.1. Beton berpori (*Cellular Concrete*)

Beton berpori tergolong material komposit [11] yang mana bahan baku utama dalam pembuatannya adalah Semen Portland. Reaksi kimia antara air dan mineral yang terkandung di dalam semen akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang menjadi komponen paling dominan pada fasa matriks beton berpori. Selain fasa matriks, beton berpori memiliki fasa gas yang terdiri dari mikropori dan makropori. Fasa gas dihasilkan dengan cara menambahkan *additive* berupa *foaming agent* ke dalam campuran semen dan air.

Walaupun dinamakan *cellular concrete* beton berpori pada dasarnya bukan tergolong jenis beton karena berdasarkan definisinya, beton merupakan campuran antara semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Sementara itu, dalam proses pembuatan beton berpori umumnya hanya digunakan campuran antara semen, air, kapur dan pasir sebagai *filler* nya [11].

Berdasarkan kekuatannya, beton berpori diklasifikasikan keadalam tiga kelas yaitu *low density concrete* ($\sigma=0,7-2$ MPa; $\rho=300-800$ kg/m³), *moderate strength concrete* ($\sigma=7-14$ MPa; $\rho=800-1350$ kg/m³) dan *structural concrete* ($\sigma=17-63$ MPa; $\rho=1350-1920$ kg/m³) [12].

Sementara itu berdasarkan metode pengeringannya (*curing*), beton berpori digolongkan ke dalam dua jenis yaitu: *Low Temperature Cured Cellular Concrete* (LTCCC) dan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC). LTCCC umumnya dibiarkan mengering sendiri pada suhu lingkungan, sementara proses pengeringan AAC memerlukan suhu di atas 100 °C dan tekanan yang cukup tinggi sehingga diperlukan tempat khusus yang disebut *autoclave* [11]. Proses *autoclaving* memicu reaksi antara silika dan mineral hasil reaksi hidrasi semen. Hasil reaksi ini berupa senyawa kristalin yang disebut *tobermorite*. Hal ini yang menyebabkan AAC memiliki kekuatan mekanik yang lebih baik dibanding LTCCC. **Gambar 2.1** di bawah menunjukkan penampang LTCCC dan AAC.



Gambar 2.1. Penampang (Kiri) *Low Temperature Cured Cellular Concrete*; (kanan) *Autoclaved Aerated Concrete* [11]

2.2. Bata Ringan (*Autoclaved Aerated Concrete*)

Autoclaved Aerated Concrete atau AAC umumnya dikenal dengan istilah bata ringan, merupakan salah satu jenis *cellular concrete*. Tidak seperti bata konvensional pada umumnya yang dikeringkan di tempat terbuka, AAC dikeringkan di dalam *autoclave* pada suhu 180-190 °C. Menurut Narayanan dan Ramamurthy (2000) [2], pada dasarnya AAC adalah mortar (campuran semen, air dan agregat halus) dengan tambahan pasir atau *fly ash* sebagai *filler*. Pori-pori yang terdapat pada AAC dihasilkan melalui reaksi kimia dengan cara menambahkan aditif pembentuk pori (*pore foaming agent*) seperti Aluminium, Zn, dan H_2O_2 kedalam campuran semen, air dan pasir.

2.3. Proses Pembuatan Bata Ringan

Bata ringan diproduksi dari bahan baku berupa semen, pasir atau *fly ash* sebagai sumber silika (SiO_2), dan kapur (CaO).

- Semen
Semen yang umumnya digunakan dalam pembuatan AAC adalah semen Portland. Semen Portland memiliki kandungan mineral seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1** di bawah ini:

Tabel 2.1 Kandungan mineral pada semen Portland [13]

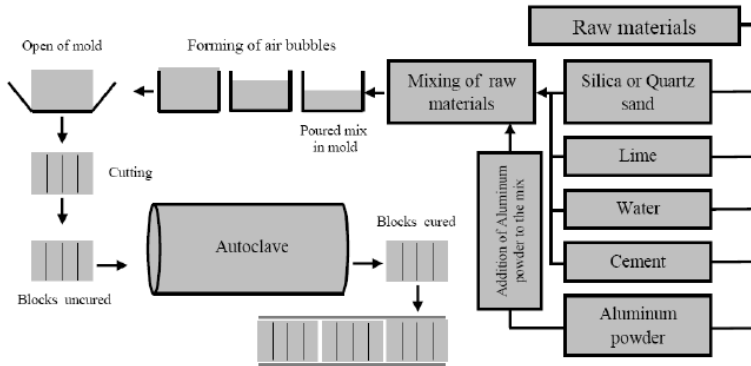
Mineral	Rumus Kimia	Komposisi Oksida	Singkatan
Trikalsium Silikat (Alite)	Ca_3SiO_5	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Dikalsium Silikat (Belite)	Ca_2SiO_4	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Trikalsium aluminat	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_4$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetrakalsium aluminoforit	$\text{Ca}_4\text{Al}_n\text{Fe}_2$ $_{-n}\text{O}_7$	$4\text{CaO}.\text{Al}_n\text{Fe}_2$ $_n\text{O}_3$	C_4AF

- Pasir atau *fly ash*
Berfungsi sebagai sumber silika (SiO_2) yang berperan penting dalam proses pembentukan *tobermorite* pada proses *autoclave*
- Kapur
Sebagai sumber CaO tambahan
- Air
Berfungsi untuk melarutkan bahan baku dan memicu reaksi hidrasi semen
- Serbuk Aluminium (Al)

**Gambar 2.2** Serbuk Aluminium yang digunakan pada pembuatan AAC [14]

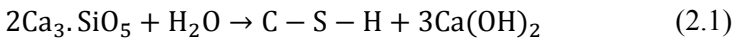
Gambar 2.3 di bawah menunjukkan proses produksi AAC secara umum. Bahan baku berupa pasir, kapur, air, dan semen

dicampur dalam suatu wadah. Serbuk aluminium ditambahkan saat proses pencampuran berlangsung. Selanjutnya, campuran dipindahkan ke dalam cetakan (*molding*).



Gambar 2.3 Proses pembuatan AAC [15]

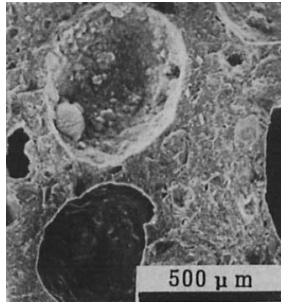
Saat berada di dalam cetakan, terjadi reaksi hidrasi antara trikalsium silikat yang terdapat pada semen dengan air membentuk kalsium silikat hidrat (CSH) dan Ca(OH)_2 sesuai dengan persamaan reaksi:



Selanjutnya, Ca(OH)_2 akan bereaksi dengan serbuk aluminium dan menghasilkan gas hidrogen sesuai dengan persamaan reaksi:



Reaksi ini menyebabkan campuran mengembang secara keseluruhan seperti tampak pada **Gambar 2.3** di atas. Gas hidrogen yang dihasilkan akan keluar meninggalkan campuran dan digantikan oleh udara karena massa jenis gas hidrogen yang lebih ringan dibanding udara. Pada lokasi ini, terbentuklah *macropore* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4** di bawah. Sementara itu, *micropore* terbentuk pada permukaan *macropore*.

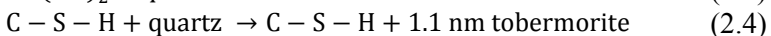
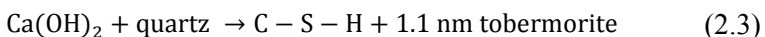


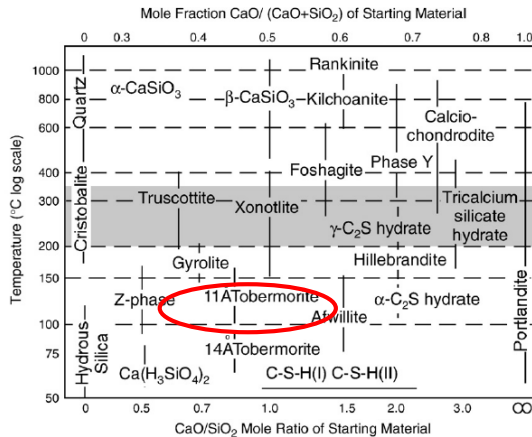
Gambar 2.4 Foto SEM yang menunjukkan keberadaan *macropore* dan *micropore* pada AAC [16]

Peningkatan volume campuran bergantung pada jumlah serbuk aluminium yang ditambahkan ke dalam campuran. Semakin besar pengembangan yang terjadi, campuran akan memiliki massa jenis yang semakin kecil. Hal ini akan berpengaruh terhadap sifat fisik, mekanik, maupun sifat termal produk akhir bata ringan.

Setelah dibiarkan selama beberapa saat di dalam cetakan, campuran akan mulai mengeras menjadi “*green body*”. *Green body* selanjutnya dipotong menggunakan kawat sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Setelah itu, campuran dipindahkahkan ke dalam oven *autoclave* untuk dikeringkan. *Autoclave* umumnya beroperasi pada suhu mencapai 200°C dengan tekanan 4 -16 MPa dan durasi selama 8-16 jam.

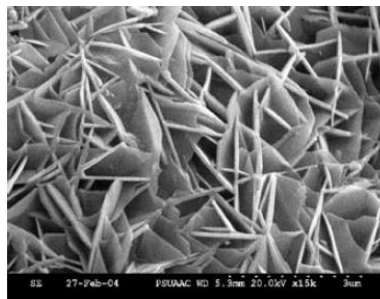
Pada proses *autoclaving*, akan terjadi reaksi yang melibatkan C-S-H, Ca(OH)_2 , dan kuarsa (*quartz* – SiO_2) yang terdapat pada pasir atau *flyash*. Jika pada reaksi hidrasi semen sebelumnya pasir atau *fly ash* bersifat inert atau dengan kata lain tidak ikut bereaksi, pada suhu *autoclave*, pasir akan bereaksi baik itu dengan Ca(OH)_2 maupun dengan C-S-H untuk membentuk *tobermorite* ($\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{17} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Reaksi tersebut ditunjukkan oleh persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) di bawah:





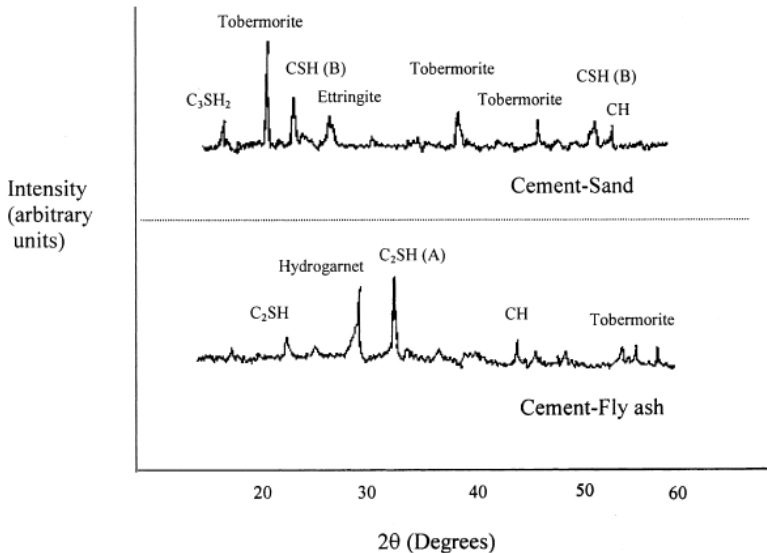
Gambar 2.5 Variasi fasa pada sistem $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ dalam rentang suhu 50 sampai 1000°C [17]

Gambar 2.5 di atas menunjukkan variasi fasa yang terbentuk pada sistem C-A-S-H pada rentang suhu 50 sampai 1000°C . Fasa *tobermorite* terbentuk pada rasio $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,8 - 1,5$. Struktur kristalin fasa *tobermorite* dapat dilihat pada **Gambar 2.6** di bawah. Bentuknya yang menyerupai bilah dapat saling mengunci satu sama lain sehingga memberikan kuat tekan yang lebih tinggi pada AAC dibanding LTCCC.



Gambar 2.6 *Tobermorite* kristalin yang membentuk matriks AAC [11]

Tobermorite yang terbentuk memiliki fasa kristalin dan semi kristalin. **Gambar 2.7** di bawah menunjukkan hasil uji XRD AAC yang mengandung pasir dan *fly ash*. Tampak bahwa AAC yang mengandung pasir menunjukkan kristalinitas yang lebih baik dibanding AAC yang mengandung *fly ash*.



Gambar 2.7 Kurva XRD bata ringan (AAC) (atas) berbasis semen-pasir dan (bawah) berbasis semen-*fly ash* [2]

2.4. Konduktivitas Termal Bata Ringan

Salah satu keunggulan utama yang dimiliki AAC adalah nilai konduktivitas termalnya yang rendah. Konduktivitas termal merupakan sifat spesifik yang dimiliki oleh zat padat, cair, dan gas. Koefisien konduktivitas termal (k_c atau λ) menyatakan besarnya laju perpindahan panas, tegak lurus terhadap permukaan material yang dilewati. Semakin kecil nilainya, maka semakin baik insulasi termal material tersebut. Konduktivitas termal bata ringan dipengaruhi oleh massa jenis, kandungan uap air, dan komposisi mineral penyusunnya [15]. Hubungan antara massa jenis bata ringan dan konduktivitas termalnya dapat dinyatakan oleh

persamaan yang diusulkan oleh Valore (1980) dalam laporan *American Concrete Institute* ACI 122-0R [18] berikut:

$$k_c = 0,072e^{0,00125d} \quad (2.5)$$

dimana: k_c = konduktivitas termal (W/mK)
 d = massa jenis kering (kg/m^3)

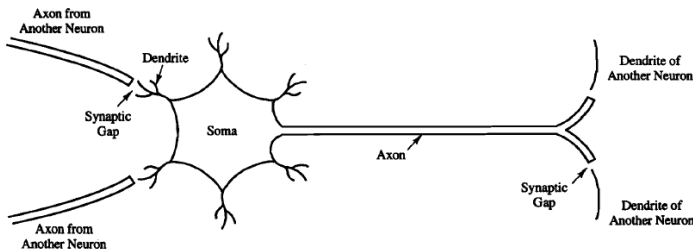
Pada kondisi normal, tidak mungkin untuk mempertahankan bata ringan dalam kondisi kering karena adanya pengaruh uap air sehingga persamaan konduktivitas di atas perlu dikoreksi menjadi [18]:

$$k_c = 0,0865e^{0,00125d} \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.6) di atas, tampak bahwa konduktivitas termal meningkat seiring dengan peningkatan kandungan uap air dan massa jenis bata ringan.

