



TUGAS AKHIR - TF 181801

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL ASPAL MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

HANIF OLIVIA PUTRI
NRP. 0231164000080

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

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR - TF181801

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL
ASPAL MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF
TIRUAN**

**HANIF OLIVIA PUTRI
02311640000080**

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

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF181801

***THE EFFECT OF ADDITION PLASTIC WASTE
ON MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES
OF ASPHALT USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK***

**HANIF OLIVIA PUTRI
02311640000080**

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

*Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and Engineering System
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Hanif Olivia Putri
NRP : 02311640000080
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL ASPAL MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 2 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Hanif Olivia Putri

NRP. 02311640000080

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL ASPAL MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

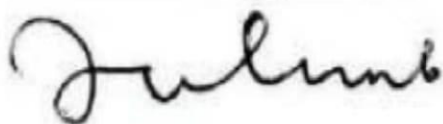
Oleh:

Hanif Olivia Putri

NRP. 0231164000080

Surabaya,

Menyetujui,
Pembimbing I



Ir. Zulkifli, M. Sc

NIP. 19581118 198701 1 001

Menyetujui,
Pembimbing II



Detak Yan Pratama, S.T., M. Sc

NIP. 19840101 201212 1 002

Mengetahui,

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTIRS-ITS



Dr. Suvanto, S.T., M.T

NIP. 19171113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL ASPAL MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

TUGAS AKHIR





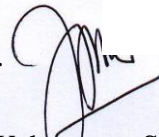

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HANIF OLIVIA PUTRI

NRP. 0231164000080

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 Dewi Risanti, S.T., M.T.  (Ketua Penguji)
4. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyanti, M. Kes.  (Penguji I)
5. Dyah Sawitri, S.T., M.T.  (Penguji II)
6. Dr.rer.nat. Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T.  (Penguji III)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL ASPAL MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Nama : Hanif Olivia Putri
NRP : 0231164000080
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Zulkifli M.Sc.
Detak Yan Pratama S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Kondisi kerusakan jalan beraspal di Indonesia akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan yang melintas dan kondisi perubahan cuaca yang tidak menentu. Salah satu cara untuk mengurangi kerusakan jalan adalah dengan meningkatkan mutu campuran aspal. Untuk meningkatkan mutu aspal dapat dilakukan dengan menambahkan bahan tambahan seperti limbah plastik ke dalam campuran aspal. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan untuk menentukan nilai optimum serta analisa pengaruh penambahan limbah plastik PP dan PET terhadap sifat mekanik dan termal aspal. Berdasarkan perancangan JST yang dilakukan, diperoleh akurasi *output* sebesar 81% untuk PP dan 91% untuk PET. Berdasarkan hasil uji dan simulasi, penambahan limbah plastik PP dan PET dapat menurunkan nilai penetrasi dan titik lembek yang berpengaruh pada ketahanan aspal terhadap perubahan suhu, serta menaikkan nilai stabilitas yang berpengaruh terhadap besar beban maksimal yang dapat diterima oleh aspal. Komposisi terbaik AC-WC modifikasi yang telah sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga untuk PP yaitu 1% PP dan 5,6% kadar aspal optimum, sedangkan untuk PET yaitu 5,95% PET dan 6% kadar aspal optimum.

Kata Kunci : Jaringan Syaraf Tiruan (JST) , Campuran Aspal, PP dan PET

Halaman ini sengaja dikosongkan

***THE EFFECT OF ADDITION PLASTIC WASTE ON
MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF ASPHALT
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK***

Name : Hanif Olivia Putri
NRP : 0231164000080
Departement : *Engineering Physics INDSYS*
Supervisor : Ir. Zulkifli M.Sc
Detak Yan Pratama S.T., M.Sc.

ABSTRACT

The damage condition of paved roads in Indonesia will increase as the number of vehicles passing and weather change conditions are uncertain. One way to reduce road damage is to increase the quality of asphalt mixture. To increase the quality of asphalt can be done by adding additional materials such as plastic waste into the asphalt mixture. In this study, simulated use of neural networks to determine the optimal value and analysis of the influence of plastic waste polypropylene and polyethylene terephthalate to the mechanical and thermal properties of the asphalt. Based on the design of ANN, obtained the output accuracy of 81% for PP and 91% for PET. Based on the results of the test and simulation, the addition of PP and PET plastic waste can reduce the penetration value and the softening point that affects the asphalt resistance to temperature changes, as well as increase the value of stability that affects the maximum load acceptable to the asphalt. The best composition of AC-WC modification that has been in accordance with the specifications of Bina Marga for PP is 1% PP and 5.6% optimum asphalt rate, while for PET is 5.95% PET and 6% optimum asphalt content.

Keyword: Artificial Neural Network, Asphalt Mixture, PP and PET

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Sifat Mekanik dan Termal Aspal 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 Departemen Teknik Fisika, FTIRS-ITS.

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. Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku kepala departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS.
2. Ir. Zulkifli, M.Sc. dan Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing pertama dan kedua. Terima kasih atas kritik, saran, dan arahan yang diberikan selama penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir hingga penyusunan laporan ini.
3. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen wali penulis. Terima kasih atas bantuan, arahan, dan nasehat yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS.
4. Dr.-ing Doty Dewi Risanti, S.T., M.T., Dyah Sawitri, S.T., M.T., dan Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. selaku dosen pengajar bidang minat Rekayasa Bahan.
5. Para dosen dan karyawan departemen Teknik Fisika FTIRS-ITS.
6. Keluarga, teman dan sahabat yang selalu memberikan semangat dan doa disetiap waktu.

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 pembaca.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aspal Beton (<i>Hotmix Asphalt</i>)	5
2.2 Aspal Modifikasi	10
2.3 Limbah Plastik	12
2.4 Jaringan Syaraf Tituan (JST)	13
BAB III METODOLOGI	17

3.1 Identifikasi Parameter Penelitian dan Pengumpulan Data Sekunder ..	18
3.2 Pembuatan Database JST.....	20
3.3 Perancangan Program JST	21
3.4 Evaluasi dan Penentuan JST yang Digunakan	25
3.5 Pengujian JST.....	26
3.6 Pengaruh Nilai <i>Marshall Quotient</i> (MQ) terhadap Kualitas Aspal.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Jaringan	27
4.2 Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan.....	32
4.3 Interpretasi Klasifikasi Kelas Jalan Raya (Bina Marga)	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli	6
Gambar 2.2 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur pada Timbunan	6
Gambar 2.3 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur pada Galian	6
Gambar 2.4 Fungsi Transfer <i>Hard-limit</i>	14
Gambar 2.5 Fungsi <i>Transfer Linear</i>	14
Gambar 2.6 Fungsi Transfer Sigmoid	15
Gambar 2.7 Arsitektur JST Single Layer	15
Gambar 2.8 Arsitektur JST Multilayer	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 3.2 Arsitektur JST yang Digunakan dalam Penelitian Tugas Akhir.....	22
Gambar 3.3 Diagram Alir Perancangan Program JST	23
Gambar 4.1 Plot Perbandingan Nilai Performance Training, Validasi, dan Testing untuk PP	28
Gambar 4.2 Plot Validation Check untuk PP	29
Gambar 4.3 Plot Regresi untuk PP	29
Gambar 4.4 Plot Perbandingan Nilai <i>Performance Training</i> , Validasi, dan <i>Testing</i> untuk PET	31
Gambar 4.5 Plot <i>Validation Check</i> untuk PET.....	31
Gambar 4.6 Plot Regresi untuk PET	32
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Penetrasi.....	41
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Titik Lembek ..	42
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Stabilitas	42
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Flow	43
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Penetrasi.....	43
Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Titik Lembek	44
Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Stabilitas.....	44
Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Flow	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan untuk Aspal Keras.....	7
Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran SMA	8
Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston	9
Tabel 2.4 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston	9
Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi.....	11
Tabel 3.1 Statistik Data Input PP	21
Tabel 3.2 Statistik Data Target PP	21
Tabel 3.3 Statistik Data Input PET	21
Tabel 3.4 Statistik Data Target PET.....	21
Tabel 3.5 Parameter Pelatihan Levenberg-Marquardt ('trainlm') pada Matlab... 24	
Tabel 4.1 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 10 Variasi <i>Hidden Node</i> untuk PP.....	27
Tabel 4.2 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 9 <i>Hidden Node</i> untuk PP	28
Tabel 4.3 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 10 Variasi <i>Hidden Node</i> untuk PET	30
Tabel 4.4 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 8 <i>Hidden Node</i> untuk PET... 30	
Tabel 4.5 Perbandingan MSE dan Regresi Pengujian JST untuk PP	32
Tabel 4.6 Nilai MQ untuk <i>Output</i> Pengujian AC-WC Modifikasi PP	33
Tabel 4.7 Perbandingan MSE dan Regresi Pengujian JST untuk PET	37
Tabel 4.8 Nilai MQ untuk <i>Output</i> Pengujian AC-WC Modifikasi PET	38
Tabel A.1 Data Sekunder	A-1
Tabel A.2 Matriks Data Input PP	A-3
Tabel A.3 Matriks Data Target PP	A-4
Tabel A.4 Matriks Data Input PET.....	A-5
Tabel A.5 Matriks Data Target PET.....	A-6
Tabel B.1 Hasil Pengujian untuk PP (110°C).....	B-1
Tabel B.2 Hasil Pengujian untuk PP (120°C).....	B-2
Tabel B.3 Hasil Pengujian untuk PP (130°C).....	B-3
Tabel B.4 Hasil Pengujian untuk PP (140°C).....	B-5
Tabel B.5 Hasil Pengujian untuk PP (150°C).....	B-6

Tabel B.6 Hasil Pengujian untuk PET (110°C)	B-7
Tabel B.7 Hasil Pengujian untuk PET (120°C)	B-8
Tabel B.8 Hasil Pengujian untuk PET (130°C)	B-9
Tabel B.9 Hasil Pengujian untuk PET (140°C)	B-9
Tabel B.10 Hasil Pengujian untuk PET (150°C)	B-10

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu sarana yang dibangun untuk menghubungkan suatu wilayah dengan wilayah lain. Sebagai penghubung antar wilayah, tidak sedikit kendaraan yang melintas baik kendaraan kecil maupun besar. Berdasarkan Badan Pusat Statistik, dari tahun 1949 hingga 2017 jumlah kendaraan bermotor memiliki peningkatan setiap tahunnya (Badan Pusat Statistik, 2019). Namun, dengan bertambahnya jumlah kendaraan yang melintas tersebut tidak diiringi dengan perkembangan teknologi akan pembuatan jalan. Hal demikian dapat membuat waktu kerusakan jalan menjadi lebih awal daripada yang telah diprediksikan. Menurut penelitian yang pernah dilakukan, semakin meningkat volume kendaraan yang melintas di jalan maka akan semakin menambah tingkat kerusakan jalan (Dhana & Lubis). Kerusakan jalan yang terjadi di Indonesia tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya beban yang diterima, akan tetapi juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti perubahan cuaca yang memiliki hubungan dengan besarnya pengaruh suhu terhadap jalan yang dihasilkan. Dalam hal ini, salah satu komposisi utama yang digunakan dalam pembuatan jalan adalah aspal.

Seiring dengan meningkatnya tingkat kerusakan jalan beraspal, saat ini sedang dikembangkan penelitian mengenai aspal modifikasi. Aspal modifikasi adalah aspal yang diberikan zat penambah agar dapat meningkatkan performa atau sifat-sifat fisik aspal (Suhardi dkk., 2016). Aspal modifikasi memiliki berbagai macam jenis, salah satunya adalah aspal limbah plastik. Berdasarkan data yang tertera pada *Our World in Data*, limbah plastik merupakan limbah terbanyak nomor dua di dunia setelah limbah puntung rokok dan jenis plastik kemasan menempati jumlah terbanyak diantara jenis plastik yang lain yaitu sejumlah 146000 ton setiap tahunnya (Ritchie & Roser, 2018). Jenis plastik yang biasa digunakan untuk kemasan adalah jenis PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*). Limbah yang sering ditemukan dengan jenis PET berupa limbah botol plastik, sedangkan jenis PP berupa sedotaan bekas dan tutup botol. Penambahan variasi PET pada campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) berpengaruh

terhadap peningkatan stabilitas pada kadar 2%, lalu menurun ketika kadar yang lebih tinggi dan kadar rongga dalam campuran turut meningkat (Widodo dkk.). Penambahan PP dalam campuran beton aspal dapat menurunkan viskositas aspal yang berpengaruh pada peningkatan volume rongga diantara partikel dan penurunan nilai rongga pada campuran sehingga berpengaruh positif terhadap nilai marshall lapisan aspal beton (Soandrijanie dkk.) .

Penelitian mengenai aspal modifikasi juga diimbangi dengan beberapa penelitian mengenai pemodelan untuk prediksi kondisi perkerasan jalan. Salah satu pemodelan yang sering digunakan adalah pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan yang biasa disebut dengan JST. JST merupakan pemroses informasi dengan kemampuan untuk belajar (*training*) yang diberikan kepadanya (Siang, 2009). Penelitian yang dilakukan oleh Emma menyimpulkan bahwa pemodelan menggunakan JST memiliki kelebihan dalam hal fleksibilitas dibandingkan dengan pemodelan menggunakan markov (Cahyaningrum & Nugroho, 2014). Thube dalam penelitiannya yang berjudul “*Artificial Neural Network (ANN) Based Pavement Deterioration Models for Low Volume Roads in India*” mengatakan bahwa pemodelan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan algoritma *back-propagation* lebih baik digunakan untuk meramalkan retak, *raveling*, *rutting* dan kekasaran untuk *Low Volume Roads* (LVR) daripada pemodelan menggunakan HDM-4 (Tukaram Thube, 2012).

Pembuatan aspal modifikasi limbah plastik dengan metode *trial and error* membutuhkan bahan baku yang melimpah dan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan komposisi yang tepat dan sesuai dengan kualitas yang diinginkan. Oleh karena itu, dibutuhkan pemodelan untuk mengetahui komposisi optimum limbah plastik agar dapat menghemat waktu dan bahan baku. Dalam penelitian ini digunakan pemodelan JST dengan algoritma *back-propagation* untuk menentukan kadar optimum limbah plastik yang ditambahkan dalam campuran aspal modifikasi.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan permasalahan yang disusun adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana mendesain jaringan syaraf tiruan yang dapat mengoptimalkan penambahan limbah *polypropylene* dan *polyethylene terephthalate* dalam komposisi AC-WC?
- b. Bagaimana pengaruh variasi komposisi limbah *polypropylene* dan *polyethylene terephthalate* terhadap sifat mekanik dan termal AC-WC?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Mendesain jaringan syaraf tiruan untuk dapat mengoptimalkan komposisi limbah plastik terhadap sifat mekanik dan termal AC-WC.
- b. Mengetahui pengaruh variasi komposisi limbah *polypropylene* dan *polyethylene terephthalate* terhadap sifat mekanik dan termal AC-WC.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Jenis aspal dalam penelitian ini adalah jenis AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*)
- b. Jenis limbah plastik yang digunakan adalah *polypropylene* dan *polyethylene terephthalate*
- c. Sifat mekanik dan termal dalam penelitian ini adalah ketahanan terhadap besar beban yang melintas dan suhu
- d. Algoritma jaringan syaraf tiruan yang digunakan adalah *back-propagation*

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab, antara lain sebagai berikut.

- a. Bab I Pendahuluan
Menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.
- b. Bab II Tinjauan Pustaka
Menjelaskan mengenai aspal, aspal modifikasi polimer, plastik yang digunakan, dan jaringan syaraf tiruan
- c. Bab III Metodologi Penelitian

Menjelaskan mengenai metode, parameter, dan rincian prosedur kerja penelitian yang dilakukan

d. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Memaparkan hasil dan analisa data yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan

e. Bab V Kesimpulan dan Saran

Menjelaskan mengenai kesimpulan akhir penelitian dan saran yang direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Beton (*Hotmix Asphalt*)

Aspal beton adalah campuran yang terdiri dari agregat, bahan aspal, bahan anti pengelupasan dan serat selulosa yang dicampur secara panas di pusat instalasi pencampuran (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018) yang dirancang dalam spesifikasi tertentu guna menjamin asumsi rancangan sesuai dengan lalu lintas yang telah direncanakan. Campuran aspal panas memiliki beberapa jenis, yaitu sebagai berikut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

a. Stone Matrix Asphalt (SMA)

Stone Matrix Asphalt yang selanjutnya disebut SMA terdiri dari tiga jenis, yaitu SMA tipis, SMA halus, dan SMA kasar dengan ukuran partikel maksimum masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, dan 25 mm.

*b. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet/HRS*)*

Lapis tipis aspal beton (Laston) yang selanjutnya disebut HRS terdiri dari dua jenis campuran, yaitu HRS lapis aus (*HRS-Wearing Course*) yang memiliki proporsi fraksi agregat kasar dan HRS pondasi (*HRS-Base*) yang memiliki fraksi agregat lebih halus dengan ukuran masing-masing campuran adalah 19 mm.

*c. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete/AC*)*

Lapisan aspal beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC terdiri dari tiga jenis campuran yaitu AC lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), AC lapis antara (*Asphalt Concrete-Binder*), dan AC lapis pondasi (*Asphalt Concrete-Base*) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm.

Laston digunakan sebagai lapisan teratas dalam struktur perkerasan lentur yang digunakan untuk pembuatan jalan. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya (AdminGro1, 2014). Jenis perkerasan lentur diaplikasikan pada jalan yang memiliki volume

lalu lintas rendah seperti jalan raya di perkotaan hingga di pedesaan. Tipe-tipe struktur perkerasan lentur dapat dilihat dalam Gambar 1-3.



