

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
SANWACANA	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR PERSAMAAN	xviii
INTISARI	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan.....	6
1.4. Batasan Penelitian	6
1.5. Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Selulosa Bakteri (<i>Bacterial Cellulose</i>).....	8
2.1.1. Pertumbuhan Mikrobia Penghasil <i>Bacterial Cellulose</i>	8
2.1.2. Air Kelapa	10
2.1.3. Strain penghasil <i>bacterial cellulose</i> (BC)	11
2.1.4. Karakteristik <i>Bacterial cellulose</i>	13
2.1.5. Proses biosintesis selulosa.....	14
2.2. Sumber Karbon (Unsur C)	17
2.2.1. Glukosa.....	18
2.2.2. Fruktosa.....	20

2.2.3. Sukrosa	20
2.2.4. Manitol	21
2.3. Kondisi Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i>	22
2.3.1. Derajat Keasaman (pH)	22
2.3.2. Kekeruhan (<i>Turbidity</i>)	23
2.3.3. Suhu (Temperature)	25
2.4. Kinetika Fermentasi	25
2.5. Pengolahan Citra (<i>Image Processing</i>)	29
2.6. Citra Digital	30
2.6.1. Kecerahan (<i>Brightness</i>)	30
2.6.2. Kontras (<i>Contrast</i>)	30
2.6.3. Kontur (<i>Contour</i>)	31
2.6.4. Warna (<i>Colour</i>)	31
2.6.5. Tekstur (<i>Texture</i>)	31
2.7. Pengolahan Citra Digital	32
2.8. Arduino Uno	34
2.9. Sensor	35
2.10. Raspberry Pi 3	36
2.11. <i>Real-Time Image Processing</i> Ketebalan <i>Bacterial cellulose</i>	36
2.12. Penelitian Terdahulu	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1. Bahan dan Alat Penelitian	40
3.1.1. Bahan Penelitian	40
3.1.2. Alat Penelitian	40
3.2. Waktu dan Tempat	45
3.3. Prosedur Penelitian	45
3.4. <i>Starter</i>	46
3.5. Fermentasi <i>Bacterial Cellulose</i>	47
3.6. Pengumpulan Data	49
3.7. Analisis Statistik	50
3.7.1. <i>Principal Component Analysis</i> (Analisis Komponen Utama) ..	50

3.7.2. <i>Clustering Analysis</i> (Analisis Klaster)	51
3.7.3. <i>Correlation Test</i> (Uji Korelasi)	52
3.7.4. Kinetika Pembentukan <i>Bacterial Cellulose</i>	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Initial pH Medium Fermentasi	55
4.2. Pengamatan Pembentukan <i>Bacterial cellulose</i> selama Fermentasi....	56
4.2.1. Sumber Karbon Glukosa	56
4.2.2. Sumber Karbon Fruktosa	58
4.2.3. Sumber Karbon Sukrosa	61
4.2.4. Sumber Karbon Manitol.....	64
4.2.5. <i>Report Telegram App</i> dan Ringkasan Hasil Pemantauan <i>Real-Time Image Processing</i>	67
4.3. <i>Principal Component Analysis</i> (Analisis Komponen Utama).....	71
4.3.1. Sumber Karbon Glukosa	72
4.3.2. Sumber Karbon Fruktosa	73
4.3.3. Sumber Karbon Sukrosa	75
4.3.4. Sumber Karbon Manitol.....	77
4.4. <i>Clustering Analysis</i> (Analisis Klaster)	79
4.4.1. Sumber Karbon Glukosa	80
4.4.2. Sumber Karbon Fruktosa	83
4.4.3. Sumber Karbon Sukrosa	87
4.4.4. Sumber Karbon Manitol.....	91
4.5. <i>Correlation Test</i> (Uji Korelasi)	94
4.5.1. Sumber Karbon Glukosa	94
4.5.2. Sumber Karbon Fruktosa	96
4.5.3. Sumber Karbon Sukrosa	98
4.5.4. Sumber Karbon Manitol.....	99
4.5.5. Tabulasi Data Korelasi	101
4.6. Kinetika Pembentukan <i>Bacterial cellulose</i>	103
4.6.1. Sumber Karbon Glukosa	103
4.6.2. Sumber Karbon Fruktosa	105

4.6.3. Sumber Karbon Sukrosa	107
4.6.4. Sumber Karbon Manitol.....	108
4.6.5. Rekapitulasi Model Kinetika.....	110
4.6.6. Pembentukan <i>Pellicle Bacterial Cellulose</i> Maksimum (μ_{\max})	114
4.7. Pemilihan Sumber Karbon	116
BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	119
5.1. Kesimpulan.....	119
5.2. Rekomendasi	120
DAFTAR PUSTAKA.....	121
LAMPIRAN.....	131

