

## DAFTAR ISI

|                                                               | Halaman |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| HALAMAN JUDUL .....                                           | i       |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                                      | iii     |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....                               | v       |
| KATA PENGANTAR .....                                          | vi      |
| DAFTAR ISI .....                                              | viii    |
| DAFTAR TABEL .....                                            | x       |
| DAFTAR GAMBAR .....                                           | xi      |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                         | xii     |
| INTISARI .....                                                | xiii    |
| ABSTRACT .....                                                | xiv     |
| I. PENDAHULUAN .....                                          | 1       |
| 1. Latar Belakang .....                                       | 1       |
| 2. Tujuan Penelitian .....                                    | 5       |
| 3. Manfaat Penelitian .....                                   | 5       |
| 4. Keaslian penelitian .....                                  | 5       |
| II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....                 | 8       |
| 1. Tinjauan Pustaka .....                                     | 8       |
| 1.1. Lele ( <i>Clarias sp.</i> ) .....                        | 8       |
| 1.2. Sistem imunitas Ikan .....                               | 9       |
| 1.3. Sistem imun non-spesifik ikan .....                      | 11      |
| 1.4. Sistem imun non-spesifik seluler ikan .....              | 12      |
| 1.5. Sistem imun non-spesifik humoral ikan .....              | 14      |
| 1.6. Sistem imun spesifik ikan .....                          | 15      |
| 1.7. Respons stres ikan .....                                 | 18      |
| 1.8. Hubungan antara stres dan imunitas pada ikan .....       | 24      |
| 1.9. Organ imunitas pada ikan (ginjal, limpa, dan hati) ..... | 27      |
| 1.10. Imunostimulan .....                                     | 30      |
| 1.11. <i>Sargassum sp.</i> .....                              | 32      |
| 1.12. Alginat .....                                           | 35      |
| 1.13. Nanopartikel .....                                      | 36      |
| 2. Landasan Teori .....                                       | 39      |
| 3. Hipotesis .....                                            | 40      |
| III. METODE PENELITIAN .....                                  | 41      |
| 1. Alat dan Bahan Penelitian .....                            | 41      |
| 1.1. Alat penelitian .....                                    | 41      |
| 1.2. Bahan penelitian .....                                   | 41      |
| 2. Prosedur Penelitian .....                                  | 42      |
| 2.1. Rancangan penelitian .....                               | 42      |
| 2.2. Penebaran dan pemeliharaan ikan .....                    | 42      |
| 2.3. Ekstraksi RNA .....                                      | 42      |
| 2.4. Sintesis cDNA gen .....                                  | 44      |
| 2.5. Analisis ekspresi gen .....                              | 44      |
| 2.6. Pengukuran konsentrasi kortisol .....                    | 45      |
| 3. Analisis data .....                                        | 46      |
| IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....                     | 48      |
| 1. Hasil Penelitian .....                                     | 48      |
| 1.1. Ekspresi gen IL-1 $\beta$ .....                          | 48      |
| 1.2. Ekspresi gen TNF- $\alpha$ .....                         | 50      |
| 1.3. Ekspresi gen TLR 2 .....                                 | 52      |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1.4. Ekspresi gen HSP 70 ..... | 54 |
| 1.5. Konsentrasi kortisol..... | 57 |
| 2. Pembahasan.....             | 58 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN .....  | 71 |
| 1. Kesimpulan .....            | 71 |
| 2. Saran .....                 | 71 |
| DAFTAR PUSTAKA.....            | 72 |
| LAMPIRAN .....                 | 83 |

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                                     |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1.1  | Penelitian terkait aplikasi alginat atau nanopartikel dalam akuakultur .....        | 6  |
| Tabel 3.1  | <i>Sequence</i> primer yang digunakan dalam penelitian .....                        | 45 |
| Tabel 4.1  | Ekspresi gen IL-1 $\beta$ pada ginjal lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....  | 48 |
| Tabel 4.2  | Ekspresi gen IL-1 $\beta$ pada hati lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....    | 49 |
| Tabel 4.3  | Ekspresi gen IL-1 $\beta$ pada limpa lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....   | 50 |
| Tabel 4.4  | Ekspresi gen TNF- $\alpha$ pada ginjal lele yang diberikan alginat atau NPs-A ..... | 50 |
| Tabel 4.5  | Ekspresi gen TNF- $\alpha$ pada hati lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....   | 51 |
| Tabel 4.6  | Ekspresi gen TNF- $\alpha$ pada limpa lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....  | 52 |
| Tabel 4.7  | Ekspresi gen TLR 2 pada ginjal lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....         | 53 |
| Tabel 4.8  | Ekspresi gen TLR 2 pada hati lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....           | 53 |
| Tabel 4.9  | Ekspresi gen TLR 2 pada limpa lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....          | 54 |
| Tabel 4.10 | Ekspresi gen HSP 70 pada ginjal lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....        | 55 |
| Tabel 4.11 | Ekspresi gen HSP 70 pada hati lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....          | 56 |
| Tabel 4.12 | Ekspresi gen HSP 70 pada limpa lele yang diberikan alginat atau NPs-A .....         | 56 |
| Tabel 4.13 | Konsentrasi kortisol yang diberikan alginat atau NPs-A .....                        | 58 |

