



TUGAS AKHIR- TF 141581

**PREDIKSI PENGARUH KOMPOSISI PADA SIFAT
MEKANIK BATA RINGAN DENGAN
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN**

**MUNZIR ABSA
NRP 2412 100 085**

**Dosen Pembimbing
Ir. Zulkifli, MSc.
Detak Yan Pratama, ST, MSc.**

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



FINAL PROJECT- TF 141581

**PREDICTION OF THE EFFECT OF
COMPOSITION ON MECHANICAL PROPERTIES
OF LIGHTWEIGHT BRICK USING ARTIFICIAL
NEURAL NETWORK**

**MUNZIR ABSA
NRP. 2412 100 085**

**Lecturer
Ir. Zulkifli, MSc.
Detak Yan Pratama, ST, MSc.**

**Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PREDIKSI PENGARUH KOMPOSISI PADA SIFAT MEKANIK BATA RINGAN DENGAN MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

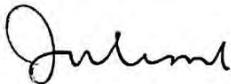
TUGAS AKHIR

Oleh:

Munzir Absa
NRP 2412 100 085

Surabaya, 20 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 PENGARUH KOMPOSISI PADA SIFAT
MEKANIK BATA RINGAN DENGAN MENGGUNAKAN
JARINGAN SYARAF TIRUAN**

TUGAS AKHIR

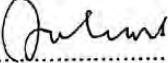
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Munzir Absa

NRP. 2412 100 085

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Zulkifli, M.Sc.......... (Pembimbing I)
(NIP. 19581118 198701 1 001)
2. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.......... (Pembimbing II)
(NIP. 19840101 201212 1 002)
3. Dyah Sawitri, S.T., M.T...... (Penguji I)
(NIP: 19700101 199512 2 001)
4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T......(Penguji II)
(NIP: 19740815 199703 2 001)
5. Arief Abdurrahman, S.T., M.T..........(Penguji III)
(NIP: 19870712 201404 1 002)

**SURABAYA
JULI, 2016**

PREDIKSI PENGARUH KOMPOSISI PADA SIFAT MEKANIK BATA RINGAN DENGAN MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Nama : Munzir Absa
NRP : 2412100085
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1 Ir. Zulkifli, MSc.
2. Detak Yan Pratama, ST, MSc.

Abstrak

Dalam fabrikasi bata ringan, salah satu permasalahan yang ditemui adalah penentuan komposisi bahan baku dari bata ringan yang dibuat. Ini karena komposisi bahan baku dari bata ringan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari bata ringan yang menjadi parameter baik tidaknya bata ringan sebagai bahan bangunan. Dalam tugas akhir ini telah dilakukan prediksi pengaruh komposisi unsur penyusun dan densitas terhadap kekuatan tekan bata ringan AAC dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Selain itu juga dilakukan simulasi pengaruh komposisi unsur-unsur utama bata ringan AAC serta densitas AAC terhadap kekuatan tekannya. Jaringan syaraf tiruan dengan arsitektur feed forward backpropagation dan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt yang terbaik didapatkan pada hidden node 8, dengan MSE pelatihan sebesar 0,001605667 dan MSE validasi sebesar 0,01455. Hasil simulasi pengaruh komposisi dan densitas terhadap kekuatan tekan bata ringan AAC menunjukkan bahwa komposisi Ca, Si, dan densitas berbanding lurus terhadap kekuatan tekan AAC, sementara komposisi Al berbanding terbalik dengan kekuatan tekan AAC. Hasil prediksi kuat tekan yang didapatkan untuk 4 sampel AAC-a, AAC-b, AAC-c, dan AAC-d secara berurutan adalah 4,80 MPa, 5,24 MPa, 3,23 MPa, dan 3,67 MPa.

Kata kunci: *Prediksi, jaringan syaraf tiruan, bata ringan aac, komposisi unsur, kekuatan tekan*

PREDICTION OF THE EFFECT OF COMPOSITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT BRICK USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Name : Munzir Absa
NRP : 2412100085
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Lecturer : 1 Ir. Zulkifli, MSc.
2. Detak Yan Pratama, ST, MSc.

Abstract

One of the problems found in the fabrication of lightweight brick is how to determine the composition of raw materials used. The composition of materials in lightweight brick can affect its mechanical properties which is an important parameter for building materials. In this study the prediction of the effect of elements composition and density on compressive strength of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) using neural network has been done. Furthermore, the simulation on the effect of each element composition and the density on compressive strength also has been done. The best network developed in this study using feedforward backpropagation architecture and Levenberg-Marquardt algorithm is to use 8 hidden node, with mse training of 0.001605667 and mse validation of 0.01455. Simulation results show that composition of Ca, Si, O, and density are all directly proportional to compressive strength, while composition of Al is inversely proportional. The compressive strength prediction results obtained for 4 AAC samples are 4.80 MPa, 5.24 MPa, 3.23 MPa, and 3.67 MPa for sample AAC-a, AAC-b, AAC-c, and AAC-d sequentially. The result of prediction shows that the neural network developed can predict the effect of composition and density on compressive strength of AAC.

Keywords: Prediction, neural network, aac lightweight brick, composition, compressive strength

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, tidak ada kata yang lebih pantas diucapkan melainkan puji dan syukur atas limpahan nikmat dan karunia dari Allah *Ta'ala* selama ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik.

Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan tugas ini

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, Ketua Jurusan teknik Fisika ITS
2. Pembimbing I dan II, Bapak Ir. Zulkifli, MSc. dan Bapak Detak Yan Pratama, ST, MSc.
3. Ibu Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T., Dosen wali selama penulis menjalani kegiatan kemahasiswaan di Jurusan Teknik Fisika ITS
4. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Fisika ITS yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.
5. Kedua orang tua penulis, yang telah memberikan dukungan moral dan finansial sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik
6. Teman teman Jurusan Teknik Fisika yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu dengan segenap kerendahan hati penulis memohon saran dan masukan untuk perbaikan penulisan makalah yang lain kedepannya.

Surabaya, Juni 2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
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 Dasar Teori.....	3
2.1 Bata Ringan AAC.....	3
2.2 Jaringan Syaraf Biologi dan Tiruan.....	9
Bab III Metodologi Penelitian.....	25
3.1 Pengumpulan Data Primer dan Sekunder.....	26
3.2 Pelatihan dengan JST.....	28
3.3 Prediksi dengan JST.....	31
Bab IV Hasil dan Pembahasan.....	35
4.1 Hasil Pengujian Bata Ringan AAC.....	35
4.2 Hasil Pelatihan dengan Variasi Hidden Node.....	36
4.3 Hasil Prediksi dengan Jaringan Syaraf Tiruan.....	38
4.4 Hasil Simulasi dengan Jaringan Syaraf Tiruan.....	39
Bab V Kesimpulan dan Saran... ..	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi dari bata beton berpori (<i>aerated</i>)	4
Gambar 2.2	Proses fabrikasi bata ringan AAC	5
Gambar 2.3	Pembentukan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan <i>tricalcium silicate hydrate</i> dalam proses hidrasi pada bata ringan AAC	6
Gambar 2.4	Pembentukan 1.13 nm <i>tobermorite</i> dari reaksi pasir dengan kalsium hidroksida atau pasir dengan <i>calcium silicate hydrate</i> dalam proses <i>autoclaving</i>	7
Gambar 2.5	Mikrostruktur <i>tobermorite</i> pada AAC	7
Gambar 2.6	Diagram fasa CSH dalam rentang temperatur 50 – 1000 °C	8
Gambar 2.7	Skema jaringan syaraf biologis	10
Gambar 2.8	Struktur neuron jaringan syaraf tiruan	12
Gambar 2.9	Jaringan syaraf tiruan dengan 3 <i>layer</i>	13
Gambar 2.10	Jaringan syaraf tiruan dengan lapisan tunggal	14
Gambar 2.11	Jaringan syaraf tiruan dengan banyak lapisan	15
Gambar 2.12	Fungsi aktivasi <i>binary step (hard limit)</i>	16
Gambar 2.13	Fungsi aktivasi <i>binary step (threshold)</i>	16
Gambar 2.14	Fungsi aktivasi bipolar <i>hard limit</i>	17
Gambar 2.15	Fungsi aktivasi bipolar <i>threshold</i>	17
Gambar 2.16	Fungsi aktivasi linear	18
Gambar 2.17	Fungsi aktivasi <i>saturating linear</i>	18
Gambar 2.18	Fungsi aktivasi <i>symetric saturating linear</i>	19
Gambar 2.19	Fungsi aktivasi sigmoid biner	19
Gambar 2.20	Fungsi aktivasi sigmoid bipolar	20
Gambar 2.21	Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan <i>Backpropagation</i>	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Tugas Akhir	25
Gambar 4.1	Arsitektur jaringan syaraf tiruan dengan 8 <i>hidden node</i>	37

Gambar 4.2	Plot regresi pelatihan dan validasi	38
Gambar 4.3	Hasil simulasi pengaruh wt% Ca terhadap kuat tekan	40
Gambar 4.4	Hasil simulasi pengaruh wt% Si terhadap kuat tekan	41
Gambar 4.5	Hasil simulasi pengaruh wt% Al terhadap kuat tekan	41
Gambar 4.6	Hasil simulasi pengaruh wt% O terhadap kuat tekan	42
Gambar 4.7	Hasil simulasi pengaruh densitas terhadap kuat tekan	43
Gambar 4.8	Hasil simulasi pengaruh temperatur terhadap kuat tekan	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Statistik data sekunder	27
Tabel 3.2	Matriks input/target proses simulasi kuat tekan dengan jaringan syaraf tiruan	27
Tabel 3.3	Matriks rasio CaO/SiO ₂ sampel AAC	28
Tabel 3.4	Matriks Pelatihan dengan variasi jumlah <i>hidden node</i>	31
Tabel 3.5	Matriks Perbandingan hasil prediksi dengan hasil uji AAC	32
Tabel 4.1	Hasil pengujian bata ringan AAC	35
Tabel 4.2	Rasio CaO/SiO ₂ sampel AAC	36
Tabel 4.3	Hasil Pelatihan dengan Variasi Hidden Node	37
Tabel 4.4	Hasil prediksi dengan JST	39

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini diantaranya adalah:

- Jaringan syaraf tiruan dengan arsitektur *feed forward backpropagation* dan algoritma pelatihan *Levenberg-Marquardt* yang terbaik didapatkan pada *hidden node* 8, dengan MSE pelatihan sebesar 0,001605667 dan MSE validasi sebesar 0,01455.
- Dari hasil simulasi pengaruh komposisi dan densitas terhadap kekuatan tekan bata ringan AAC, dapat disimpulkan bahwa komposisi Ca, Si, dan densitas berbanding lurus terhadap kekuatan tekan AAC, sementara komposisi Al berbanding terbalik dengan kekuatan tekan AAC.
- Hasil prediksi kuat tekan yang didapatkan untuk 4 sampel AAC-a, AAC-b, AAC-c, dan AAC-d secara berurutan adalah 4,80 MPa, 5,24 MPa, 3,23 MPa, dan 3,67 MPa.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya diantaranya:

- Untuk proses pelatihan dengan JST hendaknya dikumpulkan data sebanyak mungkin, karena dengan data yang banyak maka jaringan bisa lebih mudah mengenalinya.
- Untuk membuat matriks input/target hendaknya dikumpulkan terlebih dahulu data-data yang akan dipakai dan dipastikan apakah data tersebut ada atau tidak

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryani, Novi, Munasir. "Fabrikasi Bata Ringan Tipe *Celluler Lightweight Concrete* dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti *Fly Ash*". *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* Vol. 04 No. 03 Hal 106 – 111. 2015.
- [2] Sari, Andhy Pusvita. "Pengaruh Komposisi dan Suhu Pembakaran Terhadap Sifat Fisik, Kimia, dan Mekanik Bata Ringan Berbahan Dasar Abu Terbang dan Bentonit". Tugas Akhir, Kimia ITB. 2014 .
- [3] Nasution, Suarni. "Efek Komposisi dan Aging Terhadap Sifat Mekanik dan Fisis pada Pembuatan *Aerated Concrete* (Beton Berpori)" Tesis, Fisika USU. 2009.
- [4] Lagiyono, Suwandono, Masykur, Muhammad. "Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanik Pada Baja Karbon Sedang ST 60". *Engineering* Vol. 3, No 2. 2011.
- [5] Standar Nasional Indonesia. Bata Beton Untuk Pasangan Dinding (SNI 03-0349-1989).
- [6] Bayuaji, Ridho, Biyanto, Totok R. "Model Jaringan Saraf Tiruan Kuat Tekan Beton Porus dengan Material Pengisi Pasir" *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* Vol. 20 No. 1 April 2013.
- [7] Jauhari, Moh Ilfan. "Prediksi Sifat Mekanik Keramik Al₂O₃ Berdasar Penambahan Suhu Sintering dan Presentase Aditive Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan". Tugas Akhir, Teknik Fisika ITS. 2015.
- [8] Zulhelmi. "Pembuatan dan Karakterisasi Bata Berpori dengan Agregat Batu Apung (*Pumice*) Sebagai Filter Gas Buang Kendaraan". Tesis, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam USU. 2010.
- [9] Leslie. "Pengaruh Penggunaan Bahan Tambahan (*Accelerator Admixture*), Kapur dan Pengaruh Curing pada Pembuatan Bata Beton Ringan Sebagai Alternatif Pengganti Bata Merah". *Jurnal Teknik Sipil USU* Vol. 2, No 2. 2013.