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Tingkat produktivitas <i>bacterial cellulose</i> dengan variasi sumber karbon	2
Tabel 2.1.	Komposisi air kelapa segar per 100 g dengan Berat Dapat dimakan (BDD) 100%	11
Tabel 2.2.	Strain penghasil BC	12
Tabel 2.3.	Penelitian Terdahulu	39
Tabel 3.1.	Rancangan Batch Fermentasi.....	48
Tabel 3.2.	Formulasi Bahan Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i>	49
Tabel 3.3.	Interpretasi Nilai Korelasi.....	53
Tabel 3.4.	Model dan Fungsi Matematis	54
Tabel 4.1.	Hasil pembacaan pH	55
Tabel 4.2.	Ringkasan Kondisi Fermentasi BC.....	71
Tabel 4.3.	Tabulasi Uji Korelasi	102
Tabel 4.4.	Hasil Analisis Model Kinetika pada Data Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Glukosa	104
Tabel 4.5.	Hasil Analisis Model Kinetika pada Data Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Fruktosa.....	106
Tabel 4.6.	Hasil Analisis Model Kinetika pada Data Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Sukrosa.....	107
Tabel 4.7.	Hasil Analisis Model Kinetika pada Data Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Manitol	109
Tabel 4.8.	Rekapitulasi Inisiasi Iterasi dan Nilai Koefisien Model	112
Tabel 4.9.	Ketebalan Akhir <i>Bacterial cellulose</i>	113
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan <i>Inflection Point</i> dan μ_{max} masing-masing Sumber Karbon	115
Tabel 4.11.	Identifikasi Waktu Fermentasi menuju 1 cm.....	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kurva laju pertumbuhan bakteri.	10
Gambar 2.2.	<i>Acetobacter xylinum</i> dan <i>bacterial cellulose</i> yang diamati menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).	13
Gambar 2.3.	Proses pembentukan selulosa.	16
Gambar 2.4.	Struktur kimia Glukosa.	20
Gambar 2.5.	Struktur kimia Fruktosa.	20
Gambar 2.6.	Struktur kimia Sukrosa.	21
Gambar 2.7.	Struktur kimia Manitol.	22
Gambar 2.8.	Representasi skema kurva pertumbuhan dan fungsi matematis. ...	27
Gambar 2.9.	Kurva pertumbuhan dengan parameter mikrobiologis.	29
Gambar 2.10.	Representasi matriks citra digital.	32
Gambar 2.11.	Representasi Citra Digital dalam dua dimensi.	33
Gambar 2.12.	<i>Board</i> Arduino Uno Model R3.	35
Gambar 2.13.	<i>Flow chart real-time image processing</i>	37
Gambar 2.14.	<i>Threshold</i> deteksi (a) dan ilustrasi penyesuaian pengukuran ketebalan <i>bacterial cellulose</i> (b).	38
Gambar 3.1.	Desain kotak (a) dan rangkaian (b) fermentor <i>Real-Time Image Processing</i>	41
Gambar 3.2.	Skema rangkaian peralatan penelitian.	43
Gambar 3.3.	Penggunaan Crontab untuk Otomasi Proses.	44
Gambar 3.4.	Diagram alir prosedur penelitian.	46
Gambar 3.5.	<i>Starter</i> yang siap digunakan.	47
Gambar 3.6.	Diagram alir fermentasi <i>bacterial cellulose</i>	48
Gambar 3.7.	<i>Data flow</i> selama fermentasi.	50
Gambar 4.1.	Hasil pembacaan sensor selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.	56
Gambar 4.2.	Hasil pembacaan sensor selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.	59
Gambar 4.3.	Hasil pembacaan sensor selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.	62
Gambar 4.4.	Hasil pembacaan sensor selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.	65
Gambar 4.5.	Informasi data pembentukan <i>bacterial cellulose</i> selama fermentasi melalui Aplikasi Telegram.	68
Gambar 4.6.	<i>Scree plot</i> hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.	72

