

# BIOREMEDIASI LINGKUNGAN



**Dr. Slamet Isworo, M. Kes**  
**Dr. Hugli Cerliyawati, M. Si**  
**Dr. Poerna Sri Oetari, M. Si**

# **BIOREMEDIASI LINGKUNGAN**

## ***CLEAN UP OF PESTICIDES (CASE STUDY IN RAWA PENING)***

Copyright © 2023

Penulis : **Dr. Slamet Isworo, M. Kes**  
**Dr. Hugi Cerlyawati, M. Si**  
**Dr. Poerna Sri Oetari, M. Si**  
Editor : **Siti Shofiyatus Sa'diyah**  
Desain Sampul : **Muzammil Akbar**  
Ilustrasi : **Freepik**

Ukuran: 21 x 29.7 cm; Hal: xv + 124 (139)  
Cetakan I, April 2023  
**ISBN 978-623-8179-33-6**



**Penerbit**  
**Insight Mediatama**  
Anggota IKAPI No. 338/JTI/2022  
Watesnegoro No. 4 (61385) Mojokerto  
Whatsapp 081234880343  
mail@insightmediatama.co.id  
www.insightmediatama.co.id

© **All Rights Reserved** Ketentuan Pidana Pasal 112-119 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Ilahi Robbi, karena atas rahmat dan karunianya, kami dapat menyelesaikan penyusunan buku dengan judul “ **Bioremediasi Lingkungan “ Presticide Clean”** dengan lancar. Penyusunan buku reference ini semoga dapat berguna akademisi, praktisi dan penggiat lingkungan terutama yang tertarik pada bidang Bioremediasi Lingkungan. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dekan Fakultas Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang yang telah memberikan fasilitas dalam pembuatan Buku Bioremediasi Lingkungan.
2. Seluruh rekan rekan dosen yang turut memberikan masukan saran dan kritik pada penyusunan buku Bioremediasi Lingkungan.
3. Seluruh staf akademik dan mahasiswa S1 Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang yang telah turut berpartisipasi aktif dalam pelaksanaan penyusunan modul ini.

Akhir kata semoga Buku Bioremediasi Lingkungan dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan informasi mengenai Bioremediasi Lingkungan pada Studi Khusus Remediasi Pestisida

Penulis

# DAFTAR ISI

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Kata Pengantar.....</b>                                          | <b>iii</b> |
| <b>Daftar Isi .....</b>                                             | <b>iv</b>  |
| <b>Daftar Gambar .....</b>                                          | <b>v</b>   |
| <br><b>Chapter I</b>                                                |            |
| Pendahuluan .....                                                   | 1          |
| <br><b>Chapter II</b>                                               |            |
| Aktifitas Antropogenik.....                                         | 4          |
| Pestisida.....                                                      | 5          |
| Chlorinated Hydrocarbon Insecticide (Chi) = Organochlorine.....     | 7          |
| Organopospat .....                                                  | 9          |
| Carbamat .....                                                      | 11         |
| Bioremediasi Pestisida Oleh Mikroorganisme .....                    | 14         |
| Identifikasi Bakteri Indigenous .....                               | 42         |
| <br><b>Chapter III</b>                                              |            |
| Bioremediasi Pestisida (Studi Kasus Di Rawa Pening) .....           | 46         |
| Tahap Pra-Penelitian .....                                          | 46         |
| Tahap Penelitian Laboratorium.....                                  | 49         |
| Tahap Aplikasi Terbatas Laboratorium.....                           | 63         |
| Identifikasi Bakteri Idegenous .....                                | 100        |
| Implikasi Bioremediasi Dalam Kebijakan Pengelolaan Rawa Pening..... | 109        |
| <br><b>Chapter IV</b>                                               |            |
| Kesimpulan Dan Saran.....                                           | 112        |
| <br><b>Daftar Pustaka.....</b>                                      | <b>114</b> |
| <b>Biografi Penulis .....</b>                                       | <b>119</b> |

## DAFTAR TABEL

|           |                                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 1.  | Bakteri Pendegradasi Kontaminan Hasil Teknologi Rekayasa Genetika (Menn, et al. 2008).....                                                                                                              | 18  |
| Tabel 2.  | Substrat Primer Sebagai Sumber Carbon dan Metabolit Sekunder/ <i>Co-Metabolisme</i> . (Lewis, 1995).....                                                                                                | 70  |
| Tabel 3.  | Mikroorganisme Indigenus Yang Dapat Mendegradasi Senyawa <i>Xenobiotik</i> (Kumar, et al, 2011).....                                                                                                    | 75  |
| Tabel 4.  | Tabel Identifikasi Kimia <i>Malathion</i> – (EPA 2001).....                                                                                                                                             | 88  |
| Tabel 5.  | <i>Biodegradation Of 3-Chlorobenzoic Acid (100 mg l-1) oleh Pseudomonas putida</i> (Gallego, et al. 2011) .....                                                                                         | 99  |
| Tabel 6.  | <i>Strain</i> Mikroorganisme Pendegradasi Senyawa Pencemar (Su Seo, et al .2009).....                                                                                                                   | 99  |
| Tabel 7.  | Metode Identifikasi dan Klasifikasi Bakteri (Kassim, 2010).....                                                                                                                                         | 102 |
| Tabel 8.  | Hasil Wawancara Langsung Mengenai Penggunaan Pestisida Pada Petani Di Sekitar Rawa Pening .....                                                                                                         | 156 |
| Tabel 9.  | Hasil Analisa Kandungan Residu Pestisida Pada Air dan Sedimen Rawa Pening (Balingtan, 2013) .....                                                                                                       | 158 |
| Tabel 10. | Kode Bakteri Yang Berhasil Diisolasi dari Air dan Sedimen Rawa Pening.....                                                                                                                              | 161 |
| Tabel 11. | Hasil Skrining .Bakteri Pendegradasi <i>Malathion</i> Dan <i>Profenofos</i> Pada Media Minimum Zobell With BTB (25 Ppm, 50 Ppm Dan 75 Ppm) Secara Kualitatif Berdasarkan Indikator Perubahan Warna..... | 165 |
| Tabel 12. | Data Pengamatan Absorbansi Konsentrasi <i>Malathion</i> pada $\lambda = 400$ nm dan <i>Profenofos</i> $\lambda = 730$ nm .....                                                                          | 167 |
| Tabel 13. | Data Absorbansi Hasil Degradasi <i>Profenofos</i> Pada Konsentrasi 74,75 ppm ( $\lambda = 400$ nm) .....                                                                                                | 169 |
| Tabel 14. | Data Hasil Degradasi Bakteri Uji Pada Konsentrasi <i>Malathion</i> 76.5 ppm.....                                                                                                                        | 171 |
| Tabel 15. | Data Absorbansi dan Prosentase Degradasi Bakteri Uji (%) Dalam Penentuan Konsentrasi Optimum (%) Sebagai Starter Awal Bakteri Uji pada <i>Profenofos</i> dengan $\lambda = 400$ nm.....                 | 174 |
| Tabel 16. | Data Absorbansi dan Prosentase Degradasi Bakteri Uji Dalam Penentuan Konsentrasi Optimum. (%) Pada <i>Malathion</i> 76,5 ppm ( $\lambda = 730$ nm) .....                                                | 175 |

|           |                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 17. | Uji Degradasi Pestisida Prefenofos Oleh Bakteri Uji Konsorsium Berdasarkan Prosentase Degradasi, Jumlah <i>Profenofos</i> Yang Terdegradasi (ppm) Dan Sisa <i>Profenofos</i> Yang Terdegradasi (ppm)...             | 178 |
| Tabel 18. | Hasil Uji Degradasi Pestisida <i>Malathion</i> Oleh Bakteri Uji Konsorsium Berdasarkan Prosentase Degradasi, Jumlah <i>Profenofos</i> Yang Terdegradasi (ppm) Dan Sisa <i>Profenofos</i> Yang Terdegradasi (ppm)... | 180 |
| Tabel 19. | Data Pengamatan Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Pada Substrat <i>Malathion</i> 5 ppm.....                                                                                                                     | 183 |
| Tabel 20. | Data Pengamatan Degradasi Dan Pertumbuhan Bakteri Uji Pada <i>Malathion</i> 15 Ppm.....                                                                                                                             | 187 |
| Tabel 21. | Data Pengamatan Hasil Degradasi Dan Pertumbuhan Bakteri Uji Pada Substrat <i>Malathion</i> Konsentrasi 35 ppm .....                                                                                                 | 191 |
| Tabel 22. | Data Pengamatan Hasil Degradasi Bakteri Uji Terseleksi Konsentrasi <i>Malathion</i> 55 ppm .....                                                                                                                    | 195 |
| Tabel 23. | Data Hasil Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Terseleksi Pada <i>Malathion</i> 75 ppm .....                                                                                                                      | 198 |
| Tabel 24. | Data Pengamatan Hasil Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Terseleksi Pada Substrat <i>Profenofos</i> 5 ppm.....                                                                                                   | 202 |
| Tabel 25. | Data Pengamatan Hasil Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Terseleksi Pada Substrat <i>Profenofos</i> 15 ppm.....                                                                                                  | 205 |
| Tabel 26. | Data Pengamatan Hasil Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Terseleksi Pada Substrat <i>Profenofos</i> 35 ppm.....                                                                                                  | 208 |
| Tabel 27. | Hasil Pengamatan Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Terseleksi Pada Substrat <i>Profenofos</i> 55 ppm .....                                                                                                      | 211 |
| Tabel 28. | Data Pengamatan Hasil Degradasi dan Pertumbuhan Bakteri Uji Terseleksi Pada Substrat <i>Profenofos</i> 75 ppm.....                                                                                                  | 214 |
| Tabel 29. | Kemampuan Degradasi <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> Oleh Bakteri Konsorsium RPL-5/RPL-1 Pada Air dan Sedimen Rawa Pening dan Kontrol .....                                                                   | 220 |
| Tabel 30. | Kemampuan Degradasi <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> Oleh Bakteri Konsorsium RPL-5/TRA-5 Pada Air dan Sedimen Rawa Pening dan Kontrol .....                                                                   | 224 |
| Tabel 31. | Pengukuran Standar Kurva Biomassa Bakteri Konsorsium RPL5/TRA5 dan RPL-1/RPL-5 .....                                                                                                                                | 227 |
| Tabel 32. | Parameter Kinetika Bakteri Konsorsium (RPL-1 dan RPL-5) pada Substrat <i>Malathion</i> .....                                                                                                                        | 228 |
| Tabel 33. | Parameter Kinetika Bakteri Konsorsium (TRA-5 dan RPL-5) pada Substrat <i>Profenofos</i> .....                                                                                                                       | 230 |