Gambar 2.1 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)



Gambar 2.2 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur pada Timbunan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)



Gambar 2.3 Tipikal Struktur Perkerasan Lentur pada Galian (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Campuran aspal panas memiliki komposisi berupa agregat (kasar dan halus), bahan pengisi, bahan aditif, serat selulosa (untuk SMA), dan aspal. Dalam melakukan rancangan campuran aspal panas, perlu dilakukan pengujian pada campuran untuk mengetahui apakah sudah sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan. Berikut merupakan ketentuan spesifikasi aspal dan sifat-sifat campuran

yang harus dimiliki oleh campuran aspal panas yang telah diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Tabel 2.1 Ketentuan untuk Aspal Keras (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen.60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C [0,1 mm]	SNI 2456:2011	60-70	dilaporkan	
2.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis [G*/sinδ] pada osilasi 10 rad/detik ≤1,0 kPa, [°C]	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Viskositas kinematis 135°C [cSt]	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik lembek [°C]	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5.	Daktilitas pada 25°C, [cm]	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titik nyala[°C]	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>trichloroethylene</i> [%]	AASHTO T44-14	≥ 99		
8.	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1.0	-	
9.	Stabilitas penyimpanan : perbedaan titik lembek [°C]	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 2.2	
10.	Kadar paraffin lilin [%]	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residual Hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)					
11.	Berat yang hilang [%]	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8		
12.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis	SNI 06-6442-2000	-	70	76

	[G*/sinδ] pada osilasi 10 rad/detik ≤ 2,2 kPa, [°C]				
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54		
14.	Daktilitas pada 25°C, [cm]	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 25	
Residual Aspal Segar Setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada Temperatur 100°C dengan Tekanan 2.1 MPa					
15.	Temperature yang menghasilkan geser dinamis [G*/sinδ] pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, [°C]	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran SMA (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

Sifat-Sifat Campuran		SMA	SMA Modifikasi
		tipis, halus dan kasar	tipis, halus dan kasar
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (VIM) [%]	min	4	
	maks	5	
Rongga dalam agregat (VMA) [%]	min	17	
Rasio VC _{Amix} / VC _{Adrc}		< 1	
Draindown pada temperature produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam)		0,3	
Stabilitas Marshall	maks	600	700
Pelelehan (<i>flow</i>) [mm]	min	2	
	maks	4,5	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 menit	min	90	
Stabilitas dinamis [lintasan/mm]	min	2500	3000

Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

Sifat-Sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif [%]	min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran [%]	min	4	
	maks	6	
Rongga dalam agregat (VMA) [%]	min	18	17
Rongga terisi aspal [%]	min	68	
Stabilitas Marshall [kg]	min	600	
Marshall quotient (MQ) [kg/mm]	min	250	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	min	90	

Tabel 2.4 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

Sifat-Sifat Campuran		Lataston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	min	0,6		
	maks	1,2		
Rongga dalam campuran [%]	min	3		
	maks	5		
Rongga dalam agregat (VMA) [%]	min	15	14	13
Rongga terisi aspal [%]	min	65		
Stabilitas Marshall [kg]	min	800		1800
Pelelehan (<i>flow</i>) [mm]	min	2		3
	maks	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	min	90		
Rongga dalam campuran [%] pada	min	2		

kepadatan membal (refusal)		
-------------------------------	--	--

2.2 Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang diberikan zat penambah agar dapat meningkatkan performa atau sifat-sifat fisik aspal (Suhardi dkk., 2016). Bahan tambah yang digunakan untuk aspal modifikasi dapat berupa polimer, bahan kimia, oksidan dan antioksidan, hidrokarbon, serta bahan pengikat lainnya. Aspal modifikasi secara umum dapat disebut sebagai aspal modifikasi polimer, karena penambahan polimer sebagai bahan tambah pada campuran beraspal merupakan jenis modifikasi yang umum digunakan (Walker). Polimer umum digunakan karena memiliki biaya yang relatif murah serta mudah didapatkan. Jenis polimer yang digunakan berupa elastomer (karet) untuk mengatasi *rutting* (alur) pada jalan dan plastomer (plastik) untuk meningkatkan sifat suhu dari aspal (Walker). Untuk menentukan polimer yang digunakan sebagai bahan tambah campuran aspal, kita harus mengetahui karakteristik polimer yang akan digunakan.

Penerapan aspal modifikasi polimer pernah dilakukan di Surabaya pada tahun 2017 oleh Balitbang dan BBPJN VIII-Surabaya dengan bahan penambah berupa limbah plastik LDPE yang biasa dikenal sebagai kantong kresek dalam kehidupan sehari-hari (Vaza dkk., 2018). Dalam pembuatan aspal modifikasi, pemanfaatan polimer (plastik) sebagai bahan penambah dilakukan dengan dua jenis metode pembuatan yaitu sebagai berikut.

a. *Wet Process*

Dalam proses pembuatan aspal modifikasi dengan metode ini, plastik digunakan sebagai bahan modifikasi aspal guna meningkatkan kualitas aspal (Vaza dkk., 2018). Hal ini dikarenakan dalam proses pembuatannya, plastik yang telah dibersihkan dan dicacah sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan akan dicampur dengan aspal cair panas dengan suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ sebelum dicampur dengan agregat. Namun, metode ini hanya akan meningkatkan stabilitas Marshall kurang dari 30%. Hal demikian dikarenakan plastik yang diserap oleh aspal maksimal hanya 1%, ketika melebihi 1% maka aspal akan menjadi getas dan tidak sesuai standar (Vaza dkk., 2018).

b. *Dry Process*

Dalam proses pembuatan aspal modifikasi dengan metode ini, plastik digunakan sebagai bahan modifikasi agregat (Vaza dkk., 2018). Metode ini dilakukan dengan melapisi agregat yang telah dipanaskan dengan suhu $\pm 170^{\circ}\text{C}$ menggunakan plastik, lalu agregat terlapisi plastik tersebut dicampur dengan aspal panas bersuhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ dan dipadatkan. Penyerapan plastik oleh aspal pada metode ini sebanyak 4-6%, sehingga metode ini dapat meningkatkan stabilitas Marshall sebesar 30% (Vaza dkk., 2018).

Setelah proses pembuatan sesuai dengan prosedur yang ada, hasil dari aspal yang telah dibuat akan diuji apakah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Berikut merupakan ketentuan sifat-sifat campuran aspal modifikasi untuk Laston (Lapis Aspal Beton) yang harus dimiliki oleh campuran aspal panas yang telah diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (VIM) [%]	min	0,6		
	maks	1,2		
Rasio partikel losos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	min	3		
	maks	5		
Rongga dalam agregat (VMA) [%]	min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFA) [%]	min	65		
Stabilitas Marshall [kg]	min	1000		2250
Pelelehan (<i>flow</i>) [mm]	min	2		3
	maks	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	min	90		
Rongga dalam campuran [%] pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	min	2		
Stabilitas dinamis [lintasan/mm]	min	2500		

2.3 Limbah Plastik

Limbah plastik merupakan limbah yang sulit untuk diuraikan, butuh waktu 100-500 tahun untuk menguraikannya secara sempurna (Bambang & Harsojuwono, 2015). Limbah plastik terdiri dari beberapa jenis, yaitu limbah plastik kemasan, botol plastik, sedotan, plastik kresek, dan sebagainya. Plastik diproduksi oleh produsen sesuai dengan karakteristik jenis plastik untuk menyesuaikan kegunaannya. Berdasarkan jenis plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, berikut merupakan karakteristiknya.

a. *Polypropylene*

Polypropylene adalah polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena (Mujiarto, 2005). *Polypropylene* memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu 190-200°C dan titik kristalisasi pada 130-135°C. *Polypropylene* dapat ditemukan dalam bentuk sedotan, tempat makanan atau minuman.

b. *Polyethylene*

Polyethylene adalah material termoplastik transparan yang memiliki titik lebur antara 110-137°C (Bambang & Harsojuwono, 2015). *Polyethylene* dibagi menjadi beberapa jenis yaitu LDPE (*Low Density Polyethylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), LLDPE (*Linear Low Density Polyethylene*), dan XLDPE (*Cross-linked Polyethylene*). *Polyethylene* dapat ditemukan dalam bentuk plastik pembungkus dan kemasan.

c. *Polystyrene*

Polystyrene merupakan polimer yang terdiri dari monomer stirena yang berbentuk plastik jernih dan keras (Bambang & Harsojuwono, 2015). *Polystyrene* dapat ditemukan dalam bentuk *styrofoam*.

d. *Polyvinyl Chloride*

Polyvinyl Chloride merupakan termoplastik polimer yang digunakan dalam konstruksi karena murah serta sifatnya yang tahan lama dan mudah untuk berkumpul (Bambang & Harsojuwono, 2015). *Polyvinyl Chloride* dapat ditemukan dalam bentuk pipa, kabel listrik, dan sebagainya.

e. *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Polyethylene terephthalate terbuat dari glikol (EG) dan *terephthalic acid* (TPA) atau *dimethyl ester* atau asam *terephthalat* (DMT) (Mujiarto, 2005). PET memiliki sifat berupa kekuatan (*strength*)-nya tinggi, kaku (*stiffness*), dimensinya stabil, tahan bahan kimia dan panas. *Polyethylene terephthalate* dapat ditemukan dalam bentuk botol air mineral, kemasan sirup, dan sebagainya.

2.4 Jaringan Syaraf Tituan (JST)

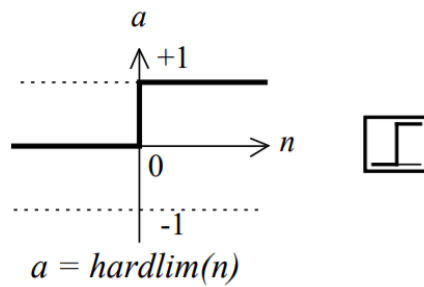
Jaringan Syaraf Tiruan merupakan sistem pemroses informasi yang terinspirasi oleh jaringan syaraf biologis, khususnya jaringan yang ada pada otak manusia. Pada otak manusia terdapat satuan unit pemroses terkecil yang disebut neuron. Bentuk sederhana dari sebuah neuron tersebut dijadikan sebagai cerminan konsep JST oleh peneliti. JST memiliki elemen dasar berupa neuron, unit, sel atau *node* yang memiliki pengertian yang sama. Neuron pada JST terdiri dari tiga elemen pembentuk, yaitu sebagai berikut (Siang, 2009).

- a. Berbagai unit yang terhubung oleh jalur penghubung yang memiliki bobot berbeda satu dengan yang lainnya. Bobot ini memiliki fungsi untuk memodifikasi sinyal.
- b. Unit penjumlahan berfungsi untuk menjumlahkan sinyal-sinyal *input* yang sudah dikalikan dengan bobot.
- c. Fungsi aktivasi / fungsi transfer

Fungsi aktivasi / fungsi transfer berfungsi untuk menentukan akan diteruskan atau tidaknya sinyal dari sebuah neuron ke neuron lain. Tiga jenis fungsi aktivasi yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Demuth & Beale, 1992).

- Fungsi transfer *hard-limit*

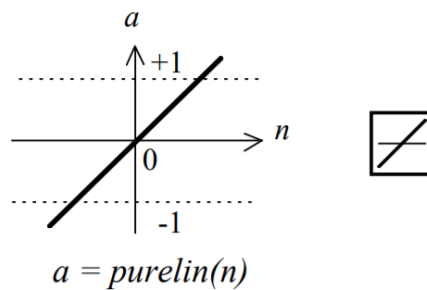
Fungsi transfer *hard-limit* digunakan untuk mengkonversi *input* kontinu menjadi *output* biner (0 atau 1). Fungsi ini biasa digunakan dalam pembuatan jaringan yang bertujuan untuk mengklasifikasikan beberapa variabel.



Gambar 2.4 Fungsi Transfer *Hard-limit* (Demuth & Beale, 1992)

- Fungsi transfer linear

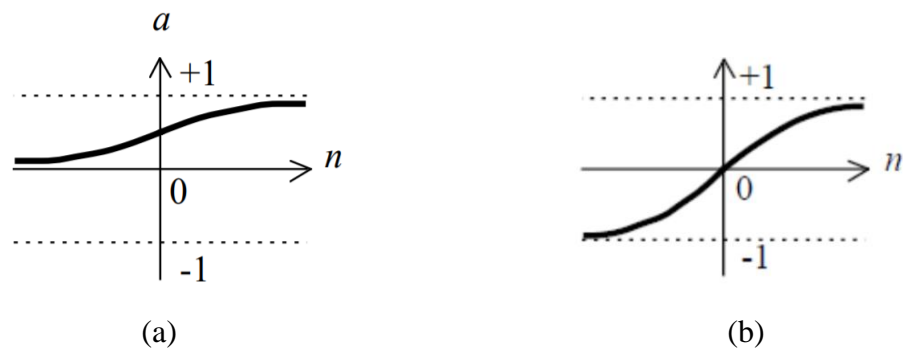
Fungsi transfer linear umumnya digunakan pada JST *single layer*, karena besarnya nilai input sama dengan nilai output. Fungsi transfer ini juga digunakan pada JST *multilayer*, umumnya digunakan pada lapisan keluaran (*output layer*) saja karena nilai *output* dapat memiliki nilai berapapun (tidak terbatas dengan nilai tertentu).



Gambar 2.5 Fungsi Transfer Linear (Demuth & Beale, 1992)

- Fungsi transfer sigmoid

Fungsi transfer sigmoid memiliki dua macam fungsi, yaitu fungsi sigmoid biner (*logistic sigmoid*) dan bipolar. Fungsi aktivasi sigmoid biner memiliki rentang nilai 0 hingga 1, sedangkan untuk fungsi aktivasi sigmoid bipolar memiliki rentang nilai -1 hingga 1. Fungsi sigmoid biasa digunakan untuk JST yang dilatih dengan menggunakan *backpropagation*.

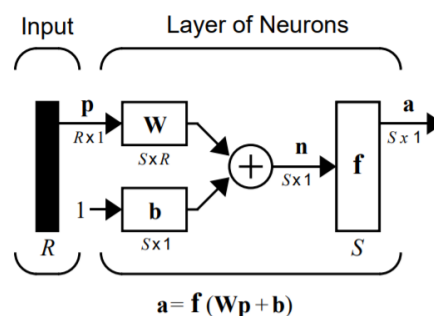


Gambar 2.6 Fungsi Transfer Sigmoid Biner (a) dan Bipolar (b) (Demuth & Beale, 1992)

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) memiliki berbagai variasi model yang dibedakan berdasarkan arsitektur maupun strategi pelatihannya. Berdasarkan arsitekturnya, pada umumnya JST dikelompokkan menjadi dua yaitu *single layer* dan *multilayer*. *Layer* dalam JST dapat diartikan sebagai sebuah neuron sederhana yang memiliki tiga elemen yang tertera pada Gambar 4 yaitu bobot (w), unit penjumlahan (Σ), dan fungsi aktivasi (f).

a. *Single Layer*

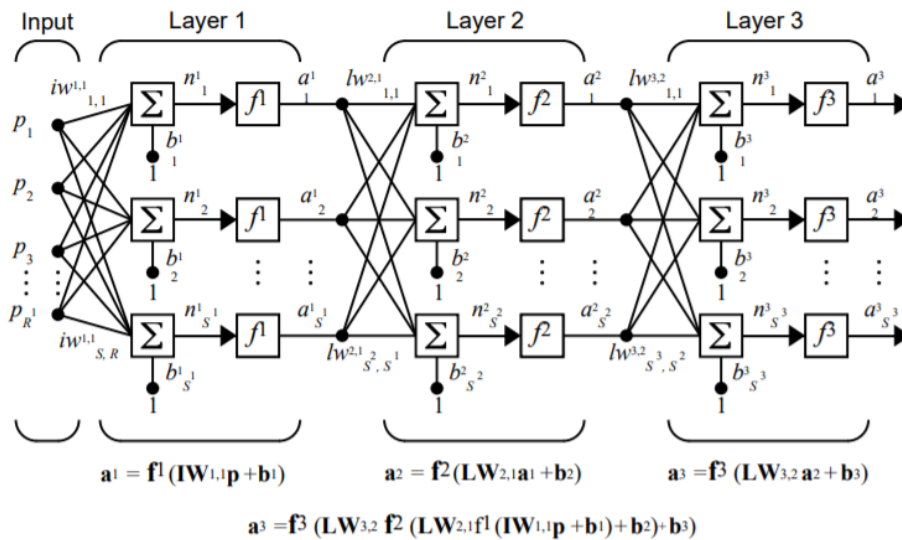
Arsitektur ini memiliki satu *layer* yang memiliki beberapa unit *input* sejumlah R yang berada dalam vektor *input* dan keluaran yang tertera pada kolom vektor a .



Gambar 2.7 Arsitektur JST Single Layer (Demuth & Beale, 1992)

b. *Multilayer*

Arsitektur ini memiliki jumlah *layer* lebih dari satu, dimana *output* dari setiap *layer*nya dijadikan sebagai *input* untuk *layer* selanjutnya.



Gambar 2.8 Arsitektur JST *Multilayer* (Siang, 2009)

Berdasarkan strategi pelatihannya, terdapat dua jenis strategi pelatihan JST yaitu pelatihan supervisi dan pelatihan tanpa supervisi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018).

a. Pelatihan Supervisi

Pada pelatihan ini terdapat beberapa pasang data berupa data *input* dan target yang digunakan untuk melatih JST. JST yang termasuk dalam kategori ini adalah *Backpropagation*, *Hebian*, *Perception*, dan *Adaline*.

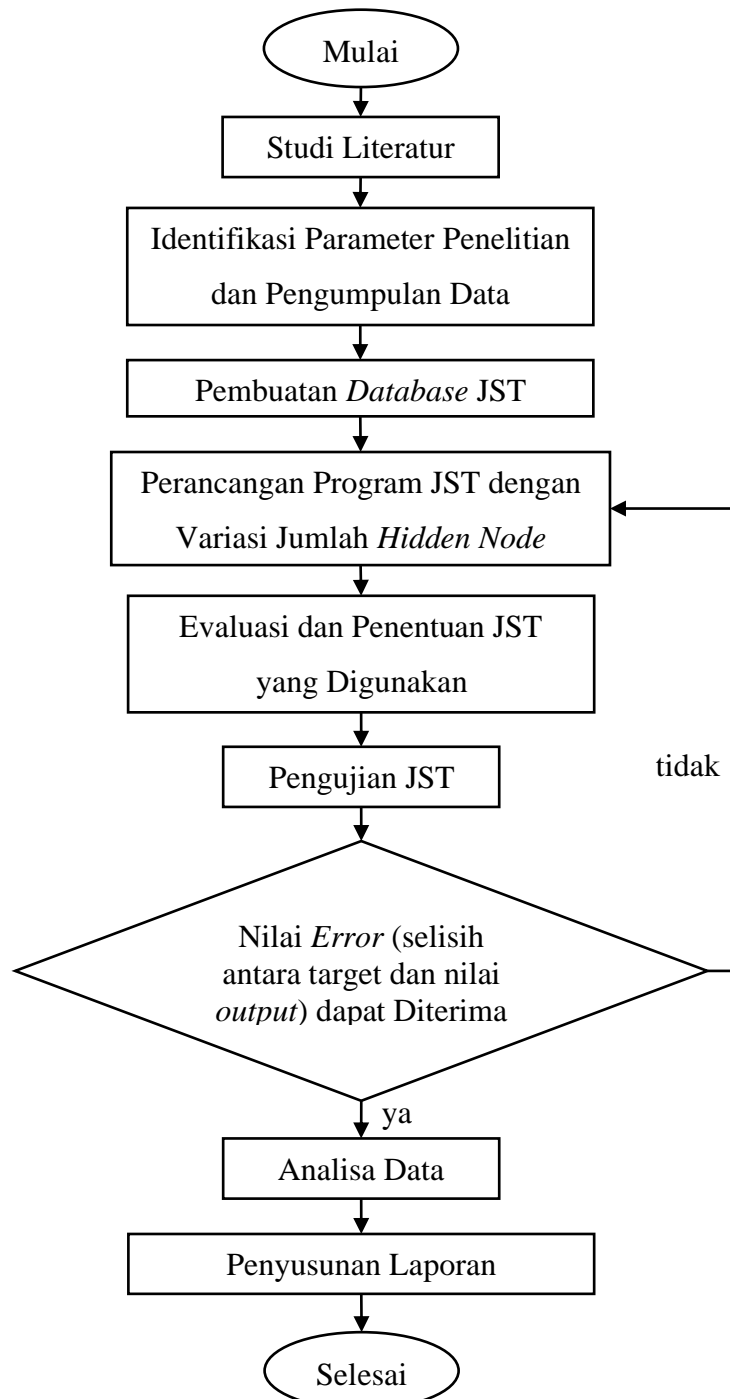
b. Pelatihan tanpa Supervisi

Pada pelatihan ini dilakukan perubahan bobot berdasarkan parameter-parameter yang sudah ditentukan. JST yang termasuk dalam kategori ini adalah *LVQ (Learning Vector Quantization)*, *Competitive*.