Gambar 4.7. <i>Scree plot</i> hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.....	74
Gambar 4.8. <i>Scree plot</i> hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.	76
Gambar 4.9. Hasil perhitungan dari masing-masing PC pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.	78
Gambar 4.10. Klaster optimal pada data fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.	80
Gambar 4.11. Grafik hubungan antar <i>Principal Component</i> pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.....	81
Gambar 4.12. Grafik data <i>clustering</i> ketebalan <i>bacterial cellulose</i> pada fermentasi menggunakan glukosa.	82
Gambar 4.13. Klaster optimal pada data fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.....	84
Gambar 4.14. Grafik hubungan antar <i>Principal Component</i> pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.....	85
Gambar 4.15. Grafik data <i>clustering</i> ketebalan <i>bacterial cellulose</i> pada fermentasi menggunakan fruktosa.....	86
Gambar 4.16. Klaster optimal pada data fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.	87
Gambar 4.17. Grafik hubungan antar <i>Principal Component</i> pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.....	88
Gambar 4.18. Grafik data <i>clustering</i> ketebalan <i>bacterial cellulose</i> pada fermentasi menggunakan sukrosa.	90
Gambar 4.19. Klaster optimal pada data fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.	91
Gambar 4.20. Grafik hubungan antar <i>Principal Component</i> pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.....	92
Gambar 4.21. Grafik data <i>clustering</i> ketebalan <i>bacterial cellulose</i> pada fermentasi menggunakan manitol.	93
Gambar 4.22. Nilai korelasi antar variabel selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.	95
Gambar 4.23. Nilai korelasi antar variabel selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.....	97
Gambar 4.24. Nilai korelasi antar variabel selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.	98
Gambar 4.25. Nilai korelasi antar variabel selama fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.	100
Gambar 4.26. Perbandingan ketebalan dan prediksi model Gompertz pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.....	105

Gambar 4.27. Perbandingan ketebalan dan prediksi model Van Bertalanffy pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.	106
Gambar 4.28. Perbandingan ketebalan dan prediksi model Gompertz pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.	108
Gambar 4.29. Perbandingan ketebalan dan prediksi model Van Bertalanffy pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.	110

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	<i>Source Code</i> Python untuk <i>Real-time Image Processing</i>	132
Lampiran 2.	<i>Source code</i> Program R untuk Analisa Statistik.....	139
Lampiran 3.	<i>Source Code</i> PHP untuk Telegram Bot	144
Lampiran 4.	<i>Source Code</i> Arduino untuk Pembacaan Sensor	145
Lampiran 5.	Database MySQL	149
Lampiran 6.	Tahapan Pembentukan <i>Bacterial cellulose</i> selama Fermentasi dengan Glukosa yang diamati menggunakan <i>Real-time Image Processing</i>	150
Lampiran 7.	Tahapan Pembentukan <i>Bacterial cellulose</i> selama Fermentasi dengan Fruktosa yang diamati menggunakan <i>Real-time Image Processing</i>	152
Lampiran 8.	Tahapan Pembentukan <i>Bacterial cellulose</i> selama Fermentasi dengan Sukrosa yang diamati menggunakan <i>Real-time Image Processing</i>	154
Lampiran 9.	Tahapan Pembentukan <i>Bacterial cellulose</i> selama Fermentasi dengan Manitol yang diamati menggunakan <i>Real-time Image Processing</i>	156
Lampiran 10.	Hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan Glukosa.....	158
Lampiran 11.	Hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan Fruktosa.	159
Lampiran 12.	Hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan Sukrosa.	160
Lampiran 13.	Hasil PCA pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan Manitol.	161
Lampiran 14.	Hasil Perhitungan Total Jumlah Kuadrat Klaster Optimal.....	162
Lampiran 15.	Nilai atribut “x” pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan glukosa.....	163
Lampiran 16.	Nilai atribut “x” pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan fruktosa.	164
Lampiran 17.	Nilai atribut “x” pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan sukrosa.	165
Lampiran 18.	Nilai atribut “x” pada fermentasi <i>bacterial cellulose</i> menggunakan manitol.....	166
Lampiran 19.	Plot Kurva Model pada Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Glukosa.	167

Lampiran 20. Plot Kurva Model pada Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Fruktosa.....	168
Lampiran 21. Plot Kurva Model pada Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Sukrosa.....	169
Lampiran 22. Plot Kurva Model pada Fermentasi <i>Bacterial cellulose</i> menggunakan Manitol.	170
Lampiran 23. Turunan Pertama dan Kedua Model Matematis Van Bertalanffy	171
Lampiran 24. Turunan Pertama dan Kedua Model Matematis Gompertz.....	172
Lampiran 25. Proses Transformasi Persamaan Model Matematis Van Bertalanffy dan Gompertz.	173

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan Logistic (2.1).....	27
<i>Inflection Point</i> dari Model Van Bertalanffy (4.1).....	115
μ_{max} dari Model Van Bertalanffy (4.2).....	115
<i>Inflection Point</i> dari Model Gompertz (4.3)	115
μ_{max} dari Model Gompertz (4.4).....	115
Transformasi Persamaan Model Matematis Van Bertalanffy (4.5)	117
Transformasi Persamaan Model Matematis Gompertz (4.6)	117
Rumus Konversi Satuan Piksel (px) ke <i>Centimeter</i> (cm) (4.7).....	117