2.5. Jaringan syaraf Biologi

Otak manusia tersusun atas kumpulan sel syaraf yang disebut neuron. Neuron-neuron saling terhubung satu sama lain membentuk jaringan yang sangat kompleks. Hal tersebut memungkinkan otak mengerjakan tugas-tugas rumit seperti melakukan perhitungan, mengenali objek dan mengendalikan aktivitas tubuh.



Gambar 2.8 Jaringan syaraf biologis [19]

Gambar 2.8 di atas menunjukkan struktur jaringan syaraf biologis. Neuron tersusun atas tiga komponen utama yaitu akson, dendrit dan soma (badan sel). Dendrit berfungsi untuk menerima sinyal yang berasal dari neuron lain. Sinyal masukan berupa impuls listrik tersebut mengalami modifikasi (penguatan atau pelemahan) oleh proses kimia yang berlangsung di celah sinaptik. Selanjutnya, sinyal diteruskan ke badan sel. Badan sel menjumlahkan seluruh sinyal yang masuk. Jika sinyal masukan tersebut cukup kuat maka akan diteruskan ke neuron lain melalui akson [19].

Sistem jaringan syaraf biologis memiliki karakteristik yang disebut *fault tolerant*. Hal ini memungkinkan neuron untuk mengenali berbagai sinyal masukan yang sedikit berbeda dengan sinyal masukan yang pernah diterima sebelumnya. Selanjutnya, jaringan syaraf biologis masih dapat bekerja meskipun terdapat beberapa neuron yang rusak. Otak masih dapat dilatih meskipun beberapa neuron mengalami kerusakan. Selain itu, pada kasus yang cukup parah dimana neuron mengalami kerusakan yang cukup banyak, neuron lain dapat pula dilatih untuk menggantikan fungsi dari neuron yang rusak tersebut [19].

2.6. Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Jaringan syaraf tiruan merupakan sistem pemrosesan informasi yang terinspirasi oleh jaringan syaraf biologis. Hal tersebut membuat JST memiliki karakteristik yang hampir sama dengan jaringan syaraf biologis.

JST dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa [4]:

- Pemrosesan informasi terjadi pada elemen-elemen sederhana yang disebut neuron
- Sinyal-sinyal informasi dikirimkan antar neuron melalui penghubung
- Tiap penghubung memiliki bobot yang berfungsi untuk memodifikasi sinyal
- Neuron menerapkan fungsi aktivasi pada jumlahan masukan yang diterima untuk menentukan nilai dari sinyal keluaran.

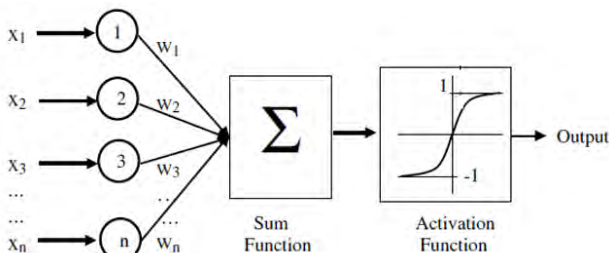
Terdapat tiga hal penting yang membedakan antara JST yang satu dengan JST yang lain yaitu [4]:

- Arsitektur, merupakan pola hubungan antar neuron
- *Training, learning* atau algoritma merupakan metode yang digunakan untuk menyesuaikan bobot penghubung
- Fungsi aktivasi

JST terdiri dari sejumlah besar elemen dasar disebut neuron, unit, sel atau *node*. Keempat istilah tersebut memiliki pengertian yang sama.

Neuron terdiri dari tiga elemen pembentuk yaitu [4]:

- Himpunan unit-unit yang dihubungkan oleh jalur penghubung. Jalur tersebut memiliki bobot yang berbeda satu dengan lainnya. Bobot tersebut berfungsi memodifikasi sinyal, dimana bobot positif akan memperkuat sinyal sementara bobot negatif akan memperlemah sinyal.
- Unit penjumlahan, yang berfungsi untuk menjumlahkan sinyal-sinyal masukan yang sudah dikalikan dengan bobot
- Fungsi aktivasi, yang berfungsi untuk menentukan apakah sinyal dari neuron masukan akan diteruskan ke neuron lain atau tidak.



Gambar 2.9 Model neuron sederhana [20]

Gambar 2.9 di atas menunjukkan model neuron sederhana yang terdiri dari n buah bobot (w_1, w_2, w_n), fungsi aktivasi (f) dan

output. *Input* x_1, x_2 , hingga x_n diteruskan melewati penghubung dengan bobot w yang memodifikasi nilainya menjadi $w_1x_1, w_2x_2, \dots, w_nx_n$. Keseluruhan nilai *input* yang telah dimodifikasi ini kemudian dijumlahkan sesuai dengan persamaan:

$$\text{net} = \sum_{1}^n w_n x_n \quad (2.7)$$

Nilai ini kemudian diteruskan ke fungsi aktivasi (f) yang menghasilkan nilai keluaran jaringan sebesar:

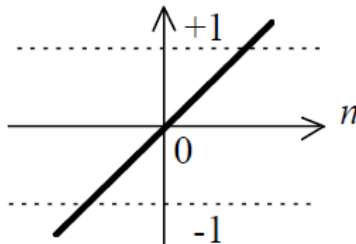
$$\text{output} = f(\text{net}) \quad (2.8)$$

2.6.1. Fungsi aktivasi

Fungsi aktivasi berfungsi untuk menentukan keluaran suatu neuron. Jika keluaran suatu neuron melebihi ambang batas tertentu maka neuron tersebut diaktivasi, sementara jika keluarannya kurang dari ambang batas, neuron tersebut tidak diaktivasi

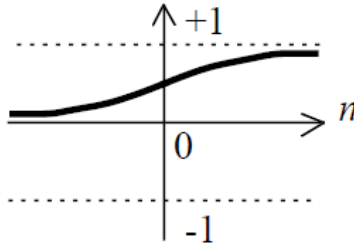
- Fungsi identitas

Fungsi identitas umumnya hanya digunakan pada JST *single layer*. Pada JST *multilayer*, fungsi identitas umumnya hanya digunakan pada lapisan *output* (keluaran) saja. Hal ini dikarenakan nilai keluaran jaringan dapat bernilai berapa saja atau dengan kata lain tidak terbatas pada rentang nilai tertentu.



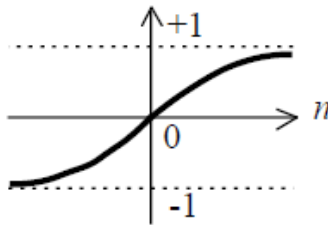
Gambar 2.10 Representasi grafik fungsi identitas [21]

- Fungsi sigmoid biner atau *logistic sigmoid*
Berbeda dengan fungsi identitas, fungsi aktivasi sigmoid biner memiliki rentang nilai 0 sampai 1



Gambar 2.11 Representasi grafik fungsi *logistic sigmoid* [21]

- Fungsi sigmoid bipolar
Fungsi aktivasi ini memiliki rentang nilai -1 sampai 1



Gambar 2.12 Representasi grafik fungsi sigmoid bipolar [21]

2.6.2. Model JST

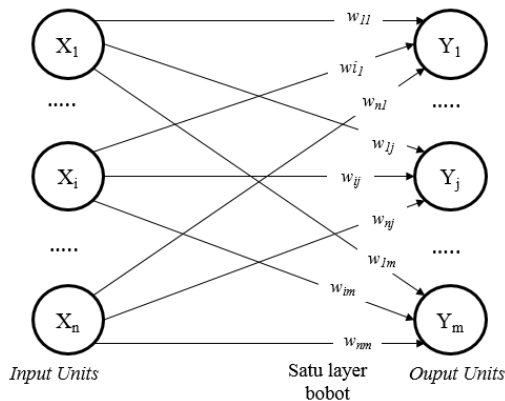
Sejak pertama kali dikembangkan hingga sekarang, JST telah mengalami perkembangan yang pesat. Hal itu ditandai dengan munculnya berbagai variasi JST baik itu berdasarkan arsitektur maupun berdasarkan strategi pelatihannya.

a. Berdasarkan Arsitektur

Berdasarkan arsitekturnya, JST umumnya dikelompokkan menjadi dua yaitu *single layer* (lapisan tunggal) dan *multilayer* (lapisan jamak).

- JST *single layer* [4]

JST dengan arsitektur ini memiliki satu *layer* yang terdiri dari sekumpulan unit *input* yang disebut *layer* masukan dan satu *layer* lain yang terdiri dari unit *output* (keluaran). Unit *input* berfungsi menerima sinyal dari masukan sementara unit *output* akan menghasilkan nilai keluaran jaringan berdasarkan masukan yang diberikan.

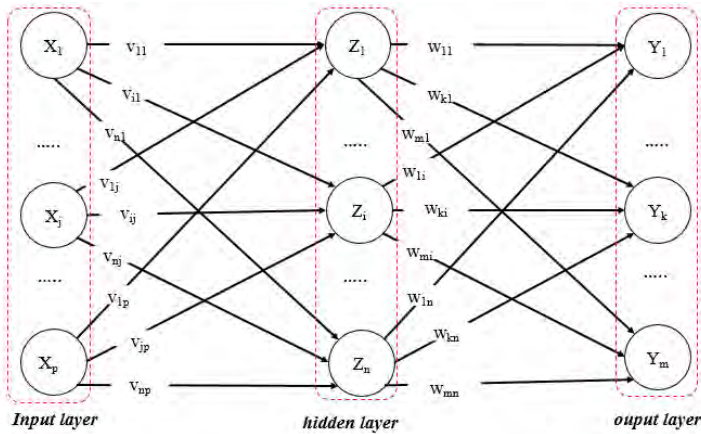


Gambar 2.13 Arsitektur JST *Single layer*

Gambar 2.13 di atas menunjukkan struktur jaringan yang memiliki n unit *input* dan m unit *output*. Tampak bahwa semua unit *input* dihubungkan ke semua unit *output* dengan bobot yang berbeda-beda. Unit *input* maupun unit *output* tidak dihubungkan dengan dirinya sendiri.

- JST *multilayer* [4]

Tidak seperti JST *single layer* yang hanya memiliki *input layer* dan *output layer*, JST *multilayer* memiliki satu atau lebih lapisan lain yang terletak di antara *input node* dan *output node*. Lapisan ini disebut *hidden layer*. **Gambar 2.14** di bawah menunjukkan JST *multilayer* dengan n buah unit *input*, satu *hidden layer* yang terdiri dari p buah unit tersembunyi dan satu *output layer* yang terdiri dari m buah unit *output*.



Gambar 2.14 Arsitektur JST *multilayer*

b. Berdasarkan Strategi Pelatihan

Terdapat dua jenis strategi pelatihan JST yaitu pelatihan dengan supervisi dan pelatihan tanpa supervisi.

- Pelatihan dengan Supervisi [4]

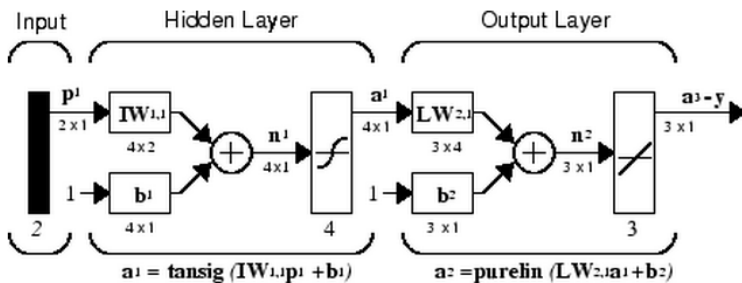
Pada pelatihan dengan supervisi terdapat, terdapat sejumlah pasang data berupa data masukan dan target yang dipakai untuk melatih JST. Saat pelatihan berlangsung, *input* akan diberikan ke jaringan untuk diproses dan hasilnya berupa keluaran jaringan. Selisih antara keluaran jaringan dan target merupakan *error*. Jaringan akan memodifikasi bobot sesuai dengan nilai *error* tersebut. JST yang termasuk kategori ini antara lain *Hebbian*, *Perceptron*, *ADALINE*, dan *Backpropagation*.

- Pelatihan tanpa Supervisi [4]

Pada pelatihan ini, perubahan bobot jaringan dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang sudah ditentukan. Contoh JST yang termasuk kategori ini antara lain *Competitive*, *Kohonen*, dan *LVQ (Learning Vector Quantization)*

2.6.3. Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*

Jaringan Syaraf Tiruan *backpropagation* memiliki beberapa unit yang terdapat pada satu atau lebih *hidden layer*nya. **Gambar 2.15** di bawah menunjukkan arsitektur JST *backpropagation* dengan 3 layer. Fungsi aktivasi yang digunakan pada *hidden layer* adalah *tangent sigmoid*, sementara fungsi aktivasi identitas (*purelin*) digunakan pada *output layer*. Layer masukan terdiri dari R buah elemen.



Gambar 2.15 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* [21]

a. Pelatihan Standar *Backpropagation* [4]

Pelatihan standar *backpropagation* meliputi tiga fase yaitu:

- Fase I – Propagasi maju

Pada fase ini, sinyal masukan yang diterima oleh unit masukan ($\mathbf{p}^1$) diteruskan ke *hidden layer* menggunakan fungsi aktivasi yang telah ditentukan. Keluaran dari setiap unit pada lapisan tersembunyi ($\mathbf{a}^1$) selanjutnya diteruskan lagi ke lapisan tersembunyi berikutnya hingga mencapai lapisan keluaran dan dihasilkan keluaran jaringan ($\mathbf{y}$). Keluaran dari jaringan akan dibandingkan dengan nilai target ($\mathbf{t}$). Selisih antara $\mathbf{t}$ dan $\mathbf{y}$ adalah *error* jaringan. Jika *error* bernilai lebih kecil dari batas yang ditentukan, maka iterasi berhenti, namun jika *error* masih bernilai lebih besar dibanding batas toleransi maka bobot akan dimodifikasi untuk mengurangi *error* tersebut.

- Fase II – Propagasi Mundur

Berdasarkan nilai *error* yang disebutkan di atas, dihitung faktor *error* δ_k yang digunakan untuk mendistribusikan kesalahan dari unit y ke semua unit di lapisan tersembunyi. δ_k juga digunakan untuk mengubah bobot yang terhubung dengan unit keluaran. Dengan cara yang sama dihitung pula faktor *error* δ_j yang terdapat di setiap unit pada *layer* tersembunyi. Demikian seterusnya hingga semua faktor δ di unit tersembunyi yang berhubungan dengan unit masukan dihitung.

