



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Kegunaan Penelitian.....	6
1.5 Keaslian Penelitian.....	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Ikan Nila Merah (<i>Oreochromis sp.</i>).....	13
2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi.....	13
2.1.2 Habitat.....	14
2.1.3 Kebutuhan Nutrien Ikan Nila Merah.....	14
2.2 Pertumbuhan Ikan.....	17
2.2.1 Pertumbuhan Relatif (<i>Specific Growth Rate/SGR</i>) dan Pertumbuhan Mutlak.....	17
2.2.2 Rasio Konversi Pakan/ <i>Feed Conversion Ratio</i> (FCR).....	18
2.2.3 <i>Protein Efficiency Ratio</i> (PER).....	19
2.2.4 Retensi Protein (RP).....	19
2.2.5 <i>Survival Rate</i> (Kelangsungan Hidup).....	19
2.2.6 Gen Pertumbuhan Ikan.....	20
2.3 Sistem Pencernaan Ikan.....	20
2.3.1 Kapasitas pencernaan Ikan.....	20
2.3.2 Gen Metabolisme Ikan.....	21
2.4 Sistem Kekebalan Tubuh Ikan.....	22
2.4.1 Darah Ikan.....	24
2.4.2 Aktifitas Makrofag.....	25
2.4.3 <i>Respiratory Burst</i>	26
2.4.4 <i>Superoxide Dismutase</i> (SOD).....	26
2.4.5 Lisozim.....	27
2.4.6 Total Protein Plasma (TPP).....	27
2.4.7 Gen Kekebalan Ikan.....	27
2.5 Spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).....	28
2.5.1 Klasifikasi dan Morfologi.....	28
2.5.2 Kandungan Nutrien Spirulina.....	30
2.6 Fermentasi Mikroba.....	33
2.7 Sintesis Nanopartikel.....	34
2.7.1 Definisi.....	34
2.7.2 Metode Sintesis Nanopartikel.....	35



2.7.3 Planetary Ball Milling	36
2.7.4 Metode Karakterisasi Nanopartikel	39
2.8 Landasan Teori	40
2.9 Hipotesis	42
BAB III. FERMENTASI PRODUK SAMPING SPIRULINA (<i>Arthrospira platensis</i>) DENGAN DURASI WAKTU YANG BERBEDA	43
3.1 Pendahuluan	43
3.2 Materi dan Metode	45
3.2.1 Materi Penelitian	45
3.2.2 Prosedur Penelitian	45
3.2.3 Analisis Data	47
3.3 Hasil dan Pembahasan	48
3.3.1 Total Bakteri	48
3.3.3 Derajat Hidrolisis (DH)	50
3.3.4 Analisis Proksimat	52
3.3.5 Profil Asam Amino	54
3.3.6 Profil Asam Lemak	58
3.4 Kesimpulan	61
BAB IV. SUPLEMENTASI PRODUK SAMPING SPIRULINA TERFERMENTASI (FSp) UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN KEKEBALAN IKAN NILA MERAH (<i>Oreochromis sp.</i>)	62
4.1 Pendahuluan	62
4.2 Materi dan Metode	64
4.2.1 Materi	64
4.2.2 Metode	65
4.2.3 Analisis Data	73
4.3 Hasil dan Pembahasan	73
4.3.1 Pertumbuhan dan Efisiensi Pakan	73
4.3.2 Ekspresi Gen Pertumbuhan	78
4.3.3 Histomorfometrik Usus	80
4.3.4 Ekspresi Gen Metabolisme	83
4.3.5 Profil Hematologi dan Sistem Imun Ikan Nila Merah	86
4.3.6 Gen Kekebalan	97
4.4 Kesimpulan	100
BAB V. SINTESIS NANO-SPIRULINA MENGGUNAKAN PLANETARY BALL MILL DENGAN DURASI PENGGILINGAN YANG BERBEDA	101
5.1 Pendahuluan	101
5.2 Materi dan Metode Penelitian	103
5.2.1 Materi	103
5.2.2 Metode	103
5.2.3 Analisis Data	106
5.3 Hasil dan Pembahasan	106
5.3.1. Suhu Penggilingan	106
5.3.2. Ukuran Partikel NPS	108
5.3.3. Struktur Morfologi NPS	110
5.3.4 Zeta Potensial NPS	113
5.3.5. Analisis Protein dan Asam Amino	114
5.3.5. Analisis FTIR	118
5.4 Kesimpulan	121