|           |                                                                                                                                                  |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 34. | Hasil Analisis GC MS <i>Malathion</i> Teknis 96% .....                                                                                           | 234 |
| Tabel 35. | Hasil Analisis GC MS <i>Malathion</i> Pro Analysis (PA) .....                                                                                    | 235 |
| Tabel 36. | Hasil Analisis GC MS <i>Profenofos</i> Teknis (Curacron 50 EC) .....                                                                             | 237 |
| Tabel 37. | Hasil Analisis GC MS <i>Profenofos</i> Pro Analysis (PA) .....                                                                                   | 238 |
| Tabel 38. | Hasil Pengukuran Area Prosentase <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> (GC MS).....                                                             | 240 |
| Tabel 39. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/RPL-1 Dengan Sampel Air Rawa Pening Pada Pemngamatan 0 Jam (GC MS Method) .....      | 243 |
| Tabel 40. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/RPL-1 Dengan Sampel Air Rawa Pening Pada Pemngamatan 96 Jam (GC MS Method) .....     | 244 |
| Tabel 41. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/RPL-1 Dengan Sampel Air Rawa Pening Pada Pengamatan 192 Jam (GC MS Method) .....     | 247 |
| Tabel 42. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/TRA-5 Dengan Sampel Air Rawa Pening Pada Pengamatan 0 Jam (GC MS Method) .....       | 249 |
| Tabel 43. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/TRA-5 Dengan Sampel Air Rawa Pening Pada Pengamatan 96 Jam (GC MS Method) .....      | 251 |
| Tabel 44. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/TRA-5 Dengan Sampel Air Rawa Pening Pada Pengamatan 192 Jam (GC MS Method) .....     | 253 |
| Tabel 45. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/RPL-1 Dengan Sampel Sedimen Rawa Pening Pada Pengamatan 0 Jam (GC MS Method) .....   | 255 |
| Tabel 46. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/RPL-1 Dengan Sampel Sedimen Rawa Pening Pada Pengamatan 96 Jam (GC MS Method) .....  | 257 |
| Tabel 47. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/RPL-1 Dengan Sampel Sedimen Rawa Pening Pada Pengamatan 192 Jam (GC MS Method) ..... | 259 |
| Tabel 48. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/TRA-5 Dengan Sampel Sedimen Rawa Pening Pada Pengamatan 0 Jam (GC MS Method) .....   | 260 |

|           |                                                                                                                                                                                                                    |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 49. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/TRA-5 Dengan Sampel Sedimen Rawa Pening Pada Pengamatan 96 Jam (GC MS Method) .....                                                                    | 262 |
| Tabel 50. | Peak Report Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Uji RPL-5/TRA-5 Dengan Sampel Sedimen Rawa Pening Pada Pengamatan 192 Jam (GC MS Method) .....                                                                   | 263 |
| Tabel 51. | Hasil Uji Morfologi dan Biokimia Bakteri Uji (RPL-1, RPL-5 dan TRA-5) .....                                                                                                                                        | 276 |
| Tabel 52. | Hasil <i>Sekuensing</i> Menggunakan Primer <i>Forward</i> Dan <i>Reverse</i> .....                                                                                                                                 | 279 |
| Tabel 53. | Registrasi Bakteri RPL-1, RPL-5 dan TRA-5 pada <i>DNA Data Bank of Japan, DDBJ Center National Institute of Genetics. Research Organization of Information and Systems Mishima, Shizuoka 411-8540, Japan</i> ..... | 280 |
| Tabel 54. | Registrasi Bakteri RPL-5 pada <i>DNA Data Bank of Japan, DDBJ Center National Institute of Genetics. Research Organization of Information and Systems Mishima, Shizuoka 411-8540, Japan</i> .....                  | 280 |

## DAFTAR GAMBAR

|            |                                                                                                                                                  |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.  | Struktur Kimia Lindane = Hexachlorocyclohexane (HCH) .....                                                                                       | 7  |
| Gambar 2.  | Struktur Kimia Cycloiene .....                                                                                                                   | 8  |
| Gambar 3.  | Struktur Kimia Toxaphene .....                                                                                                                   | 8  |
| Gambar 4.  | Struktur Kimia DDT (Dichlorodiphenyltrichloroethane) dan Turunannya. ....                                                                        | 8  |
| Gambar 5.  | Struktur Kimia Mirex , Chlordecone dan Chlordecone.....                                                                                          | 9  |
| Gambar 6.  | <i>Malathion</i> 2. <i>Dimeton</i> 3. <i>Dikrotofos</i> 4. <i>Acefat</i> 5. <i>Mitamidofos</i> (WHO IARC, 2010).....                             | 9  |
| Gambar 7.  | 1. <i>Parathion</i> , 2. <i>Penthion</i> , 3. <i>Fonofos</i> , 4. <i>Profenofos</i> (WHO IARC, 2010) ..                                          | 10 |
| Gambar 8.  | 1. <i>Klorpirifos</i> 2. <i>Fention</i> 3. <i>Diazinon</i> 4. <i>Temefos</i> 5. <i>Metidation</i> (WHO IARC, 2010).....                          | 10 |
| Gambar 9.  | Struktur <i>Carbamat</i> Insektisida (Fishel, 2012) .....                                                                                        | 12 |
| Gambar 10. | 1,1-dimetil,4,4-bipiridilium diklorida (EPA, 1997) .....                                                                                         | 12 |
| Gambar 11. | Struktur Kimia Arsen.....                                                                                                                        | 13 |
| Gambar 12. | Mekanisme Biodegradasi <i>klorpirifos</i> dan produk hidrolisis 3,5,6-trikloro-2-Pyridinol oleh Strain <i>Cladosporioides Cladosporium</i> ..... | 16 |
| Gambar 13. | Mekanisme Degradasi <i>Metyl Parathion</i> oleh Konsorsium <i>Escherechia coli</i> dan <i>Ochrobactrum sp</i> .....                              | 16 |
| Gambar 14. | Jalur Degradasi Pestisida Aromatik oleh Mikroorganisme (Fritsche dan Hofrichter, 2009).....                                                      | 18 |
| Gambar 15. | Mekanisme Katalitik Enzim <i>Phosphotriesterase</i> Yang Menyebabkan Senyawa Majemuk Menjadi Terurai (Bigley and Raushel, 2013) .....            | 19 |
| Gambar 16. | Degradasi Gugus Ester Oleh Enzim Esterase Menjadi <i>Hydroxyl</i> Dan <i>Alkohol</i> .....                                                       | 19 |
| Gambar 17. | Degradasi <i>Malathion</i> Oleh <i>Malathion Oxidoreductase</i> .....                                                                            | 19 |
| Gambar 18. | Skema Reaksi Konjugasi Dikatalisis Oleh <i>Glutation S-Transferase (GST)</i> ..                                                                  | 20 |
| Gambar 19. | Keterlibatan Biosurfaktan Rhamnolipid. Pada Proses Emulsifikasi Pada Substrat Hidrokarbon (Nilanjana dan Chandran, 2010).....                    | 21 |
| Gambar 20. | Prinsip utama degradasi aerobik pada senyawa hidrokarbon (Fritsche dan Hofrichter, 2009).....                                                    | 21 |
| Gambar 21. | Mekanisme Co-Metabolisme Trichloromethane Pada Sistem Methane Mono-Oxygenase Bakteri Methanotropic (Fritsche and Hofrichter, 2008).....          | 22 |
| Gambar 22. | Proses Degradasi <i>Metyl Parathion</i> Oleh <i>Pseudomonas sp</i> (Zhang, 2009)....                                                             | 25 |

|            |                                                                                                                                                                                                                             |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 23. | Struktur Kimia <i>Profenofos O-(4-bromo-2-chlorophenyl)O-ethyl sprophyl-phosphorothioate</i> (rumus empiris C <sub>11</sub> H <sub>15</sub> BrClO <sub>3</sub> PS) .....                                                    | 26 |
| Gambar 24. | Mekanisme Penghambatan Acetylcholin Pada Sel .....                                                                                                                                                                          | 27 |
| Gambar 25. | Mekanisme penghambatan Acetylcholinesterase Oleh Pestisida Organophosphat .....                                                                                                                                             | 28 |
| Gambar 26. | Pathway Metabolit Profenofos Pada Tikus (Proses Degradasi Profenofos.....                                                                                                                                                   | 29 |
| Gambar 27. | Rumus bangun <i>Diazinon</i> (Zhang & Pehkonen 1999).....                                                                                                                                                                   | 29 |
| Gambar 28. | Proses Degradasi Secara <i>Photolysis</i> Di Dalam Tanah (Burkhard dan Guth, 1979) .....                                                                                                                                    | 30 |
| Gambar 29. | Proses Degradasi <i>Diazinon</i> Di Udara (Mckinney, 2005) .....                                                                                                                                                            | 30 |
| Gambar 30. | Skema Biotransformasi Diazinon oleh <i>Pseudomonas</i> sp. ....                                                                                                                                                             | 31 |
| Gambar 31. | Skema Umum Degradasi Organophosphat Malathion (Singh dan Walker, 2006) ..                                                                                                                                                   | 32 |
| Gambar 32. | Metabolisme <i>Malathion</i> pada Mamalia (Sakata, 2002).....                                                                                                                                                               | 33 |
| Gambar 33. | Proses degradasi <i>Malathion</i> Pada Sistem Akuatik secara Aerobik. (FAO/WHO, 1995).....                                                                                                                                  | 34 |
| Gambar 34. | Biodegradasi <i>Malathion</i> oleh Bakteri <i>Pseudomonas</i> sp (Abo-Amer, 2010)...                                                                                                                                        | 34 |
| Gambar 35. | Senyawa Hasil Biodegradasi <i>Malathion</i> (Tamer, 2013) .....                                                                                                                                                             | 35 |
| Gambar 36. | Proses Biodegradasi Malathion Dan Kemungkinan Senyawa Hasil Biodergradasi (Michaelson 2009) .....                                                                                                                           | 35 |
| Gambar 37. | Jalur Metabolisme Profenofos Dalam Tanah Dan Reaksi Enzimatik Secara Aerobik .....                                                                                                                                          | 36 |
| Gambar 38. | Mekanisme Degradasi Profenofos Pada Medium Cair Oleh Fungi <i>Penicillium raistrickii</i> CBMAI 931, <i>Aspergillus sydowii</i> CBMAI 935, <i>Aspergillus sydowii</i> CBMAI 1241 dan <i>Trichoderma</i> sp. CBMAI 932 ..... | 36 |
| Gambar 39. | Mekanisme degradasi <i>Profenofos</i> oleh <i>Pseudomonas aeruginosa strain OW</i> .....                                                                                                                                    | 37 |
| Gambar 40. | Metabolic Pathway Fenamiphos (FEN) oleh Bakteri <i>Pseudomonas putida</i> dan <i>Acinetobacter rhizosphaerae</i> (Chanika, 2011) .....                                                                                      | 37 |
| Gambar 41. | Grafik Penggunaan Pestisida Oleh Petani sekitar Rawa Pening (Sumber primer, 2013).....                                                                                                                                      | 44 |
| Gambar 42. | Hasil Skrining Tahap 1 Berdasarkan bentuk Morfologi Bakteri ( Bakteri TBR-A-2 dan RPL-5 dan RPL-1) .....                                                                                                                    | 47 |
| Gambar 43. | Perubahan Warna Hasil Degradasi Bakteri Indigenous Pada Media Padat Minimum Zobell Agar Dengan Indikator Bromtymol Blue.....                                                                                                | 47 |

