

**DAYA ANTAGONISME RIZOBAKTERI TERHADAP BAKTERI
PATOGEN *Ralstonia solanacearum* DAN POTENSI
LISTRIK YANG DIHASILKAN**

Oleh

MUHAMMAD FEBRIANSYAH



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2019**

**DAYA ANTAGONISME RIZOBAKTERI TERHADAP BAKTERI
PATOGEN *Ralstonia solanacearum* DAN POTENSI
LISTRIK YANG DIHASILKAN**

**OLEH
MUHAMMAD FEBRIANSYAH
145040201111046
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT PERLINDUNGAN TANAMAN**

**SKRIPSI
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
MALANG
2019**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, November 2019

Muhammad Febriansyah



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Daya Antagonisme Rizobakteri Terhadap Bakteri
Patogen *Ralstonia solanacearum* dan Potensi

Listrik yang Dihasilkan

Nama Mahasiswa : Muhammad Febriansyah

NIM : 145040201111046

Jurusan : Hama dan Penyakit Tumbuhan

Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Dr. Ir. Abdul Latief Abadi, MS.
NIP. 19550821 198002 1 002

Restu Rizkyta Kusuma, S.P., M.Sc.
NIK. 201409 880504 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan

Lugman Qurata Aini, S.P., M.Si., Ph. D
NIP. 19720919 1998021 001

Tanggal Persetujuan:

RINGKASAN

MUHAMMAD FEBRIANSYAH, 145040201111046. Daya Antagonisme Rizobakteri terhadap Bakteri Patogen *Ralstonia solanacearum* dan Potensi Listrik yang Dihasilkan. Dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Abdul Latief Abadi, MS. sebagai Pembimbing Utama dan Restu Rizkyta Kusuma, S.P., M.Sc. sebagai Pembimbing Pendamping.

Rizobakteri merupakan kelompok bakteri yang hidup pada daerah perakaran tumbuhan (rizosfer). Bakteri rizosfer yang berhasil dieksplorasi Sari (2018) diantaranya bakteri dengan genus *Bacillus*, *Clostridium*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Pantoea* dan *Erwinia* namun belum diketahui kemampuannya sebagai agens antagonis. *Ralstonia solanacearum* merupakan bakteri patogen tular tanah *nonfluorescen* dari famili *Pseudomonas*. Disini lain beberapa genus bakteri yang tergolong kedalam rizobakteri berpotensi sebagai biokatalis dalam menghasilkan listrik melalui sebuah sistem yang disebut *microbial fuel cell* (MFC). MFC merupakan perangkat elektrokimia yang mengonversi energy kimia menjadi listrik. Oleh karena itu peneliti akan mengkaji potensi bakteri rizosfer sebagai agens antagonis dan potensinya dalam menghasilkan energi listrik melalui sistem MFC, serta perbedaan listrik yang dihasilkan antara bakteri antagonis dengan bakteri patogen *R. solanacearum*.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Pelaksanaan penelitian memiliki 4 tahap yaitu 1). Persiapan meliputi perakitan perangkat MFC satu bejana, persiapan isolate dan sterilisasi alat dan bahan. 2). Pengujian hipersensitif dan virulensi, pengujian antagonis dan pengujian listrik. 3). Pengamatan arus listrik, waktu, pH, nilai OD, diameter zona bening dan gejala nekrosis pada daun. 4). Analisis data.

Hasil penelitian menunjukkan bakteri *R. solanacearum* bereaksi positif terhadap uji hipersensitif pada daun tembakau. Hasil pengujian antagonis menunjukkan bahwa semua isolat rizobakteri mampu menghasilkan zona hambat. Pada pengamatan 24 jam indeks penghambatan *Bacillus* (N3) berbeda nyata dengan semua perlakuan. Sedangkan indeks penghambatan *Clostridium* (N10), *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), dan *Pantoea* (N26) tidak berbeda nyata. Pada pengamatan 48 jam indeks penghambatan *Bacillus* (N3), *Clostridium* (N10), *Pseudomonas* (N24), dan *Erwinia* (N27) tidak berbeda nyata, namun *Bacillus* N3 berbeda nyata dengan *Xanthomonas* (N23), dan *Pantoea* (N26). Sehingga, isolat *Bacillus* (N3) dipilih dalam pengujian potensi listrik dan dibandingkan dengan patogen *R. solanacearum*. Hasil penelitian bahwa kedua bakteri memiliki potensi dalam menghasilkan listrik. Kuat listrik yang dihasilkan oleh kedua bakteri berbeda. Voltase tertinggi yang dihasilkan oleh *Bacillus* sebesar 170 mV. Sedangkan, voltase tertinggi yang dihasilkan oleh *R. solanacearum* sebesar 60 mV. Berdasarkan uji T listrik yang dihasilkan antara bakteri patogen dan bakteri antagonis berbeda nyata. Nilai kerapatan bakteri ditinjau dari nilai OD mengalami peningkatan di masing-masing perlakuan. Sedangkan nilai pH pada substrat kedua perlakuan juga mengalami perubahan. Pada perlakuan *R. solanacearum* pH mengalami penurunan sedangkan pada perlakuan *Bacillus* N3 mengalami peningkatan. Peningkatan kerapatan bakteri dan perubahan nilai pH berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan.

SUMMARY

MUHAMMAD FEBRIANSYAH. 145040201111046. Rhizobacterial Antagonism Against *Ralstonia solanacearum* Pathogenic Bacteria and Electric Potential Generated. Supervised by Prof. Dr. Ir. Abdul Latief Abadi, MS. and Restu Rizkyta Kusuma, S.P., M.Sc.

Rhizobacteria is a group of bacteria that live in rooting regions (rhizosphere). Rhizosphere bacteria which successfully explored Sari (2018) among bacteria genus *Bacillus*, *Clostridium*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Pantoea*, and *Erwinia* yet unknown ability as antagonist agents. *Ralstonia solanacearum* is a soil-borne pathogenic bacteria nonfluorescent of the *Pseudomonas* family. Several genera of bacteria classified as rhizobacteria have potential as biocatalysts to produce electricity with a microbial fuel cell (MFC) system. The MFC is an electrochemical device that converts chemical energy into electricity. Therefore, researchers will examine the potential of rhizosphere bacteria as antagonistic agents and their potential in producing electrical energy with MFC system, as well as the difference in electricity produced between antagonistic bacteria and pathogenic bacteria *R. solanacearum*.

The research takes place in the Laboratory of Plant Diseases, Agriculture faculty, Brawijaya University. The research has 4 steps, there are 1). Preparations include assembly of a single-vessel MFC device, preparation of isolates and sterilization of tools and materials. 2). Hypersensitivity and virulence testing, antagonistic testing and electrical testing. 3). Observation of electric current, time, pH, OD value, the diameter of clear zone and symptoms of necrosis in leaves. 4). Data analyze.

The results showed that *R. solanacearum* bacteria reacted positively to the hypersensitivity test on tobacco leaves. The results of antagonistic tests on some rhizosphere bacteria including *Bacillus* (N3), *Clostridium* (N10), *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), *Pantoea* (N26), and *Erwinia* (N27) that all bacterial isolates were able to produce inhibitory zones. A 24-hour observation, the *Bacillus* inhibition index (N3) was significantly different from all treatments. Whereas *Clostridium* (N10), *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), and *Pantoea* (N26) indices are not significantly different. At 48 hours of observation, *Bacillus* (N3), *Clostridium* (N10), and *Erwinia* (N27) inhibition indices were not significantly different, but *Bacillus* (N3) was significantly different from *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), and *Pantoea* (N26). Thus, the isolate *Bacillus* (N3) was selected in testing the electrical potential and compared with the *R. solanacearum* pathogen. The result of this research shows that both bacteria have the potential to produce electricity. The electric strength produced by the two different bacteria. The highest voltage produced by *Bacillus* was 170 mV at 52, 56, and 64 hours of observation. Meanwhile, the highest voltage produced by *R. solanacearum* was 60 mV at 72 hours of observation. Based on the T-test the electricity generated between pathogenic bacteria and antagonistic bacteria is significantly different. Bacterial density values in terms of OD values experienced an increase in each treatment. While the pH value in the two substrate treatments also changed. In the *R. solanacearum* treatment the pH decreased while in the *Bacillus* (N3) treatment is increased. Increased bacterial density and changes in pH value affect the electricity produced.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Daya Antagonisme Rizobakteri Terhadap Bakteri Patogen *Ralstonia solanacearum* dan Potensi Listrik yang Dihasilkan”. Disusun dalam rangka memenuhi kewajiban Program Studi Agroekoteknologi Universitas Brawijaya untuk menyelesaikan program sarjana (S1).

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Abdul Latief Abadi, MS, selaku dosen pembimbing utama dan Restu Rizkyta Kusuma, SP. M.Sc selaku dosen pendamping yang telah memberikan wawasan, dukungan, motivasi, dan kesabarannya dalam membimbing penulis.

Penulis mengucapkan terima kasih atas berbagai saran dan masukan dalam penyelesaian laporan penelitian. Semoga hasil penelitian yang diperoleh dapat bermanfaat bagi banyak pihak, dan memberikan sumbangsih dalam kemajuan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Talang Bungin, 22 Februari 1997 dari pasangan bapak Alamsyah dan ibu Sri Sulastris. Penulis menempuh pendidikan di TK Dewa-Dewi tahun 2002, pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Air Batu pada tahun 2002 sampai 2008, pendidikan sekolah menengah pertama diselesaikan di SMP Negeri 2 Banyuasin III pada tahun 2011, dan pendidikan sekolah menengah atas diselesaikan di SMA Plus Negeri 2 Banyuasin III pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswa strata 1 pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Semasa hidup penulis pernah menjadi bagian dalam berbagai organisasi diantaranya, Wakil III OSIS SMA Plus Negeri 2 Banyuasin III (2012-2013), Ketua Umum Kelompok Ilmiah Remaja (KIR) SMA Plus Negeri 2 Banyuasin III (2012-2013), Sekretaris 2 Dewan Kerja Ambalan Pramuka SMA Plus Negeri 2 Banyuasin III (2012-2013), Staff Pengurus Departemen Pembinaan Anggota Devisi (2016), dan Ketua Departemen Kepenulisan Ilmiah (2017) Pusat Riset dan Kajian Ilmiah Mahasiswa (PRISMA) Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penulis pernah menjadi Asisten praktikum mata kuliah Ekologi Pertanian, Dasar Perlindungan Tanaman, Karya Ilmiah, Pertanian Berlanjut, Hama Penyakit Penting Tanaman, Manajemen Hama dan Penyakit Terpadu, dan Dasar Budidaya Tanaman. Penulis juga pernah aktif dalam kegiatan kepanitiaan di Unit Kegiatan Mahasiswa Pusat Riset dan Kajian Ilmiah Mahasiswa (PRISMA) Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Devisi Acara Kegiatan ‘Lomba Karya Tulis Ilmiah Siswa dan Mahasiswa ke 5 tingkat Nasional’ dan Steering Committee Kegiatan ‘Lomba Karya Tulis Ilmiah Siswa dan Mahasiswa ke 6 tingkat Nasional’.

Semasa hidup penulis pernah meraih berbagai prestasi dan penghargaan tingkat regional, nasional dan internasional diantaranya Perwakilan Sumatera Selatan dalam Parlemen Remaja 2012 SMA/SMK/ MA Se-Indonesia oleh Sekretariat Jendral Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) Republik Indonesia (2012),

Juara 1 (Cabang Karate) Olimpiade Olahraga Siswa Nasional (O2SN) Tingkat Kabupaten Banyuasin (2013), Finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah Remaja (LKIR) ke 45 oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) (2013). Juara 1 (Bidang PKM-M) Rektor CUP Universitas Brawijaya (2015), Penerima Hibah Dana PKM-P dan PKM-M dalam Program Kreativitas Mahasiswa RistekDikti (2015), Juara 1 KREASI RKIM Essay Competition (2015), Juara 1 Diponegoro Science Challenge 2015, Finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa Nasional KHATULISTIWA 8 (2016), Juara Favorit (bidang kajian umum) LKTIM Nasional Bidang Kemaritiman di Universitas Hasanuddin (2016), Juara Favorit Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa Nasional INSTINCT di Universitas Riau (2017), Finalis Indonesia Energy Innovation Challenge (IEIC) di Universitas Hasanuddin (2017), Juara 3 Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa Nasional Cendekia Fair di Universitas Mulawarman (2017), Juara 1 (sub tema sosial-budaya) National Essay Competition on Plant Protection Olympiad (PPO) di Universitas Brawijaya (2017), Juara 1 Paper Competition on Plant Protection Day (PPD) di Universitas Padjadjaran (2017), Juara 1 Presentasi Skripsi pada Jambore Perlindungan Tanaman Indonesia (JPTI) di Institut Pertanian Bogor (2017), Juara 2 Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa Nasional Suara Rimba di Universitas Gadjah Mada (2017), Juara 3 (bidang Ilmu Tanaman) dan The Most Innovative Researcher dalam Indonesian Young Professional Paper Awards di Makassar (2017). Medali Emas dalam Bangkok International Intellectual Property, Invention, Innovation and Technology Exposition on the occasion of "Thailand Inventors' Day 2018", Medali Perak dalam World Young Inventors Exhibition 2018, held in conjunction with 29th International Invention, Innovation & Technology Exhibition 2018, Malaysia. Penerima Hibah Dana Riset dan Top 10 Finalis Lomba Riset Sawit Tingkat Mahasiswa 2018-2019 oleh Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) Kementerian Keuangan Republik Indonesia (2019).