BAB III

METODOLOGI

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan berdasarkan langkah-langkah yang ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Identifikasi Parameter Penelitian dan Pengumpulan Data Sekunder

3.1.1 Parameter Penelitian

Parameter dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu parameter proses dan parameter respon.

a. Parameter Proses

Parameter proses adalah parameter yang nilainya ditentukan dan divariasikan dengan tujuan untuk mendapatkan analisa pengaruh terhadap parameter respon. Parameter proses dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Kadar Aspal

Aspal pada lapisan perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat antar agregat guna memberikan kekuatan yang lebih besar daripada kekuatan masing-masing agregat. Persentase kadar aspal ditentukan berdasarkan percobaan laboratorium dan lapangan dengan memperhatikan penyerapan agregat yang digunakan (Suhardi dkk., 2016). Oleh karena penelitian ini berbasis simulasi, persentase kadar aspal yang digunakan sesuai dengan data sekunder yang didapatkan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang tertera pada **Tabel 3.1**.

- Kadar Plastik yang Digunakan (PP dan PET)

Plastik merupakan salah satu jenis polimer yang sering digunakan dalam pembuatan aspal modifikasi. Plastik dalam aspal modifikasi digunakan sebagai zat penambah (aditif) aspal guna meningkatkan performa atau sifat-sifat fisik aspal (Amit dkk., 2012). Oleh karena penelitian ini berbasis simulasi, persentase kadar plastik yang digunakan sesuai dengan data sekunder yang didapatkan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang tertera pada **Tabel 3.1**.

- Suhu Proses

Suhu proses yang dimaksud adalah suhu pencampuran plastik terhadap agregat dan aspal dalam pembuatan spesimen. Suhu proses yang diaplikasikan dalam pembuatan aspal ada tiga, yaitu suhu untuk memanaskan agregat ($\pm 170^{\circ}\text{C}$), suhu aspal cair ($\pm 160^{\circ}\text{C}$), dan suhu pemadatan. Penambahan plastik pada pembuatan aspal memiliki faktor

penting berupa suhu pencampuran plastik pada agregat. Pada penelitian ini digunakan dua jenis plastik, yaitu *polypropylene* (PP) dan *polyethylene terephthalate* (PET) yang merupakan jenis plastik *termoplast* (akan meleleh pada suhu $\pm 130-140^{\circ}\text{C}$) (Rahmawati, 2017). Oleh karena itu, digunakan 5 variasi suhu proses yaitu $110-150^{\circ}\text{C}$ masing-masing peningkatan suhu sebesar 10°C .

b. Parameter Respon

Parameter respon adalah parameter yang nilainya dipengaruhi oleh parameter lain. Parameter respon dalam penelitian ini berupa hasil uji dari spesimen aspal yang telah dibuat. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

- Penetrasi

Penetrasi menunjukkan konsistensi spesimen aspal yang dilakukan dengan mengukur jarak tembus sebuah jarum standar terhadap spesimen yang diuji. Semakin tinggi nilai penetrasi, maka semakin dalam tusukan jarum dan mengartikan bahwa konsistensi spesimen semakin lunak.

- Titik Lembek (*Softening Point*)

Titik lembek ditujukan untuk mengetahui suhu kelembekan dari aspal yang telah dibuat. Pengujian titik lembek ini menunjukkan pada suhu berapa aspal akan mengalami kelembekan.

- Stabilitas Marshall

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh penetrasi, kadar aspal, *internal friction*, serta gradasi agregat.

- *Flow* (kelelahan)

Flow adalah deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal yang digunakan, gradasi agregat, jumlah dan suhu pemadatan.

3.1.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan telah dicantumkan pada **Tabel A.1 Lampiran**.

3.2 Pembuatan Database JST

Database merupakan hal yang diperlukan dalam proses pelatihan yang akan berpengaruh terhadap model JST yang digunakan. Dalam penelitian ini, *database* yang digunakan merupakan data sekunder yang tertera pada **Tabel A.1 Lampiran**. Data sekunder tersebut akan dibagi menjadi dua matriks data, yaitu matriks data input dan target. Matriks data *input* memiliki 3 kelompok data yaitu kadar plastik, kadar aspal dan suhu proses. Sedangkan untuk matriks data target memiliki 4 kelompok data, yaitu penetrasi, titik lembek, stabilitas Marshall, dan *flow*. Masing-masing matriks data memiliki 54 sampel data untuk PP dan 26 sampel data untuk PET.

Ideal atau tidaknya suatu sistem dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu faktor utamanya adalah besar ukuran variasi (dispersi) data yang digunakan (Junaidi dkk., 2010). Dispersi data merupakan ukuran yang menyatakan perbedaan atau penyimpangan data dari nilai sebenarnya (Sahibul Munir, 2007), oleh karena itu semakin kecil nilai dispersi data maka sistem semakin baik. Menurut sahibul munir dalam modul yang ditulisnya ukuran variasi (dispersi) data dapat dilihat dari beberapa jenisnya yaitu meliputi *range*, simpangan rata-rata, simpangan baku dan koefisien variasi. **Tabel 3.1** hingga **3.4** di bawah ini menunjukkan statistik data *input* dan target untuk aspal dengan bahan penambah PP dan PET. Dari tabel tersebut akan diperoleh nilai simpangan rata-rata dan koefisien variasi dengan menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 (Sahibul Munir, 2007).

$$d\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{x}_i - \bar{x}|}{N} \quad (3.1)$$

dengan : $d\bar{x}$ = simpangan rata-rata \bar{x}_i = data ke i
 \bar{x} = rata-rata data N = jumlah data

$$Kv = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan : Kv = koefisien variasi S = standar deviasi
 \bar{x} = rata-rata

Tabel 3.1 Statistik Data *Input* PP

Parameter	N	Maks	Min	Range	Rata-rata	St. Dev
Kadar PP	54	7	0	7	1,47962963	1,472007904
Kadar Aspal	54	7	5	2	6,016666667	0,571174878
Suhu Proses	54	200	140	60	159,5740741	15,4986282

Tabel 3.2 Statistik Data Target PP

Parameter	N	Maks	Min	Range	Rata-rata	St. Dev
Penetrasi	54	84	26,8	57,2	59,25555556	10,22208333
Titik Lembek	54	70	51	19	53,6962963	4,216632102
Stabilitas	54	2700	655,95	2044,05	1327,99463	488,7586104
<i>Flow</i>	54	5,59	2,14	3,45	3,400722222	0,554013184

Tabel 3.3 Statistik Data *Input* PET

Parameter	N	Maks	Min	Range	Rata-rata	St. Dev
Kadar PP	26	22	0	22	6,369230769	6,697001007
Kadar Aspal	26	6,85	4,8	2,05	5,63	0,588609836
Suhu Proses	26	170	110	60	142,6923077	24,73827497

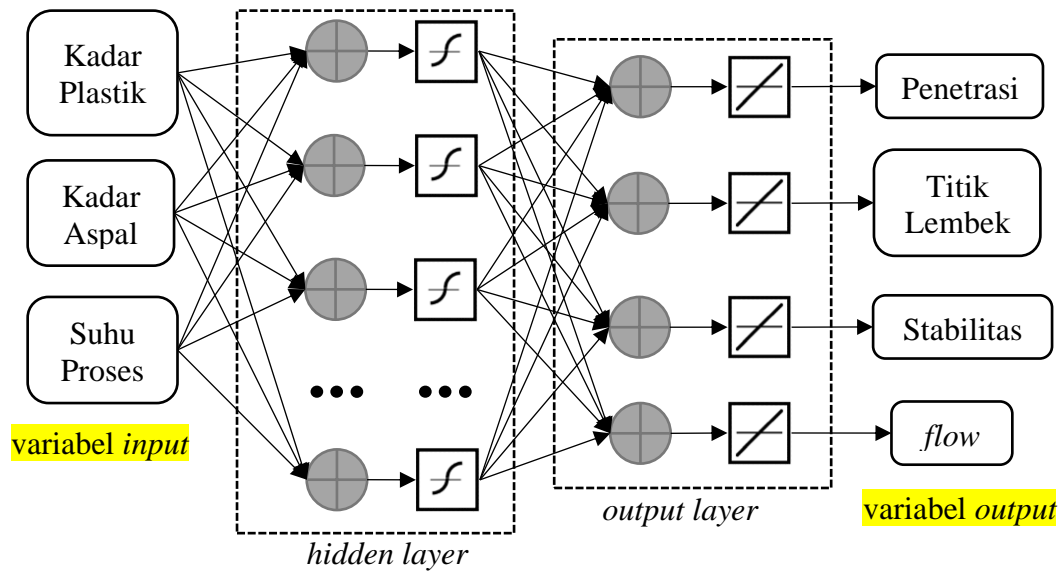
Tabel 3.4 Statistik Data Target PET

Parameter	N	Maks	Min	Range	Rata-Rata	St. Dev
Penetrasi	26	86	34	52	64,80769231	14,51963983
Titik Lembek	26	58,5	46,3	12,2	50,18269231	3,080769831
Stabilitas	26	1988,4475	1002,97	985,4775	1407,556186	286,0017694
<i>Flow</i>	26	4,3	2,2	2,1	3,385	0,471080999

Berdasarkan Tabel 3.1 hingga 3.4 didapatkan nilai koefisien variasi kurang dari 50%, namun untuk data kadar plastik didapatkan nilai koefisien variasi lebih dari 50%. Besarnya koefisien variasi pada data kadar plastik disebabkan oleh kesamaan beberapa data yang didapatkan sehingga variasi data sedikit. Berdasarkan data tersebut, maka pelatihan JST dapat dilakukan dengan baik dan valid.

3.3 Perancangan Program JST

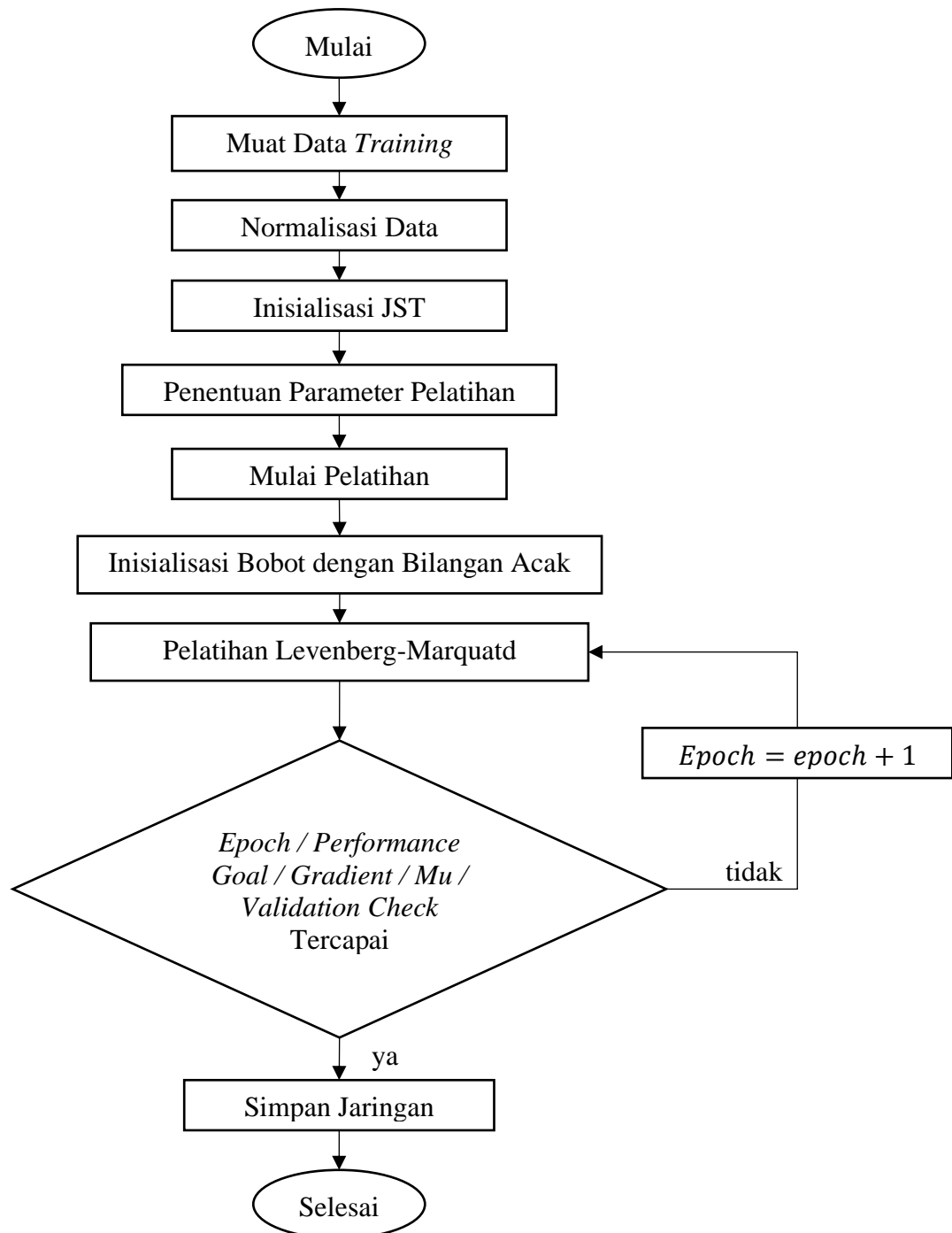
Pada penelitian ini, arsitektur JST yang digunakan adalah JST *multilayer* dengan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt. Arsitektur JST penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Arsitektur JST yang Digunakan dalam Penelitian Tugas Akhir

Setiap variabel *input* dihubungkan dengan garis panah menuju *node* yang memiliki bobot berbeda dan bernilai acak di setiap *nodenya*. Dengan demikian, nilai bobot awal untuk masing-masing pelatihan akan berbeda satu sama lain dan berlaku juga untuk nilai bobot akhir.

Perancangan program dilakukan dengan menggunakan salah satu *toolbox* yang tersedia pada *software* Matlab R2019b, yaitu *Neural Network Toolbox*. Langkah-langkah perancangan program JST dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Diagram Alir Perancangan Program JST

Penjabaran dari masing-masing langkah pada **Gambar 3.3** adalah sebagai berikut.

3.3.1 Muat Data *Training*

Sebelum memulai simulasi, *database* yang telah dikumpulkan diinput ke dalam panel *workspace* pada matlab berdasarkan variabel masing-masing (*input* dan *target*).

```
%inisialisasi INPUT dan TARGET%
input=inputPP;|
target=targetPP;
[pn,ps]=mapminmax(input);
[tn,ts]=mapminmax(target);

%inisialisasi INPUT dan TARGET%
input=inputPET;
target=targetPET;
[pn,ps]=mapminmax(input);
[tn,ts]=mapminmax(target);|
```

3.3.2 Normalisasi Data

Normalisasi data *input* dan *target* menggunakan fungsi ‘*mapminmax*’ dengan rentang data -1 dan 1.

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

Variabel *pn* dan *tn* pada *function code* diatas menyatakan matriks data input dan data target yang dinormalisasi dengan persamaan berikut.

$$Y = \frac{2(X-X_{min})}{X_{max}-X_{min}} - 1 \quad (3.3)$$

dengan : Y = nilai setelah dinormalisasi

X = nilai awal

X_{min} = nilai minimum pada data

X_{max} = nilai maksimum pada data

3.3.3 Inisialisasi JST

Inisialisasi JST dilakukan dengan menentukan variasi *hidden node* mulai dari 1-10. Fungsi aktivasi yang digunakan pada *input layer* adalah fungsi ‘*tansig*’ dan pada *output layer* adalah fungsi ‘*purelin*’

3.3.4 Penentuan Parameter Pelatihan

Parameter pelatihan Levenberg-Marquardt (‘*trainlm*’) memiliki 12 parameter yang dapat diatur sesuai keperluan.

Tabel 3.5 Parameter Pelatihan Levenberg-Marquardt (‘*trainlm*’) pada Matlab

net.trainParam.epochs	1000	maximum number of epochs to train
net.trainParam.goal	0	performance goal
net.trainParam.max_fail	6	maximum validation failures
net.trainParam.min_grad	1e-7	minimum performace gradient
net.trainParam.mu	0.001	initial mu

net.trainParam.mu_dec	0.1	mu decrease factor
net.trainParam.mu_inc	10	mu increase factor
net.trainParam.mu_max	1e10	maximum mu
net.trainParam.show	25	epoch between displays (NaN for no display)
net.trainParam.showCommandLine	false	generate command-line output
net.trainParam.showWindow	true	show training GUI
net.trainParam.time	inf	maximum time to train in seconds

Beberapa parameter pelatihan pada **Tabel 3.10** akan ditentukan (tidak sesuai dengan nilai *defaultnya*) seperti *epoch*, *performace goal*, dan *max fail*. Parameter *Epoch* digunakan untuk menentukan jumlah *epoch* maksimum pelatihan, dan *performance goal* untuk menentukan nilai MSE (*Mean Squared Error*) yang akan dicapai. Selain itu, dalam penelitian ini dilakukan pembagian data untuk keperluan *training*, validasi, dan *test*. Sebesar 75% data digunakan untuk *training*, 15% data untuk validasi, dan 10% sisanya untuk *testing*.