|            |                                                                                                                                                                                                     |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 44. | Skrining Bakteri Indigenous Pendegradasi Profenofos Pada Media Cair Minimum Zobell Dengan Indikator Bromtymol Blue Dengan Konsentrasi 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm dan 100 ppm.....                       | 48 |
| Gambar 45. | Skrining Bakteri Indigenous Pendegradasi Malathion pada Media Minimum Zobell Dengan Indikator Bromtymol Blue pada konsentrasi 25 ppm, 50 ppm 75 ppm dan 100 ppm .....                               | 48 |
| Gambar 46. | Kurva Standar Konsentrasi <i>Profenofos</i> ( $\lambda = 730$ nm) dan Kurva Standar Konsentrasi <i>Malathion</i> ( $\lambda = 400$ nm) .....                                                        | 51 |
| Gambar 47. | Grafik Jumlah Konsentrasi <i>Profenofos</i> Yang Terdegradasi (ppm) dan Sisa Konsentrasi <i>Profenofos</i> (ppm) Yang Terdegradasi.....                                                             | 52 |
| Gambar 48. | Grafik Prosentase Degradasi Bakteri uji Pada Konsentrasi <i>Malathion</i> 76,5 ppm .....                                                                                                            | 53 |
| Gambar 49. | Grafik Jumlah Konsentrasi <i>Malathion</i> Terdegradasi (ppm) Dan Sisa Konsentrasi <i>Malathion</i> (ppm) Yang Terdegradasi .....                                                                   | 53 |
| Gambar 50. | Uji Kuantitatif Penentuan Konsentrasi Optimum Sebagai Starter Inokulum Terbaik. (%) .....                                                                                                           | 54 |
| Gambar 51. | Uji Kuantitatif Penentuan Konsentrasi Optimum Starter Inokulum Terbaik. (%) Pada <i>Malathion</i> 76,6 ppm ( $\lambda = 730$ nm) .....                                                              | 55 |
| Gambar 52. | Hasil Uji Antagonisme dan Sinergisme Antara Bakteri Uji Terseleksi .....                                                                                                                            | 56 |
| Gambar 53. | Hasil Uji degradasi Pestisida <i>Profenofos</i> oleh bakteri Uji Konsorsium berdasarkan Prosentase degradasi .....                                                                                  | 57 |
| Gambar 54. | Grafik Hasil Uji degradasi Pestisida <i>Profenofos</i> oleh bakteri Konsorsium berdasarkan Jumlah <i>Profenofos</i> yang terdegradasi (ppm) dan Sisa <i>Profenofos</i> yang terdegradasi (ppm)..... | 57 |
| Gambar 55. | Grafik Hasil Uji degradasi Pestisida <i>Malathion</i> oleh bakteri Konsorsium berdasarkan Prosentase Degradasi .....                                                                                | 58 |
| Gambar 56. | Grafik Uji Degradasi Pestisida <i>Malathion</i> Konsorsium Berdasarkan Jumlah <i>Malathion</i> Yang Terdegradasi (ppm) dan Sisa <i>Malathion</i> Yang Terdegradasi (ppm) .....                      | 58 |
| Gambar 57. | Grafik Perbandingan Efektifitas Degradasi Bakteri Konsorsium Dan Bakteri Isolat Tunggal Pada Substrat <i>Malathion</i> Dengan Konsentrasi 76,5 ppm .....                                            | 58 |
| Gambar 58. | Grafik Perbandingan Efektifitas Degradasi Bakteri Konsorsium Dan Bakteri Isolat Tunggal Pada Substrat <i>Profenofos</i> Dengan Konsentrasi 74,75 ppm...                                             | 59 |
| Gambar 59. | Persamaan kurva standar <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> .....                                                                                                                                | 59 |
| Gambar 60. | Persamaan Standar Mc Farland Bakteri Inokulasi .....                                                                                                                                                | 60 |
| Gambar 61. | Grafik Kemampuan Degradasi <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> pada Air dan Sedimen oleh Bakteri Konsorsium (RPL-5 dan RPL-1).....                                                               | 62 |

|            |                                                                                                                                                                                          |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 62. | Grafik kemampuan degradasi bakteri konsorsium RPL1 dan RPL-5 dibandingkan dengan kontrol perlakuan .....                                                                                 | 62 |
| Gambar 63. | Grafik Kemampuan Degradasi <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> pada Air dan Sedimen oleh Bakteri Konsorsium RPL-5 dan TRA-5 .....                                                     | 64 |
| Gambar 64. | Grafik Kemampuan Degradasi Bakteri Konsorsium RPL-5 Dan TRA-5 Dibandingkan Dengan Kontrol Perlakuan .....                                                                                | 64 |
| Gambar 65. | Data dan Grafik Kurva Standar Biomassa Bakteri Konsorsium RPL5/TRA-5 dan RPL-5/TRA-5.....                                                                                                | 65 |
| Gambar 66. | Hubungan Antara Konsentrasi <i>Malathion</i> ( $1/K_s$ ) dengan Pertumbuhan Spesifik ( $1/\lambda$ ) Bakteri Konsorsium RPL-1 dan RPL-5 ( $1/\lambda$ ) .....                            | 66 |
| Gambar 67. | Grafik Hubungan Antara Konsentrasi <i>Malathion</i> dengan Laju Pertumbuhan Spesifik Bakteri Konsorsium RPL-1 dan RPL-5 .....                                                            | 66 |
| Gambar 68. | Grafik Hubungan Antara Konsentrasi <i>Profenofos</i> dengan Laju Pertumbuhan Spesifik Bakteri Konsorsium TRA-5 dan RPL-5.....                                                            | 67 |
| Gambar 69. | Grafik Hubungan Antara $1/Konsentrasi$ <i>Profenofos</i> dengan $1/Pertumbuhan$ Spesifik Bakteri Konsorsium TRA-5 dan RPL-5.....                                                         | 67 |
| Gambar 70. | Hubungan Antara Konsentrasi Pestisida Dengan Growth Yield Oleh Bakteri Konsorsium RPL 5 Dan RPL-1.....                                                                                   | 68 |
| Gambar 71. | Hubungan Antara Konsentrasi Pestisida Dengan Growth Yield Oleh Bakteri Konsorsium RPL 5 Dan TRA-5 .....                                                                                  | 68 |
| Gambar 72. | <i>Profenofos</i> dan <i>Malathion</i> Pro Analisis (PA), Sigma Aldrich Laborochemikallen GmbH, <i>Malathion</i> PESTANAL Bath SEBC132XV, <i>Profenofos</i> PESTANAL Bath SZBC132XV..... | 69 |
| Gambar 73. | Grafik Hasil Kromatogram <i>Malathion</i> Teknis 96 % (Gass Kromatografi) dan Struktur <i>Malathion</i> Teknis 96 % (Spektrofotometri Massa) .....                                       | 70 |
| Gambar 74. | Grafik Hasil Kromatogram <i>Malathion</i> Pro Analisis (Gass Kromatografi) dan Struktur <i>Malathion</i> (Spektrofotometri Massa) .....                                                  | 71 |
| Gambar 75. | Grafik Hasil Kromatogram <i>Profenofos</i> Teknis (Gass Kromatografi) dan Struktur <i>Profenofos</i> (Spektrofotometri Massa) .....                                                      | 72 |
| Gambar 76. | Grafik Hasil Kromatogram <i>Profenofos</i> Pro Analisis (Gass Kromatografi) dan Struktur <i>Profenofos</i> (Spektrofotometri Massa) .....                                                | 73 |
| Gambar 77. | Kromatogram Senyawa <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> Pada Sampel Air Rawa Pening Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan RPL-1 Pada Pengamatan T=1 (Pengamatan ke 0 jam) ..... | 74 |
| Gambar 78. | Hasil Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Malathion</i> ( <i>Malathion E50 Butanedioic Acid, [( Dimethoxyphosphinothioyl) Thio]</i> Pada Sampel Air Rawa Pening .....                      | 75 |