Penulis pernah mendapatkan beasiswa PPA UB (Peningkatan Prestasi Akademik) periode 2016-2017 dan 2017-2018. Pada tahun 2017 penulis pernah melaksanakan kegiatan magang kerja di Balai Karantina Pertanian Kelas II Yogyakarta.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	i
RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP.....	iv
DAFTAR GAMBAR	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Rizobakteri	4
2.2 Bakteri Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	5
2.3 <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC).....	6
2.3.1 Desain MFC	8
2.3.2 Jenis MFC.....	9
2.1.4 Faktor yang Memengaruhi <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	10
III. METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	12
3.3 Metode Pelaksanaan	12
3.4 Pelaksanaan Penelitian	13
3.4.1 Perakitan Perangkat MFC Satu Bejana	13
3.4.2 Persiapan Substrat dan Bioaktivator	14
3.4.3 Sterilisasi Alat dan Bahan	14
3.4.4 Purifikasi dan Peremajaan Bakteri	14
3.4.5 Uji Hipersensitif	14
3.4.6 Uji Antagonis.....	15
3.4.7 Pengukuran Energi Listrik	16

3.4.8 Pengukuran pH substrat Bioreaktor	16
3.4.9 Pengukuran nilai OD (<i>Optical Density</i>)	16
3.5 Variabel Pengamatan	17
3.6 Analisis Data	17
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Pengujian Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i>	18
4.2 Antagonisme Bakteri Rizosfer terhadap Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	20
4.3 Potensi Listrik yang Dihasilkan oleh Bakteri <i>R. Solanacearum</i> dan Bakteri Antagonis <i>Bacillus</i> (N3)	22
4.3.1 Pengaruh Kerapatan Bakteri terhadap Listrik yang Dihasilkan	24
4.3.2 Pengaruh pH Substrat terhadap Listrik yang Dihasilkan	25
V. KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 KESIMPULAN	28
5.2 SARAN	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	35

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
Tabel 1	Informasi MFC single chamber sebagai alat penghasil listrik dengan berbagai jenis biokatali	7
Tabel 2	Kemampuan antagonis bakteri rhizosfer terhadap <i>R. solanacearum</i>	21
Tabel 3.	Hasil pengukuran nilai OD (<i>optical density</i>) bakteri	24
Tabel 4.	Pengukuran nilai pH substrat.....	26



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
Gambar 1.	Sistem <i>Microbial Fuel Cells</i>	7
Gambar 2.	Alur pelaksanaan penelitian	13
Gambar 3.	Pola penempatan uji antagonis bakteri rizosfer terhadap patogen <i>R. solanacearum</i>	15
Gambar 4.	Hasil uji hipersensitif pada pengamatan 48 jsi, A: Perlakuan kontrol negatif dan B: Perlakuan Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i>	18
Gambar 5.	Bakteri <i>R.solanacearum</i> pada media TZC	19
Gambar 6.	Zona hambat yang dihasilkan oleh bakteri yang bersifat antagonis pada pengamatan 24 jam. A. Kontrol aquades, B. bakteri isolat N10, C. Bakteri isolat N23, D. bakteri isolat N3, E. bakteri isolat N24, F. Bakteri isolat N27, dan G. bakteri isolat N26.	20

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rizobakteri merupakan kelompok bakteri yang hidup pada daerah perakaran tumbuhan (rizosfer). Kelompok bakteri ini dapat hidup secara simbiosis terhadap tanaman. Bakteri tanah menjadi salah satu komponen penting dalam agroekosistem. Beberapa bakteri rizosfer dilaporkan mampu bersifat sebagai *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) merupakan kelompok bakteri menguntungkan yang secara aktif mengkolonisasi rizosfer. Pemanfaatan beberapa jenis bakteri seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Pantoea*, dan *Streptomyces* (Figuredo dalam Fatmawati, 2015) yang tergolong dalam rizobakteri. Menurut Dewi *et al.* (2015) penggunaan rizobakteri dalam budidaya tanaman bermanfaat dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan perlindungan terhadap patogen. Rizobakteri mampu bersifat antagonis terhadap patogen salah satunya adalah bakteri patogen *Ralstonia solanacearum*.

Ralstonia solanacearum merupakan bakteri patogen tular tanah nonfluorescen dari famili *Pseudomonas* (Denny *et al.*, 2001) dan mampu hidup di dalam tanah untuk waktu yang lama. Bakteri *R. solanacearum* merupakan salah satu bakteri penyebab penyakit layu yang penting di wilayah tropis, subtropis, dan daerah beriklim hangat (Jeung *et al.*, 2007). Serangan *R. solanacearum* dapat menyebabkan kematian pada inangnya. Bakteri patogen ini memiliki banyak inang dan menyerang pada ratusan spesies tanaman dan lebih dari 50 famili (Denby *et al.*, 2001), termasuk famili *Solanaceae* dan tanaman pertanian lainnya yang bernilai ekonomi seperti tomat, kentang, lada, tembakau, terung, pisang, jahe, dan kacang (Handayani, 2005). Menurut Elphinstone (2005) menyatakan bahwa *R. solanacearum* telah tesebar di seluruh dunia, termasuk di Amerika Utara, Amerika tengah, Amerika Selatan, Eropa, Asia, Afrika, Australia, dan Pasifik. Kerugian akibat *R. solanacearum* secara global mencapai US\$ 1 miliar/tahun atau setara dengan Rp. 140 Triliun.

Pengendalian *R. solanacearum* dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya adalah penambahan agens hayati berupa rizobakteri. Penggunaan rizobakteri dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri yang

bersifat antagonis terhadap patogen penyebab penyakit layu bakteri. Bakteri *Bacillus subtilis* dilaporkan memiliki kemampuan antagonis dengan memproduksi antibiotik peptida (Kloepper *et al.*, 2004). Selain itu, bakteri *Pseudomonas fluorescens* juga dilaporkan memiliki kemampuan antagonis dengan memproduksi bermacam-macam senyawa antibiotik dari metabolit sekunder termasuk siderofor, antibiotik, dan surfaktan (Compant *et al.*, 2005).

Bakteri rizosfer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil eksplorasi Nur (2019) di Hutan Pendidikan Universitas Brawijaya (UB Forest) diantaranya bakteri dengan genus *Bacillus*, *Clostridium*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Pantoea*, dan *Erwinia*. Bakteri rizosfer tersebut dipilih karena belum diketahui kemampuan antagonisme dalam melawan patogen. Sehingga bakteri tersebut akan diuji daya antagonisme terhadap patogen *R.solanacearum*.

Disisi lain beberapa genus bakteri yang tergolong kedalam rizobakteri ternyata memiliki potensi sebagai biokatalis dalam menghasilkan listrik. Beberapa bakteri yang pernah digunakan sebagai biokatalis penghasil listrik yaitu *Escherichia coli*, *Geobacter metallireducens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shewanella oneidensis* dan *Bacillus* (Guo *et al.*, 2012). Di dalam sel bakteri terjadi metabolisme yang membentuk ATP dan senyawa lainya. Hasil dari metabolisme bakteri menghasilkan ion yang dikeluarkan dari dalam sel selama proses metabolisme. Ion yang dikeluarkan tersebut kemudian akan dimanfaatkan sebagai sumber listrik melalui sistem *microbial fuel cell*.

Microbial fuel cell (MFC) merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Teknologi ini memanfaatkan bakteri untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik (Ibrahim *et al.*, 2014). MFC mengubah biomassa menjadi energi listrik melalui aktivitas metabolisme organisme (Pant *et al.*, 2010). Sebagai studi awal peneliti akan mengkaji potensi bakteri rizosfer sebagai agens antagonisme dalam menghasilkan energi listrik melalui sistem MFC, serta perbedaan listrik yang dihasilkan antara bakteri patogen *R. solanacearum* dengan bakteri antagonis terbaik. Oleh karena itu diharapkan penelitian ini dapat dijadikan awal untuk pengembangan indikator kesehatan lahan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah (1) Bagaimana potensi listrik yang dihasilkan antara bakteri *R. solanacearum* dan bakteri antagonis? (2) Bagaimana perbedaan listrik yang dihasilkan antara bakteri *R. solanacearum* dan bakteri antagonis?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan eksplanasi: (1) kemampuan bakteri *R. solanacearum* dan bakteri rizosfer antagonis dalam menghasilkan listrik, dan (2) perbedaan listrik yang dihasilkan antara *R. solanacearum* dan bakteri antagonis.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini yaitu (1) bakteri *R. solanacearum* dan bakteri antagonis memiliki potensi untuk menghasilkan listrik (2) terdapat perbedaan listrik yang dihasilkan antara bakteri *R. solanacearum* dan bakteri antagonis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi terkait (1) kemampuan bakteri rizosfer sebagai agens antagonisme, (2) potensi bakteri rizosfer dan bakteri patogen dalam menghasilkan energi listrik (3) dasar penelitian dan pengembangan bakteri pertanian dalam menghasilkan listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rizobakteri

Kelompok bakteri yang hidup pada daerah perakaran tumbuhan (rizosfer) disebut sebagai rizobakteri. Kelompok bakteri ini dapat hidup secara simbiosis terhadap tanaman. Bakteri tanah menjadi salah satu komponen penting dalam agroekosistem. Dimana keragaman bakteri tanah memiliki peran dalam mendekomposisi atau bahkan memiliki kemampuan dalam mengendalikan pathogen (Bonanomi *et al.*, 2016).

Rizobakteri dapat memberikan pengaruh positif terhadap tanaman. Bakteri tanah mampu mengolonisasi daerah perakaran dan mampu berperan sebagai bioprotektan dan biofertilizer pada tanaman (Ashrafuzzaman *et al.*, 2009). Beberapa genus bakteri tanah yang berhasil diisolasi dilaporkan memiliki kemampuan sebagai *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR). Menurut Ahemad dan Kibret (2014) PGPR merupakan bakteri rizosfer yang memberikan efek menguntungkan bagi tanaman. Beberapa genus bakteri yang bersifat sebagai PGPR seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Serratia* dan *Rhizobium* (Gobelak *et al.*, 2015).

Mekanisme PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman ada berbagai macam. Menurut Ahemad dan Kibret (2014) menyebutkan ada 3 mekanisme yaitu, 1. *Biofertilizer*, PGPR dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman seperti penyedia unsur nitrogen, penyerapan zat besi, sulfur dan penyedia fosfor. 2. *Biostimulants*, PGPR mampu menghasilkan hormon pertumbuhan bagi tanaman seperti *indoleacetic acid* (IAA), asam giberalin, etilen, dan sitokinin, 3. *Bioprotectants*, PGPR memiliki kemampuan antagonis terhadap pathogen tanaman melalui beberapa mekanisme.

Rizobakteri yang bersifat sebagai antagonis memiliki tiga mekanisme dalam mengendalikan patogen. Menurut Nurhayati (2011) tiga mekanisme bakteri antagonis yaitu, 1) Antibiosis, bakteri antagonis mampu menghasilkan senyawa metabolit seperti senyawa volatile dan senyawa antibiotik yang dapat menghambat patogen, 2) Kompetisi, bakteri antagonis menekan aktivitas pathogen terhadap sumber zat organik, zat anorganik, ruang dan faktor pertumbuhan lainnya, seperti persaingan dalam mendapatkan ruang hidup dan

nutrisi seperti karbohidrat, nitrogen dan vitamin. 3) hiperparasitisme, bakteri merusak pathogen melalui senyawa atau zat yang dihasilkan seperti kitinase, selulase, glukonase, dan enzim pelisis lainnya.

2.2 Bakteri Patogen *Ralstonia solanacearum*

R. solanacearum sebelumnya dikenal dengan *Pseudomonas solanacearum* yang merupakan bakteri tular tanah nonfluorescent dari famili *Pseudomonas* (Denny dan Hayward, 2001) dan mampu hidup di dalam tanah untuk waktu yang lama. Bakteri *R. Solanacearum* merupakan salah satu bakteri penyebab penyakit layu yang penting di wilayah tropis, subtropis, dan daerah beriklim hangat (Jeung *et al.*, 2007). Serangan *R. solanacearum* dapat menyebabkan kematian pada inangnya dan bakteri patogen ini memiliki banyak inang dan menyerang pada ratusan spesies tanaman dan lebih dari 50 famili (Denny dan Hayward, 2001), termasuk famili *Solanaceae* dan tanaman pertanian lainnya yang bernilai ekonomi seperti tomat, kentang, lada, tembakau, terung, pisang, jahe, dan kacang (Handayani, 2005).