BAB VI. SUPLEMENTASI NANOPARTIKEL PRODUK SAMPING SPIRULINA (<i>Arthrospira platensis</i>) UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN, DAN KEKEBALAN IKAN NILA MERAH (<i>Oreochromis sp.</i>).....	122
6.1 Pendahuluan.....	122
6.2 Materi dan Metode Penelitian.....	124
6.2.1 Materi.....	124
6.2.2 Metode.....	124
6.2.3 Analisis Data.....	126
6.3 Hasil dan Pembahasan.....	126
6.3.1 Pertumbuhan dan Efisiensi Pakan.....	126
6.3.4 Ekspresi Gen Metabolisme.....	135
6.3.5 Profil Hematologi dan Sistem Imun.....	138
6.3.6 Ekspresi Gen Pertumbuhan, Metabolisme, dan Sistem Imun....	147
6.4 Kesimpulan.....	149
BAB VII. PEMBAHASAN UMUM.....	150
BAB VIII. KESIMPULAN DAN SARAN.....	161
8.1 Kesimpulan.....	161
8.2 Saran.....	161
DAFTAR PUSTAKA.....	162
LAMPIRAN.....	185

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Publikasi tentang suplementasi Spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>) untuk pakan ikan.....	9
Tabel 2. Publikasi tentang suplementasi NPS untuk pakan ikan.....	12
Tabel 3. Kebutuhan asam amino esensial ikan (Webster & Lim, 2002)	15
Tabel 4. Peran asam amino bagi sistem imun ikan (Webster & Lim, 2002)	16
Tabel 5. Perbedaan respon imun non-spesifik dan spesifik (Abbas & Lichtman, 2007)	24
Tabel 6. Kandungan nutrisi Spirulina (Henrikson, 2010).....	31
Tabel 7. Perbandingan kandungan nutrisi Spirulina dengan mikroalga lain (Bishop & Zubeck, 2012).....	32
Tabel 8. Kandungan asam amino Spirulina (Henrikson, 2010)	32
Tabel 9. Jenis asam lemak yang terkandung dalam Spirulina (Henrikson, 2010) ..	32
Tabel 10. Kepadatan bakteri pada produk samping Spirulina yang difermentasi selama 2,4, dan 6 hari berdasarkan lama waktu fermentasi	48
Tabel 11. Profil asam amino USp dan FSp. USp: produk samping Spirulina tanpa fermentasi. FSp: produk samping Spirulina terfermentasi. Huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan secara signifikan ($P<0,05$)	55
Tabel 12. Profil asam lemak USp dan FSp. USp: produk samping Spirulina tanpa fermentasi. FSp: produk samping Spirulina terfermentasi. Huruf berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan secara signifikan ($P<0,05$)	60
Tabel 13. Formulasi pakan ikan nila merah dengan suplementasi FSp	65
Tabel 14. Primer sekuens gen target (<i>forward</i> dan <i>revers</i>) dalam pengujian tingkat ekspresi gen ikan nila merah	72
Tabel 15. Histomorfometrik usus ikan nila merah yang diberi diet FSp dan kontrol selama periode 30 dan 60 hari. Lv: lebar vili (mm), Pv panjang vili (mm), La: luas area (mm ²) Te: ketebalan epitelium (mm), Du: diameter usus, Gc: jumlah sel goblet. Data dinyatakan dalam mean \pm std. Nilai yang ditandai dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama, berbeda secara signifikan ($P<0,05$).....	82
Tabel 16. Profil hematologi ikan nila merah yang diberi diet FSp dan kontrol selama periode pemeliharaan 30 dan 60 hari. Data dinyatakan dalam mean \pm Std. Nilai yang ditandai dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama, berbeda secara signifikan ($P<0,05$)	87
Tabel 17. Stabilitas nanopartikel berdasarkan zeta potensial (Honary, 2013).....	104