- [10] Hamad, A. J. "Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review". *International Journal of Materials Science and Engineering* Vol. 2, No. 2. 2014.
- [11] Bernstein, Saskia. "Determination Of Reaction Kinetics And Mechanisms of 1.13nm Tobermorite by In-Situ Neutron Diffraction". Disertasi. Fakultas für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München. 2011.
- [12] Ungkoon, Yothin. "Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete Wall Construction Materials". *J. Ind. Eng. Chem.* Vol. 13, No. 7. 2007. 1103-1108
- [13] 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.
- [14] Siang, J. J. "Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan MATLAB". Penerbit Andi. Yogyakarta. 2004.
- [15] Galkin, Ivan. "Crash Introsuction to Artificial Neural Network". 6 Juni 2016. <http://ulcar.uml.edu/~iag/CS/Intro-to-ANN.html>
- [16] Hu, Yu Hen, Hwang, Jenq-Neng. "Handbook of Neural Network Signal Processing". CRC Press. Florida. 2002.
- [17] Anonim. "Jaringan Syaraf Tiruan". 6 Juni 2016. http://share.its.ac.id/pluginfile.php/14163/mod_resource/content/1/jst1.pdf
- [18] Muis, Saludin, "Teknik Jaringan Syaraf Tiruan", Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- [19] H. Demuth, M. Beale and M. Hagan, "Neural Network Toolbox™ 6 User's Guide," The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, 2004.
- [20] C.-I. Wang et al. "Preparation and properties of autoclaved aerated concrete using coal gangue and iron ore tailings" *Construction and Building Materials* 104, 109–115. 2016.

- [21] K. Kunchariyakun et al. ‘Properties of autoclaved aerated concrete incorporating rice husk ash as partial replacement for fine aggregate’ *Cement & Concrete Composites* 55, 11–16. 2015.
- [22] Y. Song et al. “Effect of the Ca-to-Si ratio on the properties of autoclaved aerated concrete containing coal fly ash from circulating fluidized bed combustion boiler” *Construction and Building Materials* 83, 136–142. 2015.
- [23] X.Y. Cong et al. “Fabrication and characterization of self-ignition coal gangue autoclaved aerated concrete” *Materials and Design* 97, 155–162. 2016.
- [24] X.-y. Huang et al. “Preparation of autoclaved aerated concrete using copper tailings and blast furnace slag” *Construction and Building Materials* 27, 1–5. 2012.
- [25] Standar Nasional Indonesia. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990)*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Munzir Absa, dilahirkan di Kota Lhokseumawe pada tanggal 10 Oktober 1995 dari pasangan Bapak Abdul Hadi dan Ibu Sarimawarni. Penulis lulus dari SMAN Modal Bangsa Banda Aceh pada Tahun 2012. Pada tahun yang sama penulis mulai melanjutkan studi di Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) hingga saat ini. Motto hidup penulis adalah “berilmu sebelum berucap dan berbuat”.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan bata ringan memiliki nilai yang lebih ekonomis dibanding bata konvensional. Hal ini dikarenakan dengan densitas yang dimiliki dapat memberikan pengurangan beban pada bangunan yang dibuat dan mempercepat proses pelaksanaan pembangunan suatu bangunan. Selain itu juga dapat meminimalisir terjadinya sisa pemakaian material yang digunakan selama proses pembangunan berlangsung. Indonesia dengan sumber alam yang melimpah memiliki bahan baku untuk pembuatan bata ringan seperti batu kapur, batu arang, dan sebagainya yang tersebar di berbagai daerah yang belum maksimal digunakan. Ini memberikan peluang besar untuk pengembangan produksi bata ringan skala rumah tangga maupun skala industri^[1].

Dalam fabrikasi bata ringan, salah satu permasalahan yang ditemui adalah penentuan komposisi bahan baku dari bata ringan yang dibuat. Ini karena komposisi bahan baku dari bata ringan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari bata ringan yang menjadi parameter baik tidaknya bata ringan sebagai bahan bangunan^[2-5].

Karena itu maka perlu dilakukan prediksi untuk menentukan sifat mekanik bata ringan yang akan dihasilkan dengan komposisi dan temperatur uji tertentu. Prediksi yang dilakukan pada Tugas Akhir ini menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Metode JST dipilih karena metode jaringan syaraf tiruan dapat digunakan sebagai model dalam mengembangkan alat untuk memprediksi kuat tekan bata ringan, serta dapat mengantisipasi nonlinieritas dan interaksi yang kompleks antara variabel input dan output dari bata ringan^[6,7].

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah bagaimana memprediksi pengaruh komposisi unsur dan densitas terhadap kekuatan tekan bata ringan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

1.3 Tujuan

Tujuan dibuatnya Tugas Akhir ini adalah untuk membuat prediksi pengaruh komposisi unsur dan densitas terhadap kekuatan tekan bata ringan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah :

- Bata ringan yang digunakan adalah jenis AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*)
- Sifat mekanik yang ditinjau adalah kekuatan tekan.
- Jaringan syaraf tiruan yang digunakan adalah *feed forward backpropagation*
- Algoritma pelatihan yang digunakan adalah *Levenberg-Marquardt*

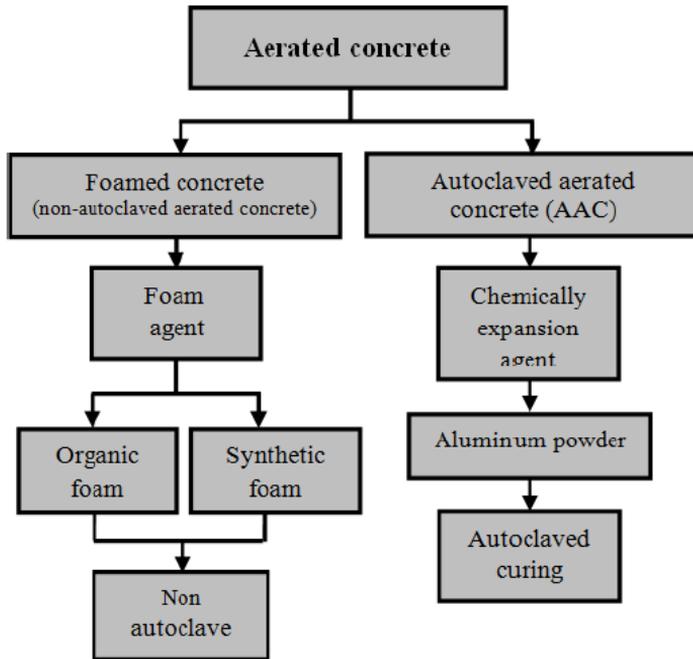
BAB II DASAR TEORI

2.1 Bata Ringan AAC

Bata ringan adalah bata yang memiliki berat jenis (densitas) yang lebih rendah dari bata pada umumnya^[8]. Bata merah pada umumnya mempunyai densitas sebesar 2,2 – 2,4 gr/cm³ sedangkan bata ringan secara umum densitasnya kurang dari 1 gr/cm³. Bata ringan terbagi menjadi dua jenis yaitu bata ringan berpori (*aerated*) dan tidak berpori (*non aerated*). Perbedaan antara bata ringan *aerated* dan *non aerated* adalah, pada bata ringan *aerated* terdapat pori-pori yang terbentuk melalui reaksi aerasi, sementara *non aerated concrete* menggunakan bahan tertentu dengan berat jenis rendah sebagai agregat seperti serat sintetis dan alami, perlit, dan lain sebagainya^[9].

Bata berpori (*aerated concrete*) ini sendiri dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan proses fabrikasinya, yaitu *foamed concrete* (*non autoclaved*) dan AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*)^[10]. Yang membedakan antara keduanya adalah pada proses pengeringan, dimana proses fabrikasi *foamed concrete* menggunakan metode pengeringan alami sementara fabrikasi AAC menggunakan metode *autoclaving*. Pembagian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Bata berpori (ringan) atau beton ringan AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) pertama kali dikembangkan di Swedia pada tahun 1923 sebagai alternatif material bangunan untuk mengurangi penggundulan hutan. Bata ringan AAC ini kemudian dikembangkan lagi oleh Joseph Hebel di Jerman pada tahun 1943^[8]. Hasilnya bata berpori (ringan) atau beton ringan aerasi ini dianggap sempurna, termasuk material bangunan yang ramah lingkungan, karena dibuat dari sumber daya alam yang berlimpah. Bahan bata ringan ini memiliki kekuatan tekan yang tinggi, densitas relatif rendah, insulasi panas dan akustik yang baik, tahan lama, mudah dibentuk, efisien, dan berdaya guna tinggi.



Gambar 2.1 Klasifikasi dari bata beton berpori (*aerated*)^[10]

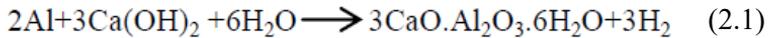
Diantara bahan baku utama dalam fabrikasi bata ringan AAC adalah semen, pasir, *lime* (batu kapur), dan *aluminium powder* sebagai *foaming agent* yang akan membantu terbentuknya pori pada bata AAC. Selain itu, *fly ash*, *slag*, *mine tailing*, dan beberapa bahan lain dapat digunakan sebagai agregat yang dikombinasikan dengan pasir^[10].

2.1.1 Proses Fabrikasi Bata Ringan AAC

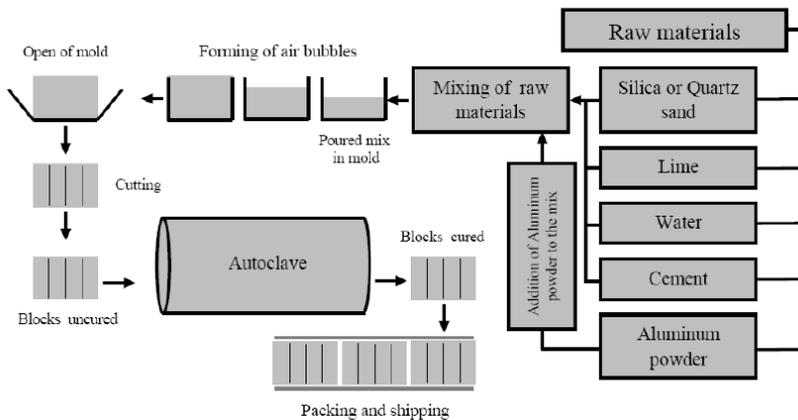
Proses fabrikasi bata ringan AAC dapat dilihat pada Gambar 2.2. Awalnya, seluruh bahan baku utama dari bata ringan AAC yaitu semen, pasir, dan batu kapur dicampurkan dalam suatu adonan. Kemudian air ditambahkan kedalam adonan ini dan akan terjadi

proses yang dinamakan dengan proses hidrasi dimana semen akan mengikat bahan-bahan dalam adonan.

Setelah proses pencampuran selesai, adonan dimasukkan kedalam suatu cetakan setelah ditambahkan dengan *expansion (aerating) agent*, dimana *aerating agent* yang umum digunakan adalah *aluminium powder*. Penambahan *aerating agent* ini akan menyebabkan volume campuran bertambah sebanyak 2 sampai 5 kali dari volume awal. *Aluminium powder* yang ditambahkan pada campuran ini akan bereaksi dengan kalsium hidroksida, yang merupakan hasil dari reaksi antara semen dan air, dengan persamaan reaksi di bawah ini^[10].



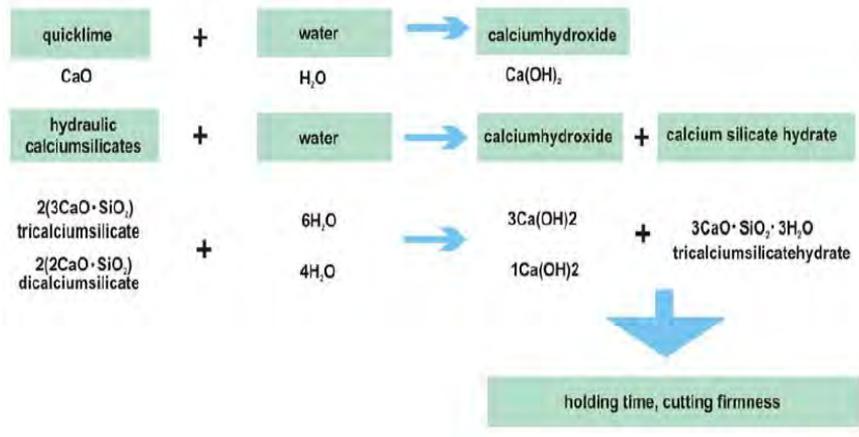
Reaksi antara *aluminium powder* dan kalsium hidroksida ini akan menghasilkan gelembung-gelembung berisi gas hidrogen yang akan menyebabkan bertambahnya volume adonan. Kemudian gas hidrogen yang terbentuk dalam adonan akan naik keluar dari adonan dan digantikan oleh udara sekitar karena adanya perbedaan massa jenis.