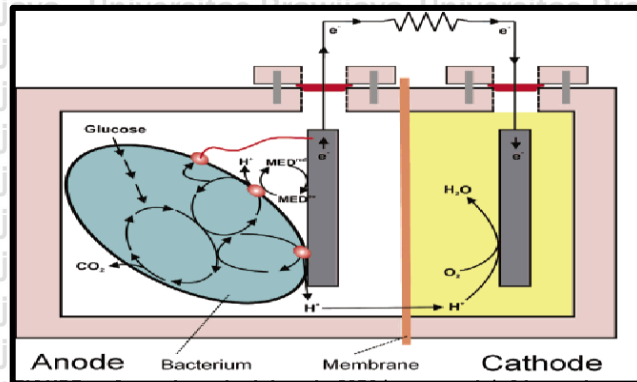
R. solanacearum termasuk dalam patogen tular tanah menginfeksi tanaman melalui bagian akar, kemudian bergerak secara sistemik melalui xylem, bersifat nonmotil pada tanaman (Kersten *et al.*, 2001) dan menyebabkan gejala layu hingga menyebabkan tanaman mati (Denny dan Hayward, 2001). Bakteri *R. Solanacearum* menyebar melalui air, tanah, benih yang terinfeksi atau telah terkontaminasi, luka pada tanaman karena kegiatan budidaya, melalui alat-alat pertanian yang terkontaminasi (Denny dan Hayward, 2001), dengan bantuan nematoda penghuni akar dalam penetrasinya serta lubang alami atau stomata (Handayani, 2005).

Agrios (2005) mengungkapkan bahwa bakteri *R. Solanacearum* masuk dalam pembuluh xylem dan menyebar ke seluruh bagian tanaman. Dari jaringan xylem bakteri berpindah menuju ruang antar sel dari parenkim di dalam korteks dan jaringan gabus, kemudian merusak dinding sel dengan menghasilkan polimer sakarida yang dapat menyumbat jaringan hingga menyebabkan tanaman menjadi layu. Sel-sel tanaman yang rusak tersebut kemudian terisi dengan masa lunak bakteri (ooze) dan sisa-sisa sel tanaman sehingga menyebabkan terhambatnya translokasi hara dan mineral dari dalam tanah.

Beberapa ciri tanaman terinfeksi *R. Solanacearum* menurut Semagun (1989) yaitu menyebabkan daun menjadi layu dan sistem pembuluh menjadi coklat, batang tanaman akan terus tumbuh tinggi dan kurus, terbentuk lebih banyak akar adventif di permukaan batang. Jika batang, cabang atau tangkai daun tanaman dibelah akan tampak berkas pembuluh berwarna coklat. Pada stadium penyakit lanjut, bila batang dipotong, dari berkas pembuluh akar akan keluar massa bakteri seperti lendir berwarna putih susu. Lendir akan lebih banyak keluar bila potongan batang ditaruh ditempat yang lembab. Jika potongan batang sakit dimasukkan ke dalam gelas berisi air jernih, setelah ditunggu beberapa menit akan terlihat benang-benang putih halus, yang akan putus bilang gelas digoyang. Benang putih halus tersebut adalah massa bakteri. Adanya massa lendir ini dapat dipakai untuk membedakan penyakit layu bakteri dengan layu *fussarium*.

2.3 Microbial Fuel Cell (MFC)

MFC adalah suatu perangkat elektrokimia yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik akibat proses metabolisme mikroba dalam substrat (Gambar. 1) (Logan *et al.*, 2006). MFC terdiri dari anoda dan katoda yang dipisahkan oleh membran penukar proton atau jembatan garam pada tipe *double chamber* (Mahendra *et al.*, 2013). MFC memanfaatkan bakteri eksoelektrogenik untuk menghasilkan elektron dari substrat organik dan anorganik yang ditransfer menuju anoda dan selanjutnya menuju katoda, kemudian bergabung dengan oksigen dan proton menghasilkan air (Logan, 2009). Bakteri eksoelektrogenik adalah bakteri yang memiliki kemampuan untuk mentransfer elektron secara ekstraseluler (Logan, 2009). Bakteri fungsional pada MFC umumnya berupa mikroba anaerobik ataupun anaerob fakultatif, sehingga tidak memerlukan aerasi (Logan, 2006). Mikroorganisme yang digunakan bisa berupa kultur murni ataupun kultur campuran. Substrat yang digunakan dalam MFC berupa limbah cair. Limbah yang digunakan biasanya mengandung senyawa organik seperti; glukosa, asetat, sukrosa, protein, dan asam lemak (Cal *et al.*, 2015; Chonde, 2014). MFC telah terbukti dapat menghasilkan listrik dan efektif dalam mengolah hampir semua jenis limbah cair, antara lain limbah pertanian, penyulingan, pembuatan bir, daur ulang kertas, sampah perkotaan, bahkan lindi tempat pembuangan akhir (Part *et al.*, 2010).



Gambar 1. Sistem *Microbial Fuel Cells*

Prinsip kerja MFC adalah pemanfaatan mikroorganisme secara biologis untuk mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan ion-ion yang dihasilkan berupa electron dan proton, electron ditransfer menuju anoda dan bergabung dengan proton dan senyawa aseptor elektron terakhir (Logan,2009). Adanya elektron pada anoda akan menyebabkan beda potensial antar elektroda, yang biasa diukur sebagai tegangan listrik. Selanjutnya, adanya beda potensial antar elektroda akan mengakibatkan aliran elektron dari anoda (kutub negatif) menuju katoda (kutub positif) (Logan *et al.*, 2006). Sedangkan arus listrik sebaliknya, yaitu mengalir dari kutub positif menuju kutub negatif.

Tabel 1 Informasi MFC single chamber sebagai alat penghasil listrik dengan berbagai jenis biokatali

MFC Single Chamber		
Biokatalis	Voltase (mV)	Peneliti
<i>Activated sludge</i>	180	Kaewkemetra <i>et al.</i> (2011)
<i>Serratia</i>	698	Oktarina (2014)
<i>Pseudomonas</i>	584	
<i>Enterobacter</i>	665	
<i>Microbial solution from wastewater</i>	396	Ahmed <i>et al.</i> (2018)
<i>Fishery waste</i>	763	Rosmalawati (2014)
Limbah cair pemindangan ikan	51	Ibrahim <i>et al.</i> (2017)

Berdasarkan (table 1) dapat diketahui bahwa sistem MFC *single chamber* dapat digunakan sebagai bioreaktor penghasil listrik. Biokatalis pada MFC dapat menggunakan bakteri untuk menghasilkan listrik. Di dalam MFC, sebagai donor elektron adalah zat hasil metabolisme mikroba atau elektron yang dilepaskan mikroba saat melakukan metabolismenya. Zat hasil metabolisme mikroba umumnya senyawa yang mengandung hidrogen, seperti etanol, methanol, atau gas

metana. Senyawa ini dapat digunakan sebagai sumber hidrogen melalui serangkaian proses untuk memproduksi elektron dan menghasilkan arus listrik.

Setiap aktivitas metabolisme yang dilakukan mikroba umumnya melibatkan pelepasan elektron bebas ke medium. Elektron ini dimanfaatkan langsung pada anoda dalam MFC untuk menghasilkan arus listrik.

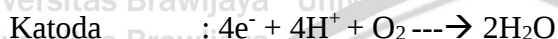
Di dalam chamber bioreaktor terjadi reaksi kimia glukosa akan terurai secara enzimatik untuk menghasilkan dua molekul piruvat yang memiliki tiga atom karbon. Proses ini dikenal dengan glikolisis. Selama reaksi-reaksi glikolisis menghasilkan dan melepas energi bebas yang diberikan glukosa dan disimpan dalam bentuk ATP. Bakteri pada anoda akan memetabolisme glukosa untuk menghasilkan ATP. Elektron yang dihasilkan dalam proses metabolisme tersebut selanjutnya diberikan kepada NAD^+ dan direduksi menjadi NADH , yang merupakan koenzim yang berperan sebagai pembawa elektron yang terjadi di membran plasma bakteri. NADH akan teroksidasi membentuk NAD^+ sebagai pasangan redoks (NAD^+/NADH) dan memberikan elektronnya pada akseptor elektron yang memiliki potensial redoks lebih rendah. Pada respirasi aerob, oksigen berperan sebagai akseptor elektron yang akan bereaksi dengan ion H^+ membentuk air dan melepaskan energi bebas yang akan digunakan dalam fosforilasi oksidatif untuk mensintesis ATP dari ADP dan fosfat organik (Novitasari, 2011).

2.3.1 Desain MFC

Pada umumnya, desain perangkat MFC terdiri dari 2 bejana (*two chamber*) yang dipisahkan oleh membran penukar proton atau biasa disebut PEM (*Proton Exchange Membrane*), seperti Nafion, Ultrex, atau jembatan garam (Logan *et al.*, 2006). Dua bejana tersebut terdiri dari bejana anoda dan bejana katoda. Pada bejana anoda berisi substrat yang akan dioksidasi oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan proton dan elektron. Elektron ditransfer melalui rangkaian eksternal, sementara itu proton berdifusi pada larutan menuju katoda, kemudian elektron bergabung dengan proton dan oksigen membentuk air (Mahendra dan Mahavarkar, 2013).

MFC satu bejana terdiri dari satu bejana yang digunakan sebagai bejana anoda, sedangkan katoda diletakkan pada salah satu sisi bejana yang terpapar

udara secara langsung (Mahendra dan Mahavarkar, 2013). Menurut Hampannavar *et al.* (2011), MFC satu bejana terbukti lebih baik dibandingkan dengan MFC dua bejana pada kondisi operasi yang sama, karena rendahnya biaya pembuatan, biaya pemeliharaan dan listrik yang dihasilkan lebih tinggi. Stack MFC adalah gabungan dari beberapa unit. MFC yang dihubungkan secara paralel atau seri baik dua bejana maupun satu bejana, yang dirangkai secara seri atau paralel (Yazdi *et al.*, 2015). Berikut ini adalah reaksi kimia yang terjadi pada MFC (Sitorus, 2010):



Elektroda merupakan substrat yang penting pada respirasi ekstraseluler diberbagai aplikasi (Grainick dan Dianne, 2007), salah satunya pada proses konversi substrat secara langsung untuk menghasilkan listrik pada MFC (Rabaey dan Verstraete, 2005). Elektroda dapat berfungsi sebagai donor ataupun akseptor elektron bagi mikroorganisme, tergantung dari fungsi elektroda tersebut yaitu sebagai anoda atau katoda (Grainick dan Newman, 2007). Karbon merupakan bahan elektroda yang serbaguna, biasanya tersedia dalam bentuk plat atau batangan yang merupakan bahan elektroda anoda yang paling sederhana karena harganya yang relatif murah, mudah dalam penanganannya, dan luas permukaannya dapat diketahui (Logan *et al.*, 2006). Begitu juga katoda, karbon dapat digunakan sebagai bahan yang paling banyak digunakan. Menurut Logan *et al.* (2006) pemilihan bahan katoda sangat mempengaruhi kinerjanya dan tergantung aplikasinya.

2.3.2 Jenis MFC

Dalam perkembangannya, sistem MFC memiliki beberapa jenis yang dapat dibedakan berdasarkan beberapa hal, diantaranya berdasarkan ada tidaknya membran, jenis kultur mikroba yang digunakan, dan ada tidaknya mediator elektron.

Berdasarkan Membran

Pada MFC tanpa membran, elektroda katoda berada pada tepi bejana sehingga disatu sisi kontak dengan cairan (limbah cair) dan sisi lain kontak langsung dengan udara, kemudian oksigen di udara dapat berdifusi melewati katoda dan terlibat pada reaksi reduksi oksigen (Sirinutsombon, 2014). Menurut

Liu dan Logan (2004), MFC dengan katoda berpori yang kontak langsung dengan udara (*open-air cathode*) dan tanpa membran dapat menghasilkan energi listrik yang lebih tinggi karena membran dapat menghalangi aliran proton.

Berdasarkan Jenis Kultur Mikroba

Jenis kultur mikroba yang digunakan pada MFC bisa berupa *single culture* (kultur tunggal) dan *mix culture* (kultur campuran). Kultur campuran biasanya digunakan pada MFC yang menggunakan limbah sebagai substratnya karena limbah yang digunakan sudah mengandung kumpulan beberapa jenis mikroba.

Beberapa penelitian yang menggunakan kultur campuran dari limbah, antara lain limbah cair industri tahu (Hermayanti dan Nugraha, 2014 dan Hermawan *et al.*, 2014), limbah cair industri tempe (Utami *et al.*, 2014), limbah cair perikanan (Ibrahim *et al.*, 2013), campuran limbah domestik dan limbah olahan susu (Mahendra dan Mahavarkar, 2013) dan sampah sayu pasar (Imaduddin *et al.*, 2014).

MFC dengan kultur tunggal secara umum memerlukan perhatian lebih karena kondisinya harus sesuai dengan karakteristik jenis mikroba yang digunakan agar dapat bermetabolisme secara maksimal. Beberapa kondisi utama yang perlu diperhatikan, antara lain pH, suhu, dan nutrisi yang digunakan. Salah satu jenis bakteri yang digunakan sebagai kultur tunggal, yaitu *E.coli* (Purwati *et al.*, 2014). MFC dengan kultur campuran menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar daripada MFC dengan kultur tunggal (Logan *et al.*, 2006).