3.3.5 Memulai Pelatihan

Setelah melakukan keempat langkah diatas, *koding* yang ada pada *script* disimpan terlebih dahulu pada PC agar program dapat *dirun* (dijalankan) untuk memulai pelatihannya

3.4 Evaluasi dan Penentuan JST yang Digunakan

Penentuan model JST terbaik dari 10 variasi *hidden node* terletak pada nilai MSE (*Mean Square Error*) validasi masing-masing model JST. Data yang diperoleh dari pelatihan tersebut akan diambil nilai MSE validasi yang paling rendah sebagai model JST yang terbaik. Setelah mendapatkan model JST terbaik, model JST tersebut akan dilatih kembali sebanyak 3x dengan *hidden node* yang sama. Nilai MSE diperoleh dari persamaan berikut.

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

dengan : N = jumlah data

Y_i = nilai keluaran (*output*)

T_i = nilai target

3.5 Pengujian JST

Pengujian JST dilakukan dengan melatih ulang model JST yang diperoleh dari evaluasi yang telah dilakukan. Dalam hal ini persentase data yang digunakan untuk *testing* diperbesar menjadi 15% dengan persentase yang sama untuk data validasi, hal demikian dapat dilakukan karena tidak adanya data primer yang diambil (percobaan) dalam penelitian. Pembagian data dengan persentase 70-15-15 merupakan pembagian data terkecil yang digunakan dalam pemrograman JST untuk melakukan pelatihan secara optimal (Mathworks). Selanjutnya, keluaran dari pengujian JST dibandingkan dengan nilai target (aktual) guna mengetahui akurasi sistem JST yang digunakan. Akurasi sistem dapat ditentukan dengan mengetahui nilai MAPE (*Mean Average Percentage Error*) dengan menggunakan rumus dibawah ini (Puji Widodo dkk., 2017).

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|x_t - y_t|}{x_t}}{n} \times 100\% \quad (3.5)$$

3.6 Pengaruh Nilai *Marshall Quotient* (MQ) terhadap Kualitas Aspal

Marshall Quotient (MQ) merupakan perbandingan nilai stabilitas dan *flow* yang digunakan sebagai indikator kekakuan aspal yang dibuat. Nilai MQ yang terlalu tinggi menunjukkan bahwa aspal terlalu kaku sehingga mudah mengalami keretakan, sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah membuat aspal mudah mengalami perubahan bentuk (alur) (Likitlersuang & Chompoorat, 2016). Nilai MQ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$MQ = \frac{\text{stabilitas (kg)}}{\text{flow (mm)}} \quad (3.6)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai hasil simulasi jaringan syaraf tiruan yang telah dilakukan.

4.1 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Jaringan

4.1.1 AC-WC Modifikasi PP

Hasil dari pelatihan yang telah dilakukan terhadap sepuluh model JST dengan variasi jumlah *hidden node* dan suhu proses untuk PP sebagai bahan penambah. **Tabel 4.1** merupakan perbandingan nilai MSE dan regresi untuk setiap variasi *hidden node*.

Tabel 4.1 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 10 Variasi *Hidden Node* untuk PP

hidden node	MSE			REGRESSION			
	train	validation	test	train	validation	test	all
1	0,1260	0,0509	0,0362	0,6855	0,8916	0,8871	0,7308
2	0,0906	0,0934	0,1079	0,7973	0,7799	0,7586	0,7907
3	0,0766	0,0857	0,0149	0,8292	0,8164	0,9630	0,8390
4	0,0356	0,0833	0,1588	0,8979	0,8564	0,6720	0,8647
5	0,0611	0,0441	0,0197	0,8618	0,9138	0,9614	0,8744
6	0,0257	0,0715	0,0874	0,9413	0,8631	0,8803	0,9169
7	0,0348	0,0755	0,0409	0,8983	0,8397	0,9196	0,8911
8	0,0305	0,0212	0,0601	0,9020	0,9521	0,8396	0,9029
9	0,0049	0,0183	0,0368	0,9652	0,9646	0,8437	0,9496
10	0,0193	0,0534	0,1189	0,9291	0,8776	0,8261	0,9053

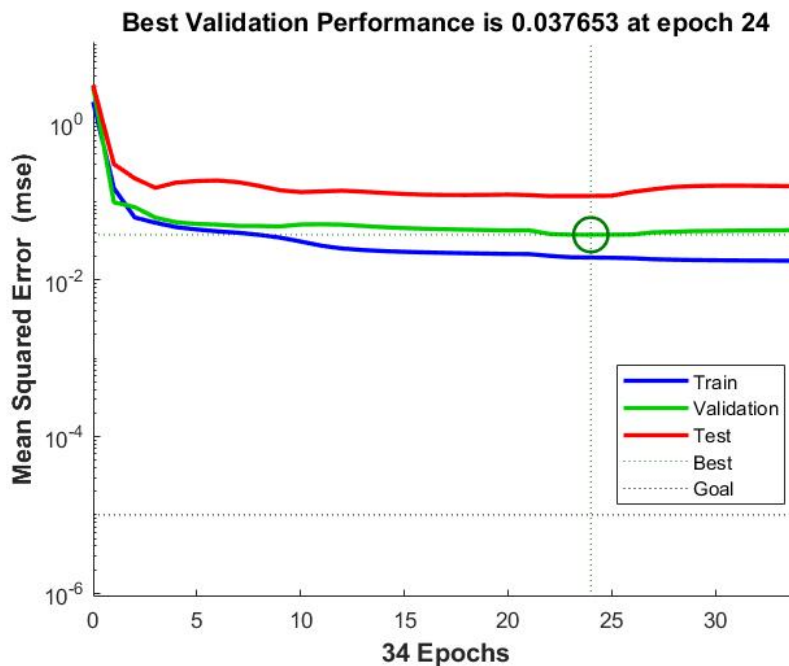
Pada *hidden node* dengan jumlah 9 diperoleh nilai MSE paling rendah untuk parameter validasi yaitu sebesar 0,0183 (1,83%) dan nilai regresi rata-rata sebesar 0,9496 (94,96%). Oleh karena itu model JST terbaik untuk plastik PP sebagai bahan penambah memiliki konfigurasi 3-9-4 dengan arti jaringan tersebut memiliki 3 *input*, 9 *hidden node*, dan 4 *output*. Setelah didapatkan model JST yang terbaik, pelatihan jaringan kembali dilakukan dengan 9 *hidden node* sebanyak 3x dan hasil yang diperoleh dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.2**.

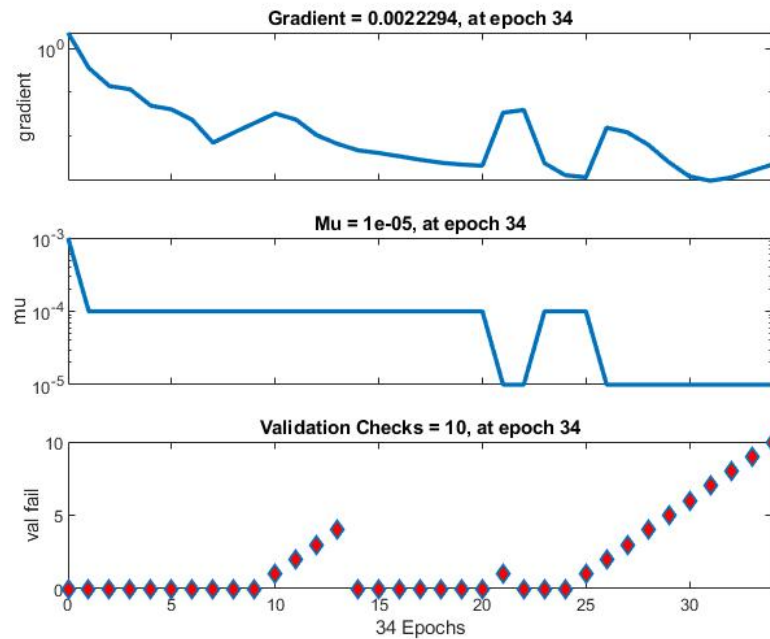
Tabel 4.2 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 9 *Hidden Node* untuk PP

hidden node	MSE			REGRESSION			
	train	validation	test	Train	validation	test	all
9	0,0175	0,0377	0,1172	0,9608	0,9076	0,8284	0,9372

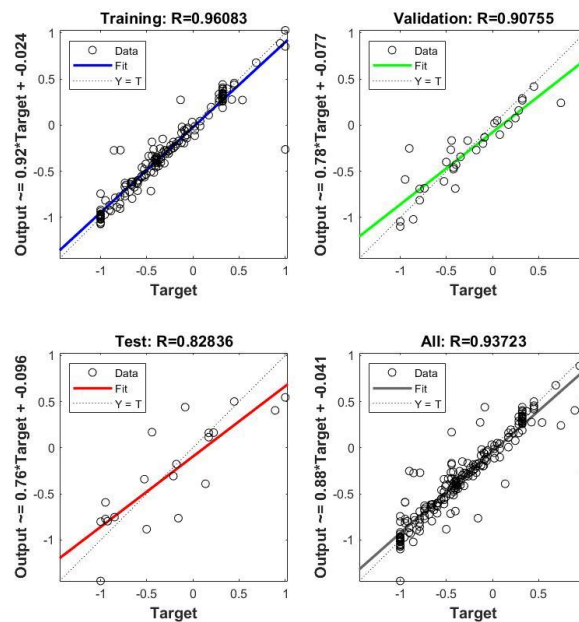
Pada pelatihan dengan jumlah *hidden node* yang sama sebanyak 3x, diperoleh nilai MSE validasi dan *testing* sebesar 0,0377 (3,77%) dan 0,1172 (11,72%).

Berdasarkan pelatihan Levenberg-Marquardt (`'trainlm'`) pada Matlab, pelatihan jaringan akan berhenti ketika salah satu dari enam kondisi (*epoch*, *performance goal*, *gradient*, *Mu*, *validation checks*, dan *time*) tercapai. Pada pelatihan jaringan ini, nilai MSE paling rendah memiliki kondisi penghentian sebagai berikut.

**Gambar 4.1** Plot Perbandingan Nilai *Performance Training*, Validasi, dan *Testing* untuk PP



Gambar 4.2 Plot *Validation Check* untuk PP



Gambar 4.3 Plot Regresi untuk PP

4.1.2 AC-WC Modifikasi PET

Hasil terbaik dari pelatihan yang telah dilakukan terhadap sepuluh model JST dengan variasi jumlah *hidden node* dan suhu proses untuk PET sebagai

bahan penambah. **Tabel 4.3** merupakan perbandingan nilai MSE dan regresi untuk setiap variasi *hidden node*.

Tabel 4.3 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 10 Variasi *Hidden Node* untuk PET

hidden node	MSE			REGRESSION			
	train	validation	test	train	validation	test	all
1	0,1744	0,0871	0,1638	0,6904	0,8173	0,7494	0,7133
2	0,0605	0,0708	0,0824	0,8963	0,8866	0,8097	0,8866
3	0,0544	0,0416	0,0459	0,8589	0,9318	0,9412	0,8767
4	0,0191	0,0433	0,0860	0,8995	0,9668	0,9053	0,9099
5	0,0122	0,0725	0,1961	0,9793	0,8703	0,8808	0,9333
6	0,0118	0,0413	0,0523	0,9581	0,9521	0,8747	0,9367
7	0,0067	0,0985	0,0776	0,9804	0,8098	0,8915	0,9432
8	0,0095	0,0190	0,0275	0,9588	0,9697	0,9582	0,9600
9	0,0025	0,0310	0,0548	0,9934	0,9701	0,9573	0,9768
10	0,0034	0,0588	0,0582	0,9846	0,9185	0,9141	0,9616

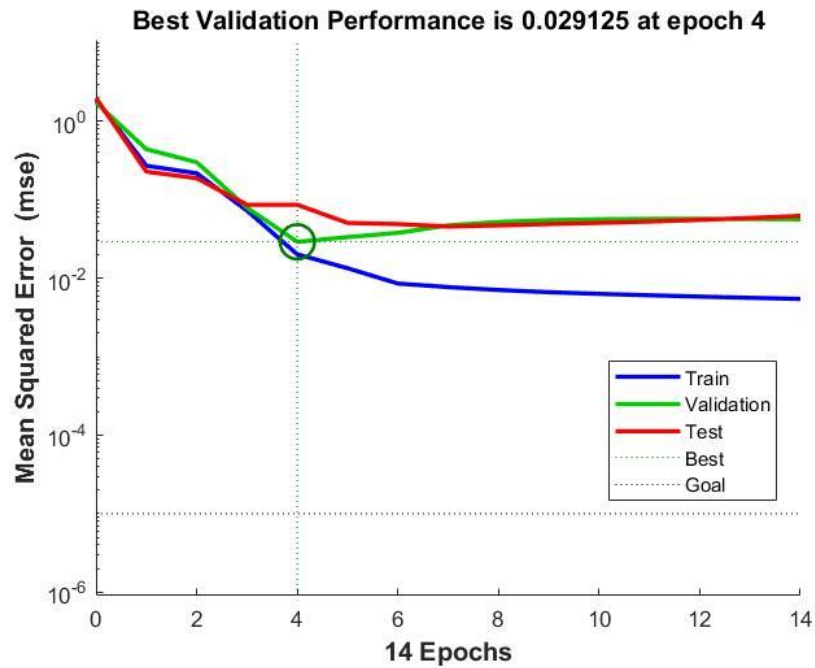
Pada *hidden node* dengan jumlah 9 diperoleh nilai MSE paling rendah untuk parameter validasi yaitu sebesar 0,0190 (1,90%) dan nilai regresi rata-rata sebesar 0,9600 (96%). Oleh karena itu model JST terbaik untuk plastik PP sebagai bahan penambah memiliki konfigurasi 3-8-4 dengan arti jaringan tersebut memiliki 3 *input*, 8 *hidden node*, dan 4 *output*. Setelah didapatkan model JST yang terbaik, pelatihan jaringan kembali dilakukan dengan 8 *hidden node* sebanyak 3x dan hasil yang diperoleh dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Perbandingan MSE dan Regresi dengan 8 *Hidden Node* untuk PET

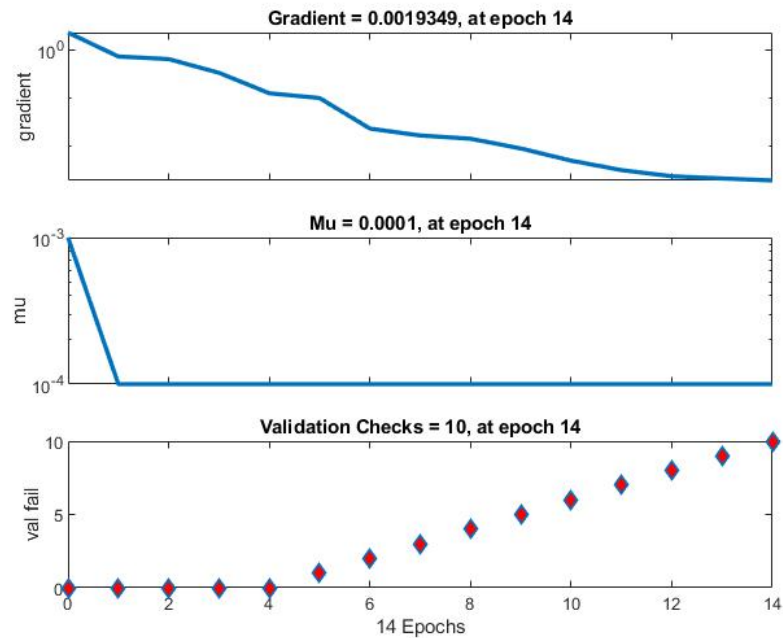
hidden node	MSE			REGRESSION			
	train	validation	test	train	validation	test	all
8	0,0055	0,0291	0,0456	0,9737	0,9057	0,9478	0,9590

Pada pelatihan dengan jumlah *hidden node* yang sama sebanyak 3x, diperoleh nilai MSE validasi dan *testing* sebesar 0,0291 (2,91%) dan 0,0456 (4,56%).

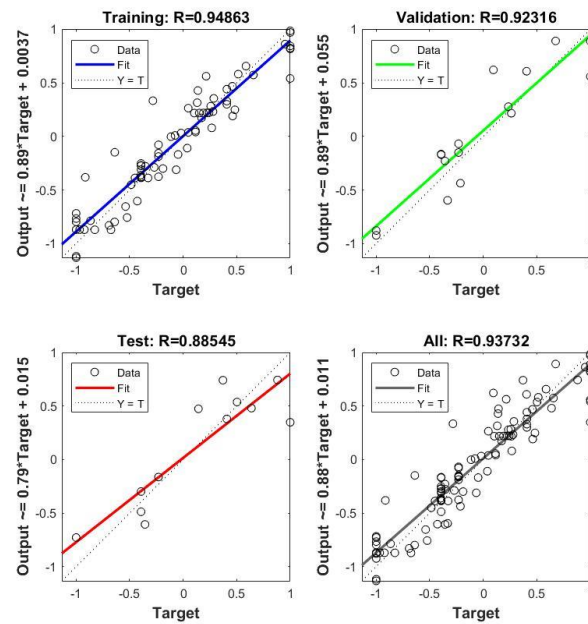
Berdasarkan pelatihan Levenberg-Marquardt (`'trainlm'`) pada Matlab, pelatihan jaringan akan berhenti ketika salah satu dari enam kondisi (*epoch*, *performance goal*, *gradient*, *Mu*, *validation checks*, dan *time*) tercapai. Pada pelatihan jaringan ini, nilai MSE paling rendah memiliki kondisi penghentian sebagai berikut.



Gambar 4.4 Plot Perbandingan Nilai *Performance Training*, *Validasi*, dan *Testing* untuk PET



Gambar 4.5 Plot *Validation Check* untuk PET



Gambar 4.6 Plot Regresi untuk PET

4.2 Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan

4.2.1 AC-WC Modifikasi PP

Hasil pengujian jaringan untuk bahan penambah PP sebagai bahan tambah yang dilakukan sebanyak 3x dengan menambah persentase parameter *testing* menjadi 15% ditunjukkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Perbandingan MSE dan Regresi Pengujian JST untuk PP

hidden node	MSE			REGRESSION			
	train	validation	test	train	validation	test	all
9	0.0277	0.0812	0.1471	0.9114	0.8077	0.6179	0.8756

Dari ketiga pelatihan yang dilakukan, pada **Tabel 4.5** tercantum bahwa nilai MSE validasi dan *testing* sebesar 0,0812 (8,12%) dan 0,1471 (14,71%) dengan regresi rata-rata 0,8756 (91,04%).

Pengujian jaringan yang dilakukan menghasilkan *output* yang ditunjukkan pada **Lampiran B** dengan nilai akurasi model JST sebesar 81%. Nilai *output* ini merupakan nilai prediksi dari uji Marshall dan ketentuan aspal keras yang digunakan, nilai tersebut akan disesuaikan dengan spesifikasi umum pekerjaan

konstruksi jalan dan jembatan untuk AC-WC modifikasi yang terdapat pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.5**.