- Fase III – Perubahan Bobot

Setelah semua faktor δ dihitung, bobot dimodifikasi bersamaan. Perubahan bobot didasarkan atas faktor δ neuron yang berada sebelumnya. Ketiga fase ini diulangi terus hingga kondisi penghentian tercapai.

b. Pelatihan Levenberg-Marquardt (LM)

Pelatihan Levenberg-Marquardt merupakan pengembangan dari algoritma pelatihan *backpropagation* standar. Tujuannya adalah untuk mencapai nilai *error* yang kecil dengan jumlah iterasi yang lebih sedikit sehingga komputasi berlangsung dalam waktu yang relatif lebih cepat.

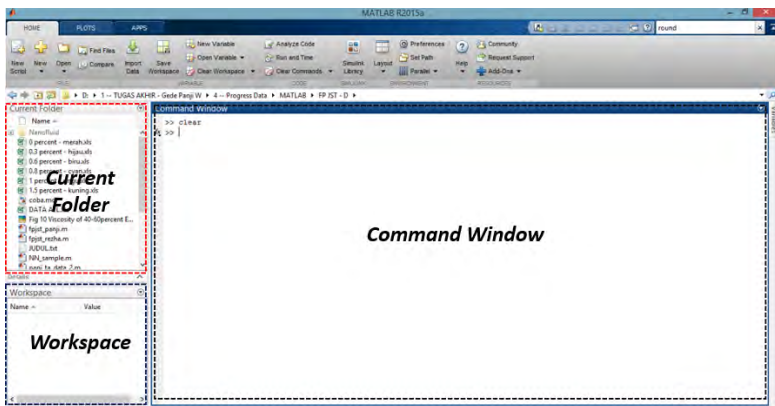
Aturan perubahan bobot pada algoritma LM dinyatakan oleh persamaan (2.9) berikut [22]:

$$x_{k+1} = x_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (2.9)$$

dengan x_k = bobot pada iterasi ke $-k$
 x_{k+1} = bobot pada iterasi ke $-k+1$
 J = matriks Jakobi
 μ = Koefisien kombinasi
 I = Matriks identitas
 e = Vektor error jaringan

2.7. Software Matlab

Matlab merupakan perangkat lunak untuk keperluan komputasi, visualisasi, dan pemrograman yang melibatkan penggunaan vektor dan matriks. Bahasa pemrograman, *tools* dan fungsi matematika yang tersedia memungkinkan pengguna mencoba berbagai pendekatan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan matematis yang mencakup pemrosesan sinyal dan komunikasi, pemrosesan gambar dan video, sistem kontrol, komputasi finansial, serta komputasi biologi.



Gambar 2.16 Tampilan Desktop Matlab R2015a

Gambar di atas menunjukkan tampilan desktop matlab R2015a. Matlab versi lain mungkin saja memiliki tampilan yang berbeda. Terdapat 3 panel utama pada desktop Matlab seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.16** di atas yaitu:

a. Current folder

Current folder ditunjukkan oleh garis putus-putus warna merah. Fungsinya adalah untuk keperluan mengakses file yang ada di komputer sehingga pengguna tidak perlu meninggalkan Matlab.

b. *Command Window*

Command Window ditunjukkan oleh garis putus-putus warna biru. Merupakan tempat untuk memasukkan perintah-perintah yang diinginkan oleh pengguna. Baik perintah maupun keluaran Matlab akan muncul pada *command window*.

c. *Workspace*

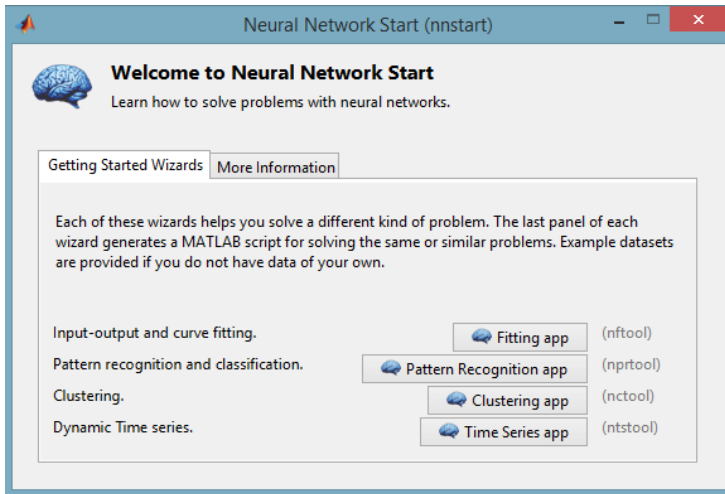
Workspace ditunjukkan oleh garis putus-putus warna hitam. Merupakan tempat penyimpanan sementara data yang telah dibuat. Data tersebut disimpan dalam bentuk matriks.

Selain panel-panel yang telah disebutkan di atas, Matlab juga menyediakan fasilitas editor program. Syntax pemrograman pada Matlab mirip dengan syntax bahasa C++. Editor program digunakan untuk menuliskan *script* (program Matlab). Sebelum bisa dijalankan, *script* harus disimpan terlebih dahulu dengan ekstensi .m

2.7.1. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan pada Matlab

Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan merupakan salah satu produk yang tersedia secara opsional pada Matlab. Aplikasi JST pada Matlab dikenal dengan nama *Neural Network Toolbox* (NNT). *Toolbox* ini menyediakan berbagai fungsi dan aplikasi untuk melakukan pemodelan sistem *nonlinear* yang sangat kompleks dengan menerapkan prinsip-prinsip JST. NNT mendukung pelatihan dengan supervisi dan tanpa supervisi. Dengan bantuan NNT, pengguna dapat merancang berbagai jenis Jaringan Syaraf Tiruan, melatih, dan mensimulasikan JST tersebut. NNT dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti fitting data, pengenalan pola, pengelompokan data, prediksi, dan pemodelan sistem dinamik.

Terdapat beberapa cara untuk merancang JST menggunakan NNT yang ada pada Matlab. Pertama yaitu dengan menggunakan *toolbox* berbasis *Graphical User Interface* (GUI) seperti tampak pada **Gambar 2.17** di bawah. *Toolbox* ini dapat ditampilkan dengan mengetikkan perintah “nnstart” pada *command line*.



Gambar 2.17 Tampilan GUI *Neural Network Start*

Cara kedua yaitu dengan menuliskan *script* yang berisi fungsi-fungsi JST yang sudah disediakan oleh *Neural Network Toolbox* Matlab seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.18** di bawah:

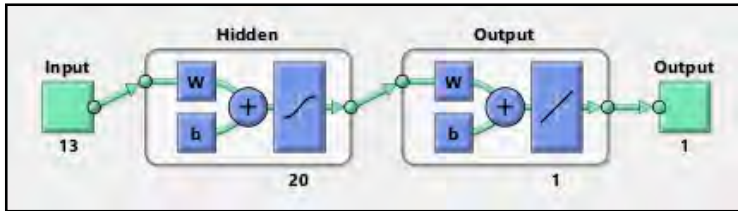
```

1 - load house_dataset
2 - net = feedforwardnet(20);
3 - [net,tr] = train(net,houseInputs,houseTargets);

```

Gambar 2.18 Contoh baris perintah program Jaringan Syaraf Tiruan pada Matlab

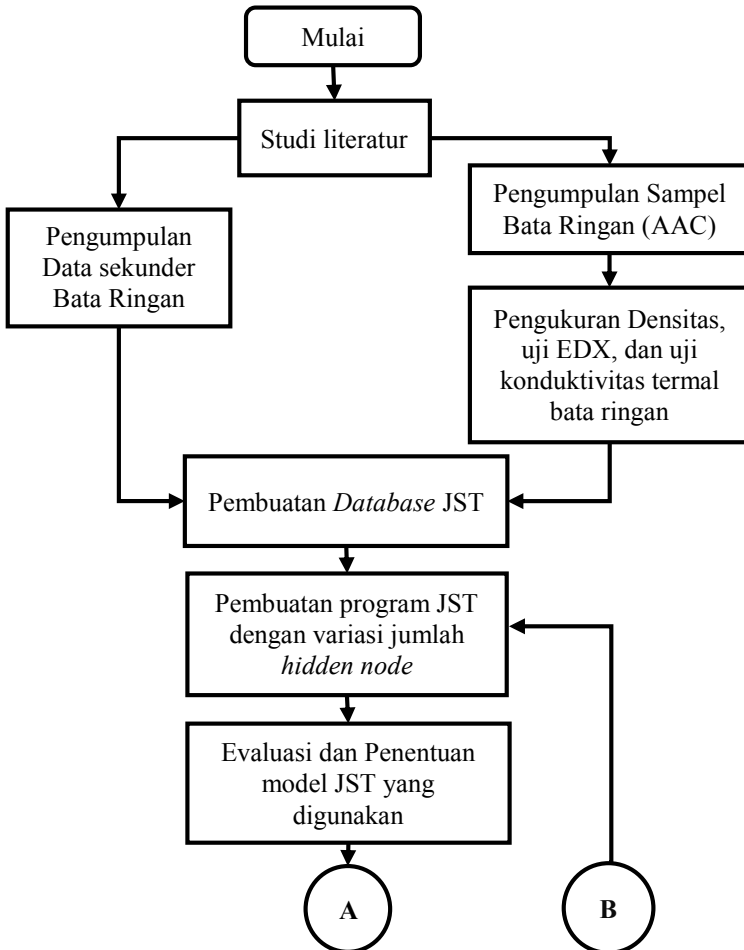
Script di atas hanya terdiri dari tiga baris, namun sudah mencakup langkah-langkah perancangan JST mulai dari inisialisasi hingga pelatihan JST. **Gambar 2.19** di bawah menunjukkan arsitektur JST yang dibuat berdasarkan perintah pada **Gambar 2.18**. JST dengan arsitektur demikian umumnya disebut memiliki konfigurasi 13 – 2 – 1.

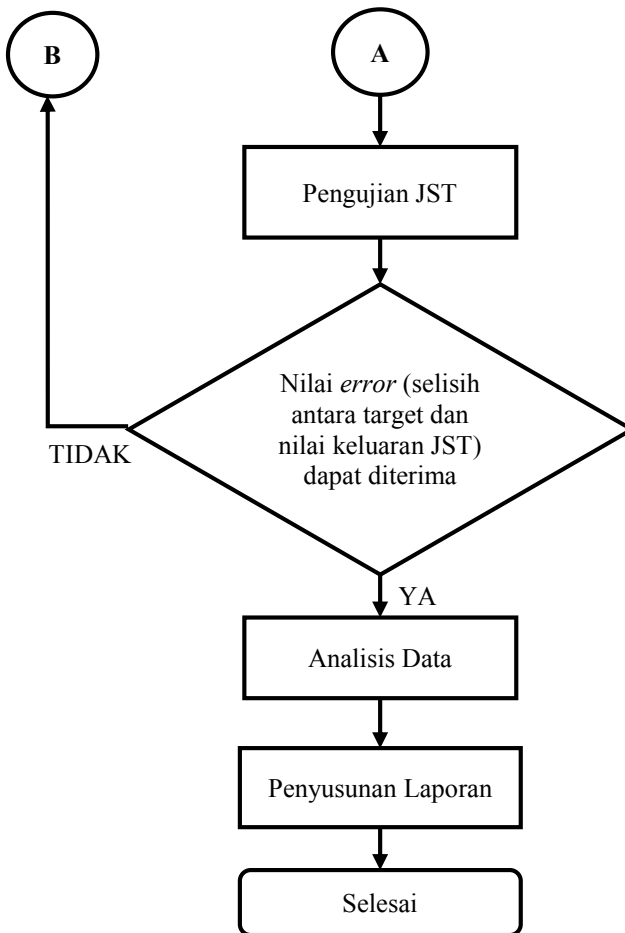


Gambar 2.19 Arsitektur JST dengan satu *input layer* (13 variabel *input*), satu *hidden layer* yang memiliki 20 *hidden node* dan 1 *output layer* pada Matlab.

BAB III METODOLOGI

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan berdasarkan langkah-langkah yang sistematis seperti ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini:





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan oleh diagram alir di atas akan dijabarkan pada masing-masing sub bab berikut:

3.1. Pengumpulan Sampel Bata Ringan

Empat sampel bata ringan yang berasal dari empat produsen berbeda dikumpulkan dari beberapa toko bangunan yang ada di Surabaya dan sekitarnya. **Gambar 3.2** di bawah menunjukkan keempat sampel bata ringan tersebut.

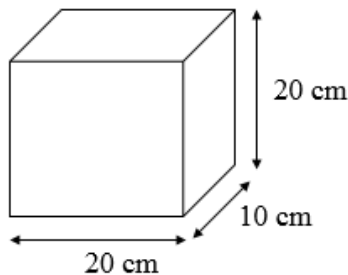


Gambar 3.2 Sampel bata ringan yang telah dipotong

3.2. Pengukuran Massa Jenis Bata Ringan

Pada pengukuran massa jenis, keempat sampel dipotong terlebih dahulu sehingga berukuran $20 \times 20 \times 10 \text{ cm}^3$ seperti tampak pada **Gambar 3.3** di bawah. Selanjutnya, keempat sampel bata ringan ditimbang. Massa jenis sampel didapat melalui persamaan:

$$\rho_{\text{sampel}} = m_{\text{sampel}} / V_{\text{sampel}} \quad (3.1)$$



Gambar 3.3 Dimensi sampel untuk pengukuran massa jenis

Tabel 3.1 Matriks pengukuran massa jenis bata ringan

Sampel	Volume (m ³)	Massa Jenis (kg/m ³)
AAC-1	4×10^{-3}	
AAC-2	4×10^{-3}	
AAC-3	4×10^{-3}	
AAC-4	4×10^{-3}	

3.3. Uji EDX

Uji EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Uji EDX dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur penyusun bata ringan. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali pada empat titik berbeda di permukaan masing-masing sampel

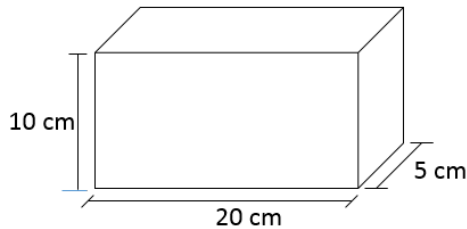
**Gambar 3.4** Sampel bata ringan untuk uji EDX

3.4. Uji Konduktivitas Termal

Uji konduktivitas termal bata ringan dilakukan di Laboratorium Pengujian Balai Tata Bangunan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung, dengan menggunakan TC-32 *Thermal Conductivity Meter*. **Tabel 3.2** di bawah menunjukkan spesifikasi alat uji konduktivitas termal TC-32. Untuk satu kali pengujian, diperlukan sampel uji berukuran $20 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ sebanyak dua buah.