2.3.3 Faktor yang Memengaruhi Microbial Fuel Cell (MFC)

Secara umum, parameter-parameter operasional dan desain merupakan faktor-faktor yang dapat memengaruhi kinerja MFC. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi MFC, yaitu kondisi substrat, konsentrasi substrat, suhu, mikroorganisme dan waktu tinggal (Marashi dan kariminia, 2015).

pH Substrat

Beberapa kondisi substrat yang dapat memengaruhi MFC, yaitu pH dan nutrisi. pH memiliki pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas bakteri dalam mendegradasi bahan organik dan menghasilkan listrik. Marashi dan Kariminia (2015) menyatakan bahwa kondisi basa merupakan kondisi yang sesuai bagi pertumbuhan bakteri eksoelektrogenik, sehingga dihasilkan listrik yang lebih

tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Marshai dan Kariminia (2015), didapatkan bahwa pH 8,5 menghasilkan listrik yang lebih tinggi daripada pH 7 dan 5,4. Hal ini dikarenakan bakteri eksoelektrogenik tumbuh baik pada pH basa.

Selain pH, kandungan senyawa pada substrat juga dapat memengaruhi MFC, khususnya senyawa yang berperan bagi pertumbuhan mikroorganisme. Nutrisi merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan biomasa mikroba. Nutrisi yang diperlukan biasanya berupa nitrogen, karbon dan fosfor. Menurut Karsli dan Russell (2002), pertumbuhan mikroba yang optimal dapat dicapai ketika ketersediaan nitrogen untuk sintesis asam amino dan sistesis protein tercukupi. Nitrogen dibutuhkan mikroba untuk sintesis protein dan asam nukleat. Protein dibutuhkan untuk struktur dan fungsi enzim dalam sel, sedangkan asam nukleat berfungsi sebagai informasi materi genetik sel. Karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen menyusun 95% dari berat sel hidup bakteri (Widjaja dan Sunarko, 2007).

Substrat

Konsentrasi substrat akan memengaruhi aktivitas mikroba pada bejana anoda. Marashi dan Kariminia (2015) menyatakan bahwa peningkatan listrik terjadi ketika konsentrasi limbah cair yang lebih tinggi digunakan. Besarnya listrik yang dihasilkan pada MFC dibatasi oleh 2 faktor, yaitu laju oksidasi substrat oleh bakteri dan laju transfer elektron menuju permukaan elektroda (Marashi dan Kariminia, 2015).

Spesies Mikroorganisme

Mikroorganisme memberikan pengaruh yang sangat penting terhadap listrik yang dihasilkan oleh MFC. Hal ini karena secara biologis mikroorganisme memiliki kemampuan untuk mengoksidasi bahan organik dan mentransfer elektron menuju anoda (Logan, 2009). Mikroorganisme eksoelektrogenik merupakan mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mentransfer elektron secara ekso-seluler, seperti *Shewanella putrefaciens*, *Geobacter sulfurreducens*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *E. Coli* (Logan, 2009).

Penggunaan atau penambahan mikroorganisme eksoelektrogenik akan meningkatkan produksi listrik.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian dimulai pada bulan September 2018 hingga Mei 2019.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: botol *polyetilen*, elektroda batang grafit, kabel, penjepit buaya, multimeter tipe YX-360 TRN, baterai, suntikan, pengaduk, gunting, solder, *cutter*, korek api, lilin, pisau, baskom, *sprayer*, gelas ukur, timbangan, *timer*, masker, *gloves*, LAFC (*laminar air flow cabinet*), mikropipet, *blue-tip*, *microtube*, tabung falcon, cuvet, spektrofotometer, timbangan analitik, pH meter, vortex, spektrofotometer, *Petridish*, *beaker glass*, pinset, labu Erlenmeyer, *scott bottle*, jarum ose, bunsen, penggaris dan alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tanaman tembakau, isolat bakteri tanah hasil penelitian Nur (2019) diantaranya *Bacillus* (N3), *Clostridium* (N10), *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), *Pantoea* (N26), dan *Erwinia* (N27), isolat *R. Solanacearum* NaOH 1M, HCl 1M, aquades, gula, ethanol 96%, kertas saring, bit, *nutrient agar* (NA), kloroform, ethanol 70%, spirtus, aluminium foil, plastik wrapping dan tisu.

3.3 Metode Pelaksanaan

Penelitian menggunakan metode eksperimental. Jenis penelitian yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan (atau desain baru) terhadap proses. Pengaruh dari beberapa perlakuan yang berbeda dalam percobaan akan dibandingkan sehingga diperoleh suatu kejadian yang saling berhubungan. Melalui cara ini akan diuji potensi dan perbedaan listrik yang dihasilkan antara bakteri rizosfer dan bakteri patogen dengan sistem *microbial fuel cell*.

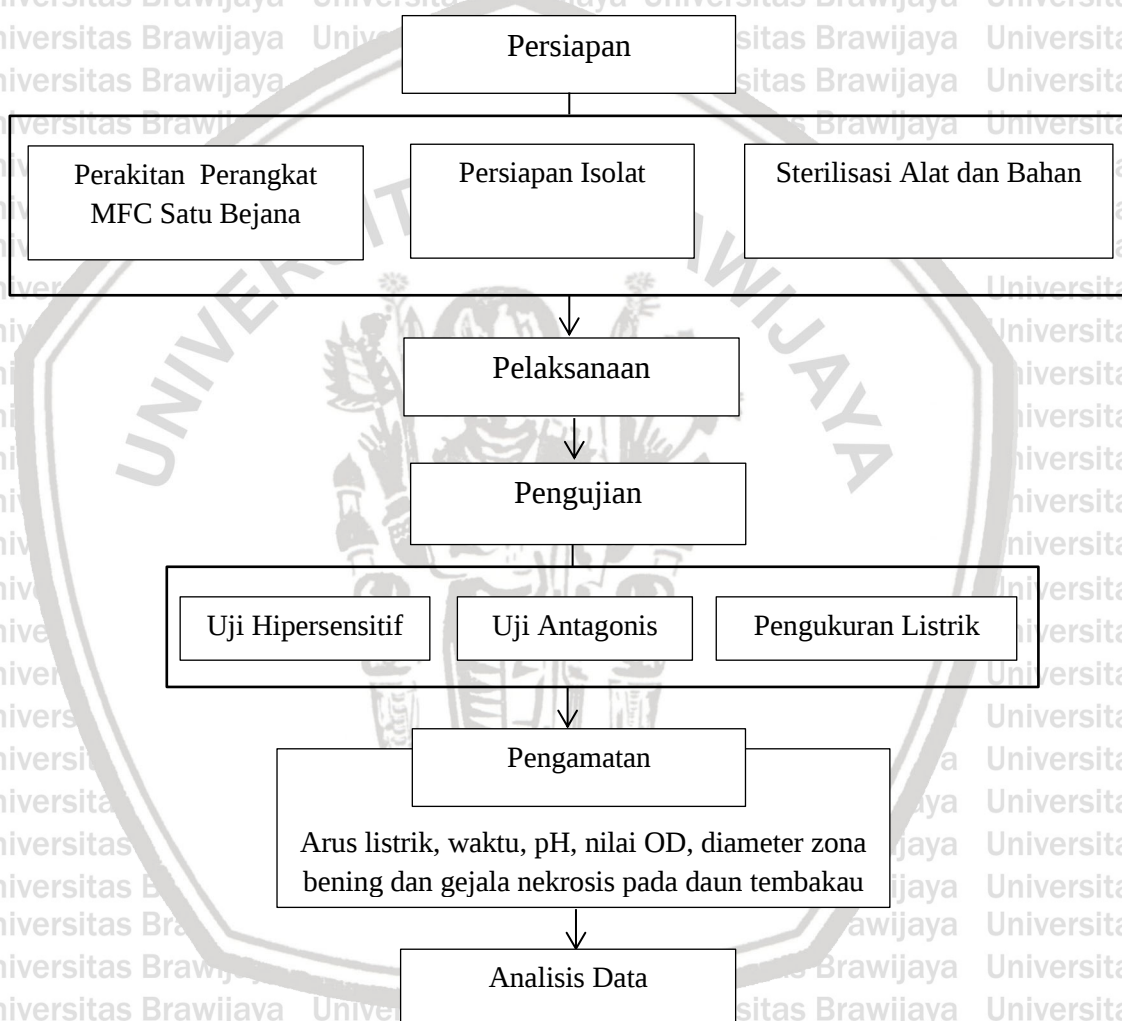
Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor tunggal. Dimana faktor tunggal yang digunakan adalah penggunaan jenis bakteri.

Penelitian ini menggunakan 7 perlakuan dimana P0; Kontrol, P1; *Bacillus* (N3)

P2; *Clostridium* (N10), P3; *Xanthomonas* (N23), P4; *Pseudomonas* (N24), P5; *Pantoea* (N26) dan P6; *Erwinia* (N27) setiap perlakuan diulang sebanyak 4 kali. Sehingga menghasilkan 28 satuan percobaan.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian memiliki 4 tahap yaitu persiapan, pelaksanaan, pengamatan dan analisis data (Gambar. 2). Berikut ini adalah gambar alur pelaksanaan penelitian.



Gambar 2. Alur pelaksanaan penelitian

3.4.1 Perakitan Perangkat MFC Satu Bejana

Desain sistem MFC yang digunakan adalah modifikasi MFC yang mengacu pada Marashi dan Kariminia (2015) yaitu MFC satu bejana tanpa membran.

Bejana yang digunakan terbuat dari botol polietilen berkapasitas 1 liter. Elektroda yang digunakan adalah karbon batang grafit berbentuk tabung. Karbon grafit

dipilih karena lebih *biocompatible* dan secara kimia stabil di dalam larutan bioreaktor. Selain itu, karbon batang grafit banyak dipakai karena relatif murah dan sederhana (Novitasari, 2011). Sebelum digunakan, elektroda direndam terlebih dahulu dalam larutan NaOH 1M selama 6-12 jam, selanjutnya direndam dengan HCl 1M dengan waktu yang sama. Hal ini bertujuan untuk mentralkan muatan elektroda agar tidak memengaruhi kinerjanya dalam menangkap elektron.

3.4.2 Persiapan Substrat dan Bioaktivator

Bahan atau substrat yang digunakan dalam MFC adalah sukrosa atau gula sebanyak 50 gram yang dilarutkan ke dalam aquades sebanyak 500 ml (Januarita *et al.*, 2015). Pada penelitian ini terdapat dua perlakuan bioaktivator yaitu penambahan bioaktivator berupa bakteri dengan indeks antagonis tertinggi dan bakteri patogen *R. solanacearum*. Isolat bakteri tersebut diperoleh dari koleksi bakteri di Laboratorium Penyakit Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Isolat bakteri patogen *R. solanacearum* diperoleh dari koleksi bakteri di Laboratorium Penyakit Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

3.4.3 Sterilisasi Alat dan Bahan

Sterilisasi merupakan kegiatan yang bertujuan untuk membebaskan semua bahan dari mikroba perusak. Sterilisasi yang cepat dan efektif dilakukan pada tekanan tinggi agar tidak merusak bahan dalam kaleng, selama 20 menit pada suhu 121°C. Sterilisasi yang dilakukan yaitu dengan mencuci peralatan dengan air mengalir. Selanjutnya peralatan dibungkus dengan kertas dan dibungkus dengan plastik tahan panas. Kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf selama 10 menit pada suhu 121°C.

3.4.4 Purifikasi dan Peremajaan Bakteri

Purifikasi dan peremajaan bakteri dilakukan pada isolat *R. Solanacearum* dan isolat rizobakteri. Bakteri yang tumbuh di media NA dipisahkan dan diambil dengan jarum ose kemudian ditumbuhkan lagi pada media NA yang baru. Kegiatan purifikasi dilakukan dalam LAFC agar mencegah kontaminasi dari mikroorganisme lain. Hasil purifikasi diinkubasi selama 24-48 jam.

3.4.5 Uji Hipersensitif

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah bakteri tersebut patogen tanaman atau bukan. Pengujian ini dilakukan dengan menyuntikkan suspensi

bakteri ke dalam daun tembakau. Reaksi positif terlihat jika pada bagian yang disuntikan pada daun tembakau suspensi bakteri terjadi nekrosis.

3.4.6 Uji Virulensi

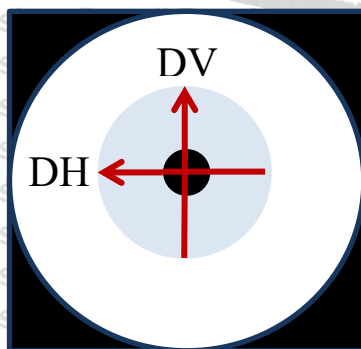
Bakteri *R. solanacearum* kemudian digoreskan dengan jarum ose pada media selektif Tetrazolium Chlorida (TZC) dan diinkubasikan selama 1x24 jam pada suhu ruang $\pm 27^\circ\text{C}$. Indikator tingkat virulensi bakteri *R. solanacearum* pada media TZC dilanjutkan dengan pengamatan warna koloni bakteri yang tumbuh.

