

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN JUDUL II.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR SIMBOL .....	xxiii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	9
1.3. Batasan Masalah .....	10
1.4. Tujuan .....	11
1.5. Kebaruan Penelitian .....	12
1.6. Manfaat Penelitian .....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	22
2.1. Budidaya Sawi .....	22

2.2. Sistem Hidroponik .....	25
2.3. Kendali Aktuator Untuk Pertumbuhan Sawi .....	31
2.4. Model Pertumbuhan Tanaman .....	33
<b>BAB III LANDASAN TEORI .....</b>	<b>42</b>
3.1. Iklim Mikro dan Nutrisi Budidaya Sawi Hidroponik .....	42
3.1.1. Lingkungan budidaya sawi .....	42
3.1.2. Rumah tanaman ( <i>greenhouse</i> ) .....	43
3.1.3. Hidroponik .....	46
3.1.4. Sawi .....	46
3.1.5. Peranan suhu dan cahaya .....	47
3.1.6. Peranan unsur hara .....	49
3.2. Perangkat <i>Hardware</i> .....	54
3.2.1. Mikrokontroler .....	55
3.2.2. Sensor suhu tipe LM35 .....	62
3.2.3. Sensor cahaya tipe <i>Light Dependent Resistance</i> (LDR) .....	64
3.2.4. Lampu neon ( <i>Tube lamp</i> ) .....	65
3.3. Rancangbangun Aktuator Otomatis .....	67
3.3.1. Sensor, aktuator, dan <i>software</i> .....	67
3.3.2. Sistem otomatisasi tipe <i>on /off</i> dalam budidaya pertanian .....	71
3.4. Prototipe <i>Greenhouse</i> Untuk Pengujian .....	73
3.5. Pengembangan Model .....	75
3.5.1. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) .....	76
3.5.2. Komponen utama JST .....	77

3.5.3. Fungsi aktivasi .....	82
3.5.4. Metode pelatihan JST .....	83
3.5.5. Optimasi JST- <i>Backpropagation</i> .....	94
<b>BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>96</b>
4.1 Ringkasan Prosedur Penelitian.....	96
4.2. Waktu dan Tempat .....	97
4.3. Alat dan Bahan .....	97
4.3.1. Alat .....	98
1. Perangkat keras ( <i>hardware</i> ) .....	98
2. Perangkat lunak ( <i>software</i> ) .....	98
4.3.2. Bahan .....	99
4.4. Tahapan Pelaksanaan Penelitian .....	99
4.4.1. Pembuatan perangkat pengendali dan <i>greenhouse</i> .....	108
1. Perangkat keras ( <i>hardware</i> ) .....	108
2. Perangkat lunak ( <i>software</i> ) .....	110
3. Skematik rangkaian .....	117
4.4.2. Penyusunan model Jaringan Syaraf Tiruan .....	122
4.5. Pengambilan data .....	127
4.6. Analisis Data .....	128
4.6.1. Analisis identifikasi pola pertumbuhan .....	130
4.6.2. Analisis rancangan aktuator pengendali iklim mikro dan nutrisi ..	132
1. Kalibrasi dan validasi sensor .....	132
2. Rancangan aktuator pengendali iklim mikro dan nutrisi .....	134

4.6.3. Analisis model JST terhadap rekayasa iklim mikro dan nutrisi ....	135
1. Penentuan parameter pembelajaran .....	136
2. Pembentukan arsitektur jaringan .....	137
3. Pemilihan model terbaik melalui pengujian .....	138
4.6.4. Validasi model .....	139
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>141</b>
5.1 Identifikasi Pola Pertumbuhan .....	141
5.1.1. Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan sawi .....	144
5.1.2. Pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan sawi .....	150
5.1.3. Pengaruh nutrisi terhadap pertumbuhan sawi .....	156
5.1.4. Hubungan suhu, cahaya dan nutrisi terhadap pertumbuhan sawi ..	162
5.1.5. Tingkat sensitivitas dan laju pertumbuhan pada tanaman sawi .....	168
5.2. Rancangbangun Sistem Pengendali Iklim Mikro dan Nutrisi Otomatis ..	173
5.2.1. Modul utama mikrokontroler .....	173
5.2.2. Komponen sensor .....	174
1. Sensor suhu lingkungan .....	174
2. Sensor nutrisi.....	176
3. Sensor intensitas cahaya .....	177
5.2.3. Aktuator .....	179
1. Aktuator lampu pijar ( <i>heater</i> ) .....	179
2. Aktuator pompa air dan pompa nutrisi .....	180
3. Aktuator lampu TL.....	182
5.2.4. Kalibrasi sensor .....	184