|            |                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 79. | Chromatogram dan Struktur Kimia <i>Profenofos (O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl) O-Ethyl S-Propyl Thiophosphate)</i> Pada Sampel Air Rawa Pening .....                                                                                             | 75 |
| Gambar 80. | Kromatogram Senyawa <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> Pada Air Rawa Pening Hasil degradasi Bakteri Konsorsium RPL1/RPL-5 Pada T=4 (Pengamatan 96 jam) .....                                                                            | 76 |
| Gambar 81. | Hasil Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Malathion (Malathion E50 Butanedioic Acid, [(Dimethoxyphosphinothioyl) Thio]</i> Pada Sampel Air Rawa Pening (T=4, Pengamatan jam ke 96) .....                                                      | 77 |
| Gambar 82. | Hasil Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Profenofos O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl)-O'-Ethyl Ester Of Propylthio-Phosphoric Acid</i> Pada Sampel Air Rawa Pening (T=4, Pengamatan jam ke 96) .....                                                | 78 |
| Gambar 83. | Kromatogram Senyawa Kimia Hasil degradasi Bakteri Konsorsium RPL1/RPL5 pada Air Rawa Pening.....                                                                                                                                            | 78 |
| Gambar 84. | Kromatogram Senyawa <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> Pada Sample Uji Air Rawa Pening Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan TRA-5 - Pada T=1 (Pengamatan Jam ke-0) .....                                                         | 79 |
| Gambar 85. | Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Malathion (Butanedioic Acid, [(Dimethoxyphosphinothioyl)Thio]-, Diethyl Ester)</i> Pada Sample Uji Air Rawa Pening Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan TRA-5 Pada T=1 (Pengamatan Jam ke-0) ..... | 80 |
| Gambar 86. | Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Profenofos (O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl) O-Ethyl S-Propyl Thiophosphate)</i> Pada Sample Uji Air Rawa Pening Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan TRA-5 Pada T=1 (Pengamatan Jam ke-0) .....         | 80 |
| Gambar 87. | Chromatogram Senyawa <i>Malathion</i> dan <i>Profenofos</i> Dari Sampel Uji Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5/TRA-5 Pada Air Rawa Pening Pada T=4 (96 Jam).....                                                                       | 81 |
| Gambar 88. | Hasil Kromatogram dan Struktur Senyawa <i>Malathion (Butanedioic Acid, [(Dimethoxyphosphinothioyl)Thio]-, Diethyl Ester)</i> Dari Sampel Uji Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan TRA-5 Pada Air Rawa Pening Pada T=4 (96 Jam) ..... | 82 |
| Gambar 89. | Hasil Kromatogram dan struktur Kimia Senyawa <i>Profenofos (O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl) O-Ethyl S-Propyl Thiophosphate )</i> Dari Sampel Uji Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan TRA-5 Pada Air Rawa Pening Pada T=4 (96 Jam) .....  | 82 |
| Gambar 90. | Hasil Kromatogram Senyawa Kimia pada sampel uji Hasil degradasi Bakteri Konsorsium RPL5/RPL-1 pada Air Rawa Pening Pada T=8 (192 jam) .....                                                                                                 | 82 |
| Gambar 91. | Kromatogram Hasil Degradasi Senyawa <i>Malathion dan Profenofos</i> Oleh Bakteri Konsorsium RPL5 dan RPL-1 Pada Sedimen Rawa Pening (T=1, Pengamatan 0 jam) .....                                                                           | 84 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 92.  | Hasil Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Malathion</i> ( <i>Butanedioic Acid, [(Dimethoxyphosphinothioyl)Thio]-, Diethyl Ester</i> ) Pada Sampel Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL-5 dan RPL-1 Pada Sedimen Rawa Pening Pada T=1 .....                       | 84 |
| Gambar 93.  | Hasil Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Profenofos</i> ( <i>O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl)-O'-Ethyl Ester Of Propylthio-Phosphoric Acid</i> ) Pada Sedimen Rawa Pening Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL-5 dan RPL-1 <b>pada</b> T=1 .....                      | 85 |
| Gambar 94.  | Hasil Kromatogram Senyawa <i>Malathion dan Profenofos</i> Pada Sampel Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan RPL-1 Pada Sedimen Rawa Pening Pada T=4 .....                                                                                                  | 85 |
| Gambar 95.  | Hasil Kromatogram dan Struktur Kimia <i>Profenofos</i> ( <i>O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl)-O'-Ethyl Ester Of Propylthio-Phosphoric Acid</i> ) Pada Sedimen Rawa Pening Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL-5 dan RPL-1 pada T=4 (Pengamatan 96 jam) .....         | 87 |
| Gambar 96.  | Hasil Kromatogram Senyawa <i>Malathion dan Profenofos</i> Pada Sampel Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5 dan RPL-1 Pada Sedimen Rawa Pening Pada T=8 (Pengamatan 192 jam) .....                                                                             | 87 |
| Gambar 97.  | Kromatogram Senyawa <i>Malathion dan Profenofos</i> Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5/TRA-5 Pada Sedimen Rawa Pening (T=1) .....                                                                                                                           | 89 |
| Gambar 98.  | Hasil Kromatogram dan struktur Kimia Senyawa: <i>Malathion</i> ( <i>Butanedioic Acid, (Dimethoxyphosphinothioyl) Thio]-Diethyl Ester</i> ) Pada Sampel Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL-5 dan TRA-5 Pada Sedimen Rawa Pening (T=1, Pengamatan 0 Jam) ..... | 89 |
| Gambar 99.  | Hasil Kromatogram Senyawa <i>Profenofos</i> ( <i>O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl) O-Ethyl S-Propyl Thiophosphate</i> ) Pada Sampel Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL-5 dan TRA-5 Pada Sedimen Rawa Pening (T=1, Pengamatan 0 jam).....                            | 90 |
| Gambar 100. | Kromatogram Senyawa Kimia Pada Sedimen Rawa Pening (T=4 96 Jam) Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5/TRA-5.....                                                                                                                                               | 90 |
| Gambar 101. | Kromatogram Senyawa Kimia Hasil Degradasi Bakteri Konsorsium RPL5/TRA5 Pada Sedimen Rawa Pening Pada T=8 (Pengamatan 192 Jam ) .....                                                                                                                             | 91 |
| Gambar 102. | Skema Umum Proses Degradasi <i>Malathion</i> (Aerobik) Smiles <chem>CCOC(=O)CC(SP(=S)(OC)OC)C(=O)OCC</chem> (EAWAG-BBD, 2014).....                                                                                                                               | 92 |
| Gambar 103. | Skema Umum Proses Degradasi <i>Profenofos</i> (Aerobik) Smiles <chem>CCCSP(=O)(OCC)OC1=CC=C(Br)C=C1Cl</chem> (EAWAG-BBD, 2014).....                                                                                                                              | 93 |
| Gambar 104. | <i>Hexadecanenitrile</i> (CAS) <i>Palmitonitrile, Palmitic acid nitrile</i> .....                                                                                                                                                                                | 93 |
| Gambar 105. | Senyawa <i>Anthracene-9-ol, 9,10-dihydro-10-(4-nitrobenzylideno)</i> .....                                                                                                                                                                                       | 94 |
| Gambar 106. | Senyawa 2-{4-[2-(4-Methoxymethylphenyl)vinyl]phenyl}propan2ol .....                                                                                                                                                                                              | 94 |

|             |                                                                                                                                                            |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 107. | <i>Acethydrazide, 2- (2-naphthylamino) -N2-(2,6-dichlorobenzylideno</i> .....                                                                              | 94  |
| Gambar 108. | <i>Sydnone, 4-bromo-3-(dimethylamino)</i> .....                                                                                                            | 95  |
| Gambar 109. | <i>3,7-dibromo-6-ethyl-2-(pent-2'-en-4'-ynyl) octahydropyrano [3,2-b] pyran</i>                                                                            | 95  |
| Gambar 110. | <i>O-(4-Bromo-2-Chlorophenyl)-O'-Ethyl Ester Of Propylthio-Phosphoric Acid</i><br>.....                                                                    | 96  |
| Gambar 111. | <i>Senyawa Butanedioic Acid, [(Dimethoxyphosphinothioyl) Thio]]</i> .....                                                                                  | 98  |
| Gambar 112. | <i>Senyawa Carboxylic yaitu 4-Acetyloxyimino-6,6-Dimethyl-3-Methylsulfanyl -</i><br><i>4,5,6,7-Tetra hydro-Benzo [C] Thiophene-1-Carboxylic Acid</i> ..... | 98  |
| Gambar 113. | <i>1h-Indole-2-Carboxylic Acid, 6-(4-Fluorophenyl)-3-Methyl-4-Oxo-4,5,6,7-</i><br><i>Tetra</i> .....                                                       | 99  |
| Gambar 114. | <i>Phenol, 2-(4-Diethylaminophenyliminomethyl Fluorene 1h-Indole-2-Carboxylic</i><br><i>Acid, 6-(4-Fluorophenyl)-</i> .....                                | 99  |
| Gambar 115. | <i>Fluorene 1h-Indole-2-Carboxylic Acid, 6-(4-Fluorophenyl Propanoic acid, 3-</i><br><i>amino-3-(1-naphthyl)-, ethyl ester</i> .....                       | 99  |
| Gambar 116. | <i>Senyawa Propanoic Acid, 3-Amino-3-(1-Naphthyl)-, Ethyl Ester</i> .....                                                                                  | 100 |
| Gambar 117. | <i>Senyawa Propanoic Acid, 2-[4-(1,1-Dimethylethyl)Phenoxy]</i> .....                                                                                      | 100 |
| Gambar 118. | Photo Uji Morfologi dan Biokimia (Uji Pewarnaan Gram) .....                                                                                                | 101 |
| Gambar 119. | Photo Uji Morfologi dan Biokimia (Uji Starch hydrolysis) .....                                                                                             | 101 |
| Gambar 120. | Hasil Elektroforesis Gel Amplifikasi Gen 16S-rRNA. (M) Marker; (1) RPL-1;<br>(2) RPL-5; dan (3) TRA-5.....                                                 | 102 |
| Gambar 121. | Peta Pola Ruang Kabupaten Semarang (Sumber: Perda Kab. Semarang No.<br>16/2011 tentang RTRW Kab. Semarang) .....                                           | 112 |

## CHAPTER 2

### AKTIFITAS ANTROPOGENIK

Aktivitas pertanian di daerah hulu menjadi penyebab tercemarnya Rawa Pening terutama oleh pupuk dan pestisida yang mengandung unsur N-P-K dan unsur *organophosphat*. Hal ini menyebabkan residu dari penggunaan pupuk dan pestisida akan mengalir ke badan air danau. Residu pestisida yang masuk ke perairan akan berikatan dengan komponen lipida dan substrat organik karena memiliki afinitas dan kestabilan yang kuat, sehingga residu pestisida akan terakumulasi di perairan danau dan menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem. Status Rawa Pening berdasarkan Indeks Lingkungan Hidup yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup bahwa Rawa Pening termasuk danau dengan status tercemar. Pola sebaran fosfat dan nitrat di Rawa Pening menunjukkan penurunan kadar fosfat dan nitrat dari arah hulu ke muara Rawa Pening sedangkan berdasarkan riset yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup bahwa kondisi Rawa Pening menunjukkan indikator BOD rata rata di atas 4,14 mg/l - 6,1 mg/l dengan kandungan fenol di atas 0,009 ml/tl- 0,044 ml/tl. Kandungan Nitrogen dan fosfor di Rawa Pening sudah melebihi batas normal dengan kategori tercemar ringan sampai sedang, hal ini dimungkinkan akibat pencemaran bahan organik, termasuk pupuk dan pestisida. Pencemaran pestisida di Rawa Pening menjadi hal yang sangat penting karena efek yang akan ditimbulkan mengingat pestisida bersifat bioakumulatif, biomagnifikatif, persisten di alam dan memiliki waktu paruh yang panjang. 11

Hasil penelitian melaporkan kandungan residu pestisida pada sayuran di Kota Salatiga sudah sampai pada tingkat membahayakan. Hal ini karena sifat bioakumulatif pestisida dan waktu paruh yang lama sehingga residu pestisida terdeteksi pada hasil pertanian. 12 Jika residu pestisida dapat tertinggal dalam waktu yang lama pada produk hortikultura maka hal ini pula dapat pula terjadi pada badan air sungai dan danau. Rawa Pening sebagai muara sembilan sungai dimana terdapat aktivitas pertanian, perkebunan dan domestik maka kemungkinan besar sudah tercemar pestisida bahkan dikhawatirkan organisme yang hidup di Rawa Pening juga sudah tercemar residu pestisida. Sedangkan menurut Residu pestisida pada sayuran yang beredar di pasar tradisional dan modern di Kota Semarang menunjukkan residu pestisida yang cukup tinggi sebagai berikut pada pasar tradisional terdeteksi residu pestisida pada sayuran kubis sekitar 1,277 ppm dari standar 1 ppm, sayuran selada terdeteksi sekitar 1,244 ppm dari standar = 1 ppm, kacang panjang 1,515 ppm dari standar 1 ppm dan wortel terdeteksi 0,978 dari standar 1 ppm, sedangkan hasil uji pada sayuran di pasar modern adalah sayuran kobis 1,674 ppm standar 1 ppm, selada terdeteksi 1,151 ppm, standar 1 ppm, kacang panjang terdeteksi 1,007 ppm, standar 1 ppm dan wortel terdeteksi 0.237 ppm standar 1 ppm. Oleh karena itu penelitian tersebut dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam analisis residu dan tingkat pencemaran pestisida di daerah Salatiga dan Semarang, termasuk tingkat pencemaran di daerah

---

11 Mochamad Arief Budihardjo and Haryono S Huboyo, 'Pola Persebaran Nitrat Dan Phosphat Dengan Model Aquatox2. 2 Serta Hubungan Terhadap Tanaman Enceng Gondok Pada Permukaan Danau (Studi Kasus Danau Rawa Pening Kabupaten Semarang)', *Jurnal Presipitasi*, 3.2 (2007), 58–66.