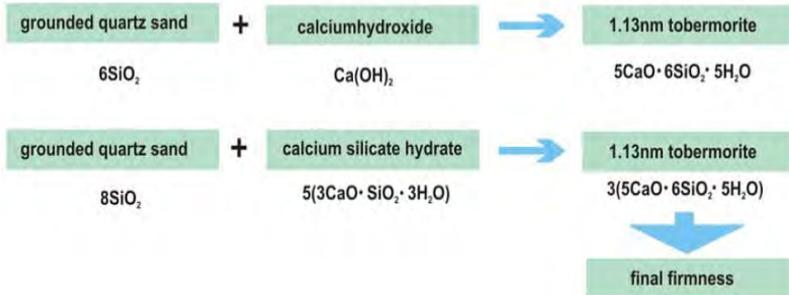
Gambar 2.2 Proses fabrikasi bata ringan AAC^[10]

Penambahan volume yang terjadi berbanding lurus dengan jumlah *aluminium powder* yang ditambahkan kedalam adonan. Semakin besar penambahan volume, massa jenis bata ringan yang dihasilkan semakin kecil dan kekuatan bata ringan semakin rendah. Sebaliknya bila penambahan volume kecil, massa jenis bata ringan akan relatif lebih besar dan kekuatan bata ringan lebih tinggi.

Setelah terjadinya proses penambahan volume adonan dalam cetakan, adonan yang mengeras dipotong-potong sesuai dimensi yang diinginkan. Setelah itu blok-blok bata ringan akan dimasukkan kedalam oven autoklaf untuk melewati proses *curing*. Didalam oven autoklaf, blok-blok ini akan mengalami proses *curing* dengan tekanan antara 4 sampai 16 MPa, temperatur sekitar 180 °C dan dalam waktu tertentu (8-16 jam). Proses *autoclaving* ini cukup mempengaruhi sifat dari produk bata ringan AAC yang akan dihasilkan. Proses ini dapat mengurangi penyusutan saat pengeringan (*drying shrinkage*) yang terjadi pada blok-blok AAC^[10].

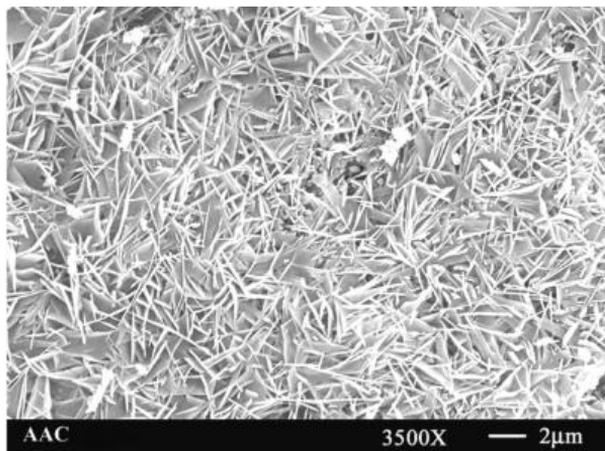


Gambar 2.3 Pembentukan Ca(OH)₂ atau Ca(OH)₂ dan *tricalcium silicate hydrate* dalam proses hidrasi pada bata ringan AAC^[11]



Gambar 2.4 Pembentukan 1.13 nm *tobermorite* dari reaksi pasir dengan kalsium hidroksida atau pasir dengan *calcium silicate hydrate* dalam proses *autoclaving*^[11]

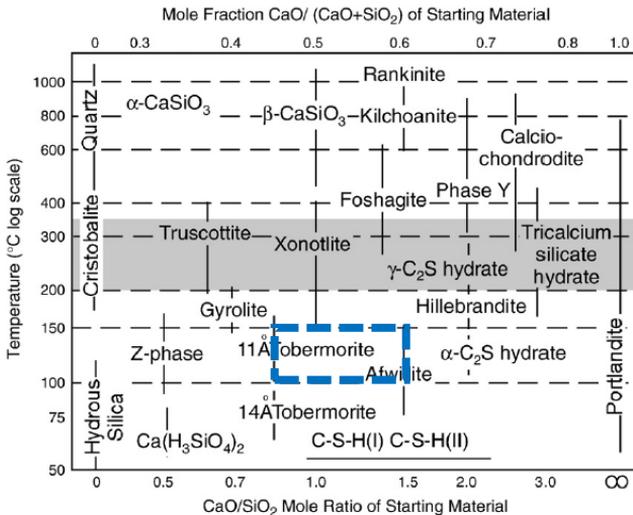
Fasa utama dalam bata ringan AAC adalah CSH (*calcium silicate hydrate*) yang terbentuk dalam proses hidrasi sebagaimana yang dijelaskan di atas. Sementara pada proses *autoclaving*, akan terbentuk fasa *tobermorite*, dimana pembentukan fasa ini sangat mempengaruhi kekuatan tekan dari bata ringan. Persamaan reaksi pembentukan CSH dan *tobermorite* diperlihatkan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 secara berurutan^[11].



Gambar 2.5 Mikrostruktur *tobermorite* pada AAC^[12]

Fasa *tobermorite* merupakan fasa kristalin pada AAC yang berbentuk seperti jarum, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.5. Fasa *tobermorite* ini akan saling terpaut satu sama lain (*interlock*) membentuk suatu *network*. Ini menjadi salah satu penyebab utama kekuatan tekan AAC yang relatif tinggi dibanding non-AAC^[12].

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan diagram fasa dari CSH dalam rentang temperatur 50 – 1000 °C. Dapat dilihat bahwa fasa *tobermorite* berada pada rasio CaO/SiO₂ 0,8 – 1,5 dan temperatur 100 – 150 °C. Diagram fasa ini bukanlah diagram *equilibrium*, melainkan hanya merepresentasikan kondisi dimana tiap fasa biasanya ditemukan^[13].



Gambar 2.6 Diagram fasa CSH dalam rentang temperatur 50 – 1000 °C^[13]

2.1.2 Sifat Mekanik Bata Ringan

Salah satu sifat mekanik bata ringan yang paling sering ditinjau adalah kuat tekan. Menurut SNI 03-1974-1990 tentang metode

pengujian kuat tekan beton, kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan bata ringan dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya densitas, porositas, umur bata ringan, metode pembentukan pori, metode *curing*, serta komposisi adonannya^[10].

Densitas dari bata ringan berpengaruh langsung terhadap kuat tekannya, dimana semakin tinggi densitas dari bata ringan maka kuat tekan bata ringan tersebut juga akan semakin tinggi. Sementara proses *autoclaving* juga dapat meningkatkan kekuatan tekan bata ringan secara signifikan, dikarenakan tekanan tinggi dalam oven autoklaf akan menghasilkan fasa *tobermorite* yang stabil. Secara khusus, kekuatan tekan ini dipengaruhi oleh tekanan dan durasi dari proses *autoclaving*. Selain itu, penambahan komposisi *aluminium powder* dapat menurunkan kekuatan tekan dari bata ringan karena semakin banyaknya terbentuk pori-pori dalam bata ringan dan densitasnya pun semakin berkurang^[10].

Temperatur fabrikasi tidak berpengaruh langsung terhadap kekuatan tekan dari bata ringan AAC, dimana dalam proses *autoclaving* dengan temperatur sekitar 180°C akan terbentuk fasa *tobermorite*. Fasa *tobermorite* ini yang akan mempengaruhi kekuatan tekan AAC sebagaimana dijelaskan di atas. Porositas (*macropore*) yang terbentuk di dalam bata ringan AAC juga dapat mengurangi kekuatan tekan dari AAC.

Dalam berbagai penelitian telah dibuktikan bahwa penambahan *fly ash* sebagai pengganti sebagian atau seluruh pasir sebagai bahan baku dapat meningkatkan kekuatan tekan. Sementara penambahan berbagai macam agregat lain seperti *PP fiber*, *rice husk ash*, *copper tailing*, dan lain sebagainya juga mempengaruhi kekuatan tekan dari produk bata ringan yang dihasilkan^[10].

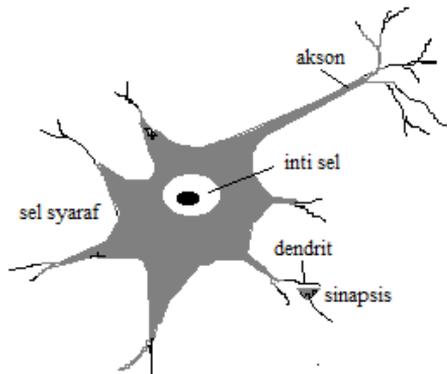
2.2 Jaringan Syaraf Biologi dan Tiruan

Secara historis, jaringan syaraf tiruan terinspirasi dari jaringan syaraf biologis yang ada pada otak manusia. Berbagai kelebihan dalam pemrosesan sinyal pada jaringan syaraf biologis membuatnya

menjadi perhatian untuk dicontoh sebagai suatu metode pemrosesan sinyal.

2.2.1 Jaringan Syaraf Biologi

Otak manusia memiliki struktur yang sangat kompleks dan kemampuan yang sangat luar biasa. Ia terdiri dari neuron-neuron yang dihubungkan oleh sinapsis. Suatu neuron akan bekerja sesuai dengan sinyal yang diberikan kepadanya, kemudian meneruskannya kepada neuron lain. Otak manusia memiliki sekitar 10^{12} neuron dan 6×10^{18} sinapsis. Dengan jumlah neuron dan sinapsis yang sedemikian banyak, otak dapat mengenali pola, melakukan perhitungan, maupun mengontrol organ-organ manusia dengan kecepatan yang begitu tinggi^[14]. Skema dari jaringan syaraf biologis dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema jaringan syaraf biologis^[15]

Neuron memiliki 3 bagian (komponen) penting, yaitu dendrit, soma dan akson. Dendrit berfungsi menerima sinyal dari neuron lain. Sinyal ini berupa impuls elektrik yang dikirim melalui celah sinaptik dengan proses kimiawi. Sinyal tersebut dikondisikan (diperkuat/diperlemah) di celah sinapsis. Kemudian soma (badan sel) menjumlahkan seluruh sinyal yang masuk. Bila jumlah seluruh

sinyal tersebut melewati ambang batas (threshold) maka sinyal akan diteruskan ke sel lain melalui akson^[14].

Jaringan syaraf biologis bersifat *fault tolerant* dalam dua hal, yaitu dapat mengenali sinyal *input* yang agak berbeda dari yang pernah diterima sebelumnya. Sebagai contoh, manusia seringkali bisa mengenali wajah yang agak berubah dari sebelumnya karena sudah lama tidak berjumpa. Selain itu, otak manusia tetap mampu bekerja meskipun beberapa neuron tidak bekerja dengan baik. Ini karena neuron-neuron lain dapat dilatih untuk menggantikan fungsi dari neuron tersebut^[14].

2.2.2 Jaringan Syaraf Tiruan

Sejak tahun 1940-an para ilmuwan telah mulai mengembangkan jaringan syaraf tiruan, berangkat dari pemahaman bahwa psikologi dari otak mirip (analog) dengan pemrosesan yang dilakukan komputer. Pada tahun 1943, seorang neurobiologis bernama McCulloch bersama seorang ahli statistik bernama Pitts mempublikasikan suatu jurnal berjudul “A logical calculus of ideas imminent in nervous activity” dalam *Bulletin of Mathematical Biophysics*. Jurnal ini yang awalnya menginspirasi sejumlah ilmuwan untuk meneliti tentang jaringan syaraf tiruan^[16].

Jaringan syaraf tiruan didefinisikan sebagai paradigma komputasi matematis yang mencontoh sistem syaraf biologis^[16]. Jaringan syaraf tiruan dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologis dengan beberapa asumsi, diantaranya^[12]:

- Pemrosesan terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron)
- Sinyal dikirimkan dari neuron satu ke neuron lain melalui penghubung-penghubung
- Penghubung-penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan menguatkan atau melemahkan sinyal yang melewatinya.
- Untuk menentukan *output*, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi tertentu untuk mengubah *input* yang diterima. Besar *output* yang terbentuk kemudian dibandingkan dengan suatu batas ambang (threshold) untuk menentukan apakah sinyal akan diteruskan ke neuron lain atau tidak.

Seperti halnya otak manusia, jaringan syaraf tiruan juga terdiri dari beberapa neuron, dan neuron-neuron tersebut memiliki suatu penghubung. Neuron-neuron tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarannya menuju ke neuron-neuron yang lain. Pada jaringan syaraf tiruan, hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi penghubung ini disimpan pada suatu nilai tertentu pada bobot tersebut^[17].