Nilai MQ merupakan indikator kekakuan jalan beraspal, dimana semakin tinggi nilai MQ maka tingkat kekakuan aspal semakin tinggi yang akan mengakibatkan keretakan pada aspal (Amit dkk., 2012). **Tabel 4.6** merupakan nilai MQ untuk output pengujian aspal yang telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018.

Tabel 4.6 Nilai MQ untuk *Output* Pengujian AC-WC Modifikasi PP

Kode Sampel	Suhu Proses [°C]	Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]	MQ [kg/mm]
PP1	110	64,24	55,00	1655,43	3,13	528,89
PP2	110	64,24	55,00	1655,43	3,13	528,89
PP3	110	62,31	54,97	1539,60	3,10	496,65
PP4	110	60,28	54,88	1406,14	3,07	458,03
PP5	110	66,53	54,99	1865,84	3,18	586,74
PP6	110	65,08	55,12	1862,70	3,18	585,75
PP7	110	63,21	55,09	1793,35	3,17	565,73
PP8	110	60,75	54,94	1674,37	3,17	528,19
PP9	110	65,57	55,04	1788,68	3,16	566,04
PP10	110	65,24	55,06	1777,07	3,16	562,36
PP11	110	64,89	55,06	1763,00	3,15	559,68
PP12	110	64,16	55,06	1728,24	3,15	548,65
PP13	120	66,55	54,85	1836,85	3,20	574,02
PP14	120	64,04	54,96	1635,52	3,13	522,53
PP15	120	62,00	54,93	1519,27	3,10	490,09
PP16	120	66,55	54,85	1836,85	3,20	574,02
PP17	120	64,83	54,99	1833,60	3,20	573,00
PP18	120	62,65	54,95	1761,51	3,19	552,20
PP19	120	65,09	54,58	1779,59	3,19	557,87
PP20	120	63,37	55,00	1920,70	3,21	598,35
PP21	120	61,34	55,11	1966,33	3,25	605,02
PP22	120	61,24	54,89	1545,96	3,12	495,50
PP23	120	65,96	54,76	1846,75	3,21	575,31
PP24	120	65,64	54,83	1864,24	3,21	580,76
PP25	120	65,31	54,88	1877,90	3,21	585,02

PP26	120	64,62	54,96	1894,51	3,22	588,36
PP27	120	62,42	54,92	1500,36	3,09	485,55
PP28	130	65,04	54,16	1700,24	3,24	524,77
PP29	130	63,74	54,93	1616,45	3,13	516,44
PP30	130	61,59	54,89	1499,46	3,10	483,70
PP31	130	66,39	54,73	1811,77	3,22	562,66
PP32	130	64,40	54,88	1807,62	3,21	563,12
PP33	130	61,90	54,82	1732,05	3,21	539,58
PP34	130	65,04	54,16	1700,24	3,24	524,77
PP35	130	62,84	54,60	1846,14	3,26	566,30
PP36	130	60,32	54,72	1893,89	3,30	573,91
PP37	130	62,30	54,28	1624,39	3,17	512,43
PP38	130	61,17	54,83	1598,76	3,16	505,94
PP39	130	61,90	54,82	1732,05	3,21	539,58
PP40	130	61,89	54,78	1824,35	3,26	559,62
PP41	130	62,73	54,15	1666,98	3,22	517,70
PP42	130	62,26	54,29	1713,89	3,22	532,26
PP43	130	61,77	54,41	1756,87	3,23	543,92
PP44	130	60,77	54,60	1830,32	3,25	563,18
PP45	130	65,86	54,86	1780,56	3,19	558,17
PP46	130	61,27	54,83	1613,54	3,17	509,00
PP47	130	63,74	54,93	1616,45	3,13	516,44
PP48	130	62,47	54,91	1549,76	3,11	498,32
PP49	130	61,59	54,89	1499,46	3,10	483,70
PP50	140	60,45	53,33	1419,31	3,25	436,71
PP51	140	63,22	54,98	1604,41	3,11	515,89
PP52	140	60,97	54,91	1484,58	3,09	480,45
PP53	140	65,95	54,69	1792,44	3,22	556,66
PP54	140	63,70	54,81	1785,51	3,22	554,51
PP55	140	60,90	54,73	1704,86	3,23	527,82
PP56	140	64,79	53,86	1642,17	3,28	500,66
PP57	140	62,13	54,30	1790,72	3,31	541,00
PP58	140	60,45	53,33	1419,31	3,25	436,71
PP59	140	61,51	54,40	1617,90	3,25	497,82
PP60	140	60,96	54,68	1754,32	3,26	538,13
PP61	140	60,47	54,56	1817,47	3,31	549,08
PP62	140	65,69	54,20	1728,26	3,27	528,52

PP63	140	60,38	54,55	1821,29	3,31	550,24
PP64	140	64,65	54,79	1798,37	3,22	558,50
PP65	140	63,70	54,81	1785,51	3,22	554,51
PP66	140	60,90	54,73	1704,86	3,23	527,82
PP67	150	64,82	55,00	1797,62	3,16	568,87
PP68	150	62,51	54,99	1776,86	3,19	557,01
PP69	150	63,99	53,83	1607,98	3,28	490,24
PP70	150	61,07	54,20	1750,76	3,32	527,34
PP71	150	61,25	52,97	1374,45	3,31	415,24
PP72	150	63,99	53,83	1607,98	3,28	490,24
PP73	150	62,27	54,10	1706,63	3,30	517,16
PP74	150	61,07	54,20	1750,76	3,32	527,34

Berdasarkan **Tabel 4.6** dapat dilihat bahwa penambahan plastik PP terhadap aspal dengan suhu proses yang berbeda dapat mempengaruhi hasil dari pengujian aspal yang dilakukan. Semakin tinggi kadar plastik yang ditambahkan dan suhu proses yang digunakan membuat nilai penetrasi dan pengujian aspal modifikasi lain cenderung mengalami penurunan, namun untuk nilai titik lembek, stabilitas, dan *flow* mengalami kenaikan nilai pada suhu 130°C. Hal demikian dapat terjadi karena pada suhu 130°C plastik mulai meleleh (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018) dan membuat plastik mudah tercampur dengan aspal dan agregat lainnya sehingga ikatan antar agregat semakin bertambah .

Pengujian penetrasi aspal dilakukan untuk mengetahui konsistensi aspal dengan mengukur kedalaman jarum penetrasi dengan beban 100 gram yang masuk kedalam spesimen aspal pada suhu 25°C (Indriyati, 2017). Nilai penetrasi dapat dilihat dari besar nilai kedalaman jarum penetrasi yang masuk pada spesimen aspal, semakin tinggi nilai penetrasi maka konsistensi aspal semakin rendah sehingga aspal menjadi lunak. Berdasarkan hasil yang tercantum pada **Tabel 4.6** mengartikan bahwa seiring dengan bertambahnya kadar plastik PP yang ditambahkan dan suhu proses membuat aspal menjadi lebih keras. Aspal dengan kode PP13 dan PP16 yang memiliki komposisi aspal optimum 6,5% tanpa adanya penambahan plastik menghasilkan nilai penetrasi tertinggi sebesar 66,55 dan titik lembek yang cukup tinggi sebesar 54,85°C. Nilai penetrasi dan

titik lembek yang tinggi akan menghasilkan nilai PI (*Penetration Index*) yang tinggi juga, hal ini menunjukkan bahwa aspal tidak sensitif terhadap perubahan suhu (tingkat ketahanan terhadap perubahan suhu rendah) (Arif, 2018). Aspal dengan kode PP4 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 6,5% dan plastik sebesar 1% menghasilkan nilai penetrasi terendah yaitu 60,28 dan titik lembek sebesar 54,88°C. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik PP terhadap campuran aspal dapat menurunkan penetrasi sejauh 6,27 yang juga akan menurunkan nilai PI sehingga tingkat ketahanan aspal terhadap suhu meningkat.

Pengujian stabilitas dan *flow* merupakan beberapa pengujian yang termasuk dalam pengujian Marshall yang digunakan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal (Likitlersuang & Chompoorat, 2016). Stabilitas Marshall merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk, semakin rendah nilainya maka beban yang mampu ditahan semakin ringan (sedikit). Aspal dengan kode PP71 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,82% tanpa adanya penambahan plastik menghasilkan nilai stabilitas paling rendah sebesar 1374,45 kg. Rendahnya nilai stabilitas akan mempengaruhi nilai MQ yang merupakan indikator kekakuan aspal, dimana semakin tinggi nilai MQ akan rentan mengalami keretakan dan apabila semakin rendah akan rentan mengalami alur (Arif, 2018). Hal ini juga didukung oleh nilai *flow* yang dihasilkan yaitu sebesar 3,31 mm yang memiliki slisih 0,01 mm dari nilai *flow* paling tinggi yang dihasilkan, dengan tingginya nilai *flow* ini menunjukkan bahwa aspal tersebut memiliki elastisitas yang cukup besar sehingga memungkinkan aspal untuk mengalami alur. Aspal dengan kode PP21 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 7% dan plastik sebesar 1% menghasilkan nilai stabilitas paling tinggi yaitu 1966,33 kg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan plastik PP terhadap campuran akan meningkatkan stabilitas Marshall aspal. Namun aspal ini juga dihasilkan nilai titik lembek dan MQ yang paling tinggi, kondisi ini membuat aspal akan rentan terhadap keretakan dan perubahan suhu.

Mengingat keadaan Indonesia yang semakin bertambahnya waktu semakin bertambah juga jumlah volume kendaraan yang melintas di jalan, dibutuhkan nilai stabilitas jalan yang cukup tinggi untuk menahan beban kendaraan yang melintas di atasnya. Berdasarkan **Tabel 4.6** pada aspal dengan kode PP60 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,6% dan plastik sebesar 1% menghasilkan nilai stabilitas marshall yang cukup tinggi yaitu sebesar 1754,32 kg. Selain itu pada aspal dengan komposisi ini juga memiliki nilai penetrasi yang rendah dan nilai *flow* yang cukup tinggi yang dapat diartikan bahwa aspal modifikasi PP ini memiliki konsistensi dan elastisitas yang tinggi. Oleh karena itu, aspal modifikasi dengan kode PP60 merupakan komposisi terbaik yang diperoleh.

4.2.2 AC-WC Modifikasi PET

Hasil pengujian jaringan untuk bahan penambah PET sebagai bahan tambah yang dilakukan sebanyak 3x dengan menambah persentase parameter *testing* menjadi 15% ditunjukkan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Perbandingan MSE dan Regresi Pengujian JST untuk PET

hidden node	MSE			REGRESSION			
	train	validation	test	train	validation	test	all
9	0,0084	0,0497	0,0690	0,9731	0,9199	0,9045	0,9493

Dari ketiga pelatihan yang dilakukan, pada **Tabel 4.5** tercantum bahwa nilai MSE validasi dan *testing* sebesar 0,0497 (4,97%) dan 0,0690 (6,90%) dengan regresi rata-rata 0,9493 (94,93%).

Pengujian jaringan yang dilakukan menghasilkan *output* yang ditunjukkan pada **Lampiran B** dengan nilai akurasi pengujian JST sebesar 91%. Nilai *output* ini merupakan nilai prediksi dari uji Marshall dan ketentuan aspal keras yang digunakan, nilai tersebut akan disesuaikan dengan spesifikasi umum pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan untuk AC-WC modifikasi yang terdapat pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.5**.

Nilai MQ merupakan indikator kekakuan jalan beraspal, dimana semakin tinggi nilai MQ maka tingkat kekakuan aspal semakin tinggi yang akan mengakibatkan keretakan pada aspal (Indriyati, 2017). **Tabel 4.8** merupakan

nilai MQ untuk *output* pengujian aspal yang telah memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018.

Tabel 4.8 Nilai MQ untuk *Output* Pengujian AC-WC Modifikasi PET

Kode Sampel	Suhu Proses [°C]	Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]	MQ [kg/mm]
PET1	110	65,32	50,80	1054,40	3,27	322,45
PET2	110	65,32	50,80	1055,08	3,27	322,65
PET3	110	65,31	50,80	1056,46	3,27	323,08
PET4	110	65,30	50,80	1057,88	3,28	322,52
PET5	110	65,29	50,79	1059,35	3,28	322,97
PET6	110	65,50	50,59	1062,46	3,08	344,95
PET7	110	61,64	50,52	1128,91	3,02	373,81
PET8	110	65,55	50,76	1059,39	3,30	321,03
PET9	110	65,45	50,73	1076,40	3,36	320,36
PET10	110	66,00	50,55	1125,14	3,58	314,28
PET11	110	64,99	50,85	1048,67	3,21	326,69
PET12	110	64,80	50,80	1069,56	3,27	327,08
PET13	110	64,37	50,71	1101,56	3,36	327,85
PET14	110	63,63	50,59	1150,56	3,48	330,62
PET15	110	62,38	50,42	1219,86	3,64	335,13
PET16	120	65,03	50,63	1080,74	3,34	323,57
PET17	120	65,00	50,63	1082,26	3,34	324,03
PET18	120	64,94	50,63	1085,36	3,35	323,99
PET19	120	64,88	50,63	1088,53	3,36	323,97
PET20	120	64,82	50,62	1091,76	3,36	324,93
PET21	120	60,61	50,48	1166,70	2,98	391,51
PET22	120	65,80	50,54	1080,10	3,41	316,74
PET23	120	65,04	50,53	1117,32	3,48	321,07
PET24	120	65,91	50,33	1173,14	3,79	309,54
PET25	120	63,72	50,74	1085,26	3,24	334,96
PET26	120	62,66	50,66	1131,65	3,33	339,83
PET27	120	60,61	50,53	1201,72	3,44	349,34
PET28	130	63,27	50,19	1126,68	3,40	331,38
PET29	130	63,15	50,19	1130,23	3,41	331,45
PET30	130	62,90	50,20	1137,38	3,41	333,54
PET31	130	62,65	50,20	1144,61	3,42	334,68

PET32	130	62,40	50,21	1151,91	3,43	335,83
PET33	130	65,71	49,98	1094,13	3,50	312,61
PET34	130	62,61	50,11	1179,64	3,59	328,59
PET35	130	63,82	50,11	1203,00	3,92	306,89
PET36	140	64,21	48,90	1063,74	3,49	304,80

Berdasarkan **Tabel 4.8** dapat dilihat bahwa penambahan plastik PET terhadap aspal dengan suhu proses yang berbeda dapat mempengaruhi hasil dari pengujian aspal yang dilakukan. Semakin tinggi kadar plastik yang ditambahkan dan suhu proses yang digunakan membuat nilai penetrasi aspal modifikasi cenderung mengalami penurunan, untuk nilai stabilitas dan *flow* mengalami kenaikan nilai.

Pengujian penetrasi aspal dilakukan untuk mengetahui konsistensi aspal dengan mengukur kedalaman jarum penetrasi dengan beban 100 gram yang masuk kedalam spesimen aspal pada suhu 25°C (Indriyati, 2017). Nilai penetrasi dapat dilihat dari besar nilai kedalaman jarum penetrasi yang masuk pada spesimen aspal, semakin tinggi nilai penetrasi maka konsistensi aspal semakin rendah sehingga aspal menjadi lunak. Berdasarkan hasil yang tercantum pada **Tabel 4.8** mengartikan bahwa seiring dengan bertambahnya kadar plastik PET yang ditambahkan dan suhu proses membuat aspal menjadi lebih keras. Aspal dengan kode PET10 yang memiliki komposisi aspal optimum 6,35% dan penambahan plastik sebesar 4% menghasilkan nilai penetrasi tertinggi sebesar 66,00 dan titik lembek yang cukup tinggi sebesar 50,55°C. Nilai penetrasi dan titik lembek yang tinggi akan menghasilkan nilai PI (*Penetration Index*) yang tinggi juga, hal ini menunjukkan bahwa aspal tidak sensitif terhadap perubahan suhu (tingkat ketahanan terhadap perubahan suhu rendah) (Arif, 2018). Aspal dengan kode PET27 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,95% dan plastik sebesar 6% menghasilkan nilai penetrasi terendah yaitu 60,61 dan titik lembek sebesar 50,53°C. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik PET terhadap campuran aspal dapat menurunkan penetrasi sejauh 6,61 yang juga akan menurunkan nilai PI sehingga tingkat ketahanan aspal terhadap suhu meningkat. Aspal dengan kode PET21 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,3% tanpa adanya penambahan plastik

juga menghasilkan nilai penetrasi terendah dengan nilai yang sama dan nilai titik lembek yang lebih rendah yaitu $50,48^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik PET dan kadar aspal dengan suhu proses yang sama terhadap campuran aspal dapat menaikkan titik lembek sebesar $0,05^{\circ}\text{C}$ yang juga akan menaikkan nilai PI walaupun tidak secara signifikan.

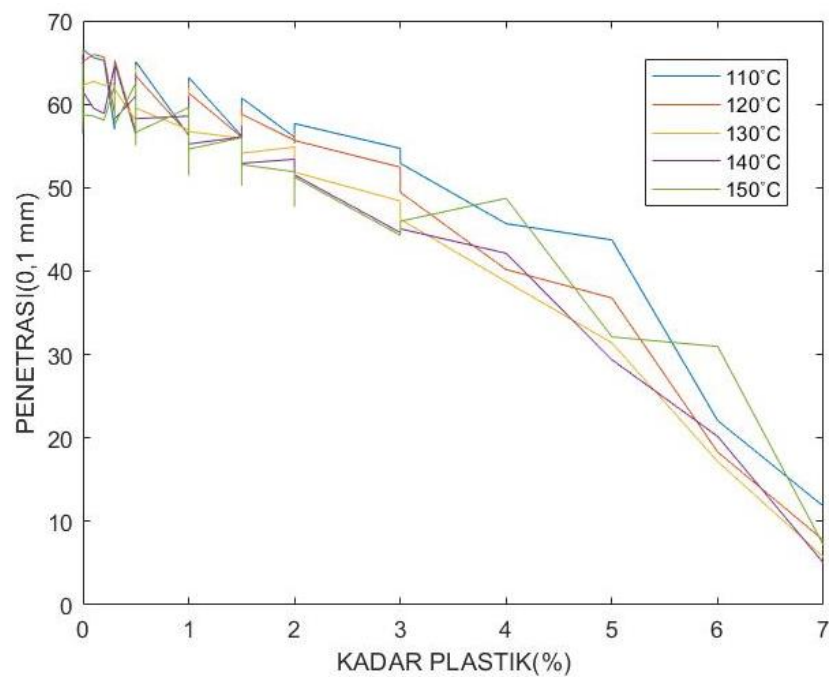
Pengujian stabilitas dan *flow* merupakan beberapa pengujian yang termasuk dalam pengujian Marshall yang digunakan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal (Likitlersuang & Chompoorat, 2016). Stabilitas Marshall merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk, semakin rendah nilainya maka beban yang mampu ditahan semakin ringan (sedikit). Aspal dengan kode PET11 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,9% tanpa adanya penambahan plastik menghasilkan nilai stabilitas paling rendah sebesar 1048,67 kg. Rendahnya nilai stabilitas akan mempengaruhi nilai MQ yang merupakan indikator kekakuan aspal, dimana semakin tinggi nilai MQ akan rentan mengalami keretakan dan apabila semakin rendah akan rentan mengalami alur (Indriyati, 2017). Hal ini juga didukung oleh nilai *flow* yang dihasilkan yaitu sebesar 3,21 mm yang memiliki selisih 0,23 mm dari nilai *flow* paling rendah yang dihasilkan, dengan rendahnya nilai stabilitas dan *flow* ini menunjukkan bahwa aspal tersebut memiliki elastisitas yang kecil sehingga memungkinkan aspal untuk mengalami keretakan. Aspal dengan kode PET15 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,95% dan plastik sebesar 12% menghasilkan nilai stabilitas paling tinggi yaitu 1219,26 kg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan penambahan plastik PET terhadap campuran akan meningkatkan stabilitas Marshall aspal.