12 Indira Casheila Anindityo, Nur Endah Wahyuningsih, and Yusniar Hanani Darundiati, 'Kandungan Logam Berat (Pb Dan Hg) Pada Sayuran Di Desa Kopeng Kabupaten Semarang Dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungannya', *VISIQUES: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 20.1 (2021).

### CHAPTER III

#### BIOREMEDIASI PESTISIDA

#### (STUDI KASUS DI RAWA PENING)

Proses Bioremediasi Pestisida terbagi menjadi 4 tahap:

- A. Tahap Pra-Penelitian, meliputi studi awal mengenai kandungan residu pestisida di Rawa Pening yang akan menjadi *base line* penelitian bioremediasi pestisida *Organophosphat* oleh bakteri *indigenous* terseleksi pada perairan Rawa Pening Kabupaten Semarang.
- B. Tahap Penelitian Laboratorium meliputi
  1. Skrining terhadap bakteri *indigenous* yang berasal dari perairan Rawa Pening secara kualitatif dengan mengamati perubahan warna pada media padat dan cair Zobell yang diperkaya *Malathion* dan *Profenofos* dengan indikator Bromtymol Blue..
  2. Skrining lanjutan terhadap bakteri terseleksi hasil uji kualitatif secara kuantitatif dengan menggunakan metoda spectrophotometry untuk mendapatkan 3 bakteri terbaik melalui uji kemampuan degradasi terhadap *Malathion* dan *Profenofos*.
  3. Uji kemampuan degradasi bakteri konsorsium dari 3 bakteri terseleksi terbaik setelah melalui uji antagonisme/sinergisme untuk mendapatkan bakteri konsorsium terbaik pendegradasi *Malathion* dan *Profenofos*.
  4. Studi kinetika mengenai bakteri konsorsium yang memiliki kemampuan terbaik dalam mendegradasi *Malathion* dan *Profenofos* pada substrat air dan sedimen Rawa Pening pada skala laboratorium.
- C. Tahap Penelitian aplikasi meliputi uji kemampuan degradasi terhadap bakteri konsorsium terseleksi pada substrat air dan sedimen Rawa Pening pada kondisi laboratorium non steril (aplikasi terbatas)
- D. Identifikasi bakteri *indigenous* terbaik secara morfologi dan biologi molekular.

#### A. TAHAP PRA-PENELITIAN

Tahap Pra Penelitian meliputi Studi mengenai jenis pestisida yang paling banyak dimanfaatkan oleh petani sekitar Rawa Pening dan analisis residu pestisida pada air dan sedimen Rawa Pening, sebagai berikut :

##### Survey Sederhana (Wawancara Langsung Pada Petani)

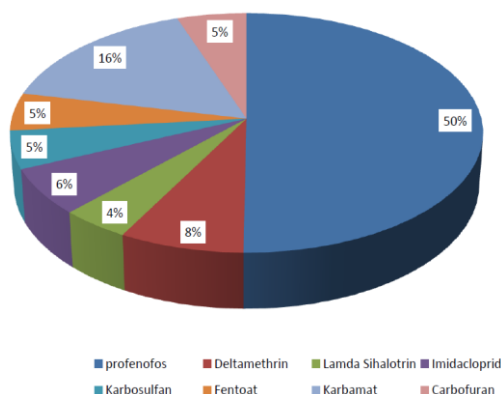
Studi pendahuluan dilaksanakan dengan cara survey sederhana melalui wawancara langsung terhadap 44 responden petani di lokasi sekitar Rawa Pening untuk mengetahui jenis pestisida yang biasa digunakan oleh petani, sebagai berikut (0)

Tabel 7 . Hasil survey jenis pestisida yang biasa digunakan oleh petani

| No  | Area Ramdom Sampling | Responden   | Bahan Aktif     |            |         |              |         |                  |                |            |         |          |                |            |                 |              |                |             |                 |         |              |          |         |            |
|-----|----------------------|-------------|-----------------|------------|---------|--------------|---------|------------------|----------------|------------|---------|----------|----------------|------------|-----------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|---------|--------------|----------|---------|------------|
|     |                      |             | Curacron 500 EC | Profenofos | Denelis | Deltamethrin | Matador | Lamda Sihalotrin | Edocron 500 EC | Profenofos | Mesuroi | Karbamat | Blocron 500 EC | Profenofos | Confidor 200 EC | Imidacloprid | Marshal 200 SC | Karbosulfan | Diamasan 600 EC | Fentoat | Bassa 500 EC | Karbamat | Furadan | Carbofuran |
| 1   | Desa Tuntang         | Responden 1 | 1               |            | 1       |              | 1       |                  | 1              |            |         |          | 1              |            |                 |              |                |             | 1               |         | 1            |          |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            |         |              |         |                  |                |            |         |          |                |            |                 |              |                |             |                 |         |              | 1        |         |            |
| 2   | Lopait               | Responden 1 | 1               |            | 1       |              | 1       |                  | 1              |            |         |          | 1              |            | 1               |              |                |             |                 |         | 1            |          |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            | 1       |              | 1       |                  | 1              |            |         |          | 1              |            | 1               |              | 1              |             | 1               |         |              |          | 1       |            |
| 3   | Kesongo              | Responden 1 | 1               |            |         |              |         | 1                |                | 1          |         | 1        |                | 1          |                 |              | 1              |             |                 |         |              |          |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            | 1       |              |         |                  | 1              |            |         |          | 1              |            | 1               |              | 1              |             |                 |         |              |          |         |            |
| 4   | Candirejo            | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            | 1       |          | 1              |            | 1               |              | 1              |             |                 |         |              | 1        |         | 1          |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            |         |          |                |            |                 |              |                |             |                 |         |              |          |         |            |
| 5   | Rowosari             | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  |                |            | 1       |          | 1              |            |                 |              | 1              |             |                 |         |              | 1        |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            | 1       |              | 1       |                  | 1              |            |         |          | 1              |            |                 |              |                |             | 1               |         | 1            |          |         |            |
| 6   | Rowoboni             | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            | 1       |          | 1              |            |                 |              |                |             |                 |         |              |          |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            |         |          |                |            | 1               |              |                |             | 1               |         | 1            |          |         |            |
| 7   | Kebondowo            | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            | 1       |          | 1              |            |                 |              | 1              |             | 1               |         |              |          |         | 1          |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            | 1       |          | 1              |            | 1               |              | 1              |             |                 |         | 1            |          |         |            |
| 8   | Tambakboyo           | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            | 1       |          | 1              |            | 1               |              |                |             |                 |         |              |          |         | 1          |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            | 1       |              | 1       |                  | 1              |            |         |          | 1              |            | 1               |              |                |             | 1               |         | 1            |          | 1       |            |
| 9   | Asinan               | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            | 1       |          | 1              |            |                 |              |                |             |                 |         |              | 1        |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            | 1       |              |         |                  |                |            |         |          |                |            |                 |              |                |             |                 |         |              |          |         |            |
| 10  | Bejalen              | Responden 1 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            |         |          | 1              |            |                 |              | 1              |             |                 |         |              |          |         | 1          |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            |         |              |         |                  | 1              |            |         |          |                |            |                 |              |                |             |                 |         |              | 1        |         |            |
| 11  | Sawahan              | Responden 1 | 1               |            | 1       |              |         |                  | 1              |            |         |          | 1              |            |                 |              |                |             |                 |         |              | 1        |         |            |
|     |                      | Responden 2 | 1               |            | 1       |              |         |                  | 1              |            |         |          | 1              |            |                 |              |                |             |                 |         |              |          |         |            |
| 117 |                      |             | 22              |            | 9       |              | 5       |                  | 19             |            | 7       |          | 18             |            | 7               |              | 6              |             | 6               |         | 12           |          | 6       |            |

Penelitian pendahuluan bertujuan hanya untuk mengetahui gambaran umum pemakaian jenis pestisida oleh petani saat menunjukkan dilaksanakan.