Tabel 3.2 Spesifikasi alat TC-32 *Thermal Conductivity Meter*

Parameter	Nilai
Rentang konduktivitas termal	0,02 – 1,999 kcal/mh°C
Waktu uji	100 detik
Ukuran sampel	50 x 100 x 200 mm
<i>Thermocouple</i>	<i>Chrome-Al</i>
Rentang suhu pengujian	-20 – 200 °C
Tegangan (Frekuensi)	100 ± 10 V _{AC} (50/60 Hz)
Daya	100 VA

**Gambar 3.5** Dimensi sampel untuk uji konduktivitas termal

Gambar 3.6 di bawah menunjukkan *setup* pengujian konduktivitas termal bata ringan menggunakan TC-32 *Thermal Conductivity Meter*.

**Gambar 3.6** *Setup* pengujian konduktivitas termal bata ringan

Sesaat sebelum pengujian dimulai, *display* pada alat tersebut akan menunjukkan suhu awal sampel. Saat pengukuran selesai, *display* akan menunjukkan suhu akhir sampel bata ringan dan koefisien konduktivitas termal yang terukur. Konduktivitas termal sampel (λ) dihitung berdasarkan persamaan (3.2) di bawah [23]:

$$\lambda = \frac{q}{4\pi} \frac{1}{(T_2 - T_1)} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (3.2)$$

dengan: λ = konduktivitas termal (kcal/mh°C)
 q = daya yang dihantarkan per satuan panjang kawat (kcal/mh)
 t_1, t_2 = t_{awal} dan t_{akhir} (s)
 T_1, T_2 = suhu pada t_1, t_2 (°C)

3.5. Pembuatan *Database* JST

Pembuatan *database* penting untuk keperluan proses pelatihan. *Database* JST juga berkaitan dengan model JST yang dibuat. Database tersebut berasal dari tiga jurnal penelitian oleh Baspinar, et al. (2012) [8], Kurama, et al. (2009) [9], dan Kunchariyakun, et al. (2015) [10]. Dari ketiga sumber tersebut, diperoleh 18 pasang data berupa komposisi unsur-unsur-unsur dominan penyusun bata ringan yaitu Si, Ca, Al, dan O. Bersama dengan massa jenis kelima variabel ini dihimpun dalam bentuk matriks *input*.

Nilai konduktivitas termal (λ) yang telah dihimpun akan dijadikan sebagai data target. **Tabel 3.3** dan **Tabel 3.4** menunjukkan matriks data *input* dan target yang akan digunakan dalam pelatihan JST.

Sementara itu, untuk keperluan pengujian JST, digunakan data yang berbeda dengan data *training*. Data *input* untuk pengujian ini berasal dari hasil uji EDX sampel bata ringan. Selanjutnya, keluaran JST (hasil prediksi) akan dibandingkan dengan data target yaitu konduktivitas termal bata ringan. **Tabel 3.5** dan **Tabel 3.6** menunjukkan matriks data *input* dan target untuk keperluan pengujian JST.

Tabel 3.3 Matriks Data *Training (Input)*

SAMPEL	Si	Ca	Al	O	Massa Jenis
A	12,65	29,24	5,32	39,56	660
C	12,18	31,96	4,92	38,87	760
C1	13,84	25,14	6,03	40,24	630
C2	13,97	24,43	6,13	40,4	640
C3	14,12	23,67	6,25	40,57	590
C4	1429	22,86	6,34	40,77	650
C2SF1	14,18	24,27	6,09	40,47	740
C2SF2	14,18	24,27	6,09	40,47	780
Ref	32,56	18,3	1,11	46,28	650
BAC25	29,29	18,79	2,5	46,13	580
BAC50	26,05	19,29	3,89	45,98	560
BAC75	22,81	19,78	5,27	45,82	520
BAC100	19,54	20,28	6,67	45,67	500
CT	27,28	24,69	1,38	42,7	1219
RHC25	26,87	24,75	1,38	42,45	1026
RHC50	26,47	24,81	1,38	42,21	882
RHC75	26,07	24,87	1,39	41,96	754
RHC100	25,66	24,93	1,39	41,72	671

Tabel 3.4 Statistik Data *Training (Input)*

Nama	N*	Maks.	Min.	Rentang	Rata-rata	Standar Deviasi
Si	18	32,56	12,18	20,38	20,67	6,93
Ca	18	31,96	18,3	13,66	23,69	3,51
Al	18	6,67	1,11	5,56	4,09	2,22
O	18	46,28	38,87	7,14	41,66	1,86
Massa Jenis	18	1219	504	715	712,2	180,13

N* = jumlah data

Tabel 3.5 Matriks Data *Training* (Target)

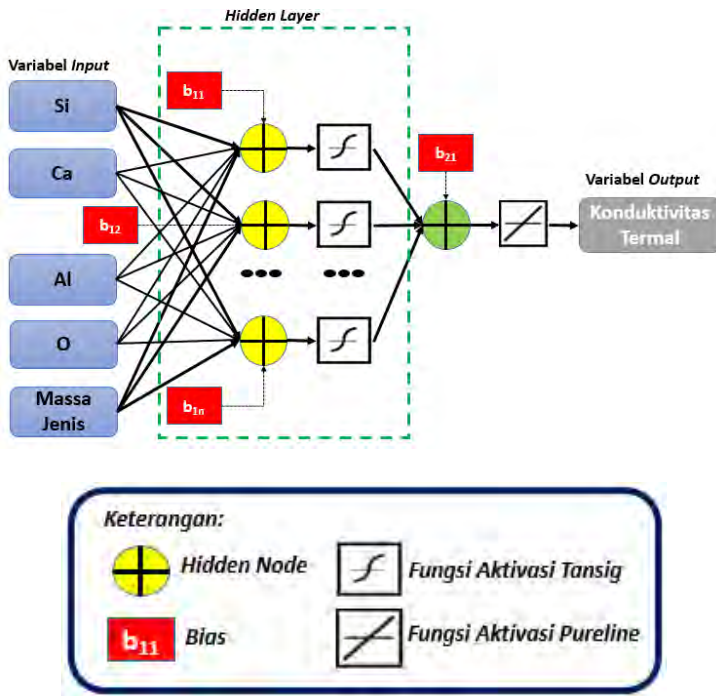
SAMPEL	λ (W/mK)
A	0,145
C	0,201
C1	0,128
C2	0,156
C3	0,123
C4	0,142
C2SF1	0,135
C2SF2	0,135
Ref	0,361
BAC25	0,306
BAC50	0,287
BAC75	0,257
BAC100	0,22
CT	0,376
RHC25	0,349
RHC50	0,333
RHC75	0,293
RHC100	0,267

Tabel 3.6 Statistik Data *Training* (Target)

Nama	N*	Maks.	Min.	Rentang	Rata-rata	Standar Deviasi
λ	18	0,376	0,123	0,253	0,23	0,09

N* = jumlah data

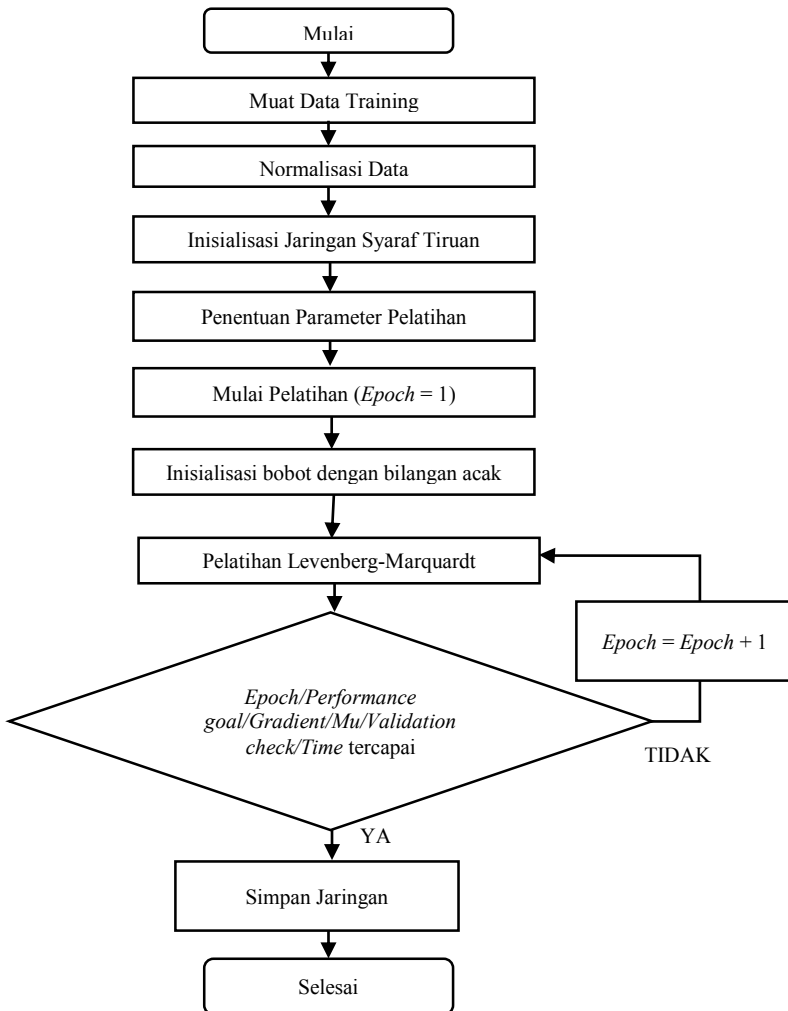
Pada penelitian ini, arsitektur JST yang digunakan adalah JST *multilayer* dengan algoritma pelatihan Lavenberg- Marquardt. Arsitektur JST tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3.7** di bawah.



Gambar 3.7 Arsitektur JST yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir

Keempat kotak berwarna merah menunjukkan elemen bias yang bertindak sebagai variabel input pada jaringan syaraf tiruan. Sementara itu, garis panah yang menghubungkan masing-masing node pada arsitektur di atas memiliki bobot yang bernilai acak. Nilai bobot awal untuk masing-masing pelatihan akan berbeda satu sama lain sehingga bobot akhir masing-masing pelatihan pun akan berbeda.

3.6. Pembuatan program JST



Gambar 3.8 Diagram alir pembuatan program JST

Pembuatan program JST dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2015a. *Neural Network Toolbox* pada Matlab menyediakan berbagai fungsi yang mendukung pembuatan dan pengembangan JST. **Gambar 3.8** di atas menunjukkan diagram alir pembuatan program JST. Berikut ini merupakan penjabaran masing-masing langkah pada diagram alir tersebut tersebut:

- Memuat data *Training (Input dan Target)*
Database JST (*Input* dan *target*) disimpan pada *sheet* terpisah dalam file Microsoft Excel. Data tersebut dipanggil menggunakan perintah:

```
input = transpose(xlsread( ...  
'panji_ta.xlsx', 'InputTrain', 'C43:G60' ));  
target = transpose(xlsread( ...  
'panji_ta.xlsx', 'TargetTrain', 'B3:B20' ));
```

- Normalisasi data *Input* dan *Target*

```
[pn,ps] = mapminmax(input);  
[tn,ts] = mapminmax(target);
```

Fungsi **mapminmax** digunakan untuk melakukan normalisasi data ke dalam rentang nilai 1 dan -1. Variabel **pn** dan **tn** menyatakan matriks data *input* dan data target yang telah dinormalisasi sesuai dengan persamaan:

$$y = \frac{2(x - x_{min})}{x_{max} - x_{min}} - 1 \quad (3.3)$$

dengan: x = nilai awal
 y = nilai setelah dinormalisasi
 x_{max} = nilai maksimum pada data
 x_{min} = nilai minimum pada data

- Inisialisasi Jaringan Syaraf Tiruan

Sebelum dilakukan inisialisasi jaringan syaraf tiruan, terlebih dahulu ditentukan fungsi aktivasi antara *input layer* dan *hidden layer* (`net.layers{1}`) dan fungsi aktivasi antara *hidden layer* dengan *output layer* (`net.layers{2}`) dengan baris perintah berikut:

```
net.layers{1}.transferFcn = 'tansig';
net.layers{2}.transferFcn = 'purelin';
```

Hidden node yang digunakan jumlahnya bervariasi mulai dari 1-10. Berikut adalah baris perintah inisialisasi JST yang terdiri dari satu *hidden layer* dan satu *hidden node* dengan algoritma pelatihan levenberg-marquardt.

```
net = feedforwardnet(1, 'trainlm');
```

- Penentuan Parameter Pelatihan

Pada fungsi pelatihan **trainlm**, terdapat 12 parameter pelatihan yang dapat diatur sesuai keperluan. Parameter tersebut memiliki nilai *default* seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.7** di bawah. Pada penelitian ini, parameter pelatihan yang ditentukan adalah *epochs*, *performance goal*, dan *max fail* sementara parameter lain dibiarkan memiliki nilai *default*nya. *Epoch* menentukan jumlah *epoch* maksimum pelatihan, sementara *performance goal* menentukan nilai minimum *Mean Square Error* (MSE) yang hendak dicapai.

Tabel 3.7 Parameter pelatihan Levenberg-marquardt (trainlm) pada Matlab

Fungsi	Nilai
net.trainParam.epochs	100 (default = 1000)
net.trainParam.goal	1e-5 (default = 0)
net.trainParam.max_fail	10 (default = 6)
net.trainParam.min_grad	1e-7 (default)
net.trainParam.mu	0.001 (default)
net.trainParam.mu_dec	0.1 (default)
net.trainParam.mu_inc	10 (default)
net.trainParam.mu_max	1e10 (default)
net.trainParam.show	25 (default)
net.trainParam.showCommandLine	False (default)
net.trainParam.showWindows	True (default)
net.trainParam.time	Inf. (default)

Pada penelitian ini, sebanyak 85% dari total 18 data digunakan untuk keperluan training, sedangkan sisanya sebanyak 15% digunakan untuk keperluan validasi.

```
net.divideParam.trainRatio = 85/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 0/100;
```

- Memulai Pelatihan dan menampilkan bobot hasil *training* dan validasi.