1. Sensor suhu .....	184
2. Sensor nutrisi .....	186
3. Sensor intensitas cahaya .....	188
5.2.5. Analisis kinerja sistem kendali .....	191
1. Analisis kinerja aktuator lampu pijar ( <i>heater</i> ) .....	192
2. Analisis kinerja aktuator pompa air untuk nutrisi .....	208
3. Analisis kinerja aktuator lampu TL .....	214
5.3 Model Jaringan Syaraf Tiruan .....	218
5.3.1 Desain arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan .....	218
5.3.2 Pelatihan arsitektur model Jaringan Syaraf Tiruan .....	223
5.3.3 Validasi model pertumbuhan tanaman .....	227
BAB VI. PENUTUP .....	230
6.1. Kesimpulan .....	230
6.2. Saran .....	232
RINGKASAN .....	234
<i>SUMMARY</i> .....	241
DAFTAR PUSTAKA .....	246
LAMPIRAN 1 .....	256
LAMPIRAN 2 .....	264.a - d
LAMPIRAN 3 .....	265
LAMPIRAN 4 .....	267

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tanaman sawi ( <i>Brassica rappa</i> var. <i>parachinensis</i> L.) .....	22
Gambar 2.2. Perbandingan pemberian air dan hasil berat buah .....	35
Gambar 2.3. Pengamatan tinggi tanaman pada varietas gandum .....	36
Gambar 2.4. Hasil perbandingan ILD kentang .....	38
Gambar 2.5. Hasil uji biomassa daun kentang .....	38
Gambar 2.6. Hasil uji biomassa batang kentang.....	39
Gambar 2.7. Hasil uji biomassa akar kentang .....	39
Gambar 3.1. Mikrokontroler ATmega8535 dan LCD .....	61
Gambar 3.2. Pin-pin dan blok diagram pada ATmega8535 .....	61
Gambar 3.3. Sensor LM35 .....	63
Gambar 3.4. Sensor LDR .....	65
Gambar 3.5. Lampu Neon ( <i>Tube lamp</i> ) .....	66
Gambar 3.7. Rancangan 1 ruangan <i>greenhouse</i> .....	73
Gambar 3.8. Rancangan 27 ruangan <i>greenhouse</i> .....	74
Gambar 3.9. Susunan syaraf manusia .....	77
Gambar 3.10. Struktur internal <i>node</i> pemroses .....	78
Gambar 3.11. Arsitektur jaringan dua unit keluaran .....	79
Gambar 3.12. Jaringan dengan satu unit keluaran .....	81
Gambar 3.13. Fungsi Aktivasi <i>sigmoid biner</i> .....	83
Gambar 3.14. Diagram konsep pelatihan algoritma <i>backpropagation</i> .....	89
Gambar 3.15. Jaringan multi lapis dengan satu lapisan tersembunyi. ....	91