Tabel 18. Profil asam amino FSp dan NPS. FSp: produk Spirulina terfermentasi NPS: Nanopartikel Spirulina. Huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan secara signifikan ($P < 0,05$)	116
Tabel 19. Spektra FTIR produk samping Spirulina, FSp, NPS 1, 2, dan 3 jam, dan bubuk Spirulina.....	120
Tabel 20. Formulasi pakan ikan nila merah dengan suplementasi NPS	124
Tabel 21. Histomorfometrik usus ikan nila merah yang disuplementasi NPS dan kontrol selama periode 30 dan 60 hari pemeliharaan. Lv: lebar vili (mm), Pv panjang vili (mm), La: luas area (mm ²) Te: ketebalan epidermis (mm), Du: Diameter usus, Gc: jumlah sel goblet. Data dinyatakan dalam mean \pm Std. Nilai yang ditandai dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama, berbeda secara signifikan ($P < 0,05$)	133
Tabel 22. Profil hematologi ikan nila merah yang disuplementasi NPS dan kontrol selama periode 30 dan 60 hari pemeliharaan. Data dinyatakan dalam mean \pm Std. Nilai yang ditandai dengan huruf yang berbeda pada baris yang sama, berbeda secara signifikan ($P < 0,05$)	139
Tabel 23. Perbedaan antara teknologi FSp dan NPS	159
Tabel 24. Tabel analisis performa dan proyeksi panen ikan nila dengan bobot awal 15 gram dan target panen 300 gram dengan suplementasi FSp dan NPS pada pakan.....	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. VOSviewer (network visualization) pemanfaatan Spirulina	7
Gambar 2. VOSviewer (network visualization) nano-Spirulina	8
Gambar 3. Morfologi Spirulina (Borowitzka, 1988)	30
Gambar 4. Manfaat fermentasi mikroba (de Marco Castro et al., 2019).....	34
Gambar 5. Sintesis nanopartikel melalui top down dan bottom up (Das et al., 2022)	35
Gambar 6. Kelebihan dan kelemahan metode sintesis nanopartikel (El-Sheekh et al., 2022).....	36
Gambar 7. Planetary ball milling. (a). Mesin (b). Skema kerja (Oliveira et al., 2021)	37
Gambar 8. Karakteristik produk samping Spirulina yang difermentasi selama 2,4, dan 6 hari berdasarkan lama waktu fermentasi.	50
Gambar 9. Derajat Hidrolisis (DH) produk samping Spirulina yang difermentasi selama 2,4, dan 6 hari berdasarkan lama waktu fermentasi.....	51
Gambar 10. Analisis proksimat USp dan FSp.....	53
Gambar 11. Pertumbuhan dan efisiensi pemanfaatan pakan dan ikan nila merah yang disuplementasi FSp selama 60 hari pemeliharaan (A). Pertumbuhan mutlak, (B). SGR: <i>Specific growth rate</i> (C). PER: <i>Protein efficiency ratio</i> (D). RP: Retensi protein (E). SR: <i>Survival rate</i> . (F). FCR: <i>Feed conversion ratio</i> . Nilai yang ditandai dengan huruf yang berbeda, berbeda secara signifikan ($P<0,05$).....	75
Gambar 12. Tingkat mRNA relatif GH dan IGF-1 ikan nila merah yang disuplementasi FSp. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$).....	78
Gambar 13. Tingkat mRNA relatif ghrelin, mucin, dan I-Fabp ikan nila merah yang disuplementasi FSp. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$).....	84
Gambar 14. Aktifitas dan indeks fagositosis ikan nila merah yang disuplementasi FSp pada 30 dan 60 hari pemeliharaan. Nilai disajikan dalam rata-rata \pm Std ($n=3$). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$).....	91
Gambar 15. Aktifitas ledakan respirasi ikan nila merah yang disuplementasi FSp pada 30 dan 60 hari pemeliharaan. Nilai disajikan dalam rata-rata \pm Std ($n=3$). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$).....	93