Sebelum memulai pelatihan baru dengan model JST yang berbeda, jaringan perlu diinisialisasi dengan bobot baru dengan menggunakan perintah **net(init)**. Untuk setiap variasi *hidden node*, dilakukan *training* sebanyak 3 kali, itu artinya, untuk setiap variasi *hidden node*, langkah-langkah

yang ditunjukkan pada **Gambar 3.8** akan diulangi hingga tiga kali

```
net = init(net);
[net,tr] = train(net,pn,tn);
```

Perintah untuk menampilkan bobot akhir hasil *training* adalah sebagai berikut:

```
wb = formwb(net,net.b,net.iw,net.lw);
[b,iw,lw] = separatewb(net,wb);
```

- Simpan Jaringan
Perintah di bawah digunakan untuk menyimpan jaringan yang telah dilatih. Jaringan tersebut dapat dimuat kembali ke dalam *Workspace* untuk dievaluasi satu persatu setelah seluruh proses pelatihan selesai

```
save(sprintf('JST'),
```

3.7. Evaluasi dan Penentuan model JST yang digunakan

Dasar penentuan model JST terbaik dari 10 jenis JST dengan 10 *hidden node* berbeda terletak pada nilai MSE (*Mean Squared Error*) rata-rata validasi masing-masing JST tersebut. MSE dinyatakan oleh persamaan:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - Y_i)^2 \quad (3.4)$$

dengan: N = jumlah data training atau validasi
 T_i = nilai target
 Y_i = nilai keluaran JST

Tabel 3.8 Matriks Evaluasi Model JST

Jumlah <i>hidden node</i>	MSE (rata-rata)	
	<i>Training</i>	Validasi
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Setelah mendapatkan model JST yang menghasilkan MSE rata-rata validasi bernilai paling kecil, langkah selanjutnya adalah memilih satu diantara tiga JST dengan satu *hidden node* hasil pelatihan dengan bobot awal berbeda. JST inilah yang kemudian dipilih untuk keperluan pengujian atau simulasi.

3.8. Pengujian JST

Pada tahap ini, pengujian JST dilakukan dengan melihat keluaran jaringan (prediksi) jika data *input* baru diberikan ke jaringan. Langkah pertama yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian yaitu memanggil data dan memuatnya ke dalam *workspace*. Data selanjutnya dinormalisasi terlebih dahulu sebelum perintah **sim** dijalankan untuk melakukan pengujian jaringan.

```
input_sim_bata = ...
transpose(xlsread('edx_bata.xlsx', ...
'DATA', 'C26:G29'));
```

```

norm_input = mapminmax('apply',...
input_sim_bata,ps);
prediksi_norm = sim(net,norm_input);
prediksi = mapminmax('reverse',...
prediksi_norm,ts);

```

Jaringan yang digunakan pada tahap pengujian adalah jaringan yang telah dipilih dari hasil evaluasi. Berdasarkan *script* di atas, keluaran jaringan yang merupakan hasil prediksi diberikan oleh variabel **prediksi**. Selanjutnya akan dibandingkan nilai Target dan keluaran JST yang sama-sama merupakan konduktivitas termal bata ringan

3.9. Analisis Pengaruh Komposisi Terhadap Konduktivitas Termal Bata Ringan

Si, Ca, dan Al merupakan unsur-unsur utama yang berpengaruh terhadap pembentukan fasa dominan yang terdapat pada bata ringan yaitu kalsium silikat hidrat. Pengaruh variasi komposisi unsur-unsur tersebut terhadap konduktivitas termal dapat diketahui dengan melakukan simulasi menggunakan JST dimana salah satu unsur nilainya divariasikan sementara variabel lain bernilai konstan. Batasan nilai komposisi suatu unsur yang terdapat pada bata ringan dapat dicari menggunakan persamaan (3.5) di bawah [24]:

$$Vf = \frac{\lambda_f(\lambda_m - \lambda)}{\lambda(\lambda_m - \lambda_f)} \quad (3.5)$$

dengan: Vf = Fraksi volume udara pada bata ringan
 λ = konduktivitas termal bata ringan hasil simulasi
 λ_f = konduktivitas termal udara pada tekanan atmosfer dan $T = 300K$ (0,026 W/mK) [25]
 λ_m = Konduktivitas termal *tobermorite* (0,2 W/mK) [26]

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dijabarkan mengenai hasil pengukuran massa jenis bata ringan, hasil uji EDX, hasil uji konduktivitas termal, dan hasil pelatihan jaringan syaraf tiruan yang telah dilakukan.

4.1. Massa Jenis Bata Ringan

Berdasarkan pengukuran massa keempat sampel bata ringan, didapatkan nilai massa jenis untuk masing-masing bata ringan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Massa Jenis Bata Ringan

Sampel	Massa Jenis (kg/m^3)
AAC-1	593
AAC-2	607
AAC-3	509
AAC-4	632

Pada **Tabel 4.1** di atas, tampak bahwa keempat bata ringan tersebut memiliki massa jenis yang berada pada rentang 509 – 632 kg/m^3 . Salah satu faktor yang mempengaruhi massa jenis bata ringan adalah pemberian dosis zat *additive* yang berperan sebagai *pore foaming agent*. Faktor lain yang mempengaruhi massa jenis bata ringan yaitu kandungan uap air di dalam bata ringan. Kandungan uap air ini berkontribusi terhadap peningkatan massa jenis bata ringan.

4.2. Komposisi Bata Ringan

Tabel 4.2. di bawah menunjukkan komposisi unsur-unsur yang terkandung dalam bata ringan (AAC-1, AAC-2, AAC-3 dan AAC-4). Tingginya konsentrasi kalsium dan oksigen serta keberadaan sulfur pada seluruh sampel bata ringan menunjukkan bahwa area pada permukaan sampel uji tersebut telah mengalami karbonasi karena terpapar lingkungan. Karbonasi merupakan salah

satu jenis degradasi pada bata ringan yang terjadi ketika $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan fasa C-S-H yang terdapat pada bata ringan bereaksi dengan CO_2 yang ada di udara membentuk CaCO_3 . Lebih jauh lagi, degradasi dapat terjadi ketika CaCO_3 hasil karbonasi bereaksi dengan asam sulfat yang terdapat di udara dan menghasilkan gypsum (CaSO_4). Mekanisme inilah yang menyebabkan keberadaan kandungan sulfur pada keempat sampel bata ringan [27].

Tabel 4.2 Kandungan unsur yang terdapat pada bata ringan

Sampel	Komposisi (wt%) rata-rata					
	Si	Ca	Al	O	Mg	S
AAC-1	27,37	30,74	1,67	38,79	0,61	0,83
AAC-2	23,89	29,62	1,69	41,19	0,61	1,00
AAC-3	5,56	51,50	0	41,80	0	1,14
AAC-4	1,26	49,88	0	38,71	0	1,26

Selain itu, pada sampel AAC-3 dan AAC-4 tidak ditemukan kandungan aluminium (Al). Hal ini mungkin dikarenakan proses pembuatan bata ringan AAC-3 dan AAC-4 menggunakan *pore foaming agent* selain serbuk aluminium, misalnya hidrogen peroksida, atau kalsium karbida [2].

4.3. Konduktivitas Termal Bata Ringan

Uji konduktivitas termal menggunakan *TC-32 Thermal Conductivity Meter* memberikan hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3** berikut:

Tabel 4.3 Konduktivitas termal bata ringan

Sampel	Konduktivitas Termal (kcal/mh°C)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
AAC-1	0,184	0,214
AAC-2	0,182	0,212
AAC-3	0,184	0,214
AAC-4	0,184	0,214

Jika mengacu pada Persamaan (2.6) yang menyatakan hubungan antara massa jenis dan konduktivitas termal bata ringan, maka keempat sampel bata ringan di atas seharusnya memiliki nilai konduktivitas termal seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4** di bawah.

Tabel 4.4 Hubungan antara massa jenis dan konduktivitas termal bata ringan dihitung menggunakan Persamaan (2.6)

Sampel	Massa Jenis (kg/m³)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
AAC-1	593	0,182
AAC-2	607	0,185
AAC-3	509	0,163
AAC-4	632	0,191

Berdasarkan **Tabel 4.3.** dan **Tabel 4.4.** di atas, terlihat perbedaan antara nilai konduktivitas termal bata ringan yang diukur menggunakan *TC-32 Thermal Conductivity Meter* dengan nilai konduktivitas termal yang diperoleh dari Persamaan (2.6) Hal ini dikarenakan, konduktivitas termal bata ringan juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti kandungan uap air. Uap air memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibanding udara, sehingga bata ringan dengan kandungan uap air lebih banyak akan memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih besar. Peningkatan kandungan uap air sebanyak 1% pada bata ringan meningkatkan konduktivitas termal sebesar 42% [2].

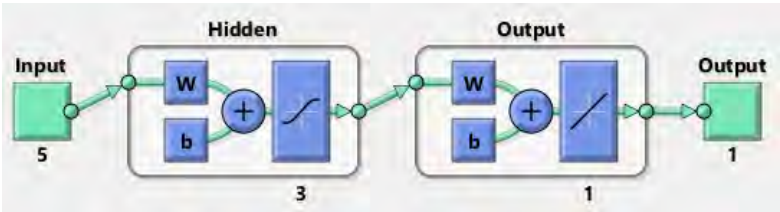
4.4. Hasil Pelatihan dan Evaluasi Jaringan Syaraf Tiruan

Pelatihan terhadap sepuluh model JST dengan variasi jumlah *hidden node* memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5** di bawah. Tampak bahwa JST dengan 3 *hidden node* menghasilkan MSE validasi rata-rata yang bernilai paling kecil yaitu sebesar 0,003269. Sementara itu, MSE *training* rata-rata paling kecil dihasilkan oleh pelatihan pada JST dengan 8 *hidden node* yang bernilai sebesar 0,00225.

Tabel 4.5 Perbandingan MSE training dan validasi masing-masing model JST dengan variasi *hidden node*

Jumlah <i>Hidden Node</i>	MSE (Rata-rata)	
	Training	Validasi
1	0.002855	0.005908
2	0.002668	0.005516
3	0.002434	0.003269
4	0.004751	0.003833
5	0.002383	0.006464
6	0.002625	0.007059
7	0.002716	0.008955
8	0.00225	0.003891
9	0.002897	0.008206
10	0.002974	0.004768

Gambar 4.1. di bawah menunjukkan model JST yang dipilih untuk keperluan pengujian. JST tersebut memiliki tiga *hidden node* sehingga konfigurasi JST tersebut adalah 5 – 3 – 1.



Gambar 4.1 Arsitektur JST dengan konfigurasi 5 – 3 – 1.

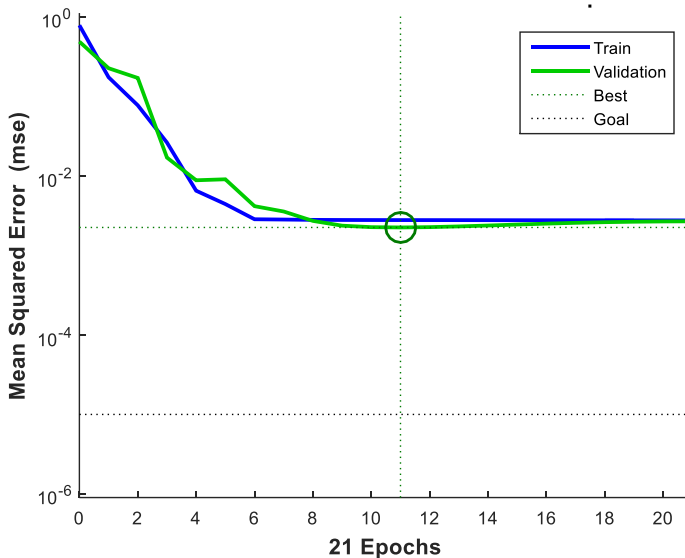
Tabel 4.6 di bawah ini menunjukkan perbandingan MSE validasi antara 3 JST dengan 3 *hidden node* yang dilatih dengan bobot awal berbeda. Tampak bahwa diantara ketiga tersebut, JST dengan nama “JST-2” menghasilkan MSE validasi yang bernilai paling kecil yaitu sebesar 0,002252. Perbedaan nilai MSE *training* dan validasi pada ketiga JST dengan jumlah *hidden node* yang

sama tersebut terjadi karena ketiga JST tersebut dilatih dengan bobot awal yang berbeda.

Tabel 4.6 Perbandingan MSE Validasi JST dengan 3 *hidden node* untuk 3 kali *training*

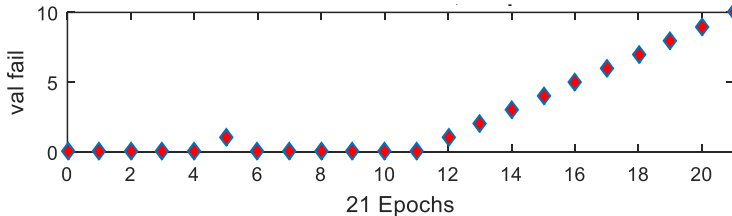
Nama file JST	MSE <i>Training</i>	MSE Validasi
JST-1	0.002694	0.003716
JST-2	0.002763	0.002252
JST-3	0.001845	0.00384

Perbandingan antara MSE training dan validasi JST-2 ditunjukkan pada **Gambar 4.2.** di bawah. Tampak bahwa *performance* validasi terbaik atau dengan kata lain MSE validasi mencapai nilai minium pada *epoch* ke-11. Pada *epoch* selanjutnya, tampak bahwa MSE validasi mengalami kenaikan hingga akhirnya *training* berhenti pada *epoch* ke-21



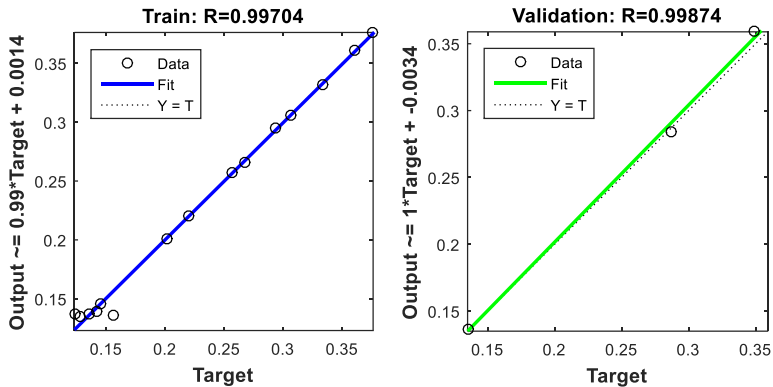
Gambar 4.2 Plot perbandingan *performance* training dan validasi JST-2

Berdasarkan fungsi pelatihan Levenberg-Marquardt (**trainlm**) yang tersedia pada *Neural Network Toolbox Matlab*, *training* akan berhenti ketika salah satu dari enam kondisi penghentian berikut: *Epoch*, *Performance Goal*, *Gradient*, *Mu*, *Validation Checks*, *Time* tercapai. Saat MSE validasi mencapai minimum, *training* masih akan berlangsung untuk mengetahui apakah nilai MSE ini masih dapat berkurang atau tidak. Jika, pada kasus ini, dalam sepuluh kali *epoch* selanjutnya gagal menurunkan MSE dan kelima kondisi penghentian (*Epoch*, *Performance Goal*, *Gradient*, *Mu*, *Time*) belum tercapai, maka *training* akan berhenti dengan kondisi penghentian berupa *validation checks* atau *max_fail* tercapai. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Bobot jaringan yang disimpan mengacu pada bobot saat MSE validasi bernilai minimum atau pada kasus ini pada saat pelatihan mencapai *epoch* ke-11. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa penentuan bobot JST yang digunakan mengacu pada nilai MSE validasi bukan nilai MSE *training*.