Gambar 4.1. Skema proses penelitian .....	100
Gambar 4.2. Diagram alir sistem kerja pengendali iklim mikro dan nutrisi di <i>greenhouse</i> .....	112
Gambar. 4.3. Garis besar diagram alir penelitian .....	113
Gambar 4.4. Diagram alir identifikasi pola pertumbuhan oleh cahaya, suhu, dan nutrisi.. ..	114
Gambar 4.5. Diagram alir pembuatan perangkat pengendali, <i>greenhouse</i> , dan pengambilan data .....	115
Gambar 4.6. Diagram alir pembuatan model tingkat pertumbuhan tanaman sawi .....	116
Gambar 4.7. Rangkaian mikrokontroler dan <i>power supply</i> .....	118
Gambar 4.8. Skematik rangkaian (a) sensor suhu dan (b) lampu pijar.....	119
Gambar 4.9. Skematik rangkaian (a) sensor cahaya dan (b) lampu TL .....	120
Gambar 4.10. Skematik rangkaian sensor nutrisi .....	122
Gambar 4.11. Skematik rangkaian aktuator pompa air .....	122
Gambar 4.12. Diagram alir pemodelan dengan JST .....	126
Gambar 4.13. Bentuk daun tanaman sawi berbagai ukuran .....	129
Gambar 5.1.a. Hasil prapenelitian model suhu dengan luas daun .....	141
b. Hasil prapenelitian model cahaya dengan luas daun .....	142
c. Hasil prapenelitian model nutrisi dengan luas daun .....	143
Gambar 5.2. Hasil rancangan <i>greenhouse</i> .....	144
Gambar 5.3.a. Pengaruh nutrisi dan cahaya pada suhu 32 °C .....	145
b. Pengaruh nutrisi dan cahaya pada suhu 35 °C .....	146
c. Pengaruh nutrisi dan cahaya pada suhu 38 °C .....	147
Gambar 5.4. Perubahan tingkat pertumbuhan oleh pengaruh suhu .....	148
Gambar 5.5. Perbandingan pengaruh perbedaan cahaya terhadap tingkat pertumbuhan .....	148

Gambar 5.6.a. Pengaruh suhu dan nutrisi pada cahaya 7000 lux .....	151
b. Pengaruh suhu dan nutrisi pada cahaya 12000 lux .....	152
c. Pengaruh suhu dan nutrisi pada cahaya 17000 lux .....	153
Gambar 5.7. Perubahan tingkat pertumbuhan oleh pengaruh cahaya .....	154
Gambar 5.8. Perbandingan pengaruh perbedaan cahaya terhadap tingkat pertumbuhan .....	154
Gambar 5.9.a. Pengaruh cahaya dan suhu pada nutrisi 8 mS/cm .....	156
b. Pengaruh cahaya dan suhu pada nutrisi 5 mS/cm .....	157
c. Pengaruh cahaya dan suhu pada nutrisi 2 mS/cm .....	158
Gambar 5.10. Perubahan tingkat pertumbuhan oleh pengaruh nutrisi .....	159
Gambar 5.11. Perbandingan pengaruh perbedaan nutrisi terhadap tingkat pertumbuhan .....	159
Gambar 5.12. Hubungan suhu, cahaya, dan nutrisi terhadap pertumbuhan .....	165
Gambar 5.13. Hasil rancangbangun modul utama mikrokontroler .....	174
Gambar 5.14.a. Hasil rancangbangun sensor suhu .....	175
b. Hasil rancangbangun sensor nutrisi .....	177
c. Hasil rancangbangun sensor intensitas cahaya .....	179
Gambar 5.15.a. Hasil rancangbangun aktuator lampu pijar ( <i>heater</i> ) .....	180
b. Hasil rancangbangun aktuator pompa air .....	182
c. Hasil rancangbangun aktuator lampu fotosintesis .....	183
Gambar 5.16. Kalibrasi sensor nutrisi .....	186
Gambar 5.17. Pengujian sensor nutrisi .....	187
Gambar 5.18. Kalibrasi sensor cahaya A .....	188
Gambar 5.19. Kalibrasi sensor cahaya B .....	189
Gambar 5.20. Pengujian sensor cahaya A .....	190