Bakteri *R. solanacearum* yang virulen ditandai dengan koloni bakteri berwarna merah muda pada bagian pusat koloni dengan warna putih susu pada bagian tepi.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat virulensi dari bakteri *R. solanacearum*.

3.4.6 Uji Antagonis

Isolat rizobakteri yang telah ditumbuhkan selama 24 jam diecerkan dalam aquades steril hingga 10^9 cfu/ml. Potongan kertas saring berdiameter 5 mm dimasukkan ke dalam suspensi bakteri, kemudian didiamkan selama +1 menit dan ditiriskan selama 2 jam. Kertas saring yang sudah kering, diletakkan pada cawan petri yang berisi media NA dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C (Gambar. 3). Setelah inkubasi, isolat bakteri dimatikan dengan cara menambahkan kloroform pada tutup cawan petri dalam keadaan dibalik dan didiamkan selama 1-2 jam hingga menguap. Setelah itu, biakan dikabutkan (spray) dengan suspensi bakteri patogen *R. Solanacearum* 10^9 cfu/ml. Diamati pembentukan zona bening pada setiap perlakuan. Pengukuran diameter zona bening dilakukan pada 24 dan 48 jam setelah inkubasi menggunakan penggaris. Data diameter zona bening yang diperoleh digunakan untuk mengetahui indeks penghambatan yang menunjukkan kemampuan atau daya hambat bakteri.



Gambar 3. Pola penempatan uji antagonis bakteri rizosfer terhadap patogen *R. solanacearum*.

Diameter zona hambat dapat dihitung dengan mengacu pada formula yang pernah digunakan oleh Purnawati (2013):

$$IP = \frac{Dv + Dh}{2}$$

Keterangan:

IP = Indeks penghambatan (cm)

Dv = diameter vertikal (cm)

Dh = diameter horizontal (cm)

3.4.7 Pengukuran Energi Listrik

Pengukuran tegangan listrik mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Herlian *et al.* (2014) dimana sistem MFC dijalankan selama 72 jam. Pengukuran tegangan listrik dilakukan setiap 4 jam dengan menggunakan multimeter tipe YX-360 TRN.

3.4.8 Pengukuran pH substrat Bioreaktor

Pengukuran pH dilakukan diawal saat *running* MFC pada jam ke 0 dan pengamatan terakhir pada jam ke 72. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan pH substrat di dalam bioreaktor. Pengukuran pH menggunakan pH meter. Sebelum digunakan pH meter dinetralkan dengan aquades steril. Selanjutnya pH meter dimasukkan kedalam reaktor hingga nilai pH muncul pada layar. Ditunggu hingga nilai pH konstan kemudian didokumentasikan.

3.4.9 Pengukuran nilai OD (*Optical Density*)

Pengukuran nilai OD menggunakan spektrofotometer. Pengukuran dilakukan diawal pengamatan pada saat *running* MFC jam ke 0 dan pada akhir pengamatan pada jam ke 72. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kerapatan bakteri yang ada pada bioreaktor. Pengukuran dilakukan dengan mengambil suspensi substrat dari dalam bioreaktor sebanyak 1 ml. Kemudian dimasukkan kedalam cuvet lalu diukur nilai OD menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 610 nm.

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel pengamatan dalam penelitian ini yaitu, pengamatan terhadap voltase listrik yang dihasilkan, pH substrat, nilai OD, pembentukan zona bening dan gejala nekrosis pada daun tembakau.

3.6 Analisis Data

Data hasil pengamatan secara kuantitatif diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2016 dan SPSS. Hasil analisa pengamatan tersebut diolah menggunakan uji ANOVA. Pada pengujian antagonis jika terdapat nilai yang berbeda nyata dilakukan uji lanjut menggunakan uji DMRT pada taraf kesalahan 5%. Sedangkan hasil pengujian listrik dianalisis menggunakan uji T dengan taraf kesalahan 5%.

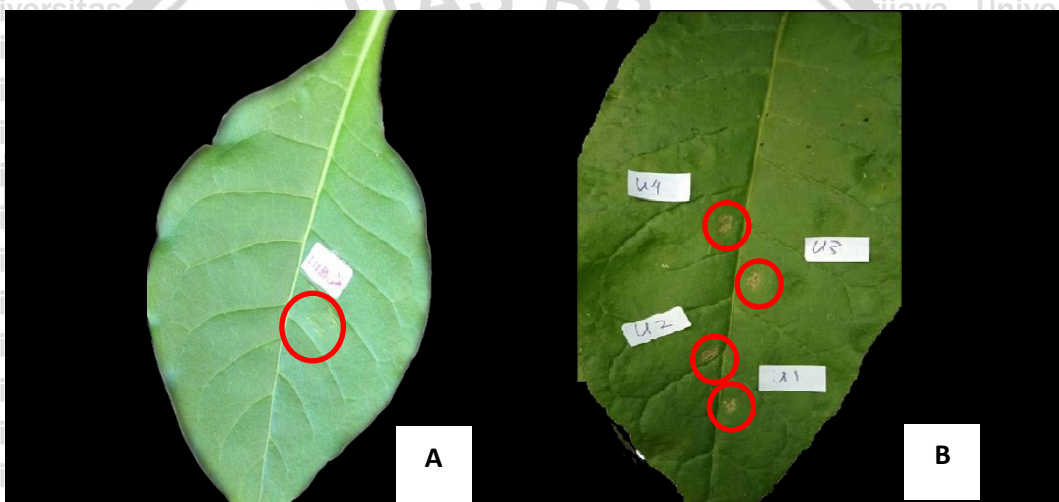


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bakteri *Ralstonia solanacearum*

Hasil Uji Hipersensitif Bakteri *Ralstonia solanacearum*

Kemampuan bakteri dalam menyebabkan penyakit dapat diketahui dari patogenisitas terhadap tanaman. Salah satu cara untuk mengetahui bakteri tersebut bersifat patogen yaitu dengan melakukan uji hipersensitif. Pengujian dilakukan dengan melukai daun tembakau kemudian menginjeksi suspensi bakteri *Ralstonia solanacearum*. Keberhasilan uji hipersensitif ditinjau dari gejala dan reaksi yang muncul pada bagian yang diinjeksi bakteri. Reaksi positif, ditunjukkan dengan munculnya klorosis pada bagian daun yang diberi perlakuan. Berikut adalah hasil pengujian hipersensitif.



Gambar 4. Hasil uji hipersensitif pada pengamatan 48 jsi, A: Perlakuan kontrol negatif dan B: Perlakuan Bakteri *Ralstonia solanacearum*

Hasil pengamatan diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan reaksi antara perlakuan kontrol negatif (aquades) dan perlakuan bakteri *R. solanacearum*. Pada perlakuan kontrol negatif daun tembakau yang diberi perlakuan tidak menunjukkan reaksi. Sedangkan, pada perlakuan bakteri *R. solanacearum* daun tembakau menunjukkan reaksi positif hipersensitif (Gambar.

4). Reaksi positif berupa nekrosis pada bagian daun yang telah diinjeksikan bakteri patogen. Bahkan pada pengamatan 48 jam setelah inokulasi daun yang diinjeksi mulai mengering. Hal ini sesuai dengan penelitian Istiqomah dan Kusumawati (2018), yang menyatakan bahwa gejala awal yang muncul adalah jaringan daun tembakau berubah menjadi lebih terang kemudian mengering, serta nekrosis muncul pada 48 jam setelah inokulasi. Hal tersebut juga sesuai dengan

penelitian Oktafiyanto *et al.* (2018), menyebutkan bahwa sebanyak 139 isolat bakteri endofit hasil eksplorasi bereaksi positif dan menyebabkan nekrosis pada daun tembakau setelah 48 jam dan memunculkan lesio lokal. Menurut Fahy dan Hayward (1983) menyebutkan bahwa lesio lokal adalah respon tanaman terhadap serangan patogen untuk menghambat invasi patogen dalam jaringan tanaman. Sejalan dengan pernyataan diatas menurut Agrios (2005) menyebutkan bahwa respon hipersensitif pada tanaman adalah menghambat invasi patogen dengan cara mematikan sel yang terinfeksi dan sel yang berdekatan dengan sel terinfeksi, sehingga sel-sel yang mati membentuk gejala nekrotik dan mengering.

Hasil Uji Virulensi Bakteri *R. solanacearum*

Virulensi merupakan tingkat keparahan suatu penyakit yang disebabkan oleh pathogen. Virulensi bakteri patogen dapat diketahui dengan menggunakan media selektif. Menurut Mehan *dalam* Rahmawanto (2014) virulensi bakteri *R.solanacearum* dapat diketahui dengan menggunakan media selektif *tetrazolium chloride* (TZC). Hasil pengujian diperoleh bahwa koloni bakteri *R.solanacearum* pada bagian tepi berwarna putih kusam dengan pusat koloni berwarna merah muda dan berlendir (Gambar. 5). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Purnawati (2013) menyebutkan koloni *R.solanacearum* yang ditumbuhkan pada media TZC pada umur 48 jam berwarna putih dengan warna merah muda pada bagian tengah koloni.



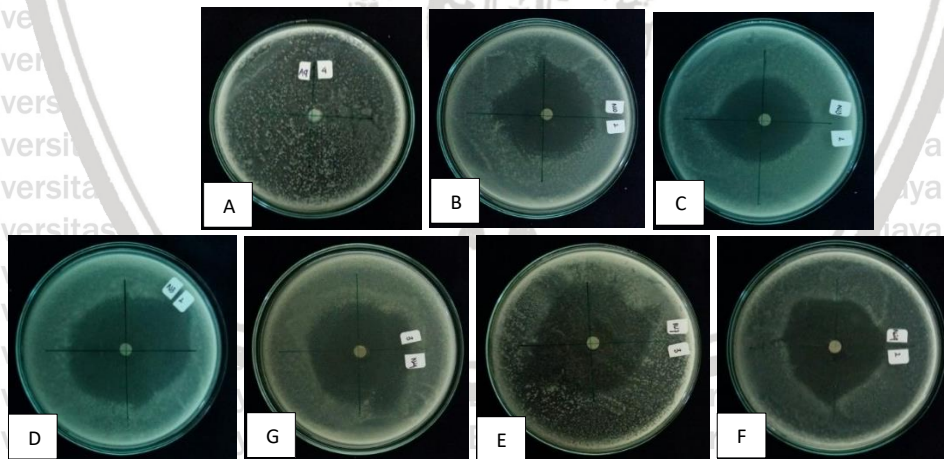
Gambar 5. Bakteri *R.solanacearum* pada media TZC

Menurut James *et al.* (2003) koloni bakteri *R. solanacearum* yang virulen memiliki karakter berupa koloni bakteri berlendir, berwarna putih dengan warna merah muda di tengah media TZC, sedangkan untuk bakteri yang avirulen

memiliki karakter koloni berwarna merah tua. Sependapat dengan pernyataan diatas menurut Gunawan (2006) bakteri *R. solanacearum* yang virulen menunjukkan bentuk koloni tidak beraturan, berlendir dengan warna merah muda pada bagian tengah dan dikelilingi oleh lender berwarna putih susu. Sedangkan koloni yang avirulen akan tampak berwarna merah dan tidak berlendir. Menurut Sholehuddin (2018) tinggi rendahnya virulensi *R. solanacearum* dipengaruhi oleh faktor *quorum sensing*. Ekspresi gen virulen dikendalikan dan dipengaruhi oleh aktivitas gen *phcA*. Gen tersebut berpengaruh dalam produksi EPS, enzim pendegradasi dinding sel dan pergerakan bakteri.

4.2 Antagonisme Bakteri Rizosfer terhadap Patogen *Ralstonia solanacearum*

Bakteri rizosfer merupakan kelompok bakteri yang hidup dan menjadikan daerah perakaran sebagai habitat. Bakteri rizosfer yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil eksplorasi Sari (2018) pada daerah perakaran tanaman. Bakteri tersebut tergolong dalam berbagai genus diantaranya *Bacillus* (N3), *Clostridium* (N10), *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), *Pantoea* (N26), dan *Erwinia* (N27). Sehingga untuk mengetahui kemampuan antagonisme bakteri tersebut terhadap bakteri patogen *R. solanacearum*, maka dilakukan pengujian antagonisme.



Gambar 6. Zona hambat yang dihasilkan oleh bakteri yang bersifat antagonis pada pengamatan 24 jam. A. Kontrol aquades, B. bakteri isolat N10, C. Bakteri isolat N23, D. bakteri isolat N3, E. bakteri isolat N24, F. Bakteri isolat N27, dan G. bakteri isolat N26.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua isolat bakteri mampu menghasilkan zona bening (Gambar. 6). Zona bening yang dihasilkan oleh bakteri

diduga adalah senyawa metabolit sekunder. Senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan bersifat antibiotik bagi patogen. Menurut Istiqomah dan Kusumawati (2018) zona bening yang dihasilkan oleh bakteri antagonis merupakan metabolit sekunder yang digunakan untuk menghambat atau mematikan patogen. Mekanisme penghambatan bakteri antagonis terhadap patogen dengan menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti siderofor, kitinase, antibiotik, sianida dan induksi ketahanan sistemik. Sejalan dengan pernyataan diatas menurut Pal dan Gardener (2006) dalam Manan *et al.* (2018) menyebutkan bahwa beberapa mikroba antagonis menghasilkan enzim yang dapat menghidrolisis kitin, protein, selulosa dan hemiselulosa. Berikut ini adalah hasil daya antagonisme bakteri rhizosfer dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen *R. solanacearum*.