Mengingat keadaan Indonesia yang semakin bertambahnya waktu semakin bertambah juga jumlah volume kendaraan yang melintas di jalan, dibutuhkan nilai stabilitas jalan yang cukup tinggi untuk menahan beban kendaraan yang melintas di atasnya. Berdasarkan **Tabel 4.8** pada aspal dengan kode PET27 yang memiliki komposisi kadar aspal optimum sebesar 5,95% dan plastik sebesar 6% menghasilkan nilai stabilitas marshall yang cukup tinggi yaitu sebesar 1201,72 kg. Selain itu pada aspal dengan komposisi ini juga memiliki nilai penetrasi yang

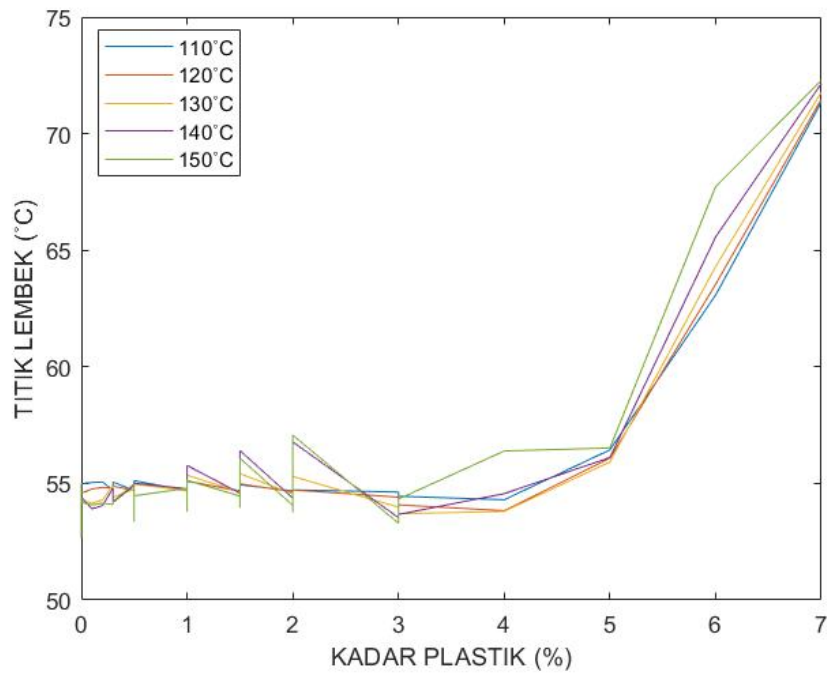
paling rendah dan nilai *flow* yang cukup tinggi yang dapat diartikan bahwa aspal modifikasi PET ini memiliki konsistensi dan elastisitas yang tinggi. Oleh karena itu, aspal modifikasi dengan kode PET27 merupakan komposisi terbaik yang diperoleh.

4.3 Interpretasi Klasifikasi Kelas Jalan Raya (Bina Marga)

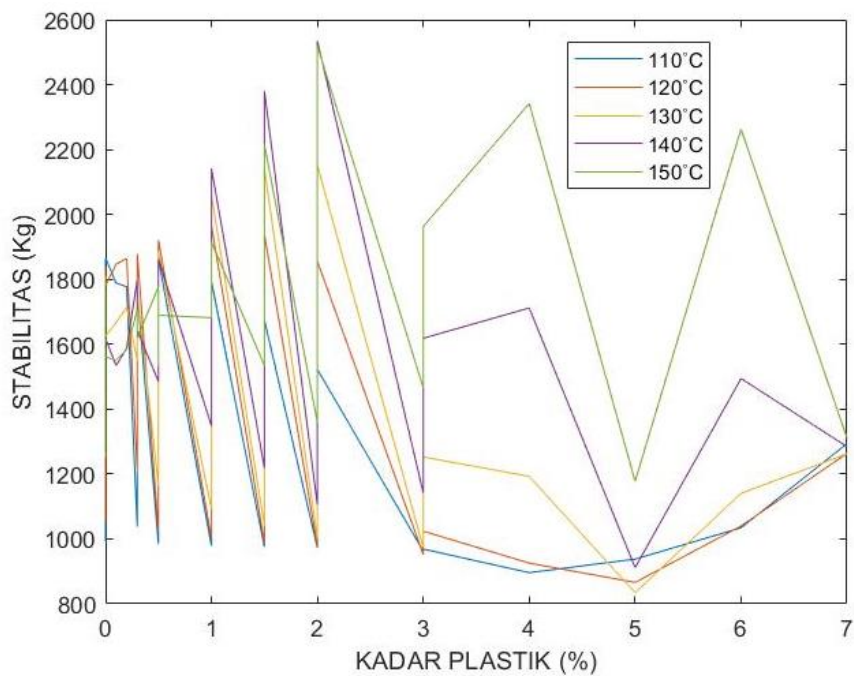
Berdasarkan **Tabel B.1** hingga **B.10 Lampiran** terdapat beberapa nilai yang telah ditandai dengan warna merah, yang merupakan parameter yang tidak sesuai dengan standar Bina Marga 2018. Dari tabel tersebut, dapat dibuat grafik masing-masing parameter terhadap kadar penambahan plastik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7** hingga **4.16**.



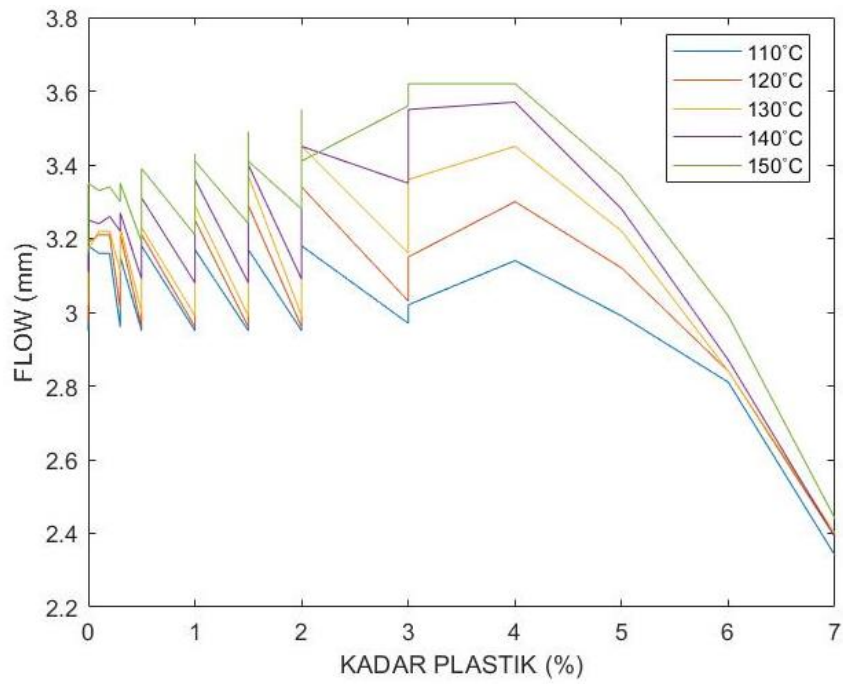
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Penetrasi



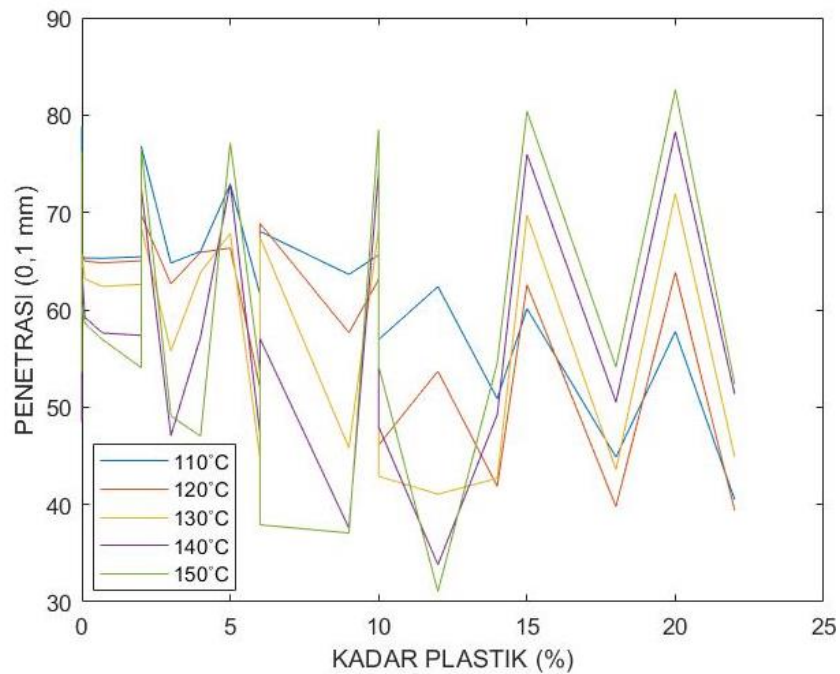
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Titik Lembek



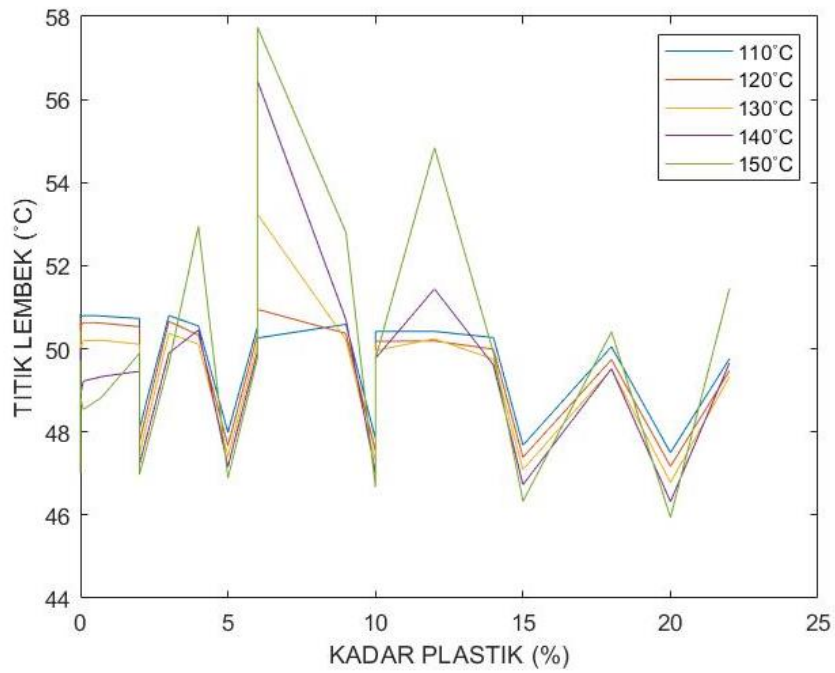
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap Stabilitas



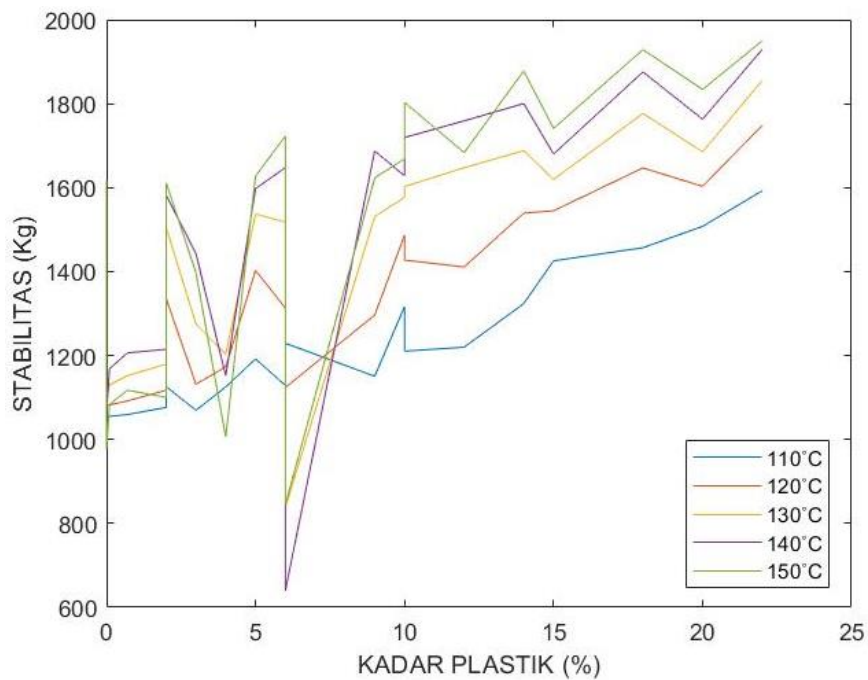
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PP terhadap *Flow*



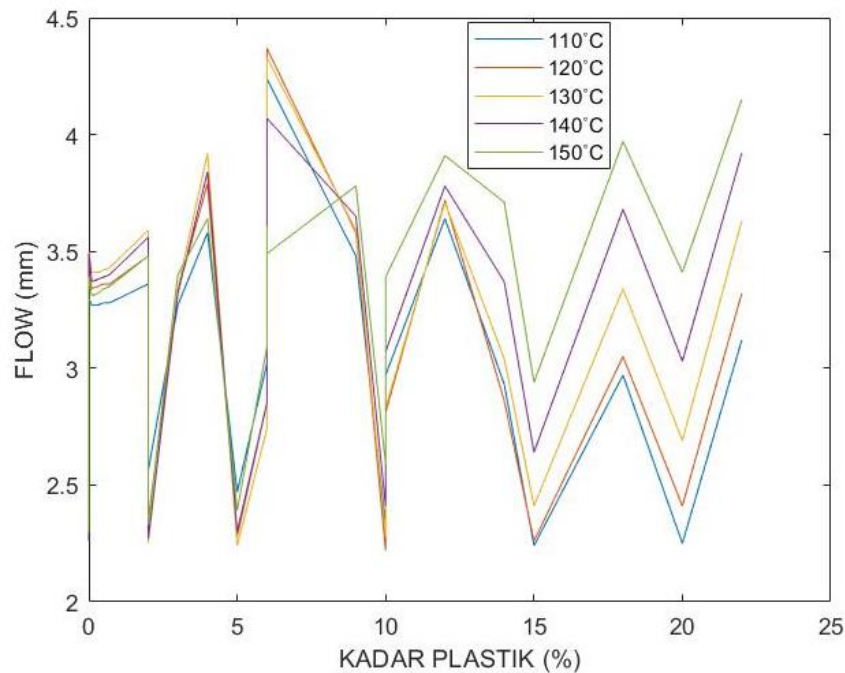
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Penetrasi



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Titik Lembek



Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap Stabilitas



Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Penambahan Plastik PET terhadap *Flow*

Pada **Gambar 4.7** menunjukkan pengaruh penambahan plastik PP terhadap penetrasi aspal, dimana pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar plastik yang ditambahkan maka semakin rendah nilai penetrasi yang didapatkan. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa dengan menambahkan kadar aspal pada kadar plastik yang sama akan meningkatkan nilai penetrasi yang membuat aspal semakin keras. Selain itu, suhu proses yang digunakan dapat mempengaruhi nilai penetrasi dimana semakin tinggi suhu prosesnya nilai penetrasi menurun. Hal ini didukung dengan hasil yang diperoleh, dimana mayoritas nilai penetrasi yang dibawah rentang 60-70 (sebagai standar yang telah ditetapkan Bina Marga) dimiliki oleh sampel yang diberi masukan suhu proses 150°C. Pada **Gambar 4.11** menunjukkan bahwa pengaruh suhu proses membuat nilai penetrasi aspal modifikasi PET semakin rendah, karena pada suhu 140°C dan 150°C hanya didapatkan nilai penetrasi yang memenuhi standar (rentang 60-70) sebanyak 2 sampel dari 26 sampel.

Pada **Gambar 4.8** dan **4.12** menunjukkan pengaruh penambahan plastik PP dan PET terhadap nilai titik lembek aspal, dimana semakin tinggi kadar plastik maka nilai titik lembek akan mengalami peningkatan. Berdasarkan kedua grafik tersebut titik lembek untuk semua sampel PP telah memenuhi standar Bina Marga

(minimal 48°C), namun untuk beberapa sampel pada PET ada yang tidak memenuhi standar Bina Marga. Besarnya nilai titik leleh merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui ketahanan jalan terhadap perubahan suhu lingkungan (Rahmawati, 2017).

Pada **Gambar 4.9** dan **4.13** menunjukkan pengaruh penambahan plastik PP dan PET terhadap nilai stabilitas aspal, dimana nilai stabilitas meningkat dengan ditambahkannya kadar plastik di dalam aspal. Pada penambahan PP didapatkan beberapa sampel dengan suhu proses dibawah 150°C memiliki nilai stabilitas yang tidak memenuhi standar Bina Marga (minimal 1000 kg). Hal demikian dapat terjadi karena pada suhu tersebut plastik PP belum mengalami leleh secara sempurna sehingga daya ikat antar agregat menjadi tidak merata dan lemah. Sedangkan pada penambahan PET didapatkan satu sampel yang memiliki nilai stabilitas yang tidak memenuhi standar, yaitu pada komposisi aspal sebanyak 6,2% tanpa adanya plastik.