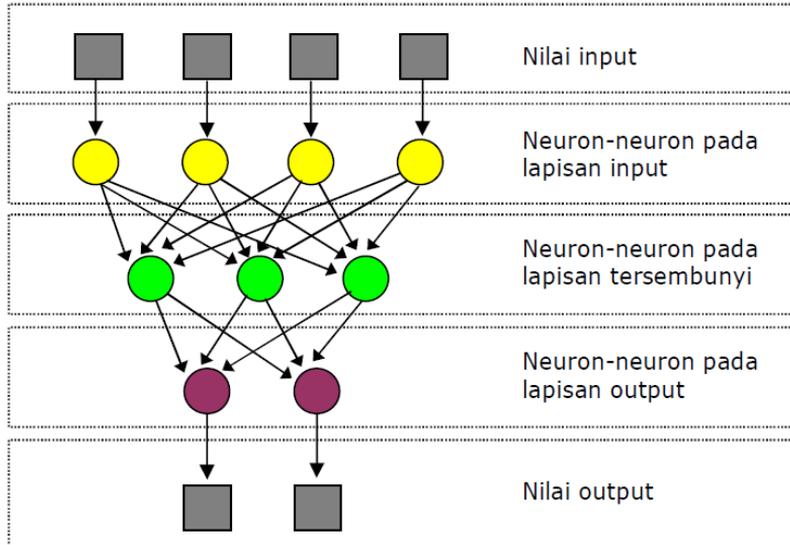
Informasi (*input*) akan dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu. *Input* ini akan diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang datang. Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap neuron. Apabila *input* melewati suatu nilai ambang tertentu, maka neuron tersebut akan diaktifkan, sebaliknya kalau tidak, maka neuron tersebut tidak akan diaktifkan. Apabila neuron tersebut diaktifkan, maka neuron tersebut akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot *output* nya ke semua neuron yang berhubungan dengannya, dan demikian seterusnya untuk neuron-neuron lain^[17]. Struktur neuron jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur neuron jaringan syaraf tiruan^[17]

Pada jaringan syaraf tiruan, neuron-neuron akan dikumpulkan dalam lapisan-lapisan (*layer*) yang disebut dengan lapisan neuron (*neuron layers*). Biasanya neuron-neuron pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan sebelum dan sesudahnya (kecuali lapisan *input* dan lapisan *output*). Informasi yang diberikan pada jaringan syaraf akan dirambatkan lapisan ke lapisan, mulai dari

lapisan *input* sampai ke lapisan *output* melalui lapisan yang lainnya, yang sering dikenal dengan nama lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Tergantung pada algoritma pembelajarannya, bisa jadi informasi tersebut akan dirambatkan secara mundur pada jaringan^[17]. Pada Gambar 2.9 diperlihatkan contoh jaringan syaraf tiruan dengan 3 *layer*.



Gambar 2.9 Jaringan syaraf tiruan dengan 3 *layer*^[17]

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam membuat suatu jaringan syaraf tiruan diantaranya adalah^[14]:

- Pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan)
- Fungsi aktivasi
- Metode penentuan bobot penghubung antar neuron (disebut sebagai metode pelatihan/pembelajaran/algoritma)

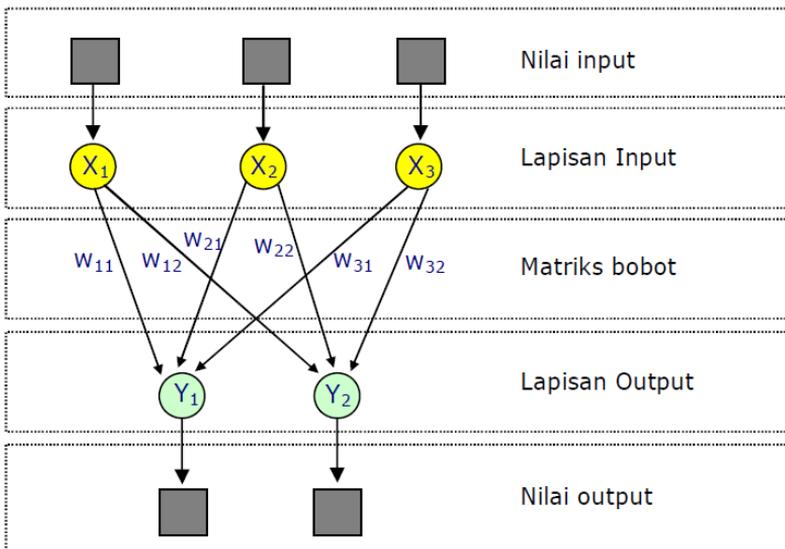
2.2.3 Arsitektur Jaringan

Umumnya, neuron-neuron yang terletak pada lapisan (*layer*) yang sama akan memiliki fungsi aktivasi maupun pola bobot yang

sama. Dalam jaringan syaraf tiruan, ada beberapa jenis arsitektur yang dibedakan berdasarkan jumlah *layer* yang digunakan, yaitu:

- Jaringan dengan lapisan tunggal (*single layer net*)

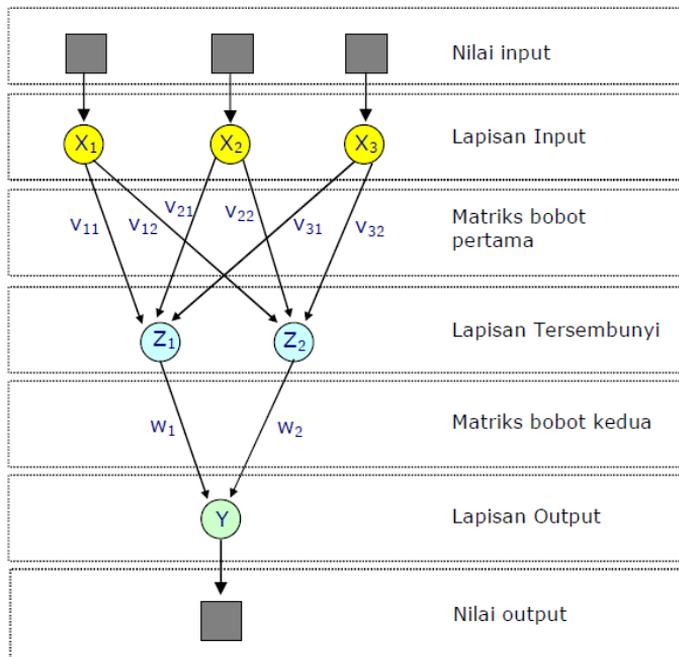
Jaringan dengan lapisan tunggal hanya memiliki satu lapisan dengan bobot-bobot terhubung. Jaringan ini hanya menerima *input* kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi *output* tanpa harus melalui lapisan tersembunyi. Contoh dari arsitektur jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada Gambar 2.10 tersebut, lapisan *input* memiliki 3 neuron, yaitu X1, X2 dan X3. Sedangkan pada lapisan *output* memiliki 2 neuron yaitu Y1 dan Y2. Neuron-neuron pada kedua lapisan saling berhubungan. Seberapa besar hubungan antara 2 neuron ditentukan oleh bobot yang bersesuaian. Semua unit *input* akan dihubungkan dengan setiap unit *output*.



Gambar 2.10 Jaringan syaraf tiruan dengan lapisan tunggal^[17]

- Jaringan dengan banyak lapisan (*multilayer net*)

Jaringan *multilayer* memiliki satu atau lebih lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output* (memiliki satu atau lebih lapisan tersembunyi), seperti terlihat pada Gambar 2.11. Umumnya, ada lapisan bobot-bobot yang terletak antara 2 lapisan yang bersebelahan. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit daripada lapisan dengan lapisan tunggal, tentu saja dengan pembelajaran yang lebih rumit. Namun demikian, pada banyak kasus, pembelajaran pada jaringan dengan banyak lapisan ini lebih sukses dalam menyelesaikan masalah.



Gambar 2.11 Jaringan syaraf tiruan dengan banyak lapisan^[17]

- Jaringan *Recurrent*

Model jaringan *recurrent* mirip dengan jaringan *single layer* maupun *multilayer*. Hanya saja, pada model jaringan ini ada neuron

output yang memberikan sinyal pada neuron *input* (sering disebut *feedback loop*)^[18].

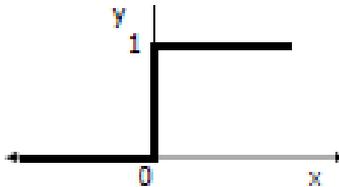
2.2.4 Fungsi Aktivasi

Beberapa fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan syaraf tiruan diantaranya adalah^[17]:

- Fungsi *binary step*

Jaringan dengan lapisan tunggal sering menggunakan fungsi undak (*step function*) untuk mengkonversikan *input* dari suatu variabel yang bernilai kontinu ke suatu *output* dalam biner (0 atau 1). Berdasarkan nilai ambangnya, fungsi *step* dibagi menjadi dua, yaitu fungsi *step hard limit*, yang nilai ambangnya 0, dan fungsi *step threshold* dengan nilai ambang pada bilangan tertentu di atas 0 (dinotasikan dengan θ). Fungsi matematis dan grafik dari *binary step hard limit* adalah sebagai berikut:

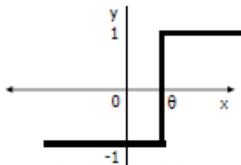
$$y = \begin{cases} 0, & \text{jika } x \leq 0 \\ 1, & \text{jika } x > 0 \end{cases} \quad (2.2)$$



Gambar 2.12 Fungsi aktivasi *binary step (hard limit)*

Sementara fungsi matematis dan grafik dari fungsi aktivasi *binary step threshold* adalah sebagai berikut:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{jika } x < \theta \\ 1, & \text{jika } x \geq \theta \end{cases} \quad (2.3)$$

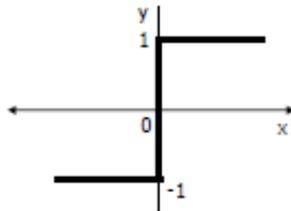


Gambar 2.13 Fungsi aktivasi *binary step (threshold)*

- Fungsi bipolar

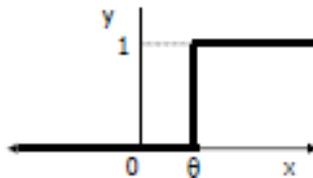
Fungsi bipolar hampir sama dengan fungsi *binary step*. Yang membedakan adalah untuk fungsi bipolar, *output* yang dihasilkan memiliki nilai 1, 0, atau -1. Fungsi bipolar juga dibagi menjadi *hard limit* dan *threshold* berdasarkan nilai ambangnya. Fungsi matematis dari bipolar *hard limit* dan *threshold* adalah dapat dilihat pada Persamaan (2.4) dan (2.5) secara berurutan. Grafik dari kedua fungsi tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.14 dan Gambar 2.15.

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x > 0 \\ 0, & \text{jika } x = 0 \\ -1, & \text{jika } x < 0 \end{cases} \quad (2.4)$$



Gambar 2.14 Fungsi aktivasi bipolar *hard limit*

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq \theta \\ -1, & \text{jika } x < \theta \end{cases} \quad (2.5)$$

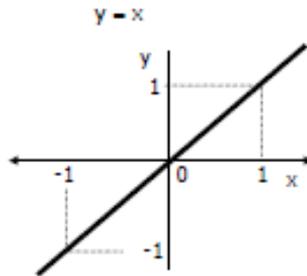


Gambar 2.15 Fungsi aktivasi bipolar *threshold*

- Fungsi linear (identitas)

Fungsi linear memiliki nilai *output* yang sama dengan nilai *input* nya (Gambar 2.16). Fungsi linear dirumuskan sebagai:

$$y = x \quad (2.6)$$

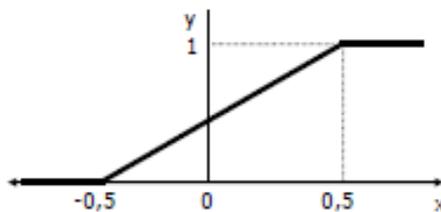


Gambar 2.16 Fungsi aktivasi linear

- Fungsi *saturating linear*

Fungsi ini akan bernilai 0 jika *input* kurang dari $-\frac{1}{2}$, dan akan bernilai 1 jika *input* lebih dari $\frac{1}{2}$. Sedangkan jika nilai *input* terletak antara $-\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{2}$, maka *output* akan bernilai sama dengan nilai input ditambah $\frac{1}{2}$ sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.17. Fungsi *saturating linear* dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq 0,5 \\ x + 0,5, & \text{jika } -0,5 \leq x \leq 0,5 \\ -1, & \text{jika } x \leq -0,5 \end{cases} \quad (2.7)$$



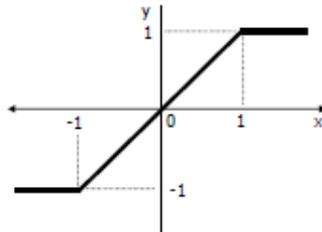
Gambar 2.17 Fungsi aktivasi *saturating linear*

- Fungsi *symetric saturating linear*

Fungsi ini akan bernilai -1 jika *input* nya kurang dari -1, dan akan bernilai 1 jika *input* nya lebih dari 1. Sedangkan jika nilai *input* terletak antara -1 dan 1, maka *output* nya akan bernilai sama dengan

nilai *input* sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.18. Fungsi *symetric saturating linear* dirumuskan sebagai:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{jika } x \geq 1 \\ x, & \text{jika } -1 \leq x \leq 1 \\ -1, & \text{jika } x \leq -1 \end{cases} \quad (2.8)$$

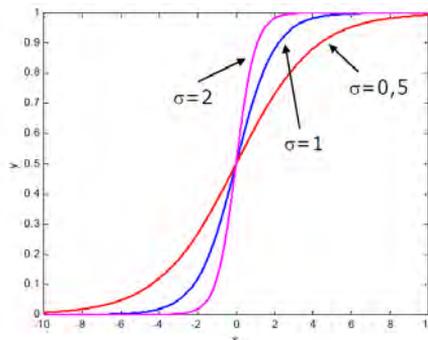


Gambar 2.18 Fungsi aktivasi *symetric saturating linear*

- Fungsi sigmoid biner

Fungsi ini digunakan untuk jaringan syaraf yang dilatih dengan menggunakan metode *backpropagation*. Fungsi sigmoid biner memiliki nilai pada range 0 sampai 1. Oleh karena itu, fungsi ini sering digunakan untuk jaringan syaraf yang membutuhkan nilai *output* yang terletak pada interval 0 sampai 1. Namun, fungsi ini bisa juga digunakan oleh jaringan syaraf yang nilai *output* nya 0 atau 1 (Gambar 2.19). Fungsi sigmoid biner dirumuskan sebagai:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.9)$$