Hasil survey menunjukan bahwa jenis pestisida *Organophosphat Profenofos* (merek dagang *Curacron* paling banyak dimanfaatkan oleh petani sekitar Rawa Pening (50 %), kemudian *Karbamat* (16%), *Deltamethrin* (8%), *Imidacloprid* (6%), *Fentoat* (5%), *Karbosulfan* (5%), *Carbofuran* (5%) dan *Lamda Sihalotrin* (4%). Grafik dibawah ini menunjukan prosentase pemanfaatan berbagai jenis pestisida oleh petani disekitar Rawa Pening berdasarkan menunjukkan sebagai berikut:



Gambar 42. Grafik Penggunaan Pestisida Oleh Petani sekitar Rawa Pening (Sumber primer, 2013)

Hal ini didukung oleh penelitian Hanani, *et al* (2004) mengenai jenis pestisida yang paling banyak dimanfaatkan oleh petani sayur di kecamatan Ambarawa secara *Survey Cross Sectional*. Hasil penelitian menunjukan bahwa pestisida dengan merek dagang *Curacron* paling banyak dimanfaatkan oleh petani sayur sekitar 69,2 % (*bahan aktif Profenofos*),

sedang lainnya petani menggunakan merek dagang *Decis* dan *Dursban* (bahan aktif *Profenofos*) . sedangkan pestisida yang jarang digunakan adalah *Matador* (*Piretroid Trifluo Rometil*) dan *Diazinon* (*Organophosphat, Pirimidin*)

### Analisis Residu Pestisida Pada Air dan Sedimen Rawa Pening

Data hasil analisis residu pestisida pada air dan sedimen Rawa Pening dengan metode *Gas Chromatography*, sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Analisa Kandungan Residu Pestisida Pada Air dan Sedimen

| Kode Sampel                      | Kode Distribusi |           | ORGANOFOSFAT     |            |          |              |          |            |          |
|----------------------------------|-----------------|-----------|------------------|------------|----------|--------------|----------|------------|----------|
|                                  |                 |           | Klorpirifos      | Profenofos | Diazinon | Fenitrothion | Malation | Metidation | Paration |
|                                  |                 |           | Kromatografi Gas |            |          |              |          |            |          |
| S. Pengas dan Panjang & S Tarung | Lumpur          | 172.4.001 | <LD              | 0,1910     | <LD      | 0,0552       | 0,0576   | <LD        | <LD      |
| S Gulih                          | Lumpur          | 172.4.002 | <LD              | 0,2859     | 0,0168   | 0,1022       | 0,1200   | <LD        | <LD      |
| S. Tuntang & S. Tambak Rejo      | Lumpur          | 172.4.003 | <LD              | 0,1210     | 0,0081   | 0,0415       | 0,0722   | <LD        | <LD      |
| S. Pengas dan Panjang & S Tarung | Air             | 172.5.004 | <LD              | <LD        | <LD      | <LD          | 0,0366   | <LD        | <LD      |
| S Gulih                          | Air             | 172.5.005 | <LD              | 0,0260     | 0,0044   | <LD          | 0,0520   | <LD        | <LD      |
| S. Tuntang & S. Tambak Rejo      | Air             | 172.5.006 | <LD              | 0,0815     | 0,0062   | <LD          | 0,0521   | <LD        | <LD      |
| Limit Deteksi (LD)               |                 |           | 0,0014           | 0,0034     | 0,0027   | 0,0020       | 0,0029   | 0,0034     | 0,0034   |

| Kode Sampel                      | Kode Distribusi |           | ORGANOKLORIN               |           |        |            |           |        |        |
|----------------------------------|-----------------|-----------|----------------------------|-----------|--------|------------|-----------|--------|--------|
|                                  |                 |           | Lindan<br>( $\gamma$ -BHC) | Heptaklor | Aldrin | Endosulfan | Diieldrin | DDT    | Endrin |
|                                  |                 |           | Kromatografi Gas           |           |        |            |           |        |        |
| S. Pengas dan Panjang & S Tarung | Lumpur          | 172.4.001 | 0,0036                     | 0,0040    | 0,0560 | 0,0042     | <LD       | <LD    | 0,0632 |
| S Gulih                          | Lumpur          | 172.4.002 | 0,0096                     | 0,0065    | 0,1038 | 0,0027     | 0,053     | <LD    | 0,0887 |
| S. Tuntang & S. Tambak Rejo      | Lumpur          | 172.4.003 | 0,0084                     | 0,0059    | 0,0422 | <LD        | <LD       | <LD    | 0,0374 |
| S. Pengas dan Panjang & S Tarung | Air             | 172.5.004 | <LD                        | <LD       | <LD    | 0,0102     | <LD       | <LD    | 0,0136 |
| S Gulih                          | Air             | 172.5.005 | <LD                        | 0,0039    | <LD    | 0,0183     | <LD       | <LD    | 0,0096 |
| S. Tuntang & S. Tambak Rejo      | Air             | 172.5.006 | <LD                        | 0,0036    | <LD    | 0,0048     | <LD       | <LD    | 0,0257 |
| Limit Deteksi (LD)               |                 |           | 0,0024                     | 0,0024    | 0,0030 | 0,0021     | 0,0042    | 0,0039 | 0,0045 |

Hasil analisis terhadap residu pestisida pada air dan sedimen Rawa Pening adalah sebagai berikut :

- Konsentrasi residu *Profenofos* pada air Rawa Pening berkisar antara 0,0260 ppm (Titik sampling Sungai Galeh) – 0,08 ppm (pertemuan Sungai Tuntang dan Sungai Tambak rejo)
- Konsentrasi residu *Profenofos* pada sedimen Rawa Pening berkisar antara 0,12 ppm (Titik sampling pertemuan Sungai Tuntang dan Sungai Tambak rejo) – 0,286 ppm (Titik sampling Sungai. Galeh)
- Konsentrasi residu *Malathion* pada air berkisar antara 0,0366 ppm (Titik sampling pertemuan Sungai. Panjang dan Tarung) – 0,0521 ppm (Titik sampling pertemuan Sungai Tuntang dan Sungai Tambak rejo)
- Konsentrasi residu *Malathion* pada sedimen berkisar 0,0567 ppm (Titik sampling pertemuan Sungai Tarung, Sungai Rengas dan Sungai Panjang) – 0,12 ppm. (Titik sampling Sungai Galeh)

Berdasarkan data hasil analisis residu pestisida menunjukkan bahwa perairan Rawa Pening merupakan suatu sistem ekologi yang sudah tercemar pestisida *Malathion* dan *Profenofos*. Pada bebarapa titik sampling menunjukkan konsentrasi residu *Malathion* dan *Profenofos* berada diatas batas ambang yang ditentukan  $\geq 0,01$  ppm. Menurut Permenkes RI Menunjukkan. 416/Menkes/Per/IX/1990 dan PP. Menunjukkan. 20 Tahun 1990, Standar Ambang Batas residu pestisida di perairan adalah 0.1 mg/L, sedangkan menurut US-FDA

(1999) bahwa batas standar akumulasi residu *Malathion* maksimal 0,01 ppm pada perairan dan *zero tolerance* akumulasi pada makhluk hidup. Menurut Schnoor (1993), bahwa masuknya residu pestisida pada perairan danau dalam jangka waktu yang lama akan mengalami pengikatan dengan 49 bakteri kimia air dan tanah melalui mekanisme pertukaran ligan *non ionoc polar* kemudian akan masuk kedalam rantai makanan pada ekosistem danau.

Pada saat ini dampak akumulasi yang ditimbulkan akibat residu *Malathion* dan *Profenofos* belum nampak dengan nyata akan tetapi jika paparan *Malathion* dan *Profenofos* berlangsung lama maka akan mengganggu keseimbangan ekologis Rawa Pening bahkan memungkinkan terjadi bioakumulasi pestisida pada sistem ekologi danau Rawa Pening,

## B. TAHAP PENELITIAN LABORATORIUM

Pada tahap penelitian laboratorium, *Malathion* dan *Profenofos* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Malathion* teknis dengan menunjukkan dagang Lovlan 96 % (*Cheminova*) dan *Profenofos* teknis dengan merek dagang *Curacron 500 EC* (*Syngenta*) yang beredar di pasaran dan banyak digunakan oleh masyarakat sekitar Rawa Pening sebagai pengendali hama sedangkan *Lovlan 96 %* banyak digunakan pada kegiatan *foging* pengendalian nyamuk demam berdarah. Tahap penelitian ini adalah tahap pencarian bakteri indigenous dari Rawa Pening, yang kemudian diuji kemampuan degradasinya terhadap *Malathion* dan *Profenofos* secara kualitatif dan kuantitatif, sebagai berikut :

### 1. Uji Kualitatif Bakteri Indigenous Terseleksi Pendegradasi Malathion dan Profenofos

Isolasi bakteri *indigenous* tahap 1, yaitu proses skrining 49 bakteri yang berhasil tumbuh pada media Minimum Zobell setelah inkubasi 3 x 24 jam. Hasil skrining mak diperoleh 117 bakteri dengan kode bakteri sebagai berikut :

Tabel 9. Kode bakteri yang berhasil diisolasi dari air dan sedimen

|            |             |            |            |            |            |            |            |         |           |
|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|-----------|
| TN - L - 1 | TBR - L - 1 | LP - L - 1 | TGRP - L - | SR - L - 1 | GL - L - 1 | TR - L - 1 | RP - L - 1 | I. 1.1  | II. 2.2   |
| TN - L - 2 | TBR - L - 2 | LP - L - 2 | TGRP - L - | SR - L - 2 | GL - L - 2 | TR - L - 2 | RP - L - 2 | I. 2    | II. 3     |
| TN - L - 3 | TBR - L - 3 | LP - L - 3 | TGRP - L - | SR - L - 3 | GL - L - 3 | TR - L - 3 | RP - L - 3 | I. 3A   | I. 4      |
| TN - L - 4 | TBR - L - 4 | LP - L - 4 | TGRP - L - | SR - L - 4 | GL - L - 4 | TR - L - 4 | RP - L - 4 | I. 4A   | II. 4.2   |
| TN - L - 5 | TBR - L - 5 | LP - L - 5 | TGRP - A - | SR - L - 5 | GL - L - 5 | TR - A - 1 | RP - L - 5 | I. 4B   | II. 5     |
| TN - L - 6 | TBR - L - 6 | LP - L - 6 | TGRP - A - | SR - A - 1 | GL - L - 6 | TR - A - 2 | RP - L - 6 | II. 4.1 | II. 6     |
| TN - A - 1 | TBR - A - 1 | LP - A - 1 | TGRP - A - | SR - A - 2 | GL - A - 1 | TR - A - 3 | RP - A - 1 | I. 7A   | II. 6.1   |
| TN - A - 2 | TBR - A - 2 | LP - A - 2 | TGRP - A - | SR - A - 3 | GL - A - 2 | TR - A - 4 | RP - A - 2 | I. 7B   | II. 6.2   |
| TN - A - 3 | TBR - A - 3 | LP - A - 3 | TGRP - A - | SR - A - 4 | GL - A - 3 | TR - A - 5 | RP - A - 3 | II. 1   | II. 7     |
| TN - A - 4 | TBR - A - 4 | LP - A - 4 |            |            | GL - A - 4 | TR - A - 6 | RP - A - 4 | II. 1.2 | AIR RP    |
| TN - A - 5 | TBR - A - 5 | LP - A - 5 |            |            | GL - A - 5 |            |            | II. 2.1 | AIR RP-TC |
|            | TBR - A - 6 |            |            |            |            |            |            | II. 2   |           |
|            | TBR - A - 7 |            |            |            |            |            |            |         |           |

Gambar dibawah ini menunjukkan koloni bakteri berdasarkan bentuk morfologi yang berhasil di isolasi dari sampel air dan sedimen Rawa Pening.