Pada **Gambar 4.10** dan **4.14** menunjukkan pengaruh penambahan plastik PP dan PET terhadap nilai *flow*, dengan semakin bertambahnya kadar plastik akan mengalami kenaikan nilai *flow*. Pada penambahan PP terhadap aspal didapatkan nilai *flow* yang sudah sesuai dengan standar Bina Marga, yaitu berada pada rentang 2-4 mm. Untuk penambahan PET didapatkan nilai *flow* yang tidak sesuai dengan standar Bina Marga (melebihi 4 mm) yang berarti bahwa sampel tersebut terlalu elastis sehingga akan menimbulkan kerusakan alur untuk masa yang akan datang.

Tabel 4.6 dan **4.8** merupakan tabel hasil pengujian sampel untuk PP dan PET sebagai bahan tambah aspal yang disertai dengan nilai MQ. Nilai MQ merupakan indikator kekakuan aspal, dimana semakin tinggi nilai MQ akan rentan mengalami keretakan dan apabila semakin rendah akan rentan mengalami alur (Likitlersuang & Chompoorat, 2016). Nilai MQ yang diperoleh dari Tabel 4.6 dan 4.8 telah memenuhi standar Bina Marga, dimana nilai minimal MQ yang ditentukan adalah 250 kg/mm. Nilai MQ yang diperoleh dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk melakukan perawatan sebelum terjadinya kerusakan jalan. Berdasarkan kedua tabel tersebut didapatkan komposisi terbaik untuk pencampuran aspal yaitu pada kode PP60 dan PET27 dengan masing-masing memiliki nilai stabilitas sebesar 1754,32 kg dan 1201,72 kg.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Berdasarkan pelatihan dan evaluasi yang telah dilakukan dengan variasi 10 *hidden node*, diperoleh model JST terbaik pada 9 *hidden node* untuk PP dan 8 *hidden node* untuk PET. Sedangkan untuk pengujian, diperoleh nilai akurasi *output* sebesar 81% untuk PP dan 91% untuk PET dengan MSE validasi masing-masing sebesar 8,12% dan 4,97%.
- b. Berdasarkan hasil uji dan simulasi, penambahan limbah plastik PP dan PET dapat menurunkan nilai penetrasi dan titik lembek yang berpengaruh pada ketahanan aspal terhadap perubahan suhu, serta menaikkan nilai stabilitas yang berpengaruh terhadap besar beban maksimal yang dapat diterima oleh aspal. Komposisi terbaik AC-WC modifikasi yang telah sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga untuk PP yaitu 1% kadar plastik PP dan 5,6% kadar aspal optimum, sedangkan untuk PET yaitu 5,95% kadar plastik PET dan 6% kadar aspal optimum.

5.2 Saran

Dalam penelitian berbasis simulasi diperlukan adanya validator berupa eksperimen atau pengambilan data primer. Hal ini merupakan salah satu kendala yang cukup mempengaruhi dalam penelitian ini walaupun dalam program JST sendiri sudah ada pembagian untuk parameter validasi. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengumpulan data primer agar dapat mengetahui faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil pengujian selain dari pengaruh jaringan yang dibuat seperti nilai VMA, VIM dan VFA.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- AdminGro1. (2014). *Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)*.
<https://dpupr.grobogan.go.id/info/artikel/29-konstruksi-perkerasan-lentur-flexible-pavement>
- Ahmad, A. F., Razali, A. R., Razelan, I. S. M., Jalil, S. S. A., Noh, M. S. M., & Idris, A. A. (2017). Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in bituminous mixture for improved performance of roads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 203(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/203/1/012005>
- Al-Hadidy, A. I., & Yi-qiu, T. (2009). Mechanistic approach for polypropylene-modified flexible pavements. *Materials and Design*, 30(4), 1133–1140. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.06.021>
- Amit, G., G. Zamare, Renge, V. C., Tayde, S., & Bharsakale, G. (2012). An Overview on Waste Plastic Utilization in Asphaltting of Roads. *Journal of Engineering Research and Studies*, 1–5.
- Arif, S. (2018). *ALTERNATIF PENGGUNAAN PLASTIK POLYPROPYLENE PADA CAMPURAN ASPAL* (Vol. 3). <http://ik.pom.go.id>
- Badan Pusat Statistik. (2019). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis*.
<https://www.bps.go.id/dynamic/table/2016/02/09/1133/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-1949-2017.html>
- Bambang, I., & Harsojuwono, A. (2015). *Teknologi Polimer Industri Pertanian*.
- Cahyaningrum, E. K., & Nugroho, A. S. B. (2014). *Pemodelan Estimasi Kerusakan Perkerasan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Nasional di Wilayah Kerja PPK 3, Satker PJN Wilayah Propinsi DIY)*.
http://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail_pencarian/68743
- Demuth, H., & Beale, M. (1992). *Computation Visualization Programming Neural Network Toolbox For Use with MATLAB ® User's Guide*.
<http://www.mathworks.com>

- Dhana, R. R., & Lubis, Z. (n.d.). Pengaruh Jumlah Lalu Lintas terhadap Tingkat Kerusakan Jalan di Jalan Aspal Kelas III A di Kabupaten Lamongan. *CIVILLA*.
- Fikri, H., Subagja, A., & Manurung, A. S. D. (2020). Experimental characteristic of PET plastic bottle waste addition on asphalt concrete wearing course compound. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 732(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012017>
- Hadijah, I., & Amrulloh, R. (2016). Pengaruh Tambahan Serat Polypropylene terhadap Campuran Aspal Beton AC-WC. *TAPAK*, 6.
- Indriyati, E. W. (2017). PENGARUH ASBUTON MURNI TERHADAP INDEKS PENETRASI ASPAL. In *Jurnal Transportasi* (Vol. 17, Issue 3).
- Junaidi, S., Yan Pratama, D., & Rizauddin, R. (2010). Modeling of Correlation between Heat Treatment and Mechanical Properties of Ti–6Al–4V Alloy Using Feed Forward Back Propagation Neural Network. *ISIJ International*, 50, 1689–1694.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Manual Perkerasan Jalan*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018* (Issue September).
- Likitlersuang, S., & Chompoorat, T. (2016). Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(5), 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.08.002>
- Mathworks. (n.d.). *Divide Data for Optimal Neural Network Training*. Retrieved July 29, 2020, from <https://ch.mathworks.com/help/deeplearning/ug/divide-data-for-optimal-neural-network-training.html;jsessionid=e1b537d4cd09975baa68c29f5649>
- Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A. C., & Olavarría, J. (2019). Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt

- Mixtures. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6969826>
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*, 3, 65.
- Puji Widodo, A., Adi Sarwoko, E., & Firdaus, Z. (2017). Akurasi Model Prediksi Metode Backpropagation Menggunakan Kombinasi Hidden Neuron dengan Alpha. *Jurnal Matematika*, 20, 79–84.
- Rahmawati, A. (2017). Comparison Of Utilization Polypropilene (PP) And High Density Polyethylene (HDPE) On Laston_WC Mixture. *Media Teknik Sipil*, 15, 11–19. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/jmts/article/view/4414>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). *Plastic Pollution*. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Sahibul Munir, Me. (2007). *Ukuran Variasi (Dispersi)*.
- Setiyawan, W. R., & Ma'rif, F. (2013). *Kinerja Penambahan Serat Polypropylene terhadap Karakteristik Marshall menggunakan Bahan Pengikat Shell 60/70 dengan Kadar Aspal 6,75%*.
- Siang, J. (2009). *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan Matlab*. Andi Yogyakarta.
- Soandrijanie, J. F., Wahyu, D., & Purnomo, A. (n.d.). Pengaruh Polypropylene terhadap Stabilitas dan Nilai Marshall Laston. *Universitas Sebelas Maret (UNS)-Surakarta*, 7(7), 24–26.
- Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *JRSDD*, 4, 284–293.
- Tapkin, S. (2008). The effect of polypropylene fibers on asphalt performance. *Building and Environment*, 43(6), 1065–1071. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.02.011>
- Tukaram Thube, D. (2012). Artificial Neural Network (ANN) Based Pavement Deterioration Models for Low Volume Roads in India. In *International Journal of Pavement Research and Technology* (Vol. 5, Issue 2).

- Vaza, H., Subki, A., Yuliansyah, T., Doelrachman, B., Nirwan, E., Sofyan, T. S., Ahyar, Pravianto, W., Purnyoto, Wagemin, & Auliyati, R. (2018). *Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik*. BALITBANG.
- Walker, D. (n.d.). *The Benefits of Modified Asphalts*. Retrieved December 20, 2019, from The benefits of modified asphalts
- Widodo, D. A., Jihan, M. A., Nugroho, A., Mugiono, T., Kuncoro, A. H. B., & Hardwiyono, S. (n.d.). *Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall*.
- Widjojoko, L., & Purnamasari, P. E. (2012). Study the Use of Cement and Plastic bottle Waste as Ingredient Added to the Asphaltic Concrete Wearing Course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 832–841. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.158>
- Yuda Pratama, N., Widodo, S., & Sulandari, E. (n.d.). *Pengaruh Penggunaan Sampah Botol Plastik sebagai Bahan Tambah pada Campuran Lapis Aspal Beton (Laston)*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Data yang Digunakan dalam Penelitian

Tabel A.1 Data Sekunder

Kadar Plastik (%)	Kadar Aspal (%)	Penetrasi (0,1 mm)	Titik Lembek (°C)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Sumber
0	6,5	84	53	1879	3,3	(Soandrijanie dkk.)
2	6,5	53	59	2588	3,1	
4	6,5	52	64	2644	3,1	
6	6,5	50	67	2700	3,2	
0	5	64,6	51	923,92	3,3	(Hadijah & Amrulloh, 2016)
0,5	5	64,6	51	994,05	3,4	
1	5	64,6	51	1074,66	3,5	
1,5	5	64,6	51	1245,93	3,75	
2	5	64,6	51	1252,79	3,75	
0	5,5	64,6	51	1030,29	3,13	
0,5	5,5	64,6	51	1065,74	3,25	
1	5,5	64,6	51	1141	3,55	
1,5	5,5	64,6	51	1259,92	3,65	
2	5,5	64,6	51	1361,79	3,9	
0	6	64,6	51	977,1	3,35	
0,5	6	64,6	51	1012,42	3,4	
1	6	64,6	51	1214,48	3,65	
1,5	6	64,6	51	1289,39	3,9	
2	6	64,6	51	1380,45	4	
0	6,5	64,6	51	1001,54	3,45	
0,5	6,5	64,6	51	994,05	3,45	
1	6,5	64,6	51	1109,72	3,75	
1,5	6,5	64,6	51	1245,93	3,9	
2	6,5	64,6	51	1271,7	3,85	
0	7	64,6	51	1001,54	3,5	
0,5	7	64,6	51	1067,53	3,65	
1	7	64,6	51	1159,37	3,7	
1,5	7	64,6	51	1245,93	3,95	
2	7	64,6	51	1271,7	4	
1	5,6	60,3	51,5	1216,79	3	(Setiyawan & Ma'rif, 2013)
1	5,8	60,3	51,5	1252,58	3,1	
1	6	60,3	51,5	1495,35	4,1	
1	6,2	60,3	51,5	1907,33	3,5	
2	5,6	52,9	53	1187,5	3,5	
2	5,8	52,9	53	1303,7	3,7	

2	6	52,9	53	1572,06	3,4		
2	6,2	529	53	1929,86	4		
3	5,6	44,1	53,5	1295,88	3,6		
3	5,8	44,1	53,5	1362,06	3,1		
3	6	44,1	53,5	1497,44	3,1		
3	6,2	44,1	53,5	1620,64	3,9		
0,1	6,75	68,2	55,5	800,01	3,17		(Al-Hadidy & Yi-qiu, 2009)
0,2	6,75	68,2	55,5	700,43	3,08		
0,3	6,75	68,2	55,5	752,2	2,14		
0,5	6,75	68,2	55,5	655,95	2,27		
0	5,82	51	52,5	755,81	3,175	(Tapkin, 2008)	
1	5,82	44	54,8	837,49	2,984		
3	5,82	38	58	937,32	2,91		
5	5,82	30	63,5	1109,04	2,73		
7	5,82	26,8	70	809,96	3		
0	5,5	63,5	57,2	1541	5,59	(Yuda Pratama dkk.)	
0,3	5,5	63,5	57,2	2108	2,51		
0,5	5,5	63,5	57,2	2226	2,39		
1	5,5	63,5	57,2	2434	2,31		
0	6,1	66,3	50	1002,97	3,13	(Movilla-Quesada dkk., 2019)	
0,1	6,1	65,8	50,25	1019,08	3,17		
0,3	6,1	64,9	50,75	1040,9	3,23		
0,5	6,1	63,9	51,25	1088,84	3,37		
0,7	6,1	62,7	52	1163,22	3,53		
0	5,3	54	50	1784,505	2,8	(Widjojoko & Purnamasari, 2012)	
6	5,3	54	50	1542,32	2,875		
10	5,3	54	50	1695,2775	3,525		
14	5,3	54	50	1988,4475	3,475		
18	5,3	54	50	1809,9975	4,175		
22	5,3	54	50	1563,56	4,25		
0	6,2	70,6	50	1069	3,3	(Ahmad dkk., 2017)	
2	6,18	70,6	50	1180	3,52		
4	6,35	70,6	50	1320	3,64		
6	6,85	70,6	50	1300	4,3		
0	4,8	86	46,3	1356,22	2,7	(Fikri dkk., 2020)	
2	4,8	86	46,3	1560,17	2,2		
5	4,8	86	46,3	1611,15	2,9		
10	4,8	86	46,3	1723,32	3,2		
15	4,8	86	46,3	1733,52	3,3		
20	4,8	86	46,3	1743,71	3,4		
0	5,9	63	48,5	1045,27	3,29	(Fikri dkk., 2020)	
3	5,95	54	54,1	1256,49	3,43		
6	5,95	46	55,2	1273,8	3,55		
9	5,95	42	56,4	1333,96	3,79		

12	5,95	34	58,5	1390,73	3,96	
----	------	----	------	---------	------	--

Tabel A.2 Matriks Data *Input* PP

Kadar Plastik [%]	Kadar Aspal [%]	Suhu Proses [°C]
0	6,5	160
2	6,5	160
4	6,5	160
6	6,5	160
0	5	165
0,5	5	165
1	5	165
1,5	5	165
2	5	165
0	5,5	165
0,5	5,5	165
1	5,5	165
1,5	5,5	165
2	5,5	165
0	6	165
0,5	6	165
1	6	165
1,5	6	165
2	6	165
0	6,5	165
0,5	6,5	165
1	6,5	165
1,5	6,5	165
2	6,5	165
0	7	165
0,5	7	165
1	7	165
1,5	7	165
2	7	165
1	5,6	140
1	5,8	140
1	6	140
1	6,2	140
2	5,6	140
2	5,8	140
2	6	140
2	6,2	140
3	5,6	140
3	5,8	140
3	6	140

3	6,2	140
0,1	6,75	200
0,2	6,75	200
0,3	6,75	200
0,5	6,75	200
0	5,82	160
1	5,82	160
3	5,82	160
5	5,82	160
7	5,82	160
0	5,5	143
0,3	5,5	143
0,5	5,5	143
1	5,5	143

Tabel A.3 Matriks Data Target PP

Penetrasi [0,1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [Kg]	Flow [mm]
84	53	1879	3,3
53	59	2588	3,1
52	64	2644	3,1
50	67	2700	3,2
64,6	51	923,92	3,3
64,6	51	994,05	3,4
64,6	51	1074,66	3,5
64,6	51	1245,93	3,75
64,6	51	1252,79	3,75
64,6	51	1030,29	3,13
64,6	51	1065,74	3,25
64,6	51	1141	3,55
64,6	51	1259,92	3,65
64,6	51	1361,79	3,9
64,6	51	977,1	3,35
64,6	51	1012,42	3,4
64,6	51	1214,48	3,65
64,6	51	1289,39	3,9
64,6	51	1380,45	4
64,6	51	1001,54	3,45
64,6	51	994,05	3,45
64,6	51	1109,72	3,75
64,6	51	1245,93	3,9
64,6	51	1271,7	3,85
64,6	51	1001,54	3,5
64,6	51	1067,53	3,65

64,6	51	1159,37	3,7
64,6	51	1245,93	3,95
64,6	51	1271,7	4
60,3	51,5	1216,79	3
60,3	51,5	1252,58	3,1
60,3	51,5	1495,35	4,1
60,3	51,5	1907,33	3,5
52,9	53	1187,5	3,5
52,9	53	1303,7	3,7
52,9	53	1572,06	3,4
52,9	53	1929,86	4
44,1	53,5	1295,88	3,6
44,1	53,5	1362,06	3,1
44,1	53,5	1497,44	3,1
44,1	53,5	1620,64	3,9
68,2	55,5	800,01	3,17
68,2	55,5	700,43	3,08
68,2	55,5	752,2	2,14
68,2	55,5	655,95	2,27
51	52,5	755,81	3,175
44	54,8	837,49	2,984
38	58	937,32	2,91
30	63,5	1109,04	2,73
26,8	70	809,96	3
63,5	57,2	1541	5,59
63,5	57,2	2108	2,51
63,5	57,2	2226	2,39
63,5	57,2	2434	2,31

Tabel A.4 Matriks Data *Input* PET

Kadar PET [%]	Kadar Aspal [%]	Suhu Proses [°C]
0	6,1	110
0,1	6,1	110
0,3	6,1	110
0,5	6,1	110
0,7	6,1	110
0	5,3	150
6	5,3	150
10	5,3	150
14	5,3	150
18	5,3	150
22	5,3	150
0	6,2	110

2	6,18	110
4	6,35	110
6	6,85	110
0	4,8	170
2	4,8	170
5	4,8	170
10	4,8	170
15	4,8	170
20	4,8	170
0	5,9	160
3	5,95	160
6	5,95	160
9	5,95	160
12	5,95	160

Tabel A.5 Matriks Data Target PET

Penetrasi [0,1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [Kg]	Flow [mm]
66,3	50	1002,97	3,13
65,8	50,25	1019,08	3,17
64,9	50,75	1040,9	3,23
63,9	51,25	1088,84	3,37
62,7	52	1163,22	3,53
54	50	1784,505	2,8
54	50	1542,32	2,875
54	50	1695,2775	3,525
54	50	1988,4475	3,475
54	50	1809,9975	4,175
54	50	1563,56	4,25
70,6	50	1069	3,3
70,6	50	1180	3,52
70,6	50	1320	3,64
70,6	50	1300	4,3
86	46,3	1356,22	2,7
86	46,3	1560,17	2,2
86	46,3	1611,15	2,9
86	46,3	1723,32	3,2
86	46,3	1733,52	3,3
86	46,3	1743,71	3,4
63	48,5	1045,27	3,29
54	54,1	1256,49	3,43
46	55,2	1273,8	3,55

42	56,4	1333,96	3,79
34	58,5	1390,73	3,96

LAMPIRAN B. Pengujian JST

Tabel B.1 hingga **Tabel B.10** merupakan hasil pengujian jaringan syaraf tiruan untuk plastik PP dan PET sebagai bahan tambah campuran aspal modifikasi. Tulisan yang berwarna merah yang terdapat pada tabel merupakan nilai yang tidak sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 untuk aspal modifikasi.