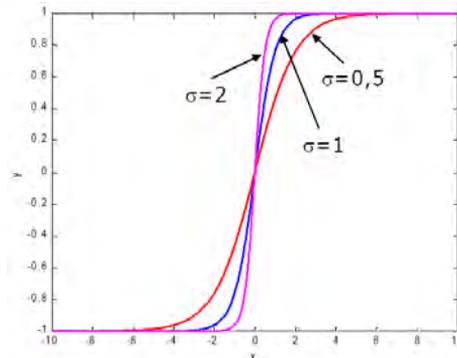


Gambar 2.19 Fungsi aktivasi sigmoid biner

- Fungsi sigmoid bipolar

Fungsi sigmoid bipolar hampir sama dengan fungsi sigmoid biner, hanya saja *output* dari fungsi ini memiliki range antara 1 sampai -1 (Gambar 2.20). Fungsi sigmoid bipolar dirumuskan sebagai:

$$y = f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.20 Fungsi aktivasi sigmoid bipolar

2.2.5 Paradigma dan Algoritma Pembelajaran

Pada dasarnya, proses pelatihan/pembelajaran pada jaringan syaraf tiruan menghasilkan suatu nilai yang mempengaruhi nilai bobot secara terus menerus selama proses pelatihan berlangsung. Nilai bobot akan bertambah, jika informasi yang diberikan oleh neuron yang bersangkutan tersampaikan, sebaliknya jika informasi tidak disampaikan oleh suatu neuron ke neuron yang lain, maka nilai bobot yang menghubungkan keduanya akan dikurangi. Pada saat pembelajaran dilakukan pada *input* yang berbeda, maka nilai bobot akan diubah secara dinamis hingga mencapai suatu nilai yang cukup seimbang. Apabila nilai ini telah tercapai mengindikasikan bahwa tiap-tiap *input* telah berhubungan dengan *output* yang diharapkan^[17].

Dalam proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan, ada dua jenis paradigma (metode) pembelajaran yang digunakan, yaitu^[18]:

- Pembelajaran terawasi (*supervised learning*)

Metode pembelajaran pada jaringan syaraf disebut terawasi jika *output* yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Pada proses pembelajaran, satu pola *input* akan diberikan ke satu neuron pada lapisan *input*. Pola ini akan dirambatkan di sepanjang jaringan syaraf hingga sampai ke neuron pada lapisan *output*. Lapisan *output* ini akan membangkitkan pola *output* yang nantinya akan dicocokkan dengan pola *output* targetnya. Apabila terjadi perbedaan antara pola *output* hasil pembelajaran dengan pola target, maka disini akan muncul error. Apabila nilai error ini masih cukup besar, mengindikasikan bahwa masih perlu dilakukan lebih banyak pembelajaran lagi. Algoritma yang termasuk dalam *supervised learning* diantaranya adalah *Hebbian*, *Perceptron*, *Backpropagation*, *Levenberg-Marquardt*, dan lain sebagainya.

- Pembelajaran tak terawasi (*unsupervised learning*)

Metode pembelajaran yang tak terawasi (*unsupervised learning*) ini tidak memerlukan target *output*. Pada metode ini, tidak dapat ditentukan hasil yang diharapkan selama proses pembelajaran. Akan tetapi, selama proses pembelajaran nilai bobot disusun dalam suatu range tertentu tergantung pada nilai *input* yang diberikan. Tujuan pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu. Pembelajaran ini biasanya sangat cocok untuk pengelompokan (klasifikasi) pola. Algoritma pembelajaran yang termasuk *unsupervised learning* diantaranya adalah jaringan kohonen.

2.2.6 Performansi Jaringan Syaraf Tiruan

Fungsi performansi *default* yang digunakan dalam jaringan syaraf tiruan *feedforward* adalah *mean square error* (MSE), yaitu *error* kuadrat rata-rata antara *output* dan *target* dari jaringan syaraf tiruan. Persamaan dari MSE adalah sebagai berikut^[19]:

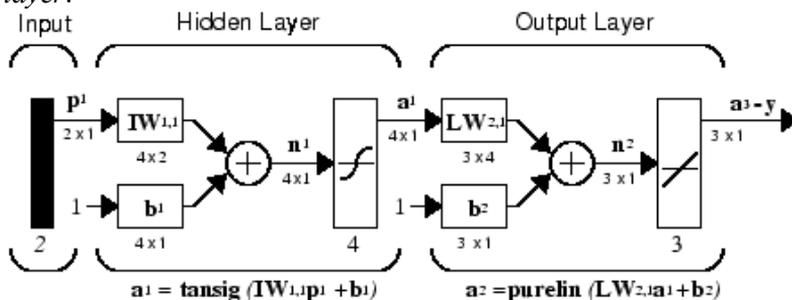
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (2.11)$$

Dimana N adalah jumlah pasangan data yang digunakan dalam JST, t_i adalah hasil perhitungan dari JST dan a_i adalah data target yang dimasukkan ke JST.

Langkah lain yang dapat dilakukan untuk memvalidasi hasil dari jaringan syaraf tiruan adalah dengan membuat *regression plot*. *Regression plot* ini memperlihatkan hubungan antara *output* dari jaringan syaraf tiruan dengan *target* yang dimasukkan ke dalam jaringan dalam proses pelatihan maupun validasi. Dari *regression plot* akan didapatkan nilai R , yaitu nilai yang mengindikasikan hubungan antara *output* dengan *target*. Untuk hubungan *output* dan *target* yang benar-benar linear akan didapatkan nilai $R=1$, namun hal ini hampir tidak pernah ditemukan dalam praktik penggunaan jaringan syaraf tiruan. Dengan nilai R di atas 0,93 maka sudah didapatkan hubungan *output* dan *target* yang baik untuk semua keadaan^[19].

2.2.7 Pelatihan Backpropagation dan Levenberg-Marquardt

Berikut ini adalah gambar arsitektur jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dengan fungsi aktivasi *tangent sigmoid* (*tansig*) pada *hidden layer* dan fungsi aktivasi linear (*purelin*) pada *output layer*.



Gambar 2.21 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*^[19]

Setelah bobot dan bias diinisialisasi, jaringan syaraf tiruan telah siap untuk dilatih. Pelatihan jaringan syaraf tiruan ini sendiri dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu propagasi maju, propagasi mundur, dan perubahan bobot^[14].

- Pelatihan Backpropagation

Pada tahapan propagasi maju, sinyal (nilai) dari *input layer* diteruskan ke *hidden layer* dengan dikalikan bobot. Kemudian nilai tersebut dimasukkan ke dalam fungsi aktivasi untuk kemudian diteruskan ke *output layer*, yang sebelumnya juga dikalikan nilai bobot tertentu. Dari *output layer* akan dihasilkan nilai *output* yang kemudian dibandingkan dengan nilai *target* yang telah diinisialisasi. Apabila *error* antara *output* dengan target sudah bernilai kurang dari batas yang ditentukan, iterasi akan berhenti. Sebaliknya jika *error* masih lebih besar maka akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya untuk mengubah nilai bobot.

Pada tahapan propagasi mundur, akan dihitung faktor *error* (δ_k) yang kemudian akan digunakan untuk mengubah bobot pada *output layer* dan δ_j untuk mengubah bobot pada *hidden layer*. Seluruh bobot dari tiap *node* pada *output layer* maupun *hidden layer* memiliki nilai δ yang berbeda, yang masing-masing akan dihitung pada tahapan ini.

Pada tahapan perubahan bobot, seluruh bobot dari tiap *node* pada *output layer* maupun *hidden layer* akan diubah berdasarkan nilai δ masing-masing. Ketiga tahapan ini akan diulang terus menerus hingga tercapai kondisi penghentian yang ditentukan.

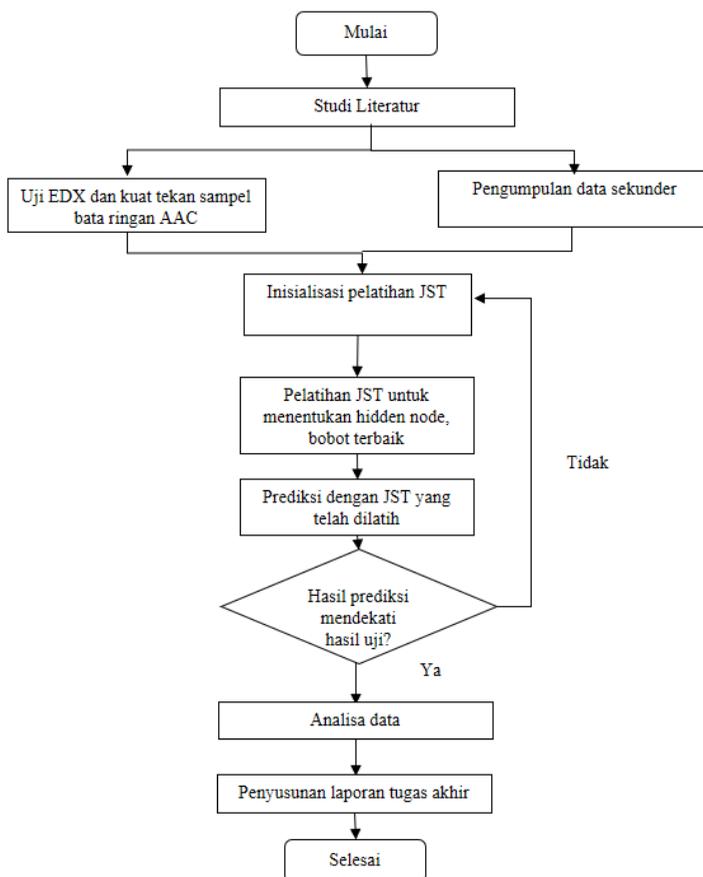
- Pelatihan *Levenberg-Marquardt*

Pelatihan *Levenberg-Marquardt* merupakan pengembangan dari pelatihan *backpropagation*, dimana perbedaan dari keduanya adalah pada cara perubahan bobotnya. Pelatihan *Levenberg-Marquardt* melakukan *update* bobot dengan menghitung pendekatan terhadap matriks Hessian. Hasilnya adalah algoritma pelatihan yang lebih cepat dan efisien, serta memiliki performansi yang baik^[19].

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir dari tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Tugas Akhir

Tahap demi tahap penelitian sebagaimana diilustrasikan dalam *flowchart* di atas dijabarkan pada subbab-subbab berikut.

3.1 Pengumpulan data primer dan sekunder

Data primer diambil dari hasil pengujian sebanyak 4 jenis bata ringan AAC yang tersedia di pasaran. Data primer ini nantinya akan digunakan sebagai *input* untuk prediksi dengan jaringan syaraf tiruan. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah:

- Uji EDX

Pengujian EDX dilakukan terhadap 4 sampel bata ringan AAC, dimana tiap sampel diambil 4 titik untuk diuji. Hasil dari uji EDX berupa data komposisi unsur-unsur penyusun bata ringan AAC.

- Uji kuat tekan

Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada 4 sampel bata ringan, dengan masing-masing sampel berdimensi 10 cm x 10 cm x 10 cm Uji kuat tekan dilakukan dengan memberikan tekanan tertentu pada permukaan sampel hingga sampel hancur, sesuai dengan standar metode pengujian kuat tekan beton (SNI 03-1974-1990).

- Pengukuran densitas

Pengukuran densitas dilakukan dengan menimbang 4 sampel bata ringan AAC. Sampel yang ditimbang masing-masing berdimensi 20 cm x 20 cm x 10 cm.

Data sekunder diambil dari sejumlah penelitian terdahulu ^[20-24] yang meneliti pengaruh komposisi AAC terhadap kekuatan tekannya. Data-data yang diambil dari penelitian terdahulu diantaranya adalah data komposisi penyusun bata ringan AAC, data densitas, dan data kekuatan tekan bata ringan AAC. Statistik dari data sekunder ini dapat dilihat pada Tabel 3.1. Data sekunder ini nantinya akan digunakan sebagai data *input* dan *target* untuk *training* dengan jaringan syaraf tiruan.

Tabel 3.1 Statistik data sekunder

<i>Input/Target</i>	Jumlah Data	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>mean</i>	Standar Deviasi
wt% Ca	47	10,09	25,09	20,94	2,99
wt% Si	47	12,5	27,21	18,50	3,40
wt% Al	47	1,6	10,32	6,08	2,47
wt% O	47	31,21	46,01	39,28	4,95
Densitas	47	536	1219	665,05	120,98
Kuat Tekan	47	2,09	13,92	5,26	2,64

Desain matriks *input/target* untuk tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3.2. Disini komposisi unsur-unsur yang diambil hanya Ca, Si, Al, dan O dikarenakan ketiga unsur ini merupakan unsur penyusun utama dari bata ringan AAC, dan yang paling mempengaruhi kekuatan tekannya.