## CHAPTER

### IV

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi terkini sebagai gambaran umum Rawa Pening menunjukkan bahwa telah terjadi proses degradasi Pestisida *Organophosphat*, dengan konsentrasi residu tertinggi adalah *Malathion* dan *Profenofos*, sebagai berikut:
  - a. Konsentrasi residu *Profenofos* pada perairan Rawa Pening berkisar antara 0,0260 ppm - 0,286 ppm.
  - b. Konsentrasi residu *Malathion* pada perairan Rawa Pening berkisar antara 0,0366 ppm– 0,12 ppmHasil survey sederhana sebagai data pendukung dengan metode wawancara langsung terhadap petani sekitar Rawa Pening menunjukkan bahwa jenis pestisida *Organophosphat Profenofos* merek dagang *Curacron* paling banyak dimanfaatkan oleh petani sekitar Rawa Pening sekitar 50 % dari jumlah pestisida *organophosphat* yang digunakan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perairan danau Rawa Pening telah tercemar ( standar *Malathion* dan *Profenofos* adalah 0,1 ppm Peraturan Menteri Kesehatan Nomor: 416/MEN.KES/PER/IX/1990 Tentang Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air).
2. Hasil skrining berdasarkan uji kemampuan degradasi bakteri indigenous secara kualitatif dan kuantitatif pada substrat *Malathion* dan *Profenofos*, adalah sebagai berikut:
  - a) Hasil uji kemampuan degradasi bakteri indigenous terseleksi secara kualitatif pada *Malathion* maka didapatkan 8 isolat bakteri dengan kode adalah TBR-A-7, TR-A-5, TR-A-6, RP-L-1, RP-L-2, RP-L-3, RPL-5, RPL-6 dan 8 isolat bakteri yang mampu mendegradasi *Profenofos* dengan kode bakteri TRA-6, GL-L-1, TR-A-5, TR-A-6, RP-L-1, RP-L-3, RPL-5, RP-A-2.
  - b) Bakteri terbaik hasil *skrining* uji kuantitatif diperoleh tiga isolat bakteri yang mempunyai kemampuan degradasi terbaik terhadap *Malathion* yaitu Bakteri dengan kode isolat RPL-5 dengan kemampuan degradasi = 40,99 % , TRA-5 dengan kemampuan degradasi = 40,37% dan bakteri dengan kode RPL-1 dengan kemampuan degradasi = 20,50%, sedangkan pada *Profenofos* adalah Bakteri dengan kode TRA-5 dengan kemampuan degradasi = 58.13%, kode bakteri RPL-1 dengan kemampuan degradasi = 43% dan bakteri dengan kode RPL-5 dengan kemampuan degradasi 38.44%
  - c) Hasil uji kemampuan degradasi terhadap bakteri terseleksi dalam bentuk konsorsium menunjukkan kemampuan yang lebih baik dibandingkan kemampuan degradasi pada isolat tunggal. Konsorsium bakteri RPL-5 dan RPL-1 memiliki kemampuan degradasi terbaik sebesar 83,23 % sedangkan bakteri konsorsium RPL-5 dan TRA-5 memiliki kemampuan degradasi terbaik dengan nilai 68.75 % pada substrat *Profenofos*
3. Teknologi bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri *Indigenous* dari perairan Rawa Pening terbukti mampu mendegradasi bahan pencemar *Malathion* dan *Profenofos* sehingga dapat digunakan sebagai teknologi alternatif dalam mengatasi pencemaran *Organophosphat Malathion* dan *Profenofos*. Hasil uji Kemampuan bioremediasi

berdasarkan skala aplikasi terbatas dalam kondisi substrat non steril/kondisi asli Rawa Pening adalah sebagai berikut:

- a) Bakteri konsorsium TRA-5/RPL-5 dan konsorsium RPL-5/RPL-1 mampu mendegradasi substrat air dan sedimen Rawa Pening non steril (sesuai dengan kondisi aslinya) yang diperkaya Malathon dan Profenofos uji secara sempurna dari 75 ppm hingga mencapai konsentrasi 0 ppm dalam waktu 192 jam
  - b) Bakteri konsorsium TRA-5/RPL-5 memiliki kemampuan degradasi terbaik pada *Profenofos* dengan substrat air Rawa Pening dibandingkan uji kemampuan degradasi Profenofos pada substrat sedimen Rawa Pening , *Malathion* pada air dan *Malathion* sedimen Rawa Pening
  - c) Bakteri konsorsium RPL-5/RPL-1 memiliki kemampuan degradasi terbaik pada *Malathion* dengan substrat air Rawa Pening dibandingkan uji kemampuan degradasi *Malathion* pada substrat sedimen Rawa Pening , *Profenofos* pada air dan *Profenofos* sedimen Rawa Pening
4. Hasil identifikasi secara morfologi, biokimia dan biologi molekuler maka diperoleh ***tiga spesies bakteri baru*** yang memiliki kemampuan degradasi terbaik terhadap *Malathion* dan *Profenofos* sebagai berikut:
- a) Bakteri dengan kode RPL-1 teridentifikasi sebagai bakteri yang memiliki kekerabatan terdekat dengan ***Oceanobacillus iheyensis***.
  - b) Bakteri RPL-5 teridentifikasi sebagai bakteri yang memiliki kekerabatan terdekat dengan ***Exiguobacterium profundum***.
  - c) Bakteri dengan kode TRA-5 teridentifikasi sebagai bakteri yang memiliki kekerabatan terdekat dengan ***Bacillus formis***.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Megeed, Ahmed, and Fatma Aly El-Nakieb, 'Bioremediation of Dimethoate by Effective Microorganisms in Water', *Terr Aquat Environ Toxicol*, 2 (2008), 1–4
- Abo-Amer, Aly, 'Involvement of Chromosomally-Encoded Genes in Malathion Utilization by *Pseudomonas Aeruginosa* AA112', *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 54.3 (2007), 261–77
- Aggarwal, Vaneet, Xin Deng, Atac Tuli, and Kean S Goh, 'Diazinon—Chemistry and Environmental Fate: A California Perspective', *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 223*, 2013, 107–40
- Anindityo, Indira Casheila, Nur Endah Wahyuningsih, and Yusniar Hanani Darundiati, 'Kandungan Logam Berat (Pb Dan Hg) Pada Sayuran Di Desa Kopeng Kabupaten Semarang Dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungannya', *VISIQUES: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 20.1 (2021)
- Battala, Gangadhar, Tharakeswar Yadamar, Sujana Kumar Korivi, Ramakrishna Naidu Gurijala, and R K Singhal, 'Study on Degradation of Malathion and Phorate in Various Environmental Matrices', *African Journal of Environmental Science and Technology*, 6.5 (2012), 224–28
- Bento, Fatima Menezes, Flávio Anastácio de Oliveira Camargo, Benedict Okeke, and William Thomas Frankenberger-Júnior, 'Bioremediation of Soil Contaminated by Diesel Oil', *Brazilian Journal of Microbiology*, 34 (2003), 65–68
- BIDLAN, RAJKUMAR, 'Studies on DDT Degradation by Bacterial Strains' (Central Food Technological Research Institute, 2003)
- Bigley, Andrew N, and Frank M Raushel, 'Catalytic Mechanisms for Phosphotriesterases', *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*, 1834.1 (2013), 443–53
- Boehrer, Bertram, and Martin Schultze, 'Stratification of Lakes', *Reviews of Geophysics*, 46.2 (2008)
- Budiardjo, Mochamad Arief, and Haryono S Huboyo, 'Pola Persebaran Nitrat Dan Phosphat Dengan Model Aquatox2. 2 Serta Hubungan Terhadap Tanaman Enceng Gondok Pada Permukaan Danau (Studi Kasus Danau Rawa Pening Kabupaten Semarang)', *Jurnal Presipitasi*, 3.2 (2007), 58–66
- Burkhard, Niklaus, and Johann A Guth, 'Photolysis of Organophosphorus Insecticides on Soil Surfaces', *Pesticide Science*, 10.4 (1979), 313–19
- Chakraborty, Romy, Cindy H Wu, and Terry C Hazen, 'Systems Biology Approach to Bioremediation', *Current Opinion in Biotechnology*, 23.3 (2012), 483–90
- Chandran, Preethy, and Nilanjana Das, 'Characterization of Sophorolipid Biosurfactant Produced by Yeast Species Grown on Diesel Oil', *International Journal of Science and Nature*, 2.1 (2011), 63–71
- Chanika, Eleni, Dafne Georgiadou, Efthymia Soueref, Panagiotis Karas, Evangelos Karanasios, Nikolaos G Tsiropoulos, and others, 'Isolation of Soil Bacteria Able to Hydrolyze Both Organophosphate and Carbamate Pesticides', *Bioresource Technology*, 102.3 (2011), 3184–92
- Chloride, Mepiquat, 'Eligibility Decision (RED) Mepiquat Chloride'
- Cookson Jr, John T, *Bioremediation Engineering: Design and Application*. (McGraw-Hill, Inc.,

1995)

Crawford, Ronald L, and Don L Crawford, *Bioremediation: Principles and Applications* (Cambridge University Press New York, 1996)

Effendi, Ir Irwan, *Identifikasi Bakteri: Metode Identifikasi Dan Klasifikasi Bakteri* (Oceanum, 2020), 1

Fingerman, Milton, *Bioremediation of Aquatic and Terrestrial Ecosystems* (CRC Press, 2016)

Fischbach, Mark, John Schrom, Lynda Ellis, Jennifer Chiantello, Junfeng Gao, and Michael Turnbull, 'UM-BBD Pathway Prediction System (PPS) Tutorial'

Food, F A O Panel of Experts on Pesticide Residues in, the Environment, and W H O Expert Group on Pesticide Residues, *Pesticide Residues in Food-1992: Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Expert Group on Pesticide Residues, Rome, 21-30 September 1992* (Food & Agriculture Org., 1993)

Fritsche, Wolfgang, and Martin Hofrichter, 'Aerobic Degradation by Microorganisms', *Biotechnology Set*, 2001, 144–67

Frühling, Anja, Peter Schumann, Hans Hippe, Bettina Sträubler, and Erko Stackebrandt, 'Exiguobacterium Undae Sp. Nov. and Exiguobacterium Antarcticum Sp. Nov.', *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52.4 (2002), 1171–76

Gallego, Alfredo, Virginia L Gemini, Ariana A Rossen, Susana L Rossi, Valeria Trípodi, Daniel Corach, and others, 'Aerobic Degradation of 3-Chlorobenzoic Acid by an Indigenous Strain Isolated from a Polluted River', *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28 (2012), 1245–52

Gheorghiu, Alina Stefania, 'Judicial and Extrajudicial Mediation', *LOGOS, UNIVERSALITY, MENTALITY, EDUCATION, NOVELTY. Section: Law*, 2.1 (2013), 255–76

Grob, Robert L, and Eugene F Barry, *Modern Practice of Gas Chromatography* (John Wiley & Sons, 2004)

Gupta, P K, 'WHO/FAO Guidelines for Cholinesterase-Inhibiting Pesticide Residues in Food', in *Toxicology of Organophosphate & Carbamate Compounds* (Elsevier, 2006), pp. 643–54