Gambar 4.3 Plot *validation check* JST-2

Langkah selanjutnya yang perlu dilakukan untuk mengevaluasi jaringan syaraf tiruan hasil pelatihan adalah dengan melihat plot regresi. Plot regresi menunjukkan hubungan antara keluaran jaringan (*output*) dan target untuk data *input* berupa data *input training*. **Gambar 4.4** di bawah menunjukkan plot regresi hasil pelatihan dan validasi JST-2 dimana nilai koefisien korelasi pelatihan dan validasi masing-masing mencapai 0,99. Hal ini menunjukkan hubungan yang baik antara nilai target dan keluaran jaringan hasil pelatihan.



Gambar 4.4 Plot regresi training dan validasi JST-2

4.5. Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan

Pengujian JST dengan data *input* baru yang berasal dari hasil uji EDX, dan pengukuran massa jenis bata ringan menghasilkan nilai keluaran (prediksi) seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.7.** di bawah.

Berdasarkan plot MSE training dan validasi JST yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**, tampak bahwa kurva validasi dan training hampir berimpit. Hal ini menunjukkan bahwa JST memiliki generalisasi yang cukup baik. Generalisasi ini berkaitan dengan kemampuan prediksi JST jika diberikan data *input* baru yang bukan merupakan bagian dari data training.

Tabel 4.7 Perbandingan antara nilai prediksi JST dan nilai konduktivitas termal bata ringan hasil pengukuran

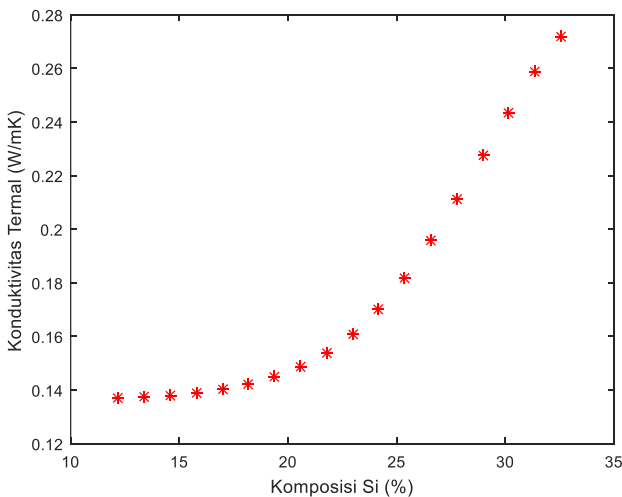
Sampel	Target	Prediksi
AAC-1	0,214	0,243
AAC-2	0,212	0,29
AAC-3	0,214	0,32
AAC-4	0,214	0,32

4.6. Pengaruh Variasi Silikon (Si), Kalsium Ca, Aluminium (Al), dan massa jenis terhadap konduktivitas termal bata ringan

Si, Ca, dan Al merupakan unsur-unsur utama berpengaruh terhadap pembentukan fasa dominan yang terdapat pada bata ringan yaitu kalsium silikat hidrat (C-S-H). Selain itu, massa jenis juga diketahui berpengaruh langsung terhadap konduktivitas termal bata ringan. Berdasarkan hal tersebut, perlu kiranya mengetahui pengaruh variasi komposisi Si, Ca, Al dan massa jenis terhadap konduktivitas bata ringan. Simulasi JST menggunakan JST-2 dilakukan dengan memvariasikan komposisi unsur-unsur tersebut dan melihat nilai konduktivitas termal yang dihasilkan.

4.6.1 Pengaruh variasi Si terhadap konduktivitas termal bata ringan

Gambar 4.5 di bawah menunjukkan hubungan antara konduktivitas termal dan variasi komposisi Si. Tampak bahwa semakin besar komposisi Si pada bata ringan, semakin besar pula konduktivitas termalnya.



Gambar 4.5 Kurva hubungan antara variasi komposisi Si dengan konduktivitas termal

Peningkatan nilai konduktivitas termal bata ringan hasil simulasi seiring meningkatnya kandungan Si berkaitan dengan kandungan kuarsa (SiO_2) pada bata ringan yang salah satu unsur penyusunnya adalah Si. Fasa matriks pada bata ringan didominasi oleh fasa kalsium silikat hidrat (C-S-H) khususnya *tobermorite*. Saat proses *autoclave* berlangsung kemungkinan besar terdapat SiO_2 yang tidak bereaksi sehingga menghasilkan residu kuarsa (SiO_2).

Tabel 4.8. menunjukkan nilai konduktivitas termal kuarsa dan *tobermorite*. Tampak bahwa kuarsa memiliki konduktivitas termal yang bernilai 35 kali lebih tinggi dibandingkan konduktivitas termal bata ringan pada umumnya. Oleh karena itu, untuk menghasilkan bata ringan dengan nilai konduktivitas termal yang rendah, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah mengusahakan agar residu kuarsa yang terdapat pada fasa matriks bernilai serendah mungkin.

Tabel 4.8 Konduktivitas termal mineral yang terdapat pada bata ringan [26]

Mineral	Konduktivitas Termal (W/mK)
Kuarsa (kristal tunggal)	7,2 – 13,6
<i>Tobermorite</i>	0,18 – 0,2

Pada proses pencampuran bahan baku, perlu diperhatikan rasio komposisi semen dan pasir agar tersedia cukup mineral hasil reaksi hidrasi semen untuk bereaksi dengan silika. Hal lain yang dapat dilakukan untuk mengurangi residu kuarsa yang terdapat pada matriks bata ringan yaitu dengan menggunakan sumber silika yang lebih reaktif sehingga dapat lebih mudah bereaksi saat proses *autoclave* berlangsung.

Untuk mengetahui batasan maksimal kandungan Si dalam bata ringan, dilakukan perhitungan nilai V_f menggunakan Persamaan (3.5). V_f menyatakan fraksi volume udara pada bata ringan. Berdasarkan hasil simulasi ini, batasan kandungan Si dalam bata ringan adalah sebesar 26,57 %. Hal ini dapat diketahui dari

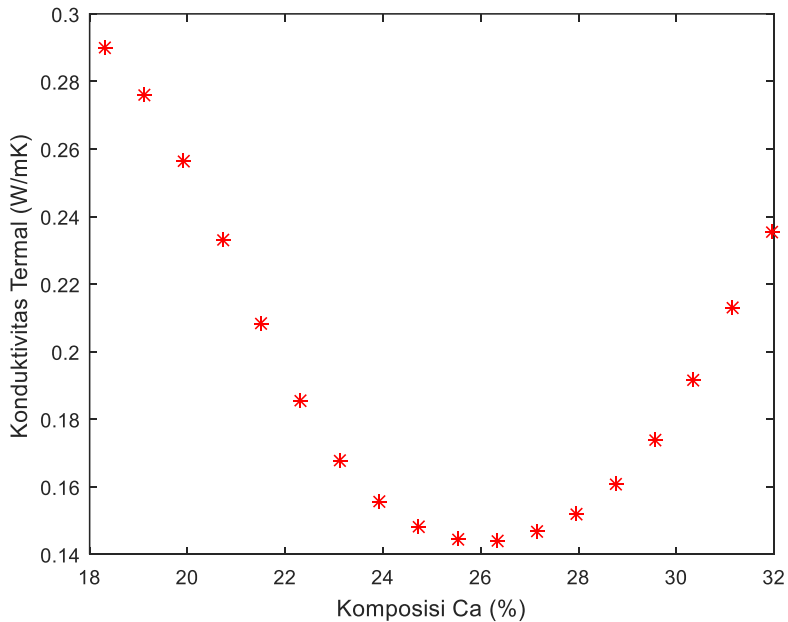
Tabel 4.9 dimana pada komposisi Si bernilai lebih dari 26,57%, V_f akan bernilai negatif.

Tabel 4.9 Variasi nilai Konduktivitas termal dan V_f terhadap variasi komposisi Si hasil simulasi JST

Komposisi Si (%)	Konduktivitas Termal (W/mK)	V_f
12,18	0,137	0,068
13,38	0,138	0,068
14,58	0,138	0,067
15,78	0,139	0,066
16,98	0,140	0,064
18,17	0,142	0,061
19,37	0,145	0,057
20,57	0,149	0,052
21,77	0,154	0,045
22,97	0,161	0,036
24,17	0,170	0,026
25,37	0,182	0,015
26,57	0,196	0,003
27,76	0,211	-0,008
28,96	0,227	-0,018
30,16	0,244	-0,027
31,36	0,259	-0,034
32,56	0,272	-0,039

4.6.2 Pengaruh variasi Ca terhadap konduktivitas termal bata ringan

Pada Bata ringan, komposisi Ca berkaitan dengan kandungan CaO yang merupakan salah satu oksida penyusun mineral utama penyusun bata ringan yaitu kalsium silikat hidrat (C-S-H). Berdasarkan hasil simulasi variasi Ca yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6** dan perhitungan nilai V_f yang ditunjukkan pada **Tabel 4.10** diketahui bahwa batasan komposisi Ca dalam bata ringan adalah sebesar 22,32% hingga 30,35%. Di luar batasan ini, V_f bernilai negatif yang mana hal ini tidak diperbolehkan.



Gambar 4.6 Kurva hubungan antara variasi komposisi Ca dengan konduktivitas termal

Tabel 4.10 Variasi nilai Konduktivitas termal dan V_f terhadap variasi komposisi Ca hasil simulasi JST

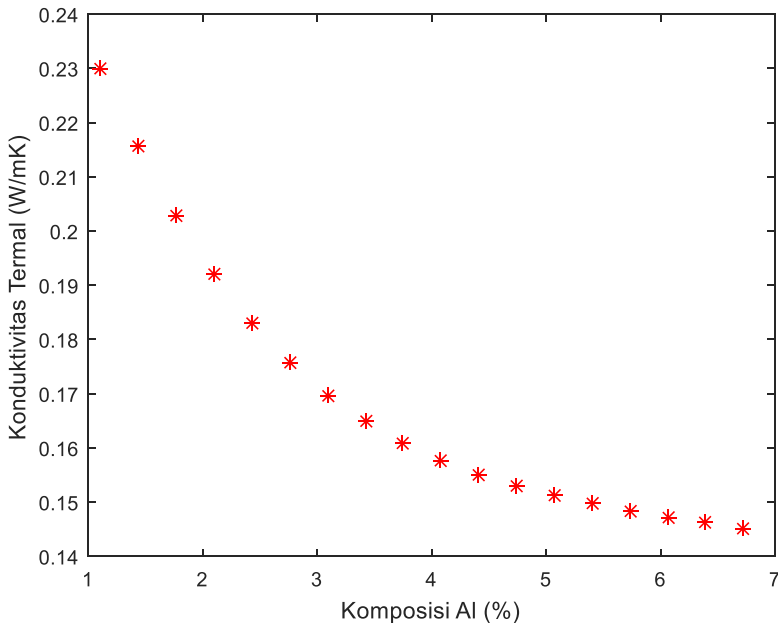
Komposisi Ca (%)	Konduktivitas Termal (W/mK)	V_f
18,3	0,290	-0,046
19,1	0,276	-0,041
19,91	0,256	-0,033
20,71	0,233	-0,021
21,51	0,208	-0,006
22,32	0,185	0,012
23,12	0,168	0,029
23,92	0,156	0,043
24,73	0,148	0,052
25,53	0,145	0,057
26,34	0,144	0,058
27,14	0,147	0,055
27,94	0,152	0,047
28,75	0,161	0,036
29,55	0,174	0,022
30,35	0,191	0,007
31,16	0,213	-0,009
31,96	0,236	-0,023

4.6.3 Pengaruh variasi Al terhadap konduktivitas termal bata ringan

Berbeda halnya kontribusi silika yang menyebabkan peningkatan konduktivitas termal bata ringan, meningkatnya Al akan menurunkan nilai konduktivitas termal konduktivitas termal bata ringan. Salah satu faktor yang mempengaruhi kandungan Al pada bata ringan adalah penggunaan serbuk aluminium sebagai bahan *pore foaming agent* untuk menghasilkan pori. Semakin banyak *pore foaming agent* yang ditambahkan, maka semakin

banyak pori yang dihasilkan sehingga massa jenis bata ringan pun berkurang. Pengurangan massa jenis inilah yang berdampak langsung terhadap penurunan konduktivitas termal yang terjadi. Hasil ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh [28] yang menunjukkan bahwa konduktivitas termal berkurang seiring dengan penambahan dosis serbuk aluminium saat proses pencampuran bahan baku berlangsung.

Hasil simulasi dengan variasi komposisi Al seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7** juga menunjukkan hasil yang sama dimana terjadi penurunan nilai konduktivitas termal bata ringan seiring meningkatnya kandungan Al.