Tabel 3.2 Matriks *input/target* proses simulasi kuat tekan dengan jaringan syaraf tiruan

Sampel AAC	<i>Input</i>				Densitas (kg/m ³)	<i>Target</i> Kuat Tekan (MPa)
	Rasio Komposisi (wt%)					
	Ca	Si	Al	O		
AAC-a						
AAC-b						
AAC-c						
AAC-d						

Komposisi unsur Ca dan Si dari sampel AAC dikonversi menjadi komposisi senyawa CaO dan SiO₂ dengan menggunakan perbandingan massa atom (*Ar*) Ca dan Si dengan massa senyawa (*Mr*) CaO dan SiO₂. Komposisi CaO dan SiO₂ kemudian dibandingkan untuk mencari rasio keduanya, dimana rasio CaO/SiO₂ merepresentasikan fasa yang terkandung dalam AAC. Tabel 3.3 memperlihatkan matriks dari rasio CaO/SiO₂ ini.

Tabel 3.3 Matriks rasio CaO/SiO₂ sampel AAC

Sampel	Komposisi CaO (wt%)	Komposisi SiO ₂ (wt%)	Rasio CaO/SiO ₂
AAC-a			
AAC-b			
AAC-c			
AAC-d			

3.2 Pelatihan dengan JST

Sebagaimana dijelaskan di atas, data yang digunakan untuk pelatihan dengan JST adalah data sekunder. Didapatkan sejumlah 47 pasang data sekunder, yang dapat dilihat secara detail pada Lampiran A. Dengan matriks *input/target* sebagaimana pada tabel di atas, pelatihan jaringan syaraf tiruan dalam tugas akhir ini dilakukan dengan *software* MATLAB R2012a. Tahapan-tahapan dalam pelatihan JST dengan MATLAB adalah sebagai berikut:

- Inisialisasi *input* dan target

Awalnya dilakukan pengenalan (inisialisasi) data *input* dan *target* pada JST yang nanti akan digunakan dalam pelatihan JST. Dalam pemrograman MATLAB pada tugas akhir ini, data *input* dan *target* diambil dari file Ms. Excel, dengan perintah “xlsread”.

```
input = transpose(xlsread('tugasakhir.xls',
'Input2', 'A2:E48' ));
target = transpose(xlsread('tugasakhir.xls',
'Target', 'A2:A48' ));
```

- Normalisasi data *input* dan *target*

Data *input* dan *target* kemudian dinormalisasi agar bernilai antara 1 dan -1 dengan menggunakan perintah “mapminmax”. Persamaan dari perintah “mapminmax” ini adalah sebagai berikut^[19]:

$$y = \frac{(y_{max}-y_{min})*(x-x_{min})}{(x_{max}-x_{min})} + y_{min} \quad (2.10)$$

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

- Inisialisasi jaringan syaraf tiruan

Kemudian dilakukan inisialisasi jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan perintah “newff”, dimana JST yang digunakan adalah *feedforward*. “pn” dan “tn” adalah data *input* dan *target* yang telah dinormalisasi sebagaimana pada proses sebelumnya. “8” adalah jumlah *node hidden layer* yang digunakan. Sementara “tansig” dan “purelin” adalah fungsi aktivasi yang digunakan, dimana perintah “tansig” menunjukkan bahwa fungsi aktivasi dari *input layer* ke *hidden layer* adalah fungsi *tangent sigmoid*, dan perintah “purelin” menunjukkan fungsi aktivasi dari *hidden layer* ke *output layer* adalah fungsi linear. Perintah “trainlm” menunjukkan bahwa algoritma pelatihan yang digunakan JST adalah *levenberg-marquardt*

```
net = newff(pn, tn, 8, {'tansig','purelin'},
'trainlm');
```

- Penentuan parameter pelatihan

Dalam proses pelatihan JST dengan algoritma *levenberg-marquardt*, ada beberapa parameter yang perlu ditentukan. Dalam tugas akhir ini parameter yang ditentukan adalah jumlah *epoch* dengan perintah “net.trainParam.epochs” dan batas nilai *mean square error* yang diinginkan dengan perintah “net.trainParam.goal”. Adapun parameter-parameter lain, maka digunakan aturan *default* dari MATLAB untuk memudahkan.

Selain itu, data *input* dan *target* juga dibagi sebanyak 80% untuk *training* dan 20% untuk validasi dengan perintah “net.divideParam.trainRatio” dan “net.divideParam.valRatio”.

```

net.trainParam.epochs = 1000;
net.trainParam.showCommandLine = true;
net.trainParam.goal = 1e-5;
net.trainParam.show = 1;

net.divideParam.trainRatio = 80/100;
net.divideParam.valRatio = 20/100;
net.divideParam.testRatio = 0/100;

```

- Proses pelatihan

Untuk proses pelatihan, jaringan syaraf tiruan yang telah diinisialisasi dipanggil kembali. Perintah “init” digunakan untuk memulai pelatihan. Kemudian dengan perintah “train” jaringan syaraf tiruan ini akan dilatih terhadap data *input* “pn” dan *target* “tn”. Disini “tr” berfungsi untuk merekam (*record*) *plot* dari performansi jaringan syaraf tiruan.

```

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

```

- Menampilkan bobot akhir

Bobot diberikan dengan cara acak atau *random* ketika akan memulai pelatihan. Bobot adalah angka-angka yang diletakkan pada serabut-serabut penghubung tiap *node* pada jaringan saraf tiruan. Secara sederhana bobot dapat dikatakan sebagai pengali atau koefisien nilai dari *input* yang kemudian akan diteruskan ke fungsi aktivasi sebelum akhirnya sampai pada *layer* selanjutnya. Bobot akhir yang didapatkan setelah pelatihan selesai akan ditampilkan dengan perintah-perintah di bawah. Disini “iw” adalah bobot dari *layer input* ke *hidden layer*, “lw” bobot dari *hidden layer* ke *layer output*, “b” adalah bias baik dari *input* ke *hidden* maupun *hidden* ke *output*.

```

q = net.iw{1,1};
qw = net.lw{2,1};
b = net.b{1};
bw = net.b{2};

```

- Menyimpan jaringan syaraf tiruan

Jaringan syaraf tiruan yang telah dilatih akan disimpan beserta bobot akhirnya dengan perintah “save”. Jaringan terbaik akan digunakan untuk melakukan prediksi.

```
save unsurx_y
```

3.3 Prediksi dengan JST

Sebelum memulai prediksi, perlu ditentukan jumlah *node hidden layer* dan bobot dari JST yang digunakan untuk melakukan prediksi. Untuk menentukan hal tersebut maka dilakukan pelatihan pada variasi *node hidden layer* tertentu untuk menentukan pada *node* berapa JST terbaik akan didapatkan. Parameter yang dipakai untuk menentukan JST yang terbaik adalah *mean square error* (MSE) pelatihan (*training*) dan validasi. Matriks untuk pelatihan dengan variasi *node hidden layer* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Matriks Pelatihan dengan variasi jumlah *hidden node*

Jumlah <i>hidden node</i>	MSE <i>training</i>	MSE <i>validation</i>
1 <i>node</i>		
2 <i>node</i>		
3 <i>node</i>		
4 <i>node</i>		
5 <i>node</i>		
6 <i>node</i>		
7 <i>node</i>		
8 <i>node</i>		
9 <i>node</i>		
10 <i>node</i>		

Setelah didapatkan JST dengan *hidden node* terbaik, kemudian dilakukan prediksi dengan menggunakan perintah “sim”. Sebagaimana dijelaskan di atas, data yang digunakan dalam

prediksi adalah data primer. Maka perlu dilakukan inisialisasi dan normalisasi *input* kembali dengan memanggil data primer.

```
n1new = sim(net, y1new);
```

Setelah dilakukan prediksi dengan data *input* dari data primer, hasil prediksi akan dibandingkan dengan hasil uji dari data primer tersebut berupa data kekuatan tekan AAC. Matriks dari perbandingan hasil prediksi dengan hasil uji kuat tekan ini dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Matriks perbandingan hasil prediksi dengan hasil uji AAC

Sampel	Kuat Tekan Uji (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)
AAC-a		
AAC-b		
AAC-c		
AAC-d		

Kemudian juga dilakukan simulasi untuk melihat pengaruh komposisi Ca, Si, Al, O, dan densitas terhadap kuat tekan. Ini dilakukan dengan memvariasikan data *input* yang disimulasikan dan menyamakan data *input* lainnya dengan cara mengambil nilai rata-ratanya saja. Misalnya, untuk simulasi pengaruh komposisi Ca terhadap kuat tekan, data *input* komposisi Ca divariasikan, sementara data *input* komposisi Si, Al, dan data densitas disamakan untuk seluruh pasang data yang ada.

Simulasi juga dilakukan untuk melihat pengaruh temperatur kerja AAC terhadap kekuatan tekan AAC. Data *input* yang digunakan dalam simulasi ini adalah data yang sama dengan yang digunakan dalam simulasi pengaruh komposisi dan densitas, hanya saja pada simulasi temperatur ditambahkan data temperatur untuk masing-masing pasang data sebesar 25 °C. Temperatur ini

merupakan temperatur ruang dimana AAC diuji kekuatan tekannya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bata Ringan AAC

Matriks hasil dari pengujian-pengujian yang dilakukan pada bata ringan, sebagaimana dijelaskan pada bagian 3.1, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian bata ringan AAC

Sampel AAC	<i>Input</i>				Densitas (kg/m ³)	<i>Target</i>
	Rasio Komposisi (wt%)					Kuat Tekan (MPa)
	Ca	Si	Al	O		
AAC-a	30,74	27,37	1,67	38,79	592,55	4,95
AAC-b	29,62	25,89	1,69	41,19	606,97	5,59
AAC-c	51,50	5,56	0,00	41,80	508,62	2,61
AAC-d	49,88	10,16	0,00	38,71	631,57	4,88

Dapat dilihat dari tabel di atas bahwa sampel AAC-c dan AAC-d tidak memiliki komposisi Al. Ini kemungkinan terjadi karena pada proses pembuatannya *expansion agent* yang digunakan bukan *aluminium powder*, melainkan jenis lain seperti hidrogen peroksida (H₂O₂). Selain itu, sampel AAC-c juga memiliki kekuatan tekan paling rendah, dimana densitas dari sampel tersebut juga yang paling rendah. Terjadinya hubungan non-linear antara densitas dengan kekuatan tekan AAC dapat disebabkan karena kondisi lingkungan dalam penyimpanan bata ringan AAC yang beragam, dimana kelembaban lingkungan dapat mempengaruhi densitas dari bata ringan AAC.

Rasio komposisi CaO/SiO₂ dari keempat sampel AAC dapat dilihat pada Tabel 4.2. Rasio CaO/SiO₂ untuk sampel AAC-a dan AAC-b yang masing-masing bernilai 0,73 dan 0,75 tidak jauh

nilainya dari *range* 0,8 – 1,5 yang merupakan rasio dimana fasa *tobermorite* dapat terbentuk. Sementara untuk sampel AAC-b dan AAC-d didapatkan nilai rasio yang cukup jauh dari *range* 0,8 – 1,5 tersebut. Ini menunjukkan bahwa fasa yang dominan terbentuk pada sampel AAC-c dan AAC-d adalah bukan fasa *tobermorite*.

Tabel 4.2 Rasio CaO/SiO₂ sampel AAC

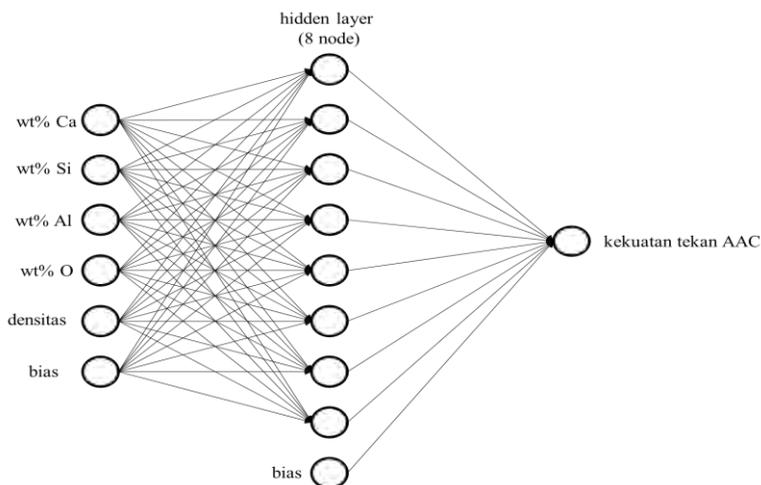
Sampel	Komposisi CaO (wt%)	Komposisi SiO ₂ (wt%)	Rasio CaO/SiO ₂
AAC-a	43,00	58,55	0,734415
AAC-b	41,44	55,39	0,748149
AAC-c	72,05	11,90	6,054622
AAC-d	69,79	21,72	3,213168

4.2 Hasil Pelatihan dengan Variasi Hidden Node

Dari pelatihan menggunakan data *input* dari data primer dengan memvariasikan *hidden node* JST, didapatkan hasil *mean square error* pelatihan dan validasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3. Dapat dilihat dari hasil pelatihan tersebut bahwa pada jumlah *hidden node* 4 dan 8 didapatkan *mean square error* validasi yang paling kecil. Perbedaan *mean square error* validasi pada 4 *node* dan 8 *node* tidak terlalu signifikan. Akan tetapi bila dibandingkan *mean square error* pelatihan keduanya, maka *hidden node* 8 yang memiliki nilai MSE pelatihan terbaik. Oleh sebab itu maka jaringan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah jaringan dengan *hidden node* 8. Arsitektur jaringan syaraf tiruan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1.