- Gambar 16. Aktifitas SOD ikan nila merah yang disuplementasi FSp pada 30 dan 60 hari. pemeliharaan. Nilai disajikan dalam rata-rata \pm Std (n=3). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$) 94
- Gambar 17. Aktifitas lisozim ikan nila merah yang disuplementasi FSp pada 30 dan 60 hari. pemeliharaan. Nilai disajikan dalam rata-rata \pm Std (n=3). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$) 96
- Gambar 18. Total protein plasma ikan nila merah yang disuplementasi FSp pada 30 dan 60 hari pemeliharaan. Nilai disajikan dalam rata-rata \pm Std (n=3). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$) 97
- Gambar 19. Tingkat mRNA relatif TNF- α , IL-1 β , dan TLR ikan nila merah yang disuplementasi FSp. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$) 98
- Gambar 20. Suhu penggilingan NPS dengan kecepatan putaran 450 rpm dan durasi penggilingan 3 jam, forward 10 menit, revers 10 menit, dan intermitten 10 menit 107
- Gambar 21. Ukuran dan visualisasi NPS berdasarkan durasi penggilingan (A&D). 1 jam (B&E). 2 jam (C&F). (3 jam) 109
- Gambar 22. Mekanisme pengecilan ukuran partikel pada ball milling (Dhiman *et al.*, 2021) 110
- Gambar 23. Struktur morfologi NPS berdasarkan citra SEM Edx dan analysis EDX dengan durasi penggilingan yang berbeda. (A). SEM 1 jam (B). SEM 2 jam (C). SEM 3 jam (D). Analysis EDX 1 jam (E). Analysis EDX 2 jam (F). Analysis EDX 3 jam 111
- Gambar 24. Struktur morfologi NPS berdasarkan citra TEM dengan durasi penggilingan yang berbeda. (Aa&Ab). 1 jam (Ba&Bb). 2 jam (Ca&Cb). 3 jam 112
- Gambar 25. Zeta potensial NPS berdasarkan berdasarkan durasi penggilingan yang berbeda. (A). 1 jam (B). 2 jam (C). 3 jam 114
- Gambar 26. Perbandingan antara kadar protein FSp dan NPS dengan durasi penggilingan 1, 2, dan 3 jam 115
- Gambar 27. Spektrum FTIR produk samping Spirulina, FSp, NPS 1, 2, dan 3 jam, dan Spirulina komersial 118
- Gambar 28. Pertumbuhan dan efisiensi pemanfaatan pakan dan ikan nila merah yang disuplementasi NPS selama 60 hari pemeliharaan (A). Pertumbuhan mutlak (B). SGR: Specific growth rate (C). PER: Protein efficiency ratio (D). RP: Retensi protein (E). SR: Survival rate. (F). FCR: Feed conversion ratio. Nilai yang ditandai dengan huruf yang berbeda, berbeda secara signifikan ($P<0,05$) 127



Gambar 29. Tingkat mRNA relatif GH dan IGF-1 nkan nila yang disuplementasi NPS. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$).....	131
Gambar 30. Tingkat mRNA relatif ghrelin, mucin, dan I-Fabp ikan nila merah yang disuplementasi NPS. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$)	136
Gambar 31. Sistem imun ikan nila merah yang disuplementasi NPS. (A). Aktifitas fagositosis (B). Indeks fagositosis (C). SOD (D). Respiratory burst (E). Aktifitas Lisozim (F). Total protein plasma. Nilai disajikan dalam rata-rata \pm Std (n=3). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$).....	142
Gambar 32. Tingkat mRNA relatif IL-1 β , TNF- α , dan TLR ikan nila merah yang disuplementasi NPS. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P<0,05$)	148
Gambar 33. Mekanisme Spirulina meningkatkan pertumbuhan ikan nila merah...	153
Gambar 34. Mekanisme Spirulina mengaktivasi sistem imun ikan nila merah	154
Gambar 35. Perbedaan suplementasi FSp dan NPS pada pakan terhadap pertumbuhan dan kapasitas pencernaan ikan nila merah.....	156
Gambar 36. Perbedaan suplementasi FSp dan NPS pada pakan terhadap sistem kekebalan ikan nila merah.....	157



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

**Integrasi Teknologi Fermentasi dan Nanopartikel Produk Samping Spirulina (*Arthrospira platensis*)
untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Kekebalan Ikan Nila Merah (*Oreochromis sp.*)**

Rani Yuwanita, Prof. Dr. Ir. Alim Isnansetyo, M.Sc., Dr. R.A. Siti Ari Budhiyanti, S.T.P., M.P., Indah Istiqomah, S.Pi., M

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Glosarium/Daftar Singkatan.....	185
Lampiran 2. Data Rerata Kualitas Air Pemeliharaan	187
Lampiran 3. Data Ukuran Partikel dan Zeta Potensial NPS	188