Hanani D, Yusniar, Arie Wuryanto, and Sulistiyani Sulistiyani, 'Tingkat Pencemaran Tanah Oleh Pestisida Di Daerah Pertanian Sayuran', 2004

Hatmanti, Ariani, 'Pengenalan Bacillus Spp', *Oseana*, 25.1 (2000), 31–41

Helliker, P E, 'Evaluation of Methyl Parathion as a Toxic Air Contaminant', *California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA (USA)*, 1993, 1–136

Hidup, Keputusan Menteri Negara Lingkungan, 'Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis', *Jakarta (ID): Lingkungan Hidup*, 2003

Isworo, Slamet, and Poerna Sri Oetari, 'The Chemical Compounds from Degradation of Profenofos and Malathion by Indigenous Bacterial Consortium.', *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15.2 (2021), 897–915

Isworo, Slamet, Purwanto Purwanto, and Agus Sabdono, 'Bioremediasi Pestisida Golongan

- Organophosphat (Malathion Dan Profenofos) Oleh Bakteri Indigenous Terseleksi Dari Perairan Rawa Pening. Kabupaten Semarang' (Program Of Postgraduate, 2015)
- Jaya, Kasman, 'Hubungan Antara Faktor Sosial Demografi Dengan Perilaku Petani Dalam Mengaplikasi Pestisida', *Jurnal Agrotech*, 9.2 (2019), 39–44
- Kamrin, Michael A, *Pesticide Profiles: Toxicity, Environmental Impact, and Fate* (CRC press, 1997)
- Karalliedde, Lakshman, Stanley Feldman, John Henry, and Timothy Marrs, *Organophosphates and Health*. (Imperial College Press, 2001)
- Karthikeyan, R, and A Bhandari, 'Anaerobic Biotransformation of Aromatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil Microcosms: A Review', *Journal of Hazardous Substance Research*, 3.1 (2001), 3
- Kolmodin, Lori A, and J Fenton Williams, 'PCR: Basic Principles and Routine Practice', *PCR Cloning Protocols: From Molecular Cloning to Genetic Engineering*, 1997, 3–15
- Lithaw, Paul N, *Glycolysis: Regulation, Processes and Diseases* (Nova Biomedical Books NY, 2009)
- Lu, Peng, Qinfen Li, Hongming Liu, Zhaozhong Feng, Xin Yan, Qing Hong, and others, 'Biodegradation of Chlorpyrifos and 3, 5, 6-Trichloro-2-Pyridinol by *Cupriavidus* Sp. DT-1', *Bioresource Technology*, 127 (2013), 337–42
- Madigan, Michael T, David P Clark, David Stahl, and John M Martinko, *Brock Biology of Microorganisms 13th Edition* (Benjamin Cummings, 2010)
- McKinney, Ross E, *Environmental Pollution Control Microbiology: A Fifty-Year Perspective* (CRC Press, 2004)
- MENN, FUMIN, James P Easter, and Gary S Sayler, '21 Genetically Engineered Microorganisms and Bioremediation', *Knoxville, TN*, 1999, 31605–996
- Muntyan, M S, I V Popova, D A Bloch, E V Skripnikova, and V S Ustiyana, 'Energetics of Alkalophilic Representatives of the Genus *Bacillus*', *Biochemistry (Moscow)*, 70 (2005), 137–42
- Murniasih, Tutik, 'Biodegradasi Fenantren Oleh Bakteri Laut *Pseudomonas* Sp KalP3b22 Asal Kumai Kalimantan Tengah', *Makara Journal of Science*, 2010
- NAULI, MARCELLIA ROTUA, and Abu Umayah, 'ANALISIS RESIDU PESTISIDA Pada Buah Cabai Merah Keriting (*Capsicum Annuum* L.) Setelah Pencucian Menggunakan Mama Lime Di Desa Tanjung Pering, Kabupaten Ogan Ilir.' (Sriwijaya University, 2021)
- Nelma, 'Analisis Kadar Besi (Fe) Pada Bayam Merah (*Iresine Herbstii* Hook) Dan Bayam Hijau (*Amaranthus Tricolor* Sp) Yang Dikonsumsi Masyarakat', *Jurnal Pendidikan Kimia*, 6.3 (2014), 62–65
- Nishino, S F, J C Spain, L A Belcher, and C D Litchfield, 'Chlorobenzene Degradation by Bacteria Isolated from Contaminated Groundwater', *Applied and Environmental Microbiology*, 58.5 (1992), 1719–26
- Nollet, Leo M L, and Fidel Toldrá, *Handbook of Food Analysis-Two Volume Set* (CRC Press, 2015)
- Organization, World Health, *Sound Management of Pesticides: Risk Reduction: Report on a Meeting, Bonn, Germany, 13–14 August 2008* (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2008)

- , *The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2019* (World Health Organization, 2020)
- ORTIZ-HERNÁNDEZ, Ma, and Enrique Sánchez-Salinas, 'Biodegradation of the Organophosphate Pesticide Tetrachlorvinphos by Bacteria Isolated from Agricultural Soils in México', *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26.1 (2010), 27–38
- Patai, Saul, *The Chemistry of Organic Arsenic, Antimony and Bismuth Compounds* (Wiley, 1994), CVI
- Pohanish, Richard P, *Sittig's Handbook of Pesticides and Agricultural Chemicals* (William Andrew, 2014)
- Prescott, Lansing M Harley, *Microbiología*, Lansing M. Prescott, John P. Harley, Donald A. Klein (McGraw-Hill. Madrid. ES, 2004)
- Ratnaike, Ranjit Nihal, 'Acute and Chronic Arsenic Toxicity', *Postgraduate Medical Journal*, 79.933 (2003), 391–96
- Riffiani, Rini, and Nunik Sulistinah, 'Keragaman Bakteri Penghasil Enzim Penghidrolisis Nitril Di Pulau Enggano Bengkulu', *Berita Biologi*, 16.3 (2018), 265–77
- Riya, P, and T Jagatpati, 'Biodegradation and Bioremediation of Pesticides in Soil: Its Objectives, Classification of Pesticides, Factors and Recent Developments', *World J Sci Technol*, 2.7 (2012), 36–41
- Roberts, Terry R, and David H Hutson, 'Insecticides', in *Metabolic Pathways of Agrochemicals*, 1999, pp. 1–78
- Sani, Yulvian, 'Pesticide Residues in Animal Products: Problems and Its Alternative Prevention', *WARTAZOA. Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, 14.1 (2004), 1–13
- Semprini, Lewis, 'In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents.', *Environmental Health Perspectives*, 103.suppl 5 (1995), 101–5
- Seo, Jong-Su, Young-Soo Keum, and Qing X Li, 'Bacterial Degradation of Aromatic Compounds', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6.1 (2009), 278–309
- Shan, X I E, L I U Junxin, L I Lin, and QIAO Chuanling, 'Biodegradation of Malathion by *Acinetobacter Johnsonii* MA19 and Optimization of Cometabolism Substrates', *Journal of Environmental Sciences*, 21.1 (2009), 76–82
- da Silva, Natália Alvarenga, Willian Garcia Birolli, Mirna Helena Regali Seleglim, and André Luiz Meleiro Porto, 'Biodegradation of the Organophosphate Pesticide Profenofos by Marine Fungi', *Applied Bioremediation-Active and Passive Approaches*, 2 (2013), 149–80
- Singh, Brajesh K, and Allan Walker, 'Microbial Degradation of Organophosphorus Compounds', *FEMS Microbiology Reviews*, 30.3 (2006), 428–71
- Sivakumar, Subramaniam, Palanivel Anitha, Balsubramanian Ramesh, and Gopal Suresh, 'Analysis of EAWAG-BBD Pathway Prediction System for the Identification of Malathion Degrading Microbes', *Bioinformation*, 13.3 (2017), 73
- Suzuki, Osamu, Kanako Watanabe, and Masakatsu Sakata, 'Organophosphorus Pesticides', *Drugs and Poisons in Humans: A Handbook of Practical Analysis*, 2005, 535–44
- Thabit, Tamer, and Medhat A H El-Naggar, 'Malathion Degradation by Soil Isolated Bacteria

- and Detection of Degradation Products by GC-MS', *International Journal of Environmental Sciences*, 3.5 (2013), 1467–76
- Tiehm, Andreas, and Kathrin R Schmidt, 'Sequential Anaerobic/Aerobic Biodegradation of Chloroethenes—Aspects of Field Application', *Current Opinion in Biotechnology*, 22.3 (2011), 415–21
- Vallino, J J, C S Hopkinson, and J E Hobbie, 'Modeling Bacterial Utilization of Dissolved Organic Matter: Optimization Replaces Monod Growth Kinetics', *Limnology and Oceanography*, 41.8 (1996), 1591–1609
- Venugopal, N V S, and B Sumalatha, 'Spectrophotometric Determination of Malathion in Environmental Samples', *E-Journal of Chemistry*, 9.2 (2012), 857–62
- Wells, Bonnie, and F M Fishel, 'Rainfastness of Pesticides', *University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences*. [Http://Edis. Ifas. Ufl. Edu/Pi238](http://edis.ifas.ufl.edu/Pi238), 2011
- Whiteley, C G, and D-J Lee, 'Enzyme Technology and Biological Remediation', *Enzyme and Microbial Technology*, 38.3–4 (2006), 291–316
- Woolson, Edwin A, 'Arsenical Pesticides. 168th Meeting of the American Chemical Society, Atlantic City, New Jersey, September 9, 1974', 1975
- Yamamoto, Satoshi, and Shigeaki Harayama, 'Phylogenetic Relationships of Pseudomonas Putida Strains Deduced from the Nucleotide Sequences of GyrB, RpoD and 16S RRNA Genes', *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48.3 (1998), 813–19
- Yulia, Lusiana Riska, Bindanetty Marsa, and Sri Rachmania Juliastuti, 'Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Minyak Bumi Dengan Menggunakan Bakteri Pseudomonas Aeruginosa', *Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2012
- Zeinat Kamal, M, A H Nashwa, A Ibrahim Mohamed, and El-Nagdy Sherif, 'Biodegradation and Detoxification of Malathion by of Bacillus Thuringiensis MOS-5', *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2.3 (2008), 724–32
- Zhang, Ning, Shundi Shi, Tony Z Jia, Ashley Ziegler, Barney Yoo, Xiaohong Yuan, and others, 'A General LC-MS-Based RNA Sequencing Method for Direct Analysis of Multiple-Base Modifications in RNA Mixtures', *Nucleic Acids Research*, 47.20 (2019), e125–e125
- 一瀬勇規, 'Pseudomonas Syringae Pathovars and Related Pathogens-Identification, Epidemiology and Genomics (M. Fatmi, et. Al. Eds.) Pp. 167-173', (No Title)

–1766