Gambar 4.7 Kurva hubungan antara variasi komposisi Al dengan konduktivitas termal

Sementara itu, berdasarkan perhitungan nilai V_f menggunakan persamaan (3.5) diketahui bahwa kandungan minimum Al yang

terdapat pada bata ringan adalah sebesar 2,10%. Di bawah nilai ini, V_f akan bernilai negatif yang mana hal ini tidak diperbolehkan. Hasil ini ditunjukkan pada **Tabel 4.11** di bawah

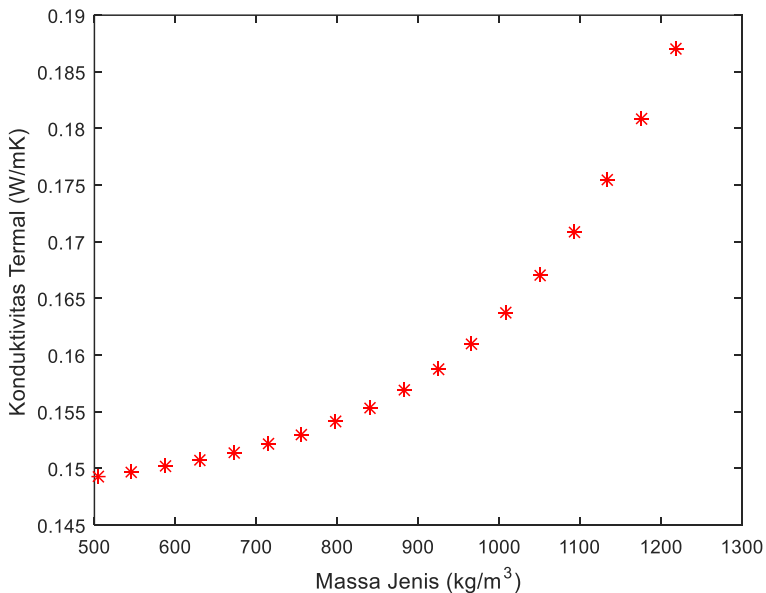
Tabel 4.11 Variasi nilai Konduktivitas termal dan V_f terhadap variasi komposisi Al hasil simulasi JST

Komposisi Al (%)	Konduktivitas Termal (W/mK)	V_f
1,11	0,230	-0,020
1,44	0,216	-0,011
1,77	0,203	-0,002
2,10	0,192	0,006
2,43	0,183	0,014
2,76	0,176	0,021
3,09	0,170	0,027
3,42	0,165	0,032
3,75	0,161	0,036
4,08	0,158	0,040
4,41	0,155	0,043
4,74	0,153	0,046
5,07	0,151	0,048
5,40	0,150	0,050
5,73	0,148	0,052
6,06	0,147	0,054
6,39	0,146	0,055
6,72	0,145	0,056

4.6.4 Pengaruh massa jenis terhadap konduktivitas termal

Massa jenis memiliki pengaruh secara langsung terhadap nilai konduktivitas termal bata ringan. Hal ini dapat dilihat pada Persamaan (2.5) dan (2.6) Bata ringan dengan massa jenis yang lebih kecil umumnya memiliki porositas yang lebih besar.

Porositas bata ringan secara efektif berpengaruh terhadap konduktivitas termalnya [3] karena udara memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih kecil dibanding mineral-mineral yang terdapat pada fasa matriks bata ringan yaitu sebesar 0,026 W/mK [25]. Salah satu cara untuk mendapatkan bata ringan dengan massa jenis yang lebih rendah yaitu dengan menambahkan dosis *pore foaming agent* saat pada tahap awal pembuatan bata ringan.



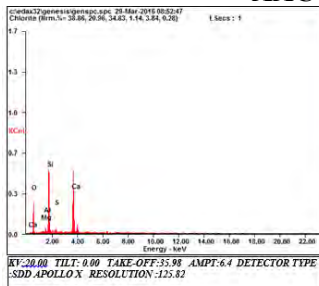
Gambar 4.8 Hubungan antara konduktivitas termal dengan variasi massa jenis bata ringan

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN A

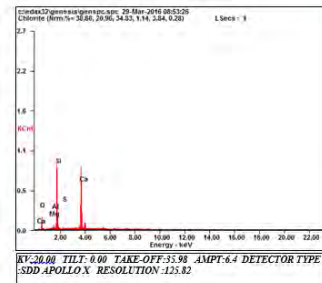
Hasil Uji EDX Bata Ringan

AAC – 1



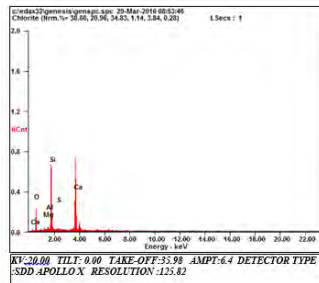
Element	Wt %	At %
O K	44.76	62.28
MgK	00.94	00.86
AlK	02.02	01.67
SiK	25.41	20.14
S K	00.92	00.64
CaK	25.94	14.41

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS.SEC
TABLE : DEFAULT



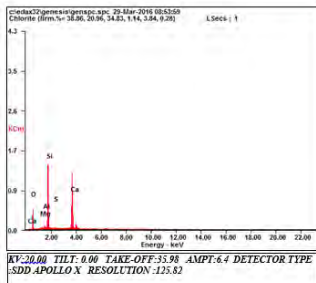
Element	Wt %	At %
O K	29.59	46.67
MgK	00.66	00.69
AlK	01.85	01.73
SiK	29.72	26.70
S K	01.12	00.88
CaK	37.06	23.33

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS.SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	40.06	58.24
MgK	00.38	00.36
AlK	01.34	01.15
SiK	25.64	21.23
S K	00.79	00.57
CaK	31.79	18.45

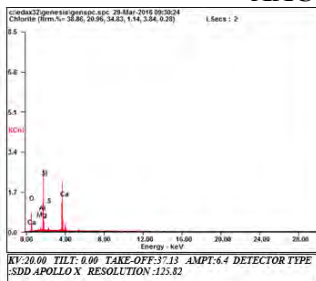
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS.SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	40.73	58.40
MgK	00.46	00.43
AlK	01.46	01.24
SiK	28.71	23.45
S K	00.50	00.36
CaK	28.15	16.11

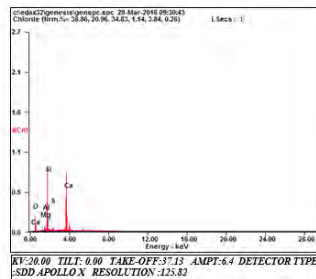
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT

AAC - 2



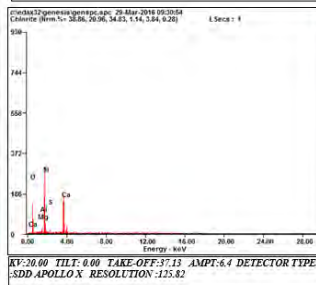
Element	Wt %	At %
O K	41.91	59.81
MgK	00.59	00.55
AlK	01.48	01.25
SiK	25.67	20.87
S K	01.51	01.08
CaK	28.84	16.43

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



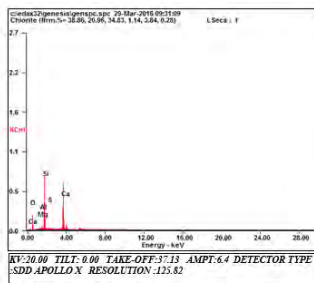
Element	Wt %	At %
O K	32.70	50.39
MgK	00.68	00.69
AlK	02.20	02.01
SiK	27.22	23.89
S K	00.99	00.76
CaK	36.21	22.27

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	53.57	70.22
MgK	00.28	00.24
AlK	01.36	01.05
SiK	22.13	16.52
S K	00.78	00.51
CaK	21.88	11.45

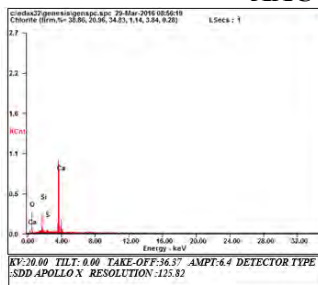
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
 TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	36.59	54.29
Mg K	00.90	00.88
Al K	01.71	01.51
Si K	28.54	24.12
S K	00.72	00.54
Ca K	31.54	18.68

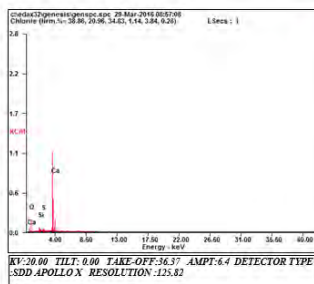
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

AAC-3



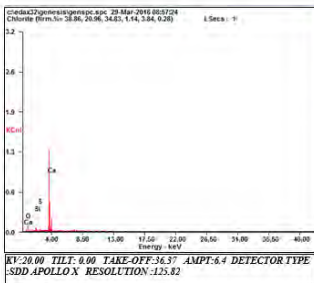
Element	Wt %	At %
O K	43.07	64.15
Si K	07.15	06.06
S K	01.22	00.90
Ca K	48.57	28.88

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



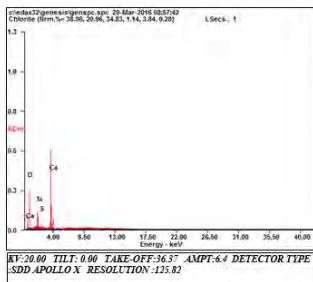
Element	Wt %	At %
O K	39.85	61.88
Si K	02.55	02.25
S K	01.06	00.82
Ca K	56.54	35.04

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	29.06	50.10
Si K	03.03	02.98
S K	01.10	00.95
Ca K	66.81	45.98

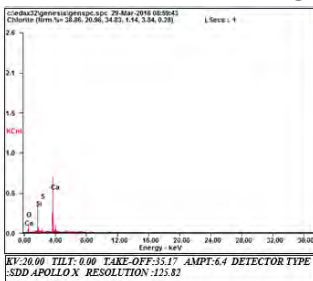
EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	55.23	73.79
SiK	09.52	07.25
S K	01.19	00.80
CaK	34.06	18.17

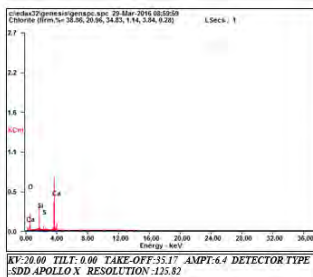
EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

AAC - 4



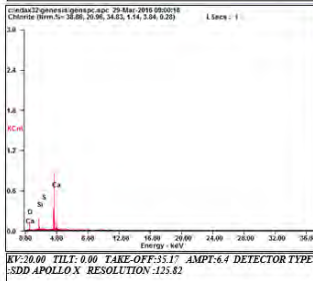
Element	Wt %	At %
O K	34.39	54.34
SiK	14.94	13.45
S K	01.60	01.26
CaK	49.07	30.95

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



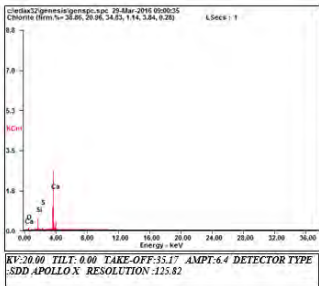
Element	Wt %	At %
O K	57.56	75.51
SiK	09.35	06.99
S K	01.40	00.92
CaK	31.68	16.59

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	38.22	59.42
SiK	07.77	06.88
S K	01.11	00.86
CaK	52.91	32.84

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
O K	24.66	43.82
Si K	08.56	08.66
S K	00.93	00.83
Ca K	65.85	46.70

EDAXZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

LAMPIRAN B

PROGRAM JST

```
%// TUGAS AKHIR (TA) - TRAINING //%
%// Gede Panji Wiryawan (2412100065) //%

clc;
clear;

%   inisialisasi INPUT dan TARGET

input = transpose(xlsread( ...
'panji_ta.xlsx', 'InputTrain', 'L57:P74' ));
target = transpose(xlsread( ...
'panji_ta.xlsx', 'TargetTrain', 'G3:G20' ));

[pn,ps] = mapminmax(input);
[tn,ts] = mapminmax(target);

%   Pembentukan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

net.layers{1}.transferFcn = 'tansig';
net.layers{2}.transferFcn = 'purelin';
net = feedforwardnet(3, 'trainlm');

% parameter pelatihan

net.trainParam.epochs = 100;
net.trainParam.showCommandLine = true;
net.trainParam.goal = 1e-5;
net.trainParam.max_fail = 10;
net.trainParam.show = 1;

net.divideParam.trainRatio = 85/100;
net.divideParam.valRatio   = 15/100;
net.divideParam.testRatio  = 0/100;

for i = 1:3
```

```

net = init(net);
[net,tr] = train(net,pn,tn);

%//--- Menampilkan Bobot ---//%
wb = formwb(net,net.b,net.iw,net.lw);
[b,iw,lw] = separatewb(net,wb);

save(sprintf('coba-j%d',i));

end

```

```

%// TUGAS AKHIR (TA) - Simulasi Bata //%
%// Gede Panji Wiryawan (2412100065) //%

% // Simulasi Data Baru // %

input_sim_bata = ...
transpose(xlsread('edx_bata.xlsx', ...
'DATA', 'C57:G60'));

%--- Simulasi BATA ---%

norm_input = mapminmax('apply',...
input_sim_bata,ps);
prediksi_norm = sim(net,norm_input);
prediksi = mapminmax('reverse',...
prediksi_norm,ts);

```

```

%// TUGAS AKHIR (TA) - Simulasi Variasi //%
%// Gede Panji Wiryawan (2412100065) //%

input_sim_Si =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_Si', 'I43:M60'));

```

```

input_sim_Ca =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_Ca', 'I43:M60'));
input_sim_Al =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_Al', 'I43:M60'));
input_sim_Den =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_Den', 'B23:F40'));

%--- Variasi Si ---%

pnewnSi = mapminmax('apply',input_sim_Si,ps);
anewnSi = sim(net,pnewnSi);
anewSi = mapminmax('reverse',anewnSi,ts);

transpose_simulasi_si = anewSi';

figure
input_test_transpose_si = input_sim_Si';
plot(input_test_transpose_si(1:18,1),transpose
_simulasi_si,'r*')
xlabel('Komposisi Si (%)')
ylabel('Konduktivitas Termal (W/mK)')

%--- Variasi Ca ---%

pnewnCa = mapminmax('apply',input_sim_Ca,ps);
anewnCa = sim(net,pnewnCa);
anewCa = mapminmax('reverse',anewnCa,ts);

transpose_simulasi_ca = anewCa';

figure
input_test_transpose_ca = input_sim_Ca';
plot(input_test_transpose_ca(1:18,2),transpose
_simulasi_ca,'r*')
xlabel('Komposisi Ca (%)')
ylabel('Konduktivitas Termal (W/mK)')

```

```

%--- Variasi Al ---%
pnewnAl = mapminmax('apply',input_sim_Al,ps);
anewnAl = sim(net,pnewnAl);
anewAl = mapminmax('reverse',anewnAl,ts);

transpose_simulasi_al = anewAl';

figure
input_test_transpose_al = input_sim_Al';
plot(input_test_transpose_al(1:18,3),transpose
_simulasi_al,'r*')
xlabel('Komposisi Al (%)')
ylabel('Konduktivitas Termal (W/mK)')

%--- Variasi Density ---%
pnewnDen =
mapminmax('apply',input_sim_Den,ps);
anewnDen = sim(net,pnewnDen);
anewDen = mapminmax('reverse',anewnDen,ts);

transpose_simulasi_den = anewDen';

figure
input_test_transpose_den = input_sim_Den';
plot(input_test_transpose_den(1:18,5),transpos
e_simulasi_den,'r*')
xlabel('Massa Jenis (kg/m^3)')
ylabel('Konduktivitas Termal (W/mK)')