Tabel 2 Kemampuan antagonis bakteri rhizosfer terhadap *R. solanacearum*

No	Perlakuan	Indeks Penghambatan (cm)	
		24 jam	48 jam
1	Kontrol	0 a	0 a
2	<i>Bacillus</i> N3	5,87 d	5,05 c
3	<i>Clostridium</i> N10	4,41 bc	4,71 c
4	<i>Xanthomonas</i> N23	4,06 b	3,76 b
5	<i>Pseudomonas</i> N24	4,35 bc	4,22 bc
6	<i>Pantoea</i> N26	4,37 bc	3,58 b
7	<i>Erwinia</i> N27	4,93 c	4,83 c

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan pada uji DMRT pada taraf kesalahan 5%.

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan bakteri rizosfer memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap zona hambat yang dihasilkan. Data diatas (tabel 2.) diketahui bahwa semua isolat memiliki kemampuan antagonis jika dibandingkan dengan kontrol. Pada pengamatan 24 jam indeks penghambatan *Bacillus* (N3) berbeda nyata dengan semua perlakuan.

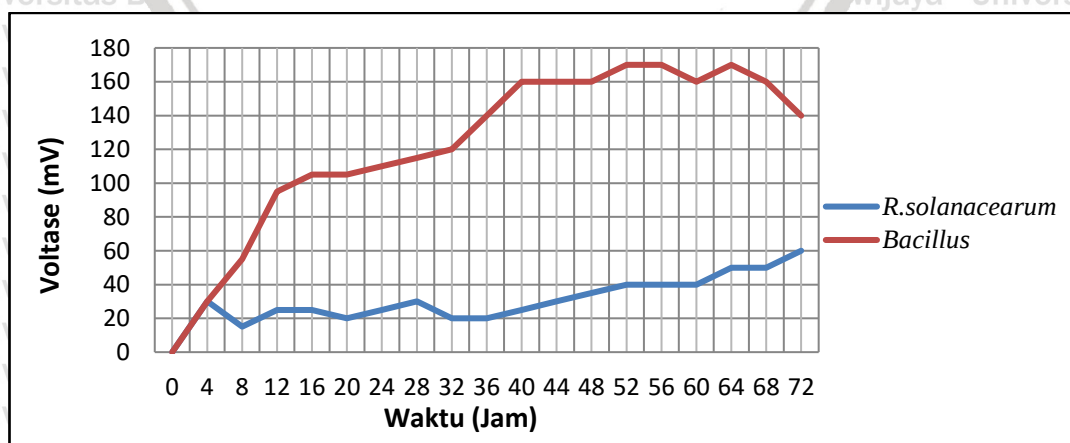
Sedangkan indeks penghambatan *Clostridium* (N10), *Xanthomonas* (N23), *Pseudomonas* (N24), dan *Pantoea* (N26) tidak berbeda nyata. Pada pengamatan 48 jam indeks penghambatan *Bacillus* (N3), *Clostridium* (N10), *Pseudomonas*

(N24), dan *Erwinia* (N27) tidak berbeda nyata, namun *Bacillus* (N3) berbeda nyata dengan *Xanthomonas* (N23), dan *Pantoea* (N26).

Bakteri *Bacillus* (N3) diduga menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang dapat menghambat pertumbuhan *R.solanacearum*. Menurut Manan *et al.* (2018) menyebutkan bahwa sebagian besar strain *Bacillus* dilaporkan menghasilkan antibiotik golongan peptida, butirosin dan protosin. Selain itu beberapa spesies *Bacillus* dilaporkan mampu menghasilkan enzim protease, penisilinanase, nuklease, fosfatase, lipase, fosfolipase, tiaminase dan enzim bakteriolik yang berpengaruh terhadap aktivitas hiperparasit patogen.

4.3 Potensi Listrik yang Dihasilkan oleh Bakteri *R. Solanacearum* dan Bakteri Antagonis *Bacillus* (N3)

Bakteri merupakan salah satu mikroba yang berpotensi dalam menghasilkan listrik. Mekanisme bakteri menghasikan listrik adalah dengan mendegradasi substrat menjadi molekul yang lebih sederhana. Hasil samping dari aktivitas bakteri mengeluarkan elektron yang dapat ditangkap sebagai sumber listrik. Penelitian terdahulu mayoritas melakukan uji coba terhadap jenis bakteri elektrogenik seperti *E. coli* dan *Geobacter* (Guo *et al.*, 2012). Sedangkan, masih banyak genus dan jenis bakteri yang belum diteliti. Oleh karena itu peneliti menguji potensi listrik bakteri rizosfer dengan indeks nilai penghambatan terbaik dengan bakteri patogen, sehingga pengujian listrik dilakukan terhadap bakteri *Bacillus* (N3) dan bakteri *R. solanacearum*. Hasil yang diperoleh adalah bakteri antagonis *Bacillus* (N3) menghasilkan tegangan lebih besar dibandingkan dengan bakteri *R.solanacearum*. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Listrik yang Dihasilkan antara *R.solanacearum* dan *Bacillus* N3.

Grafik diatas (gambar 6.) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan listrik yang dihasilkan oleh kedua bakteri. Hanya saja besaran listrik yang dihasilkan berbeda. Voltase tertinggi yang dihasilkan oleh *Bacillus* N3 sebesar 170 mV pada waktu pengamatan ke 52, 56 dan 64 jam. Sedangkan, voltase tertinggi yang dihasilkan oleh *R.solanacearum* sebesar 60 mV pada waktu pengamatan 72 jam. Perbedaan listrik yang dihasilkan oleh kedua bakteri diduga faktor kemampuan dari jenis bakteri dalam mendegradasi substrat. Menurut Logan (2009) menyebutkan bahwa secara biologis mikroorganisme memiliki kemampuan yang berbeda antar spesies dalam mengoksidasi bahan organik dan menstansfer elektron menuju anoda.

Hasil uji T yang telah dilakukan antara listrik yang dihasilkan oleh bakteri *Bacillus* (N3) dan *R.solanacearum* ialah berbeda nyata. Listrik yang dihasilkan oleh *Bacillus* (N3) lebih besar. Hal ini diduga *Bacillus* (N3) menghasilkan banyak enzim yang dapat mendegradasi sukrosa. Berdasarkan penelitian Prihantoro dan Zulaika (2015) menyebutkan bahwa *Bacillus* S1, SS19 dan DA11 mampu memfermentasi glukosa untuk digunakan sebagai sumber energi (ATP). Beberapa mikroba seperti bakteri *Bacillus macerans* dapat menghasilkan enzim invertase. Enzim invertase merupakan enzim yang tergolong dalam enzim hydrolase yang dapat menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa (Indriani *et al.*, 2015). Sejalan dengan pernyataan diatas menurut Goncalves *et al.* (2015) *Bacillus subtilis* mengeluarkan metabolit sekunder tinggi menghidrolisis sukrosa. Aktivitas pemecahan substrat sukrosa didukung oleh enzim levansukrase dan sukrase. Disisi lain berdasarkan hasil penelitian Miasnikov (1997) beberapa dari keluarga *Bacillus* yang diisolasi dari tanah dilaporkan dapat memproduksi levanase. Enzim ini dengan mudah dapat menghidrolisis sukrosa dan inulin. Bahkan *Bacillus subtilis* menghasilkan inulinase dan levanase yang dapat menghidrolisis inulin, levan dan sukrosa (Wanker *et al.*, 1995). Enzim tersebut diduga menjadi salah satu faktor yang memengaruhi listrik yang dihasilkan. Bahkan menurut Prayogo *et al.* (2017) melaporkan bahwa pada beberapa penelitian terdahulu meyakini bahwa bakteri *B. subtilis* dapat menghasilkan voltase hingga 691 mV

(Yoganathan dan Ganesh, 2012), 433 mV (Nimje, 2012) dan 450 mV (Ismail dan Jael, 2013). Perbedaan hasil nilai voltase dikarenakan beberapa faktor diantaranya desain MFC, jenis substrat, jenis material elektroda dan *running time*.

Rendahnya voltase yang dihasilkan bakteri *R.solanacearum* diduga karena enzim yang dikeluarkan untuk mendegradasi sukrosa dalam jumlah kecil. Namun nilai voltase yang dihasilkan bakteri *R.solanacearum* mengalami kenaikan meski dalam taraf yang lambat. Hal ini diduga karena bakteri membutuhkan waktu beradaptasi terhadap kondisi reaktor. Menurut Putra *et al.* (2014) menyatakan bahwa lambatnya kenaikan voltase listrik yang dihasilkan dikarenakan mikroba membutuhkan waktu dalam mendegradasi senyawa substrat.

4.3.1 Pengaruh Kerapatan Bakteri terhadap Listrik yang Dihasilkan

Produksi listrik yang dihasilkan oleh bakteri dapat ditentukan dengan jumlah atau kerapatan bakteri yang digunakan. Jumlah bakteri yang digunakan berpengaruh terhadap laju aktivitas bakteri dalam mendegradasi substrat. Sehingga berpengaruh terhadap electron yang dihasilkan dan ditangkap sebagai bahan baku pembangkit listrik dalam sistem MFC. Menurut Qian *et al.* (2011) menyatakan bahwa penambahan dan jumlah bakteri pada sistem MFC akan memberikan efek berbeda dengan nilai voltase yang dihasilkan. Pada (Tabel 3) hasil pengukuran kerapatan bakteri berdasarkan nilai OD (*optical density*) menggunakan *spectrofotometer* dengan panjang gelombang 610 nm.

Tabel 3. Hasil pengukuran nilai OD (*optical density*) bakteri

Perlakuan	Nilai OD Awal	Nilai OD Akhir
<i>R.solanacearum</i>	0,014	0,059
<i>Bacillus</i> N3	0,010	0,016

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai kerapatan bakteri ditinjau dari nilai OD mengalami peningkatan di masing-masing perlakuan. Peningkatan kerapatan menunjukkan bahwa bakteri pada kedua perlakuan pertumbuhan yang terjadi diduga bakteri mampu mendegradasi sukrosa sebagai sumber energi dalam kelangsungan hidup bakteri. Menurut Putera *et al.* (2014) menyatakan bahwa mikroba yang telah beradaptasi dengan sistem MFC akan mengalami pertumbuhan populasinya dan meningkatkan nilai voltase listrik yang dihasilkan.

Peningkatan nilai OD bakteri *R.solanacearum* berbanding lurus terhadap listrik yang dihasilkan. Pada pengamatan ke 32 jam hingga ke 72 jam listrik yang dihasilkan mengalami peningkatan. Hal ini diduga karena bakteri *R. solanacearum* mengalami pertumbuhan sehingga kerapatan bakteri mengalami peningkatan. Bertambahnya jumlah bakteri memungkinkan proton dan elektron yang dihasilkan semakin banyak dari proses metabolisme, sehingga kuat arus yang dihasilkan semakin besar (Novitasari, 2011).

Pada bakteri *Bacillus* (N3), secara umum peningkatan nilai OD berbanding lurus dengan listrik yang dihasilkan. Namun pada akhir pengamatan yaitu pada waktu 56 jam hingga 72 jam listrik yang dihasilkan mengalami fluktuatif. Bahkan pada waktu pengamatan ke 68 hingga 72 jam mengalami penurunan nilai voltase. Hal ini diindikasikan bahwa jumlah substrat di anoda bernilai tetap, sedangkan bakteri mengalami peningkatan. Sehingga terjadi perebutan nutrisi antar bakteri sehingga tidak semua sel bakteri dapat melakukan metabolisme dan mengurangi produksi proton dan elektron (Utari, 2012). Selain itu, hal ini diduga karena metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri dapat menutupi permukaan elektroda. Sehingga elektron yang dihasilkan oleh bakteri terhambat dan tidak tersalurkan ke elektroda. Menurut Cowan (2012) bakteri mampu menghasilkan glycocalyx yang merupakan jaringan filamen molekul yang kaya akan karbohidrat yang melapisi sel, yang akhirnya terakumulasi dari seluruh bakteri menjadi biofilm pada permukaan elektroda. Sependapat dengan pernyataan diatas, menurut Imaduddin *et al.* (2014) menyebutkan bahwa penurunan listrik yang dihasilkan dapat disebabkan karena bakteri yang tumbuh dipermukaan elektroda berkembangbiak dan menghasilkan *extracellular polymeric substances* (EPS) untuk membentuk biofilm dan hal ini menjadi penghambat tranfer elektron.