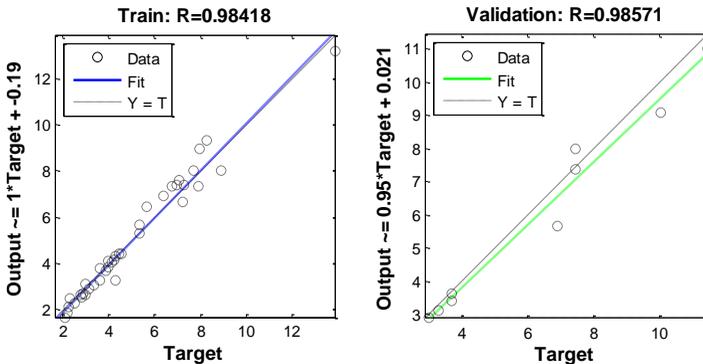
Tabel 4.3 Hasil Pelatihan dengan Variasi *Hidden Node*

Jumlah <i>hidden node</i>	MSE pelatihan	MSE validasi
1 <i>node</i>	0,008196667	0,02213
2 <i>node</i>	0,02491	0,015293
3 <i>node</i>	0,003757	0,024276667
4 <i>node</i>	0,006014333	0,014428333
5 <i>node</i>	0,003374333	0,019144333
6 <i>node</i>	0,001591767	0,026366
7 <i>node</i>	0,0022111	0,04877
8 <i>node</i>	0,001605667	0,01455
9 <i>node</i>	0,001826333	0,140697333
10 <i>node</i>	0,001190367	0,041153333

**Gambar 4.1** Arsitektur jaringan syaraf tiruan dengan 8 *hidden node*

Dalam pelatihan dengan 8 *hidden node* yang dilakukan, didapatkan plot regresi sebagaimana pada Gambar 4.2. Dapat

dilihat bahwa untuk *training* maupun validasi dengan jaringan syaraf tiruan menggunakan 8 *hidden node*, didapatkan nilai R (koefisien determinasi) masing-masing sebesar 0,98418 dan 0,98571. Nilai R ini menunjukkan hubungan antara *output* dengan *target* dalam proses pelatihan maupun validasi. Nilai R yang lebih dari 0,93 menunjukkan bahwa data *output* yang dihasilkan dalam pelatihan maupun validasi sudah mendekati data *target* yang dimasukkan dalam JST^[19]. Sementara garis *fit* berwarna biru dan kuning yang mendekati garis putus-putus menunjukkan bahwa nilai Y (*output*) juga mendekati nilai T (*target*).



Gambar 4.2 Plot regresi pelatihan dan validasi

4.3 Hasil Prediksi dengan Jaringan Syaraf Tiruan

Pada Tabel 4.4 diperlihatkan hasil prediksi menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan 8 *hidden node* sebagaimana di atas. Dapat dilihat bahwa hasil prediksi kuat tekan yang menggunakan data primer sebagai *input* tidak menyimpang terlalu jauh dari hasil uji yang dilakukan. Ini menunjukkan jaringan syaraf tiruan yang dikembangkan dapat melakukan prediksi pengaruh komposisi unsur-unsur penyusun terhadap kekuatan tekan AAC.

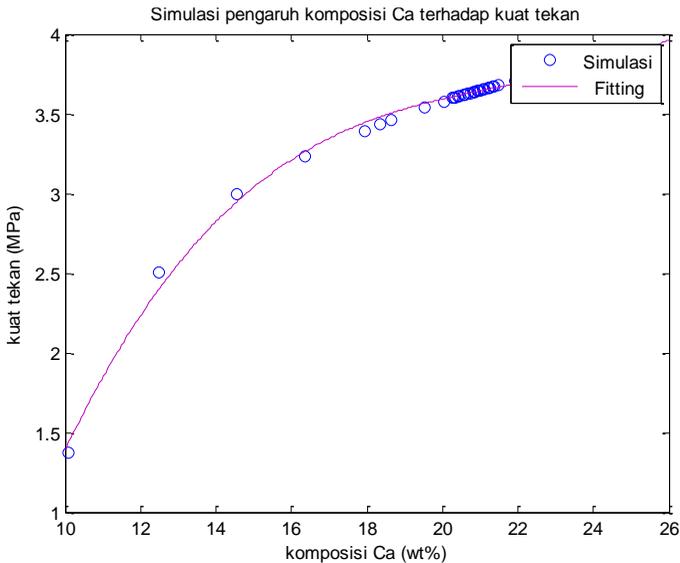
Tabel 4.4 Hasil prediksi dengan JST

Sampel	Kuat Tekan Uji (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)
AAC-a	4,95469	4,802
AAC-b	5,5875	5,2389
AAC-c	2,60781	3,2298
AAC-d	4,88281	3,6663

4.4 Hasil Simulasi dengan Jaringan Syaraf Tiruan

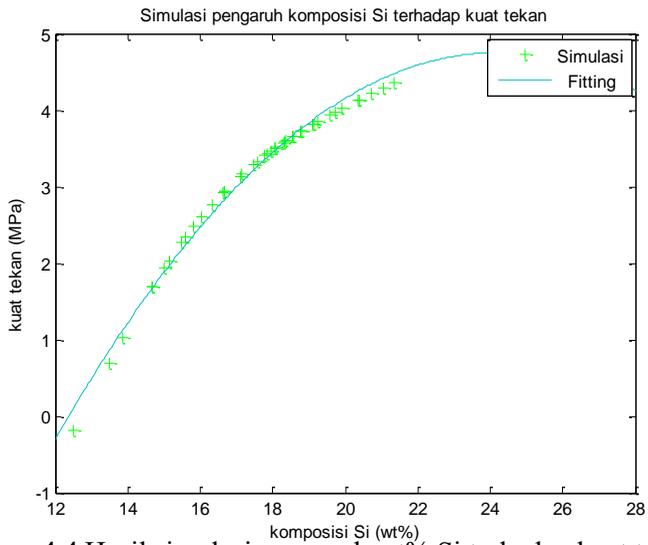
Pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.7 diperlihatkan hasil simulasi dari pengaruh komposisi dan densitas terhadap kekuatan tekan bata ringan AAC. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa secara umum komposisi Ca, Si, O, dan densitas dari AAC berpengaruh positif terhadap kekuatan tekannya, meskipun masing-masing dengan *trend* yang berbeda. Semakin tinggi komposisi Ca, Si, O, serta densitas bata ringan AAC akan didapatkan kekuatan tekan AAC yang semakin tinggi pula. Ini sesuai dengan teori yang dijelaskan pada subbab 2.1 bahwa naiknya densitas dari AAC akan mengakibatkan kenaikan kuat tekannya.

Selanjutnya, bila diperhatikan dari nilai kekuatan tekan yang dihasilkan dari simulasi, didapatkan bahwa kekuatan tekan yang dihasilkan tidak keluar jauh dari rentang minimum dan maksimum data kekuatan tekan yang digunakan sebagai *target*, yaitu dari 2,09 - 13,92 MPa. Ini juga menunjukkan bahwa hasil simulasi yang dilakukan sudah cukup akurat karena data *input* yang digunakan dalam simulasi ini hakikatnya adalah sama dengan data *input* pada proses *training*, hanya saja data *input* disini divariasikan salah satunya, dan yang lain disamakan dengan cara dirata-ratakan.

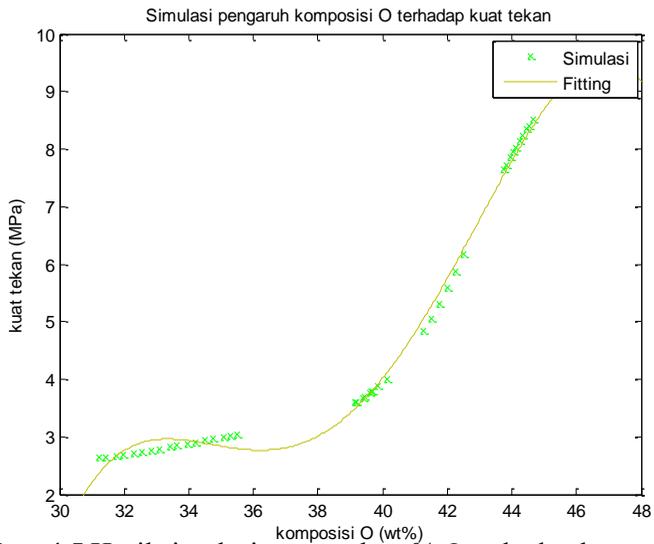


Gambar 4.3 Hasil simulasi pengaruh wt% Ca terhadap kuat tekan

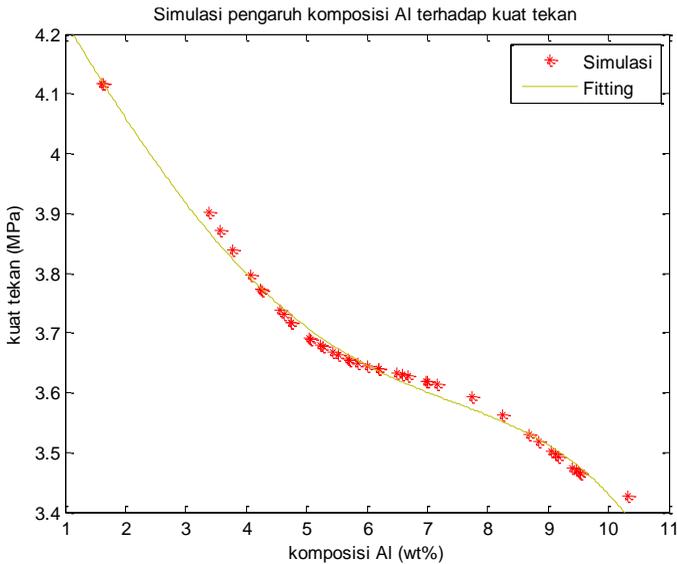
Secara umum, dari hasil simulasi didapatkan bahwa komposisi unsur Ca, Si dan O berbanding lurus dengan kekuatan tekan, sebagaimana dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5. Kemungkinan ini disebabkan karena Ca, Si dan O adalah unsur utama penyusun bata ringan AAC. Ca, Si, O adalah unsur pembentuk fasa utama dalam AAC, yaitu *tobermorite*. Keberadaan dan banyak sedikitnya fasa *tobermorite* ini sendiri juga mempengaruhi kekuatan tekan dari AAC. Sebagaimana yang dijelaskan pada subbab 2.1 bahwa terbentuknya fasa *tobermorite* yang stabil menyebabkan kekuatan tekan bata ringan AAC meningkat.



Gambar 4.4 Hasil simulasi pengaruh wt% Si terhadap kuat tekan

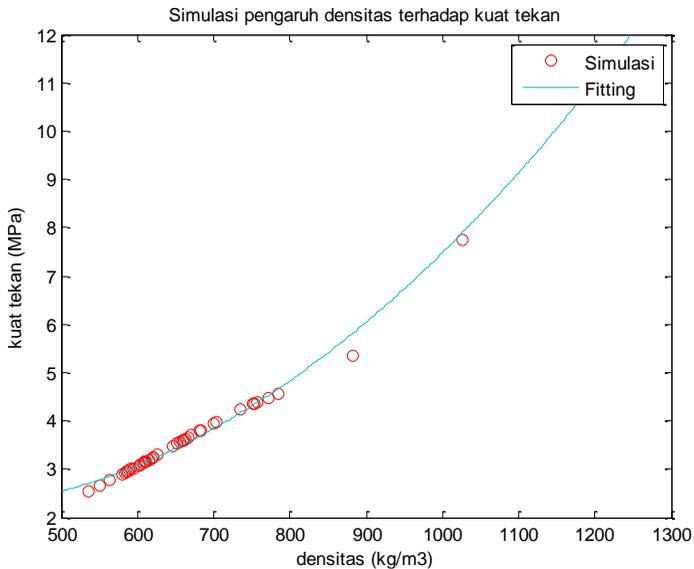


Gambar 4.5 Hasil simulasi pengaruh wt% O terhadap kuat tekan



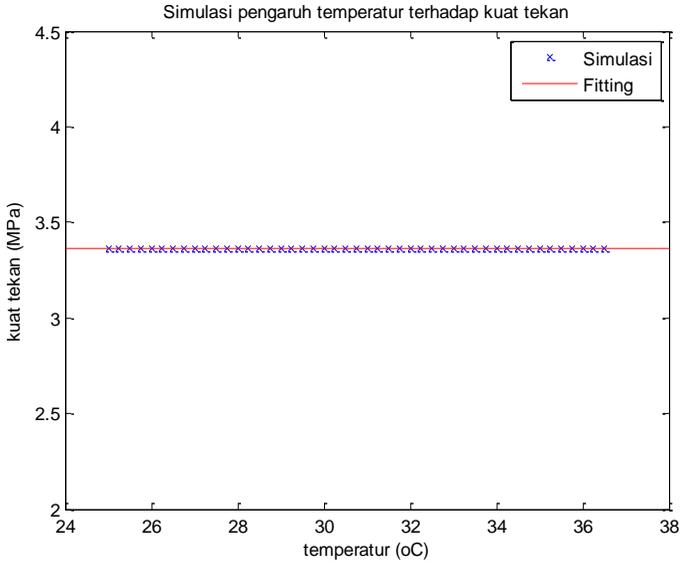
Gambar 4.6 Hasil simulasi pengaruh wt% Al terhadap kuat tekan

Pada Gambar 4.6, hasil simulasi menunjukkan bahwa komposisi Al berbanding terbalik terhadap kekuatan tekan AAC. Semakin tinggi komposisi Al, kekuatan tekan AAC semakin rendah. Hal ini tidak lain karena, Al adalah unsur yang digunakan sebagai *expansion agent* dalam proses pembuatan AAC. Maka dengan semakin banyaknya *expansion agent* yang digunakan dalam proses fabrikasinya, akan timbul semakin banyak pori di dalam bata ringan AAC. Hal ini menyebabkan porositas dari AAC akan naik, dan dengan semakin banyak pori yang terbentuk ini akan menurunkan densitas dari AAC. Sebagaimana dijelaskan pada subbab 2.1, turunnya densitas akan mengakibatkan turunnya kekuatan tekan, yang juga ditunjukkan pada hasil simulasi pengaruh densitas terhadap kuat tekan (Gambar 4.7).