```


LAMPIRAN C

Kandungan Oksida AAC yang Dikumpulkan dari Jurnal Penelitian

Nama	SiO₂ (%)	CaO (%)	Al₂O₃ (%)	Massa Jenis (Kg/m³)	Konduktivitas Termal (W/mK)	Rasio CaO/SiO₂
C3	30,22	33,12	11,75	590	0,123	1,10
C1	29,6	35,17	11,34	630	0,128	1,19
C2SF1	30,56	31,99	11,98	740	0,135	1,05
C2SF2	30,78	33,73	11,39	780	0,135	1,10
C4	30,56	31,99	11,98	650	0,142	1,05
A	27,07	40,92	9,97	660	0,145	1,51
C2	29,9	34,18	11,53	640	0,156	1,14
C	26,05	44,72	9,24	760	0,201	1,72
BAC100	41,8	28,37	12,26	500	0,22	0,68
BAC75	48,79	27,67	9,62	520	0,257	0,57
RHC100	54,9	34,88	2,17	671	0,267	0,64
BAC50	55,73	26,98	7,01	560	0,287	0,48
RHC75	55,77	34,79	2,17	754	0,293	0,62
BAC25	62,67	26,29	4,39	580	0,306	0,42

RHC50	56,63	34,71	2,17	882	0,333	0,61
RHC25	57,5	34,63	2,17	1026	0,349	0,60
Ref	69,66	25,6	1,75	650	0,361	0,37
CT	58,36	34,54	2,17	1219	0,376	0,59

LAMPIRAN D

Simulasi dengan Tambahan Variabel Suhu

```
%// TUGAS AKHIR (TA)-Tampilan Surface Plot//%
%//Gede Panji Wiryawan (2412100065)//%

input_sim_ssi =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_banyak', 'B3:G20'));
input_sim_sca =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_banyak', 'B23:G40'));
input_sim_sal =
transpose(xlsread('panji_ta_variasi.xlsx',
'Var_banyak', 'B43:G60'));

%--- Variasi Suhu_Si ---%

pnewnssi =
mapminmax('apply',input_sim_ssi,ps);
anewnssi = sim(net,pnewnssi);
anewssi = mapminmax('reverse',anewnssi,ts);

transpose_simulasi_ssi = anewssi';

input_test_transpose_ssi = input_sim_ssi';

x1 = input_test_transpose_ssi(1:18,1);
y1 = input_test_transpose_ssi(1:18,6);
z1 = transpose_simulasi_ssi;

xlin = linspace(min(x1),max(x1));
ylin = linspace(min(y1),max(y1));

[X,Y] = meshgrid(xlin,ylin);

f = scatteredInterpolant(x1,y1,z1);
```

```

Z = f(X,Y);

figure
plot3(x1,y1,z1,'o')
xlabel('Komposisi Si (%)');
ylabel('Suhu (C)');
zlabel('Konduktivitas termal (W/mK)')
grid on

%--- Variasi Suhu_Ca ---%
pnewnsca =
mapminmax('apply',input_sim_sca,ps);
anewnsca = sim(net,pnewnsca);
anewsca = mapminmax('reverse',anewnsca,ts);

transpose_simulasi_sca = anewsca';

input_test_transpose_sca = input_sim_sca';

x2 = input_test_transpose_sca(1:18,2);
y2 = input_test_transpose_sca(1:18,6);
z2 = transpose_simulasi_sca;

xlin = linspace(min(x2),max(x2));
ylin = linspace(min(x2),max(x2));

[X,Y] = meshgrid(xlin,ylin);

f = scatteredInterpolant(x2,y2,z2);
Z = f(X,Y);

figure
%mesh(X,Y,Z) %interpolated
%axis tight; hold on
plot3(x2,y2,z2,'o') %nonuniform
xlabel('Komposisi Ca');
ylabel('Suhu (C)');
zlabel('Konduktivitas termal (w/mK)')
grid on

```

```

%--- Variasi Suhu_A1 ---%
pnewnsal =
mapminmax('apply',input_sim_sal,ps);
anewnsal = sim(net,pnewnsal);
anewsal = mapminmax('reverse',anewnsal,ts);

transpose_simulasi_sal = anewsal';

input_test_transpose_sal = input_sim_sal';

x3 = input_test_transpose_sal(1:18,3);
y3 = input_test_transpose_sal(1:18,6);
z3 = transpose_simulasi_sal;

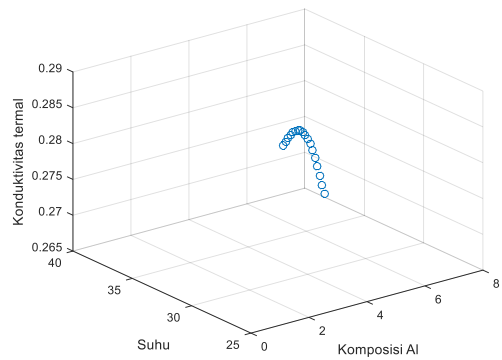
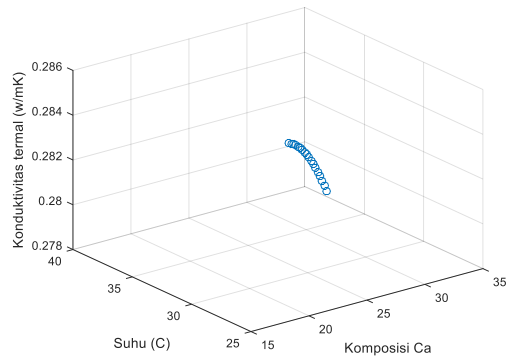
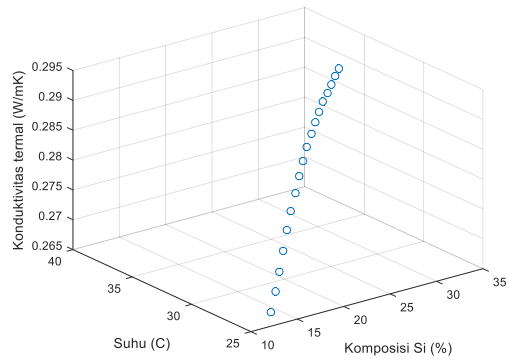
xlin = linspace(min(x3),max(x3));
ylin = linspace(min(x3),max(x3));

[X,Y] = meshgrid(xlin,ylin);

f = scatteredInterpolant(x3,y3,z3);
Z = f(X,Y);

figure
%mesh(X,Y,Z) %interpolated
%axis tight; hold on
plot3(x3,y3,z3,'o') %nonuniform
xlabel('Komposisi Al');
ylabel('Suhu');
zlabel('Konduktivitas termal')
grid on

```



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian Tugas Akhir ini, dapat ditarik tiga kesimpulan yaitu

- 5 Berdasarkan pelatihan dan evaluasi yang telah dilakukan terhadap 10 model JST dengan variasi *hidden node*, diketahui bahwa JST dengan 3 *hidden node* memiliki *performance* yang paling baik dengan karakteristik sebagai berikut: a) MSE rata-rata validasi untuk 3 kali pelatihan sebesar 0,003269, b) JST-2 memiliki MSE validasi yang bernilai paling kecil diantara ketiga JST dengan 3 *hidden node* lainnya yaitu sebesar 0.002252.
- 6 Pengujian JST yang dilakukan untuk memprediksi konduktivitas termal empat sampel bata ringan memberikan hasil: Konduktivitas termal AAC-1 sebesar 0,243 W/mK, Konduktivitas termal AAC-2 sebesar 0,29 W/mK, Konduktivitas termal AAC-3 sebesar 0,32 W/mK, Konduktivitas termal AAC-4 sebesar 0,32 W/mK
- 7 Simulasi JST bata ringan menunjukkan bahwa kandungan Si yang diperbolehkan maksimal sebesar 26,57%, kandungan Ca berada pada rentang 20,32% – 30,35%, dan kandungan minimal aluminium pada bata ringan sebesar 2,10%.

5.2. Saran

Salah satu kendala utama dalam penelitian ini yaitu sulitnya mengumpulkan literatur yang menyediakan informasi mengenai konduktivitas termal bata ringan jenis AAC dan komposisi bahan baku yang digunakan sehingga data training yang berhasil dikumpulkan hanya sebanyak 18 pasang data. Agar data training yang dapat dikumpulkan lebih banyak lagi, kiranya objek penelitian JST bersifat lebih general.

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Struharova, "Measuring the Thermo-technical Parameters of Autoclaved Aerated Concrete," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 824, pp. 100-107, 2016.
- [2] N. Narayanan and K. Ramamurthy, "Structure and properties of aerated concrete: a review," *Cement & Concrete Composites*, vol. 22, pp. 321-329, 2000.
- [3] K. Wakili, E. Hugi, L. Karvonen, P. Schnewlin and F. Winnefeld, "Thermal behaviour of autoclaved aerated concrete exposed to fire," *Cement & Concrete Composites*, vol. 62, no. 52-58, 2015.
- [4] J. Siang, Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan Matlab Edisi 2, Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2009.
- [5] L. Bal and F. Bodin, "Artificial neural network for predicting drying shrinkage of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 38, pp. 248-254, 2013.
- [6] J. Lee, J. Lee and C. B. S. , "Effective Prediction of Thermal Conductivity of Concrete Using Neural Network Method," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 6, no. 3, pp. 177-186, 2012.
- [7] R. Singh, R. Bhoopal and S. Kumar, "Prediction of effective thermal conductivity of moist porous materials using artificial neural network approach," *Building and Environment*, vol. 46, pp. 2063-2068, 2011.
- [8] M. Baspinar, I. Demir, E. Kahraman and G. G., "Utilization Potential of Fly Ash together with Silica Fume in Autoclaved Aerated Concrete Production," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 47-52, 2014.
- [9] H. Kuramaa, I. Topcub and C. Karakurt, "Properties of the autoclaved aerated concrete produced from Coal Bottom Ash," *journal of materials processing technology*, vol. 209, pp. 767-773, 2009.

- [10] K. Kunchariyakun, S. Asavapisit and K. Sombatsompop, "Properties of autoclaved aerated concrete incorporating rice husk ash as partial replacement for fine aggregate," *Cement & Concrete Composites*, vol. 55, pp. 11-16, 2015.
- [11] M. Grutzeck, "Cellular Concrete," in *Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties, and Application*, Weinheim, Wiley, 2005, pp. 193-221.
- [12] A. Chaipanich and P. Chindaprasirt, "The properties and durability of autoclaved aerated concrete masonry blocks," in *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks*, Elsevier, 2015, pp. 215-230.
- [13] H. F. W. Taylor, *Cement Chemistry*, 2nd Ed, London: Academic Press, 1997.
- [14] A. Habib, H. Begum and R. Hafiza, "Study on production of Aerated concrete block in Bangladesh," *IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. II, no. 3, p. 201, 2015.
- [15] A. J. Hamad, "Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review," *International Journal of Materials Science and Engineering*, vol. II, no. 2, pp. 152-157, 2014.
- [16] T. Mitsuda, K. Sasaki and H. Ishida, "Phase Evolution during Autoclaving Process of Aerated Concrete," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 75, no. 7, p. 1862, 1992.
- [17] N. Meller, K. Kyritsis and C. Hall, "The mineralogy of the CaO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O (CASH) hydroceramic system from 200 to 350 °C," *Cement and Concrete Research*, vol. 39, pp. 45-53, 2009.
- [18] ACI Committee 122, "Guide to Thermal Properties of Concrete and Mansory System," American Concrete Institute, 2002.
- [19] L. Fausett, *Fundamental of Neural Networks: Architectures, Algorithm and Applications*, Prentice-Hall, 1994.
- [20] R. S. Bhoopal, M. Tripathi, P. K. Sharma and R. Singh, "Modelling of effective thermal conductivity: A

- comparison of artificial neural networks and theoretical models," *Advanced Engineering and Applied Sciences: An International Journal*, vol. 5, no. 2, p. 24, 2015.
- [21] H. Demuth, M. Beale and M. Hagan, "Neural Network Toolbox™ 6 User's Guide," The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, 2004.
 - [22] O. Gencel, F. Koksas, M. Sahin, M. Y. Durgun and H. E. Hagg, "Modeling of Thermal Conductivity of Concrete with Vermiculite Using by Artificial Neural Networks Approaches," *Experimental Heat Transfer*, no. 26, p. 370, 2013.
 - [23] Kyoto Electronics, "Quick Thermal Conductivity Meter QTM-500," [Online]. Tersedia: <http://kyoto-kem.com>. [Diakses pada 9 Juni 2016].
 - [24] W. J. Callister and D. Rethwisch, "Chapter 16: Composite," in *Material Science and Engineering: An Introduction 8th Ed*, John Wiley & Sons, Inc. 2010, p. 641.
 - [25] D. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera and D. P. Dewitt, "Apendix A: Thermophysical Properties of Matter," in *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, Inc, 2011, p. 995.
 - [26] B. Straube and H. Walther, "AAC with Low Thermal Conductivity," *Xella Technologie*, Kloster Lehnin.
 - [27] H. Kus and T. Carlsson, "Microstructural investigations of naturally and artificially weathered autoclaved aerated concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 33, pp. 1423-1432, 2003.
 - [28] R. Yang, J. Zhu, Z. Wu, Z. Wu, M. Li and C. Peng, "Thermal Insulation and Strength of Autoclaved Light Concrete," *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, vol. 26, no. I, pp. 132-136, 2011.

Halaman ini memang dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Gede Panji Wiryawan, dilahirkan di Padang pada 11 April 1994. Penulis mengenyam pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Angkasa Padang pada tahun 1999-2000, lalu melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 24 Parupuk Tabing Padang dan SDN Pangambangan 9 Banjarmasin, hingga lulus pada tahun 2006. Pada tahun 2006 - 2009, penulis bersekolah di SMP Negeri 6 Banjarmasin, lalu pada tahun 2012, penulis menyelesaikan pendidikannya di SMA Negeri 7 Banjarmasin.

Pada tahun yang sama, penulis diterima di Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS melalui jalur SNMPNT tertulis. Semasa kuliah, penulis aktif di organisasi TPKH ITS dan sempat menjadi panitia di beberapa kegiatan yang diadakan TPKH ITS dan HMTF ITS. Selain itu, penulis juga pernah menjadi tutor untuk mata kuliah Kalkulus, Fisika Rekayasa, Fisika Bahan, Rekayasa Bahan, dan Material Cerdas. Pada tahun 2016, penulis berhasil menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dalam bidang Rekayasa Bahan yang berjudul **“Prediksi Sifat Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan”**. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi dengan penulis, dapat menghubungi penulis melalui email: panjiwiryawan@gmail.com