## DAFTAR GAMBAR

|              |                                                                                                                                                         |    |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1   | Konsep sistem imun pada ikan .....                                                                                                                      | 11 |
| Gambar 2.2   | Proses fagositosis oleh makrofag.....                                                                                                                   | 13 |
| Gambar 2.3   | Mekanisme aktivasi dan pematangan sel B oleh sel T pembantu/ <i>helper T cell</i> dalam pembentukan sel plasma dan sel memori (Nawi et al., 2016) ..... | 16 |
| Gambar 2.4   | Eliminasi sel yang terinfeksi virus oleh cytotoxic-T-Lymphocyte (CTL). .....                                                                            | 17 |
| Gambar 2.5   | Diagram umum unsur-unsur neuroendokrin utama dalam respons stres terintegrasi pada ikan teleostei .....                                                 | 19 |
| Gambar 2.6   | Efek stimulatorik (+) dan inhibitorik (–) dari pembawa pesan (neuro)endokrin pada poros otak–hipofisis–interrenal .....                                 | 21 |
| Gambar 2.7   | Jalur NRF2/ARE yang diinduksi oleh kondisi hipoksia.....                                                                                                | 22 |
| Gambar 2.8   | Stres dan respons imun .....                                                                                                                            | 25 |
| Gambar 2.9.  | Efek kortisol terhadap respons imun sel.....                                                                                                            | 26 |
| Gambar 2.10. | <i>Sargassum polycystum</i> .....                                                                                                                       | 33 |
| Gambar 2.11. | Struktur kimia alginat.....                                                                                                                             | 35 |
| Gambar 4.1   | Kurva standar konsentrasi kortisol .....                                                                                                                | 57 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|              |                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen IL-1 $\beta$ organ ginjal (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                     | 83  |
| Lampiran 2.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen IL-1 $\beta$ organ hati (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                       | 85  |
| Lampiran 3.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen IL-1 $\beta$ organ limpa Hasil analisis statistik data ekspresi gen IL-1 $\beta$ organ ginjal (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) ..... | 87  |
| Lampiran 4.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen TNF- $\alpha$ organ ginjal (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                    | 89  |
| Lampiran 5.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen TNF- $\alpha$ organ hati (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                      | 91  |
| Lampiran 6.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen TNF- $\alpha$ organ limpa (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                     | 93  |
| Lampiran 7.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen TLR-2 organ ginjal (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                            | 95  |
| Lampiran 8.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen TLR-2 organ hati (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                              | 97  |
| Lampiran 9.  | Hasil analisis statistik data ekspresi gen TLR-2 organ limpa (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                             | 99  |
| Lampiran 10. | Hasil analisis statistik data ekspresi gen HSP 70 organ ginjal (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                           | 101 |
| Lampiran 11. | Hasil analisis statistik data ekspresi gen HSP 70 organ hati (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                             | 103 |
| Lampiran 12. | Hasil analisis statistik data ekspresi gen HSP 70 organ limpa (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                            | 105 |
| Lampiran 13. | Hasil analisis statistik data kadar kortisol (uji normalitas, uji deskriptif, uji homogenitas, ANOVA, dan uji lanjut DMRT) .....                                                                                             | 107 |
| Lampiran 14. | <i>Melting curve</i> qPCR gen $\beta$ -actin.....                                                                                                                                                                            | 109 |
| Lampiran 15. | <i>Melting curve</i> qPCR gen IL-1 $\beta$ .....                                                                                                                                                                             | 110 |
| Lampiran 16. | <i>Melting curve</i> qPCR gen TNF- $\alpha$ .....                                                                                                                                                                            | 111 |
| Lampiran 17. | <i>Melting curve</i> qPCR gen TLR-2.....                                                                                                                                                                                     | 112 |
| Lampiran 18. | <i>Melting curve</i> qPCR gen HSP 70 .....                                                                                                                                                                                   | 113 |