Tabel B.1 Hasil Pengujian untuk PP (110°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
64,24	55,00	1655,43	3,13
56,19	54,62	1165,59	3,05
45,68	54,30	896,01	3,14
22,07	63,08	1034,44	2,81
56,49	54,69	992,15	2,95
56,37	54,69	984,40	2,95
56,27	54,68	979,21	2,95
56,17	54,68	975,57	2,95
56,04	54,68	972,79	2,95
57,26	54,72	1058,18	2,97
56,80	54,70	1026,35	2,96
56,46	54,69	1004,77	2,96
56,17	54,67	990,02	2,95
55,86	54,66	979,40	2,96
59,82	54,83	1277,58	3,02
58,50	54,78	1183,02	3,00
57,44	54,73	1109,38	2,99
56,55	54,68	1055,36	2,98
55,71	54,62	1016,20	2,98
64,24	55,00	1655,43	3,13
62,31	54,97	1539,60	3,10
60,28	54,88	1406,14	3,07
58,24	54,76	1277,18	3,05
56,19	54,62	1165,59	3,05
66,53	54,99	1865,84	3,18
65,08	55,12	1862,70	3,18
63,21	55,09	1793,35	3,17
60,75	54,94	1674,37	3,17
57,67	54,72	1522,51	3,18
56,56	54,69	1016,14	2,96
56,88	54,70	1050,98	2,97
57,44	54,73	1109,38	2,99
58,32	54,77	1200,73	3,01

55,82	54,65	982,87	2,96
55,75	54,64	994,48	2,97
55,71	54,62	1016,20	2,98
55,78	54,61	1054,99	3,00
54,70	54,63	962,30	2,97
54,22	54,59	961,04	2,98
53,63	54,53	962,19	3,00
52,92	54,45	968,79	3,02
65,57	55,04	1788,68	3,16
65,24	55,06	1777,07	3,16
64,89	55,06	1763,00	3,15
64,16	55,06	1728,24	3,15
58,60	54,78	1173,24	3,00
56,92	54,71	1055,60	2,97
54,17	54,58	961,01	2,99
43,73	56,44	937,86	2,99
11,80	71,35	1293,67	2,34
57,26	54,72	1058,18	2,97
56,97	54,71	1037,64	2,96
56,80	54,70	1026,35	2,96
56,46	54,69	1004,77	2,96

Tabel B.2 Hasil Pengujian untuk PP (120°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
66,55	54,85	1836,85	3,20
56,43	54,54	1482,90	3,20
40,18	53,83	925,45	3,30
18,31	63,54	1039,77	2,84
57,18	54,72	1053,55	2,97
56,72	54,70	1023,11	2,96
56,37	54,68	1002,24	2,96
56,05	54,66	987,64	2,96
55,68	54,64	976,66	2,96
59,64	54,82	1263,91	3,02
58,31	54,77	1172,16	3,00
57,22	54,71	1100,68	2,99
56,27	54,65	1047,82	2,98
55,34	54,59	1008,69	2,99
64,04	54,96	1635,52	3,13
62,00	54,93	1519,27	3,10
59,85	54,83	1385,95	3,08
57,67	54,69	1257,54	3,06

55,44	54,53	1146,21	3,06
66,55	54,85	1836,85	3,20
64,83	54,99	1833,60	3,20
62,65	54,95	1761,51	3,19
59,86	54,79	1638,51	3,20
56,43	54,54	1482,90	3,20
65,09	54,58	1779,59	3,19
63,37	55,00	1920,70	3,21
61,34	55,11	1966,33	3,25
58,79	54,98	1938,64	3,29
55,64	54,72	1855,71	3,34
57,58	54,72	1139,70	3,00
58,56	54,77	1245,20	3,03
59,85	54,83	1385,95	3,08
61,24	54,89	1545,96	3,12
55,29	54,57	1023,76	3,00
55,28	54,55	1070,14	3,02
55,44	54,53	1146,21	3,06
55,79	54,53	1258,68	3,11
52,45	54,41	952,06	3,03
51,48	54,31	959,20	3,06
50,44	54,20	979,88	3,10
49,44	54,08	1023,87	3,15
65,96	54,76	1846,75	3,21
65,64	54,83	1864,24	3,21
65,31	54,88	1877,90	3,21
64,62	54,96	1894,51	3,22
62,42	54,92	1500,36	3,09
58,68	54,77	1257,82	3,04
51,38	54,30	960,52	3,06
36,77	56,08	866,12	3,12
7,73	71,48	1263,57	2,39
59,64	54,82	1263,91	3,02
58,81	54,79	1206,55	3,01
58,31	54,77	1172,16	3,00
57,22	54,71	1100,68	2,99

Tabel B.3 Hasil Pengujian untuk PP (130°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
65,04	54,16	1700,24	3,24
53,90	54,35	1782,62	3,39
38,74	53,80	1192,81	3,45

17,17	64,30	1140,51	2,84
59,39	54,82	1252,00	3,02
58,06	54,76	1162,58	3,00
56,94	54,70	1092,71	2,99
55,92	54,63	1040,43	2,99
54,86	54,55	1000,71	2,99
63,74	54,93	1616,45	3,13
61,59	54,89	1499,46	3,10
59,31	54,78	1365,88	3,08
56,96	54,62	1237,53	3,07
54,52	54,44	1125,89	3,08
66,39	54,73	1811,77	3,22
64,40	54,88	1807,62	3,21
61,90	54,82	1732,05	3,21
58,76	54,64	1604,47	3,22
55,00	54,36	1444,97	3,23
65,04	54,16	1700,24	3,24
62,84	54,60	1846,14	3,26
60,32	54,72	1893,89	3,30
57,34	54,60	1866,13	3,35
53,90	54,35	1782,62	3,39
62,30	54,28	1624,39	3,17
59,53	54,96	1884,48	3,23
56,72	55,35	2060,34	3,29
54,13	55,42	2141,54	3,37
51,85	55,30	2151,50	3,45
59,96	54,80	1442,94	3,11
61,17	54,83	1598,76	3,16
61,90	54,82	1732,05	3,21
61,89	54,78	1824,35	3,26
54,56	54,42	1174,06	3,10
54,77	54,39	1297,04	3,16
55,00	54,36	1444,97	3,23
54,96	54,33	1594,37	3,31
48,40	53,98	972,53	3,16
47,31	53,85	1026,57	3,22
46,55	53,75	1119,07	3,28
46,20	53,70	1252,52	3,36
62,73	54,15	1666,98	3,22
62,26	54,29	1713,89	3,22
61,77	54,41	1756,87	3,23
60,77	54,60	1830,32	3,25
65,86	54,86	1780,56	3,19
61,27	54,83	1613,54	3,17

47,22	53,84	1033,96	3,22
31,39	55,92	834,23	3,22
5,72	71,78	1262,30	2,40
63,74	54,93	1616,45	3,13
62,47	54,91	1549,76	3,11
61,59	54,89	1499,46	3,10
59,31	54,78	1365,88	3,08

Tabel B.4 Hasil Pengujian untuk PP (140°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
60,45	53,33	1419,31	3,25
49,46	54,53	1982,20	3,50
42,13	54,56	1711,69	3,57
20,18	65,57	1494,26	2,87
63,22	54,98	1604,41	3,11
60,97	54,91	1484,58	3,09
58,57	54,77	1348,90	3,08
56,06	54,58	1218,91	3,08
53,40	54,37	1105,46	3,09
65,95	54,69	1792,44	3,22
63,70	54,81	1785,51	3,22
60,90	54,73	1704,86	3,23
57,43	54,50	1571,61	3,24
53,40	54,20	1407,80	3,26
64,79	53,86	1642,17	3,28
62,13	54,30	1790,72	3,31
59,18	54,41	1839,12	3,34
55,88	54,29	1810,56	3,39
52,27	54,05	1726,27	3,44
60,45	53,33	1419,31	3,25
57,39	54,03	1684,04	3,30
54,37	54,46	1869,56	3,37
51,69	54,59	1961,78	3,43
49,46	54,53	1982,20	3,50
61,51	54,40	1617,90	3,25
58,27	55,01	1861,65	3,31
55,23	55,77	2141,59	3,36
52,91	56,41	2380,44	3,40
51,52	56,78	2534,70	3,45
60,96	54,68	1754,32	3,26
60,47	54,56	1817,47	3,31
59,18	54,41	1839,12	3,34

57,27	54,30	1838,42	3,37
53,38	54,16	1481,38	3,30
53,07	54,10	1617,31	3,38
52,27	54,05	1726,27	3,44
51,05	54,08	1814,93	3,48
44,61	53,53	1141,86	3,35
44,55	53,50	1287,18	3,43
44,77	53,53	1451,53	3,50
45,06	53,67	1618,44	3,55
59,52	53,91	1533,91	3,24
58,89	54,05	1587,95	3,26
58,24	54,19	1642,84	3,27
56,95	54,47	1752,45	3,29
65,69	54,20	1728,26	3,27
60,38	54,55	1821,29	3,31
44,56	53,50	1303,12	3,44
29,37	56,11	911,52	3,28
5,00	72,15	1284,39	2,39
65,95	54,69	1792,44	3,22
64,65	54,79	1798,37	3,22
63,70	54,81	1785,51	3,22
60,90	54,73	1704,86	3,23

Tabel B.5 Hasil Pengujian untuk PP (150°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
57,86	53,45	1379,97	3,29
49,49	55,74	2289,23	3,50
48,72	56,39	2341,69	3,62
30,96	67,73	2262,51	2,99
64,82	55,00	1797,62	3,16
62,51	54,99	1776,86	3,19
59,59	54,79	1681,63	3,21
56,00	54,46	1534,66	3,24
51,90	54,06	1359,90	3,28
63,99	53,83	1607,98	3,28
61,07	54,20	1750,76	3,32
57,91	54,24	1792,98	3,37
54,52	54,07	1757,99	3,43
50,99	53,79	1668,00	3,48
59,16	52,68	1267,35	3,30
55,92	53,35	1531,60	3,36
52,83	53,78	1722,70	3,43

50,23	53,95	1822,16	3,49
48,17	53,92	1848,82	3,55
57,86	53,45	1379,97	3,29
55,04	53,99	1612,48	3,35
52,46	54,71	1888,91	3,41
50,55	55,35	2130,64	3,45
49,49	55,74	2289,23	3,50
58,72	54,18	1560,51	3,35
56,62	54,47	1689,38	3,39
54,61	55,13	1914,89	3,41
52,75	56,08	2215,51	3,41
51,25	57,07	2519,42	3,41
57,05	54,11	1783,73	3,39
54,99	53,88	1750,24	3,42
52,83	53,78	1722,70	3,43
51,44	53,96	1742,26	3,42
50,51	53,76	1708,15	3,50
49,33	53,75	1774,50	3,54
48,17	53,92	1848,82	3,55
47,72	54,40	1973,71	3,54
44,28	53,29	1465,71	3,56
44,66	53,42	1617,27	3,60
45,05	53,73	1770,18	3,62
45,97	54,33	1963,05	3,62
58,58	54,08	1551,00	3,33
58,07	54,15	1583,40	3,34
57,57	54,23	1619,81	3,35
56,57	54,45	1704,49	3,37
61,25	52,97	1374,45	3,31
54,77	53,86	1746,61	3,42
44,69	53,45	1632,05	3,60
32,11	56,52	1177,67	3,37
7,14	72,29	1310,95	2,44
63,99	53,83	1607,98	3,28
62,27	54,10	1706,63	3,30
61,07	54,20	1750,76	3,32
57,91	54,24	1792,98	3,37

Tabel B.6 Hasil Pengujian untuk PET (110°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
65,32	50,80	1054,40	3,27
65,32	50,80	1055,08	3,27

65,31	50,80	1056,46	3,27
65,30	50,80	1057,88	3,28
65,29	50,79	1059,35	3,28
65,50	50,59	1062,46	3,08
61,64	50,52	1128,91	3,02
56,94	50,42	1210,34	2,97
50,86	50,27	1323,65	2,93
44,87	50,05	1456,81	2,97
40,50	49,76	1592,52	3,12
65,55	50,76	1059,39	3,30
65,45	50,73	1076,40	3,36
66,00	50,55	1125,14	3,58
68,05	50,26	1229,24	4,24
78,88	48,12	1089,47	2,60
76,80	48,07	1125,74	2,56
72,90	47,99	1191,84	2,47
65,63	47,84	1316,51	2,33
60,12	47,68	1425,56	2,24
57,76	47,50	1507,70	2,25
64,99	50,85	1048,67	3,21
64,80	50,80	1069,56	3,27
64,37	50,71	1101,56	3,36
63,63	50,59	1150,56	3,48
62,38	50,42	1219,86	3,64

Tabel B.7 Hasil Pengujian untuk PET (120°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
65,03	50,63	1080,74	3,34
65,00	50,63	1082,26	3,34
64,94	50,63	1085,36	3,35
64,88	50,63	1088,53	3,36
64,82	50,62	1091,76	3,36
60,61	50,48	1166,70	2,98
52,02	50,33	1312,92	2,85
46,11	50,18	1427,28	2,81
41,86	49,99	1539,23	2,86
39,77	49,74	1646,90	3,05
39,38	49,47	1747,94	3,32
65,80	50,54	1080,10	3,41
65,04	50,53	1117,32	3,48
65,91	50,33	1173,14	3,79
68,88	50,95	1123,79	4,37

72,44	47,81	1285,83	2,41
69,75	47,76	1335,46	2,35
66,34	47,67	1402,56	2,28
63,09	47,54	1486,41	2,22
62,57	47,39	1544,88	2,26
63,84	47,17	1603,03	2,41
63,72	50,74	1085,26	3,24
62,66	50,66	1131,65	3,33
60,61	50,53	1201,72	3,44
57,65	50,37	1296,46	3,58
53,69	50,19	1410,86	3,72

Tabel B.8 Hasil Pengujian untuk PET (130°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
63,27	50,19	1126,68	3,40
63,15	50,19	1130,23	3,41
62,90	50,20	1137,38	3,41
62,65	50,20	1144,61	3,42
62,40	50,21	1151,91	3,43
51,59	50,27	1371,15	2,79
44,83	50,11	1517,88	2,74
42,90	49,96	1602,52	2,83
42,69	49,75	1688,10	3,04
43,57	49,51	1776,69	3,34
44,89	49,33	1855,04	3,63
65,71	49,98	1094,13	3,50
62,61	50,11	1179,64	3,59
63,82	50,11	1203,00	3,92
67,46	53,24	837,87	4,33
69,37	47,51	1478,09	2,27
68,47	47,47	1505,22	2,25
67,86	47,40	1536,89	2,24
68,25	47,28	1576,79	2,28
69,73	47,09	1619,45	2,41
71,95	46,78	1685,11	2,69
59,02	50,46	1181,22	3,21
55,75	50,37	1275,46	3,34
50,86	50,29	1401,04	3,46
45,79	50,22	1531,17	3,59
41,06	50,24	1647,39	3,71

Tabel B.9 Hasil Pengujian untuk PET (140°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
59,50	49,20	1161,96	3,36
59,23	49,22	1168,31	3,37
58,69	49,26	1180,99	3,38
58,15	49,29	1193,64	3,39
57,61	49,33	1206,24	3,40
48,47	50,04	1548,08	2,71
47,30	49,92	1647,50	2,85
47,98	49,77	1719,40	3,07
49,23	49,61	1800,29	3,37
50,51	49,52	1875,62	3,68
51,34	49,66	1928,94	3,92
64,21	48,90	1063,74	3,49
57,37	49,46	1214,81	3,56
57,20	50,45	1151,90	3,84
57,05	56,45	639,53	4,07
72,39	47,26	1571,29	2,26
72,51	47,22	1582,39	2,27
72,96	47,16	1597,64	2,30
74,20	47,00	1628,15	2,41
75,97	46,73	1680,02	2,64
78,28	46,32	1762,97	3,03
51,70	49,76	1317,49	3,13
47,07	49,90	1442,65	3,32
41,85	50,22	1580,66	3,48
37,57	50,70	1687,30	3,65
33,81	51,44	1759,06	3,78

Tabel B.10 Hasil Pengujian untuk PET (150°C)

Penetrasi [0.1 mm]	Titik Lembek [°C]	Stabilitas [kg]	Flow [mm]
58,89	48,49	1077,33	3,30
58,60	48,54	1083,11	3,31
58,04	48,63	1094,61	3,32
57,48	48,73	1106,02	3,34
56,92	48,82	1117,34	3,35
53,60	49,72	1617,10	2,80
53,66	49,76	1722,99	3,09
54,21	49,76	1803,16	3,39
54,57	49,91	1877,84	3,71
54,12	50,41	1928,81	3,97

52,36	51,45	1949,58	4,15
60,56	48,83	975,21	3,39
54,05	49,89	1100,22	3,48
47,01	52,95	1005,69	3,64
37,91	57,74	844,26	3,49
76,27	47,01	1603,17	2,30
76,56	46,97	1611,66	2,33
77,15	46,89	1627,11	2,39
78,51	46,67	1668,64	2,59
80,39	46,33	1740,95	2,94
82,60	45,94	1833,87	3,41
54,28	48,66	1285,52	3,14
49,09	49,65	1397,42	3,40
43,06	51,05	1528,62	3,61
37,07	52,80	1623,25	3,78
31,05	54,84	1683,44	3,91

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hanif Olivia Putri, lahir di kota Surabaya pada tanggal 16 Januari 1998. Penulis telah menempuh pendidikan di SDN Kedung Baruk I/275 lulus tahun 2010, SMPN 35 Surabaya lulus tahun 2013, dan SMAN 16 Surabaya lulus tahun 2016. Pendidikan sarjana ditempuh di Departemen Teknik Fisika ITS melalui jalur SBMPTN 2016. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam Laboratorium Material Fungsional Maju dan organisasi HMTF kepengurusan 2017/2018 sebagai staff departemen olahraga dan kesehatan. Selain itu, penulis pernah bergabung sebagai pengajar mentoring mata kuliah agama islam yang ditujukan untuk mahasiswa baru tahun 2019. Pada masa perkuliahan penulis melakukan Kerja Praktik di BATAN Yogyakarta, selama kegiatan kerja praktik penulis belajar mengenai desain dan kalibrasi sensor serta pengetahuan mengenai teknologi nuklir di Indonesia. Penulis menutup kuliah kampus dengan Tugas Akhir berjudul **“Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Sifat Mekanik dan Termal Aspal Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan”**. Penulis dapat dihubungi melalui email di hanifolivia@gmail.com.