Gambar 5.21. Pengujian sensor cahaya B .....	191
Gambar 5.22.a. Suhu ruangan 32 °C pada blok 1 .....	197
b. Suhu ruangan 35 °C pada blok 2 .....	197
c. Suhu ruangan 38 °C pada blok 3 .....	198
d. Suhu ruangan 32 °C pada blok 4 .....	198
e. Suhu ruangan 35 °C pada blok 5 .....	199
f. Suhu ruangan 38 °C pada blok 6 .....	199
g. Suhu ruangan 32 °C pada blok 7 .....	200
h. Suhu ruangan 35 °C pada blok 8 .....	200
i. Suhu ruangan 38 °C pada blok 9 .....	201
j. Respon sistem suhu ruangan 32 °C .....	203
k. Respon sistem suhu ruangan 35 °C .....	203
l. Respon sistem suhu ruangan 38 °C .....	204
Gambar 5.23. Aktuator yang tidak stabil .....	206
Gambar 5.24.a. Stabilitas aktuator lampu pijar pada suhu 32 °C .....	206
b. Stabilitas aktuator lampu pijar pada suhu 35 °C .....	207
c. Stabilitas aktuator lampu pijar pada suhu 38 °C .....	207
Gambar 5.25. Kadar nutrisi selama pertumbuhan tanaman .....	210
Gambar 5.26. Respon sistem pompa nutrisi .....	211
Gambar 5.27. Stabilitas aktuator pompa nutrisi .....	213
Gambar 5.28. Intensitas cahaya di luar <i>greenhouse</i> selama pengamatan .....	214
Gambar 5.29. Intensitas cahaya di dalam <i>greenhouse</i> selama pengamatan .....	215
Gambar 5.30. Stabilitas sensor cahaya di luar <i>greenhouse</i> . ....	216

Gambar 5.31. Stabilitas sensor cahaya di dalam <i>greenhouse</i> .....	216
Gambar 5.32. Arsitektur jaringan saraf pertumbuhan tanaman sawi di dalam <i>greenhouse</i> .....	219
Gambar 5.33. <i>Form</i> pelatihan jaringan .....	220
Gambar 5.34. Proses pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan .....	225
Gambar 5.35. <i>Ploting</i> nilai kinerja hasil pelatihan .....	226
Gambar 5.36. Hasil evaluasi data <i>training</i> terbaik .....	226
Gambar 5.37. Hasil perbandingan data <i>training</i> dengan prediksi .....	227
Gambar 5.38. <i>Form</i> pengujian jaringan .....	228
Gambar 5.39. Perbandingan luas daun prediksi dengan luas daun aktual .....	229

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. <i>Roadmap</i> perkembangan penelitian pengaruh iklim terhadap tanaman .....	14
Tabel 1.2. Keberlanjutan penelitian yang dapat dilakukan untuk tanaman sawi terkait aspek teknik pertanian .....	15
Tabel 1.3. Landasan ontologi, epistemologi, aksiologi dalam model pengendalian iklim mikro dan nutrisi budidaya sawi .....	16
Tabel 1.4. Penelitian pengaruh suhu, cahaya, dan unsur hara .....	16
Tabel 2.1. Komposisi nutrisi <i>Goodplant</i> .....	27
Tabel 3.1. Kandungan nilai gizi sawi .....	47
Tabel 4.1. Faktor iklim mikro dan nutrisi yang divariasi .....	101
Tabel 4.2. Variasi <i>greenhouse</i> untuk identifikasi pola pertumbuhan .....	101
Tabel 4.3. Rekomendasi faktor iklim mikro dan nutrisi dari hasil prapenelitian .....	107
Tabel 4.4. Faktor iklim mikro dan nutrisi yang divariasikan .....	107
Tabel 4.5. Variasi <i>greenhouse</i> untuk penelitian .....	107
Tabel 4.6. Kombinasi mencari pengaruh tunggal .....	131
Tabel 4.7. Data aktual vs data prediksi .....	139
Tabel 4.8. Interpretasi koefisien korelasi (r) .....	140
Tabel 5.1. a. Hasil anova terhadap pengaruh suhu .....	149
b. Hasil anova terhadap pengaruh cahaya .....	155
c. Hasil anova terhadap pengaruh nutrisi .....	160
Tabel 5.2. Hasil analisis statistik pengaruh faktor iklim mikro dan nutrisi .....	161
Tabel 5.3. Perubahan luas dan laju pertumbuhan daun .....	169