Gambar 4.7 Hasil simulasi pengaruh densitas terhadap kuat tekan

Hasil simulasi pengaruh densitas terhadap kekuatan tekan dari bata ringan AAC ditunjukkan pada Gambar 4.7. Dapat dilihat bahwa densitas pada rentang antara 500 – 1100 kg/m³ berbanding lurus terhadap kekuatan tekan AAC. Semakin tinggi densitas dari bata ringan AAC, akan semakin tinggi pula kekuatannya. Hal ini sebagaimana dijelaskan pada subbab 2.1 bahwa densitas berbanding lurus terhadap kuat tekan AAC. Kekuatan tekan yang dihasilkan pada simulasi pengaruh densitas terhadap kuat tekan AAC ini juga tidak keluar dari rentang minimum dan maksimum data *target* yang dimasukkan dalam jaringan syaraf tiruan, yaitu 2,09 - 13,92 MPa.



Gambar 4.8 Hasil simulasi pengaruh temperatur terhadap kuat tekan

Gambar 4.8 menunjukkan simulasi pengaruh temperatur kerja terhadap kekuatan tekan bata ringan AAC. Dapat dilihat bahwa temperatur pada rentang 25 – 37 °C tidak mempengaruhi kekuatan tekan AAC. Dapat dipahami bahwa hal ini terjadi karena data *input* berupa temperatur yang dimasukkan ke jaringan syaraf tiruan dalam proses pelatihan tidak bervariasi, dimana tiap pasang data dimasukkan temperatur 25 °C. Seandainya rentang temperatur yang dimasukkan sebagai *input* ke jaringan syaraf tiruan dalam simulasi dinaikkan, dapat diperkirakan bahwa kekuatan tekan tidak berubah karena *input* dalam proses pelatihan yang dimasukkan tidak bervariasi.

LAMPIRAN A

Tabel A.1 Data input/target untuk pelatihan JST

No.	Input						Target
	Ca	Si	Al	O	Densitas (kg/m ³)	Temp-eratur (°C)	Kuat Tekan (MPa)
1	20,29	14,69	7,17	31,21	581	25	2,09
2	20,34	15,01	6,98	31,43	583	25	2,18
3	20,42	15,5	6,69	31,76	586	25	2,25
4	20,47	15,83	6,49	31,98	585	25	2,54
5	20,55	16,32	6,2	32,31	587	25	2,84
6	20,61	16,65	6,01	32,53	589	25	2,97
7	20,68	17,14	5,72	32,86	595	25	3,15
8	20,74	17,46	5,52	33,09	602	25	3,35
9	20,82	17,95	5,23	33,42	608	25	3,64
10	20,87	18,28	5,04	33,64	608	25	3,72
11	20,95	18,77	4,75	33,97	609	25	3,88
12	21	19,09	4,55	34,19	609	25	3,96
13	21,08	19,58	4,26	34,52	611	25	4,12
14	21,13	19,91	4,07	34,74	612	25	4,24
15	21,21	20,4	3,78	35,07	615	25	4,3
16	21,26	20,73	3,58	35,29	618	25	4,43
17	21,32	21,05	3,39	35,51	621	25	4,56
18	24,55	27,21	1,6	42,51	1219	25	13,92
19	24,61	26,79	1,61	42,26	1026	25	11,45
20	24,68	26,37	1,62	42,01	882	25	7,98

21	24,74	25,96	1,63	41,76	754	25	7,21
22	24,8	25,54	1,64	41,51	671	25	5,35
23	19,54	16,63	7,01	43,76	647	25	5,37
24	20,92	15,6	6,58	43,95	656	25	6,9
25	22,15	14,69	6,19	44,12	735	25	7,28
26	23,74	13,5	5,69	44,33	785	25	8,93
27	25,09	12,5	5,27	44,52	771	25	6,97
28	18,36	19,24	5,84	43,83	664	25	7,94
29	20,04	17,86	5,43	44,05	751	25	8,29
30	21,49	16,67	5,07	44,23	757	25	10,06
31	23,34	15,15	4,62	44,46	703	25	6,74
32	24,88	13,88	4,24	44,66	700	25	6,37
33	10,09	21,33	10,32	45,8	661	25	7,08
34	12,49	19,71	9,52	45,87	666	25	7,45
35	14,56	18,31	8,84	45,92	683	25	7,7
36	16,37	17,09	8,25	45,97	681	25	7,45
37	17,93	16,04	7,73	46,01	659	25	5,64
38	20,28	19,12	9,41	40,12	620	25	3,6
39	20,84	18,82	9,46	39,86	626	25	3,7
40	21,37	18,53	9,53	39,61	550	25	2,8
41	21,23	18,57	9,54	39,68	536	25	2,3
42	21,92	18,37	9,06	39,65	592	25	3
43	22,47	18,08	9,12	39,39	564	25	2,9
44	22,41	18,07	9,12	39,44	610	25	3,3
45	22,99	17,77	9,17	39,17	605	25	3
46	23,68	17,57	8,69	39,14	652	25	4,3
47	18,66	20,36	4,75	41,27	610	25	4

LAMPIRAN B

Tabel B.1 Rasio CaO/SiO₂ data sekunder

No.	CaO (wt%)	SiO ₂ (wt%)	Rasio CaO/SiO ₂
1	28,39	31,42	0,903565
2	28,46	32,12	0,886052
3	28,57	33,17	0,86132
4	28,65	33,87	0,845881
5	28,76	34,91	0,823833
6	28,83	35,61	0,809604
7	28,94	36,66	0,789416
8	29,02	37,36	0,776767
9	29,13	38,4	0,758594
10	29,2	39,1	0,746803
11	29,31	40,15	0,730012
12	29,38	40,85	0,719217
13	29,49	41,9	0,703819
14	29,57	42,59	0,694294
15	29,68	43,64	0,68011
16	29,75	44,34	0,670952
17	29,83	45,04	0,6623
18	34,79	58,46	0,595108
19	34,88	57,56	0,605976
20	34,97	56,66	0,61719
21	35,05	55,76	0,628587
22	35,14	54,86	0,64054
23	29,92	35,6	0,840449
24	34,29	33,4	1,026647
25	38,16	31,45	1,213355

26	43,19	28,92	1,49343
27	47,45	26,77	1,772507
28	32,7	41,2	0,793689
29	37,52	38,25	0,980915
30	41,67	35,69	1,167554
31	46,98	32,44	1,448212
32	51,39	29,73	1,728557
33	16,83	45,68	0,368433
34	23,01	42,2	0,545261
35	28,33	39,21	0,72252
36	32,97	36,61	0,900574
37	36,99	34,35	1,076856
38	28,75	41,43	0,693942
39	29,59	40,87	0,724003
40	30,41	40,32	0,754216
41	30,21	40,4	0,747772
42	31,07	39,82	0,780261
43	31,91	39,26	0,812787
44	31,83	39,25	0,810955
45	32,71	38,65	0,846313
46	33,57	38,08	0,881565
47	25,68	43,57	0,589396

LAMPIRAN C

Source Code Pelatihan JST

```
clc;
clear;

% inisialisasi input dan target
input = transpose(xlsread('tugasakhir.xls',
'Input2', 'A2:E48' ));
target = transpose(xlsread('tugasakhir.xls',
'Target', 'A2:A48' ));

% normalisasi data
[pn,ps] = mapminmax(input);
[tn,ts] = mapminmax(target);
% inisialisasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST)
net = newff(pn, tn, 8, {'tansig','purelin'},
'trainlm');

% parameter pelatihan
net.trainParam.epochs = 1000;
% batas epoch
net.trainParam.showCommandLine = true;
% menampilkan output command line
net.trainParam.goal = 1e-5;
% batas nilai mean square error
net.trainParam.show = 1;
% menampilkan parameter training
net.divideParam.trainRatio = 80/100;
net.divideParam.valRatio = 20/100;
net.divideParam.testRatio = 0/100;

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

% Menampilkan Bobot
q = net.iw{1,1};
```

```
qw = net.lw{2,1};  
b = net.b{1};  
bw = net.b{2};
```

```
% Menyimpan JST  
save unsurx_y
```

Source Code Prediksi dan Simulasi dengan JST

```
input_test =  
transpose(xlsread('tugasakhir.xls',  
'Test_Input', 'A2:E5' ));  
input_testc =  
transpose(xlsread('tugasakhir.xls', 'Test_Ca',  
'A2:E48' ));  
input_tests =  
transpose(xlsread('tugasakhir.xls', 'Test_Si',  
'A2:E48' ));  
input_testa =  
transpose(xlsread('tugasakhir.xls', 'Test_Al',  
'A2:E48' ));  
input_testo =  
transpose(xlsread('tugasakhir.xls', 'Test_O',  
'A2:E48' ));  
input_testd =  
transpose(xlsread('tugasakhir.xls',  
'Test_Density', 'A2:E48' ));  
  
y1new = mapminmax('apply', input_test, ps);  
y2new = mapminmax('apply', input_testc, ps);  
y3new = mapminmax('apply', input_tests, ps);  
y4new = mapminmax('apply', input_testa, ps);  
y5new = mapminmax('apply', input_testo, ps);  
y6new = mapminmax('apply', input_testd, ps);  
  
n1new = sim(net, y1new);  
n2new = sim(net, y2new);  
n3new = sim(net, y3new);  
n4new = sim(net, y4new);  
n5new = sim(net, y5new);
```

```

n6new = sim(net,y6new);

simulasi_dataprimer =
mapminmax('reverse',n1new,ts)
simulasi_Ca = mapminmax('reverse',n2new,ts)
simulasi_Si = mapminmax('reverse',n3new,ts)
simulasi_Al = mapminmax('reverse',n4new,ts)
simulasi_O = mapminmax('reverse',n5new,ts)
simulasi_Density =
mapminmax('reverse',n6new,ts)

transpose_simulasi_dataprimer =
simulasi_dataprimer'
transpose_simulasi_Ca = simulasi_Ca'
transpose_simulasi_Si = simulasi_Si'
transpose_simulasi_Al = simulasi_Al'
transpose_simulasi_O = simulasi_O'
transpose_simulasi_Density = simulasi_Density'

Simulasi = transpose_simulasi_dataprimer

figure (1)
input_test_transposec = input_testc'
plot(input_test_transposec(1:47,1),transpose_si
mulasi_Ca, 'bo')
title('Simulasi pengaruh komposisi Ca terhadap
kuat tekan')
xlabel('komposisi Ca (wt%)')
ylabel('kuat tekan (MPa)')

figure (2)
input_test_transposes = input_tests'
plot(input_test_transposes(1:47,2),transpose_si
mulasi_Si, 'g+')
title('Simulasi pengaruh komposisi Si terhadap
kuat tekan')
xlabel('komposisi Si (wt%)')
ylabel('kuat tekan (MPa)')

figure (3)

```

```
input_test_transposea = input_testa'  
plot(input_test_transposea(1:47,3),transpose_si  
mulasi_Al, 'r*')  
title('Simulasi pengaruh komposisi Al terhadap  
kuat tekan')  
xlabel('komposisi Al (wt%)')  
ylabel('kuat tekan (MPa)')
```

```
figure (4)  
input_test_transposeo = input_testo'  
plot(input_test_transposeo(1:47,4),transpose_si  
mulasi_O, 'gx')  
title('Simulasi pengaruh komposisi O terhadap  
kuat tekan')  
xlabel('komposisi O (wt%)')  
ylabel('kuat tekan (MPa)')
```

```
figure (5)  
input_test_transposed = input_testd'  
plot(input_test_transposed(1:47,5),transpose_si  
mulasi_Density, 'ro')  
title('Simulasi pengaruh densitas terhadap kuat  
tekan')  
xlabel('densitas (kg/m3)')  
ylabel('kuat tekan (MPa)')
```