4.3.2 Pengaruh pH Substrat terhadap Listrik yang Dihasilkan

pH merupakan salah satu faktor penting dalam produksi listrik. Derajat keasaman pada substrat akan berpengaruh terhadap aktivitas mikroba dalam mendegradasi bahan organik. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap jumlah elektron yang dihasilkan oleh bakteri dalam menghasilkan listrik. Menurut Marashi dan Kariminia (2015) menyebutkan bahwa kondisi pH basa merupakan kondisi yang sesuai bagi pertumbuhan bakteri eksoelektrogenik dalam

menghasilkan listrik yang lebih tinggi. Berdasarkan pengukuran diperoleh hasil (Tabel. 4) bahwa terjadi perubahan pH pada kedua perlakuan. Berikut ini adalah hasil pengukuran nilai pH substrat pada percobaan yang telah dilakukan.

Tabel 4. Pengukuran nilai pH substrat

Perlakuan	pH Awal	pH Akhir
<i>R.solanacearum</i>	5.9	5.6
<i>Bacillus</i>	5.47	5.77

Subtrat dengan penambahan bakteri *R.solanacerum* mengalami penurunan nilai pH sebesar 0.3. Hal ini disebabkan karena meningkatnya kerapatan bakteri mengakibatkan penurunan pH. Menurut Imaduddin *et al.* (2014) peningkatan jumlah mikroba akan berbanding lurus dengan proses degradasi substrat yang mengakibatkan penurunan nilai pH. Hal in disebabkan oleh beberapa reaksi seperti oksidasi sulfat, nitrifikasi, oksidasi karbon organik. Hal ini didukung dengan pernyataan Prayogo *et al.* (2017) yang menyebutkan bahwa dari proses metabolisme bakteri umumnya menghasilkan asam-asam seperti HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 , sehingga hal tersebut membuat nilai pH substrat menurun. Penurunan nilai pH substrat dikarenakan ion H^+ yang dihasilkan dari proses metabolisme bakteri yang terakumulasi pada substrat. Sedangkan menurut Fitriani *et al.* (2017) penurunan pH selama proses MFC berlangsung dikarenakan terjadi pengurangan nutrient makanan bakteri serta peningkatan produk samping berupa CO_2 .

Kondisi pH substrat yang tergolong masam <6 merupakan salah satu faktor penting pertumbuhan bakteri *R.solanacerum*. Menurut Hidayah dan Djajadi (2009) menyebutkan bahwa pertumbuhan bakteri *R.solanacerum* lebih optimum pada kondisi pH masam dan sangat sensitif terhadap kondisi pH alkali. Sehingga kondisi pH tersebut dapat meningkatkan nilai volatse yang dihasilkan oleh bakteri *R.solanacerum*.

Perlakuan bakteri *Bacillus* (N3) menunjukkan hasil yang berbeda. Nilai pH substrat mengalami peningkatan sebesar 0.3. Peningkatan nilai pH diduga karena *Bacillus* mampu melepas atom H yang terkandung pada larutan substrat. Menurut Rahman dan Dewi (2000) menyebutkan bahwa *Bacillus* menghambat jalur metabolik asam laktat, sehingga menghasilkan H_2 . H_2 dalam bentuk gas yang dilepaskan oleh *Bacillus* merupakan hasil dari aktivitas metabolisme. Sehingga

kadar atom H yang terkandung dalam substrat menurun dan meningkatkan nilai pH. Selain itu meningkatnya nilai pH juga berpengaruh dengan listrik yang dihasilkan. Sejalan dengan pernyataan Marashi dan Kariminia (2015) menyebutkan bahwa kondisi substrat dengan nilai pH 8.5 menghasilkan listrik lebih tinggi daripada pH 7 dan 5.4. Sehingga dapat diindikasikan bahwa semakin meningkatnya nilai pH akan berbanding lurus dengan listrik yang dihasilkan oleh *Bacillus* (N3).



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Bakteri patogen *R.solanacearum* dan bakteri rizosfer *Bacillus* N3 memiliki daya listrik.
2. Daya listrik yang dihasilkan bakteri patogen *R.solanacearum* dan bakteri rizosfer *Bacillus* N3 berbeda. Daya listrik tertinggi dihasilkan bakteri patogen *R.solanacearum* 60 mV dan bakteri *Bacillus* N3 sebesar 170 mV.

5.2 SARAN

Saran untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya yaitu:

1. Pelaksanaan penelitian disarankan menggunakan multimeter digital agar nilai fluktuatif listrik yang dihasilkan lebih detail
2. Perlu dilakukan pengujian listrik terhadap berbagai jenis bakteri patogen dan rizosfer.
3. Perlu dilakukan pengukuran jumlah bakteri setiap waktu pengamatan.
4. Perlu dilakukan pengujian variasi jenis substrat yang digunakan dalam MFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology (Fifth Edition). UK: Elsevier Academic Press.
- Ahemad, M., dan Kibret, M. 2014. Mechanisms Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Current Perspective. *Journal of Science*. 3 (26): 1-20.
- Ahn, Y., dan B.E Logan. 2010. Effectiveness Of Domestic Wastewater Treatment Using Microbial Fuel Cells At Ambient And Mesophilic Temperatures. *Bioresources Technology*. 101:469-475.
- Ashrafuzzaman, M., Hossen, F.A., Ismail, M.R., Hoque. M.A., Islam, M.Z., Shahidullah S.M., dan Meon, S. 2009. Efficiency of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) for the Enhancement of Rice Growth. *Afr. J. Biotechnol*. 8 (7): 1247-1252.
- Bonanomi, G., Fillips, F. D., Cesarano, G., Storia, A. L., Ercolini, D., dan Scala, F. 2016. Organic Farming Induces Changes in Soil Microbita that Effect Agroecosystem Functions. *Soil Biol Biochen*. 103: 327-336
- Cai, J.P. Z., Xing, Y., dan Qaisar, M. 2015. Effect Of Electricity On Microbial Community Of Microbial Fuel Cell Somultaneously Treating Sulfide And Nitrate. *Journal Of Power Sources*. 281: 27-33.
- Chonde, S.G. 2014. Microbial Fuel Cell: A new approach of wastewater treatment with power generation. *International Journal of chemical, environment, and pharmaceutical reasearch*. 5(1): 8-12.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clement, C., dan Barka, E. A. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant disease: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*. 71(9): 4951-4959.
- Cowan, M.K. 2012. Microbiology a System Approach.
- Das, S., dan Mangwani, N. 2010. Recent Development in Microbial Fuel Cells: a Reviewer. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 69: 727-731.
- Denny, T.P., dan Hayward, A.C. 2001. Gram Negative Bacteria. Di dalam: Schaad NW, Jones JB, Chun W. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria Third Edition. Minnesota: APS Press.
- Dewi, T. K., Arum, E. S., Hartati, I., dan Antonius, S. 2015. Karakterisasi Mikroba Perakaran (PGPR) Agen Penting Pendukung Pupuk Organik Hayati. *Prosiding Nas Masy Biodiv Indo*. 1(2) : 289-295.
- Dias, C., Aires, A., dan Saavedra, M. J. 2014. Antimicrobial activity of isothiocyanates from cruciferous plants against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Int. J. Mol. Sci*. 15: 19552-19561
- Earl, A. M., Losick, L., dan Kolter, R. 2008. Ecology and Genomics of *Bacillus subtilis*. *Trends in Microbiology*. 16(6): 269-275.

Elphinstone, J.G. 2005. The Current Bacterial Wilt Situation: A Global Overview. Page: 9-28. Di dalam: Allen, C., Prior, P., dan Hayward, A. C. (eds). Bacterial Wilt Disease and The Ralstoniasolanacearum species Complex. APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota U.S.A

Fatmawati, U. 2015. Actinomycet: Mikroorganisme Potensial untuk Pengembangan PGPR dan Biokontrol Hayati di Indonesia. Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS Hal.85-891.

Goncalves, Marques, B. C., Baldo, C., dan Celligoi, M. A. P. C. 2015. Levan and Levansucrase-A Mini Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 4(5) :100-105.

Granick, J.A, dan Newman, D. K. 2007. Microreview: Extracellular Respiration. *Molecular Microbiology*. 65 (1): 1-11.

Grobelak, A., Napora, A., dan Kacpizak, M. 2015. Using Plant Growth Promoting Rhizobacteria to Improve Plant Growth. *Ecological Engineering*. (84): 22-28.

Gunawan, O.S. 2006. Virulensi dan Ras *R.solanacearum* pada Pertanaman Kentang di Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Hortikultura*. 16 (3): 211-218.

Guo, K., Daniel, J.H., dan Gu T. 2012. Microbial Fuel Cells: Electricity Generation from Organic Wastes by Microbes. *Journal of Microbial Biotechnology: Enrgy and Environment*. 162-189.

Handayani, T.2005. Penampilan Ketahanan Penyakit Layu Bakteri pada Hibirda Seksual dan Somatic Solanum khasianum Clarke dan Solanum capsicoides All. *Zuriat*. 16 (2): 181-191.

Hampannavar, U. S., Anupama, dan Pradeep, N. V. 2011. Treatment Distillery Wastewater Using Single Chamber and Double Chambered MFC. *International Journal of Environmental Sciences*. 2(1): 114-123.

Herlian, E.P., Dani, P., Agusta, S.P., Djaenudin, dan Hari, R. H. 2014. Pemanfaatan Sistem Microbial Fuel Cell dalam Menghasilkan Listrik pada Pengolahan Air Limbah. Bandung: Pusat Penelitian Kimia LIPI.

Hermayanti, A., dan Nugraha, I. 2014. Potensi Perolehan Energi Listrik dari Limbah Cair Tahu dengan Metode Salt Bridge Microbial Fuel Cell. *Jurnal Sains Dasar*. 3(2): 162-168.

Hermawan, K.V., Djaenudin, dan Sururi, M. R. 2014. Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Sistem Daouble Chamber Microbial Fuel Cell. *Jurnal Institut Teknolodi Nasional (Itenas)*. 2(1): 1-9.

Ibrahim, B., E. Salamah, dan Alwinsyah, R. 2013. Pembangkit Biolistrik Dari Limbah Cair Industri Perikanan Menggunakan Microbial Fuel Cell Dengan Jumlah Elektroda Yang Berbeda. *Dinamika Maritim*. 4(1): 1-9.

Ibrahim, B., Pipih, S., dan Rosmalawati, S. 2014. Kinerja Rangkaian Seri Sistem Microbial Fuel Cell sebagai Penghasil Biolistrik dari Limbah Cair

- Perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 17(1): 71-79.
- Imaduddin, M., Hermawan, dan Hadiyanto. 2014. Pemanfaatan Sampah Sayur Pasar Dalam Produksi Listrik Melalui Microbial Fuel Cells. *Jurnal Sains Dasar*. 3(2): 196-204.
- Indriani, D.O., Luqvia, N.S., Sriherfyna, F.H., dan Agustina, K.W. 2015. Inverstase dari *Aspergillus niger* dengan Metode Solid State Fermentation dan Aplikasi di Industri: Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(4):1405-1411.
- Istikomah dan Kusumawati, D.E. 2018. Pemanfaatan *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* dalam Pengendalian Hayati *Ralstonia solanacearum* Penyebab Penyakit Layu Bakteri pada Tomat. *Jurnal Agro*. 5 (1): 1-12.
- James, D., Girija, D., Mathew, S. K., Nazeem, P. A., Babu, T. D., Varma, A. S. 2003. Detection of *Ralstonia solanacearum* race 3 causing bacterial wilt of solanaceous vegetables in Kerala, using random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. *J. of Trop. Agr.* 41: 33-37
- Januarita., Rizki., Azka, A., A. Anis Ulfa W, Hilma Syahidah dan Samudro G.2015. MFCS 2 In 1: Microbial Fuel Cells Pengolahan Air Limbah dan Penghasil Listrik (Alternatif: Limbah Isi rumen Sapi dengan Pengaruh Variasi COD dan pH). Diakses pada <http://ejournal-sl.undip.ac.id/index.php>
- Jeung, Y., Kim, J., dan Kang, Y. 2007. Genetive Diversity and Distribution of Korean Isolates of *Ralstonia solanacearum*. *Plant Disease*. 91(10): 1277-1287.
- Karsil, M. A., dan Russell, J. A. 2002. Effect Of Source And Concentrations Of Nitrogen And Carbohydrate On Ruminant Microbial Protein Synthesis. *Journal Vetenary Animal Science*. 26: 201-207.
- Kersten, J.T., Huang, H., dan Allen, C. 2001. *Ralstonia solanacearum* Needs Mortility.
- Kloepper, J. W., Ryu, C. M., dan Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Basillus* sp. *Phytopathology*. 94: 1259-1266
- Liu, H., dan Logan, B. E. 2004. Electricity Generation Using An Air-Cathode Single Cahmber Microbial Fuel Cell In The Presence And Absence Of Proton Exchange Membrane. *Journal Of Environmental, Science, And Technology*. 38(14): 1533-1543.
- Logan, B. E. B., dan Regan, J. M. 2006. Electricity-Producing Bacterial Communities in Microbial Fuel Cell. *Trends Microbiol*. 1(14): 512-518.
- Logan, B. E., Hamelers, R., Rozendal, U., Schroder, J., Keller, S., Fregula, P., Aeltermen, W. V., dan Rabaey, K. 2006. Microbial Fuel Cell:

- Methodology and Technology. *Environmental Science and Technology*. 40(17): 5181-5192.
- Logan, B. E. 2009. Exoelectrogenic Bacteria That Power Microbial Fuel Cells. *Nat Rev Microbiol*. 7(1): 375-381.
- Mahendra, B. G., dan Mahavarkar, S. 2013. Treatment Of Wastewater And Electricity Generation Using Microbial Fuel Cell Technology. *International Journal Of Research In Engineering And Technology*. 1(1): 277-282.
- Manan, A.E., Mugiastuti., dan S. Loekas. 2018. Kemampuan Campuran *Bacillus* sp, *Pseudomonas fluorescens* dan *Tricoderma* sp. Untuk Mengendalikan Penyakit Layu Bakteri pada Tanaman Tomat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 14(2): 63-68.
- Marashi, S. K. F., dan Kariminia, H. R. 2015. Performance of Single Chamber Microbial Fuels Cell at different Organic Loads and pH Values Using Purified Terephthalic Acid Wastewater. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 13(27): 1-6.
- Miasnikov, A. N. 1997. Characterization of a Novel Endo-Levanase and Its Gene From *Bacillus* sp. L27. *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Letters*. 154 (1997):23-28.
- Nimje, V. R., Chen, C. Y., Chen, C. C., Jean, J. S., Reddy, A. S., Fan, C. W., Pan, K. Y., Liu, H. T., dan Chen, J. T. 2009. Stable and High Energy Generation by a Strain of *Bacillus subtilis* in Microbial Fuel Cell. *Journal of Power Source*. 1(190): 258-263.
- Nurhayati. 2011. Penggunaan Jamur dan Bakteri dalam Pengendalian Penyakit Tanaman secara Hayati yang Ramah Lingkungan. Dalam Kumpulan Makalah Bidang Ilmu-ilmu Pertanian. BKS-PTN Wilayah Barat. Palembang.
- Novitasari, D. 2011. Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Nur, S.K.M. 2019. Kelimpahan Bakteri Rizosfer pada Kawasan Agroforestri Pinus dan Wortel di UB Forest dan Uji Ketahanannya Terhadap Insektisida Profenopos. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya: Malang.
- Pant, D., Bogaert, V., Diels, L., dan Vanbroekhoven, K. 2010. A Review Of The Substrates Used In Microbial Fuel Cells (Mfcs) For Sustainable Energy Production. *Bioresources Technology*. 6(101): 1533-1543.
- Purnawati, A. 2013. Efek Mikroba Endofit terhadap *Ralstonia solanacearum* Penyebab Layu pada Tanaman Tomat. Disertasi Program Pasca Sarjana. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang
- Purwati, E., Latif, M., Purwanto, H., dan Andrean, O. 2014. Inovasi Sumber Energi Terbaharukan Dari Pencangan Prototipe Microbial Fuel Cell

- Tipe Seri, Paralel, Dan Seri Paralel Dengan Memanfaatkan Bakteri *Escherichia coli*. 40(1): 132-141.
- Putra, H.E., Dani, P., Putra, A.S., Djaenudin., dan Haryadi, H.R. 2014. Pemanfaatan Sistem Microbial Fuel Cell dalam Menghasilkan Listrik pada Pengolahan Air Limbah Industri Pangan. Pusat Penelitian Kimia LIPI. Bandung.
- Prihantoro, F.A dan., Zulaika, E. 2015. Viabilitas *Bacillus* Terhadap Methylene Blue yang Berpotensi untuk Microbial Fuel Cell (MFC). Jurnal Sains dan Seni ITS. 4 (1):2337-2350.
- Prayogo, F.A., Agung, S., dan Raharjo, B. 2017. Microbial Fuel Cell (MFC) Menggunakan Bakteri *Bacillus subtilis* dengan Substrat Limbah Septic Tank serta Pengaruhnya Terhadap Kualitas Limbah. Jurnal Biologi. 6(2):17-25.
- Qian, F., He, Z., Thelen, M. P., dan Li, Y. 2011. A Microfluidic Microbial Fuel Cell Fabricated by Soft Lithography. *Bioresource Technology*. 1-5.
- Rabery, K., dan Verstrete. 2005. Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation. *Trend Biotechnology* No. 23: 291-298.
- Rahman, M. A., dan Dewi, E. 2009. Inovasi Teknologi Biohidrogen Dari Limbah Biomassa ke Energi Listrik dengan Teknologi Fuel-Cell. Jurnal Teknik Lingkungan. 10(3): 319-327.
- Rahmawanto, D. G. 2014. Pengaruh Faktor Abiotik Tanah Terhadap Supresifitas Tanah dalam Mengendalikan Penyakit Layu Bakteri (*R.solanacearum*) pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill). SKRIPSI. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
- Semangun, H. 1989. Penyakit-penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Setawati dan Mihardja. 2008. Identifikasi dan Kuantifikasi Metabolit Bakteri Pelarut Fosfat dan Pengaruhnya Terhadap Aktivitas *Rhizocetonia solani* pada Tanaman Kedelai. Jurnal Tanah Tropika. 13(3): 233-240.
- Sevda, S., Benetton, X. D., Vanbroekhoven, K., Wever, H. D., Sreekrishnan, T. R., dan Pant, D. 2013. High Strength Wastewater Treatment Accompanied by Power Generation Using Air Cathode Microbial Fuel Cell. *Applied Energy*. 105: 194-206.
- Sholehuddin, M. 2018. Pemanfaatan Logam Ni dan Zn untuk Menurunkan Sifat Virulensi *R.solanacearum* Melalui Mekanisme Quorum Quenching. SKRIPSI. Fakultas Pertanian Universitas Jember.
- Simamora, A. 2007. Bioenergetika Adenosin Trifosfat. *Jurnal Meditek*. 15(39): 1-11.
- Sitorus, B. 2010. Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan Melalui Penggunaan Air Buangan Dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba. *Jurnal ELKHA*. 2(1): 10-15.

Sirinutsumboon, B. 2014. Modelling Of A Membraneless Single-Chamber Microbial With Molasses As An Energy Source. *International Journal Of Energy, Environmental And Engineering*. 5(93): 1-9.

Sutedjo, K., dan Satroatmodjo. 1991. Mikrobiologi Tanah. Rineka Cipta: Jakarta.

Suriadikarta, D. A., dan Setyorini, D. 2005. Laporan Hasil Penelitian Standar Mutu Pupuk Organik. Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Utami, T.S., Arbianti, R., Novitasari, D., Kristin, E., dan Citrasari, A. E. 2014. Effect Of Electrolytes And Microbial Culture Toward Electricity Generation Utilizing Tempe Wastewater In Microbial Fuel Cell. *Proceedings Of The 5 Sriwijaya International Seminar On Energy And Environmental Science & Technology*: 58-63.

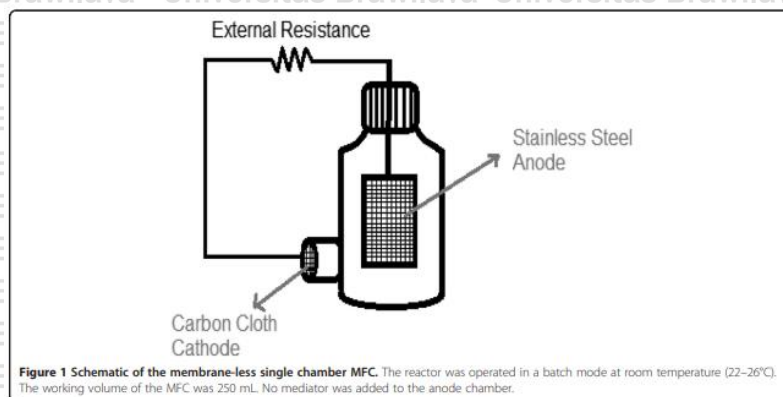
Wanker, E., Anton, H., dan Schwab, H. 1995. Purification and Characterization of the Bacillus subtilis Levanase Produced in Escherichia coli. *Applied and Environmental Microbiology*. 61(5): 1953-1958

Widjaja, T., dan Sunarko. 2007. Pengaruh Perbandingan Nu8trisiterhadap Pengolahan Minyak secara Biologis dengan Bakteri Mixed-Culture. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 6(2): 755-762.

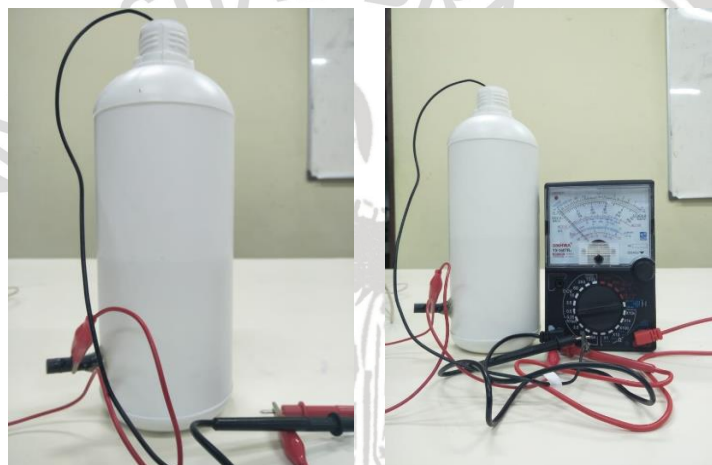
Yazdi, H., L.A. Gaviria, dan Z.J. Ren. 20015. Pluggable Microbial Fuel Cell Stacks for Septic Wastewater Treatment and Electricity Production. *Bioresources Technology* No. 180:258-263.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain MFC Satu Bejana (dimodifikasi)



Sumber. (Marashi dan Kariminia,2015)



Ket: Perangkat MFC *Single Chamber*

Lampiran 2. Analisis ragam hasil uji antagonisme pada 24 jam bakteri antagonis terhadap pertumbuhan bakteri *R.solanacearum* pada cawan Petri.

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.738	6	1.456	158.706	.000
Within Groups	.193	21	.009		
Total	8.930	27			

Lampiran 3. Analisis ragam hasil uji antagonisme pada 48 jam bakteri antagonis terhadap pertumbuhan bakteri *R.solanacearum* pada cawan Petri.

	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.023	6	1.337	79.425	.000
Within Groups	.354	21	.017		
Total	8.376	27			

Lampiran 4. Analisis ragam listrik yang dihasilkan oleh bakteri antagonis dengan bakteri *R.solanacearum* pada cawan Petri.

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
TRANS_ Equal variances assumed	4.633	.039	-10.214	34	.000	-5.60278	.54854	-6.71754	-4.48801
LISTRIK Equal variances not assumed			-10.214	25.234	.000	-5.60278	.54854	-6.73198	-4.47357

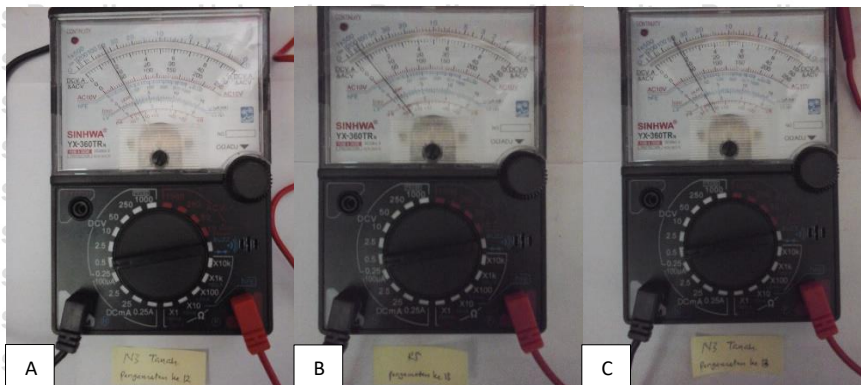
Ket :Nilai t hitung positif, Berbeda nyata apabila nilai t hitung > t tabel 5% (2,059), Tidak berbeda nyata apabila nilai t hitung < t tabel 5% (2,059), Nilai t hitung negatif: Sangat berbeda nyata apabila nilai -t hitung Berbeda nyata apabila nilai -t hitung > -t tabel 5% (2,059), Tidak berbeda nyata apabila nilai -t hitung < -t tabel 5% (2,059)

Lampiran 5. Dokumentasi Pengukuran nilai pH



Ket. Pengukuran nilai pH substrat. A; nilai pH awal substrat *R.solanacearum*, B; nilai pH awal substrat N3 *Bacillus*, C; nilai pH akhir substrat *R.solanacearum*, D; nilai pH akhir substrat N3 *Bacillus*.

Lampiran 6. Dokumentasi Pengukuran Listrik



Ket. Pengukuran listrik menggunakan multimeter analog. A; pengukuran voltase pada perlakuan bakteri *Bacillus* N3 pada pengamatan waktu ke 48 jam, B; pengukuran voltase pada perlakuan bakteri *R.solanacearum* pada pengamatan waktu ke 48 jam, C; pengukuran voltase pada perlakuan bakteri *Bacillus* N3 pada pengamatan waktu ke 52 jam.