Tabel 5.4. Persamaan kalibrasi dari 27 ruangan <i>greenhouse</i> .....	184
Tabel 5.5. Hasil ketidakakurasian pembacaan sensor suhu .....	185
Tabel 5.6. Perbandingan akurasi setiap aktuator lampu pijar .....	195
Tabel 5.7. Perbandingan pengendalian setiap aktuator lampu pijar .....	202
Tabel 5.8. Variasi algoritma pelatihan .....	221
Tabel 5.9. Variasi fungsi aktivasi .....	222
Tabel 5.9. Arsitektur model dengan perubahan beberapa parameter .....	223



## DAFTAR SIMBOL

$I / O$	=	<i>Input/Output</i>
$b, v_{0j}$	=	Bias
Net	=	Hasil dari unit penjumlah
net	=	$b + \sum n(\text{nilai masukan} \times \text{bobot})$
$f(\text{net})$	=	Fungsi aktivasi
$y, y_k$	=	Nilai <i>output</i>
$x$	=	Nilai <i>input</i>
$\sigma$	=	<i>Threshold</i>
$e$	=	Bilangan natural (2,7182818285)
$v_{ij}, z_j$	=	Node
$w_{jk}$	=	Bobot <i>node</i>
$w_{0k}$	=	Bias
$\delta_k$	=	Faktor kesalahan
$t_k$	=	Nilai target
$w_{jk}, v_{ij}$	=	Perubahan bobot
$\alpha$	=	<i>Learning rate</i> atau tingkat pembelajaran
$t$	=	<i>Epoch</i>
KR	=	Kecepatan pengendalian (menit)
WP	=	Waktu pengendalian (menit)
JO	=	Jumlah aktuator <i>on</i>
net	=	Jumlah lapisan jaringan <i>backpropagation</i>
minmax(P)	=	Nilai minimum dan maksimum variabel <i>input</i>
$n_1$	=	Jumlah <i>node</i> pada lapis tersembunyi 1
$n_2$	=	Jumlah <i>node</i> pada lapisan tersembunyi 2
$n_3$	=	Jumlah <i>node</i> pada lapis keluaran
<i>Logsig</i>	=	Fungsi aktivasi yang dipakai pada lapisan pertama
<i>Tansig</i>	=	Fungsi aktivasi yang dipakai pada lapisan kedua
<i>Trainlm</i>	=	Fungsi pelatihan jaringan <i>Levenberg-Marquardt</i> .

$\bar{x}_1$	=	Rata-rata sampel 1
$\bar{x}_2$	=	Rata-rata sampel 2
$S_1$	=	Simpangan baku sampel 1
$S_2$	=	Simpangan baku sampel 2
$S_1^2$	=	Varian sampel 1
$S_2^2$	=	Varian sampel 2
$r$	=	Korelasi antar dua sampel
$\theta_i$	=	Nilai aktual kalibrator untuk perhitungan ketidakakurasian
$\theta_{obs}$	=	Nilai pembacaan oleh alat untuk perhitungan ketidakakurasian
$N$	=	Jumlah Data
$\theta_i$	=	Nilai pengukuran aktual ke N
$\hat{\theta}$	=	Nilai prediksi, dari rumus regresi linier hasil kalibrasi
$x$	=	Nilai pengukuran sensor pada perhitungan korelasi
$y$	=	Nilai pengukuran kalibrator pada perhitungan korelasi
$SN$	=	Selisih nilai aktual dan <i>setting point</i>
$SP$	=	Nilai <i>setting point</i>
$AK$	=	Nilai aktual
$KTACC$	=	Ketidakakurasian (%)
$ACC$	=	Keakurasian (%)
Cahaya A	=	Intensitas cahaya 7000 lux
Cahaya B	=	Intensitas cahaya 12000 lux
Cahaya C	=	Intensitas cahaya 17000 lux