

BioTrends

Majalah Populer Bioteknologi

Vol.10 No.2

Tahun 2019

INKORPORASI ASAM AMINO NON KANONIK SECARA IN VIVO MELALUI REKAYASA DAN EKSPANSI KODE GENETIK

Linda Sukmarini

1

TEKNIK KULTUR SEL MAMALIA TIGA DIMENSI (3D) DALAM BIOTEKNOLOGI KESEHATAN

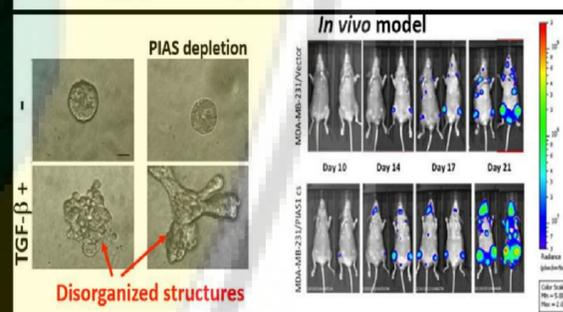
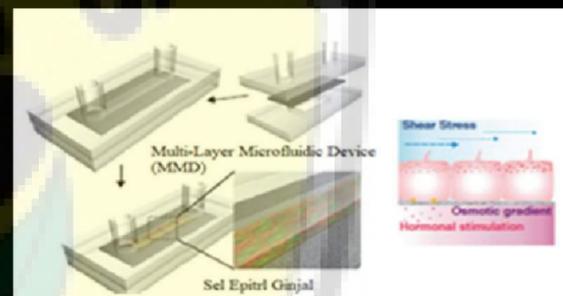
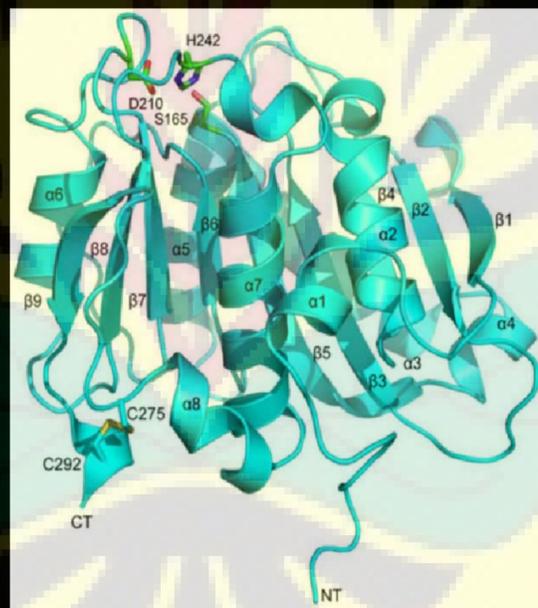
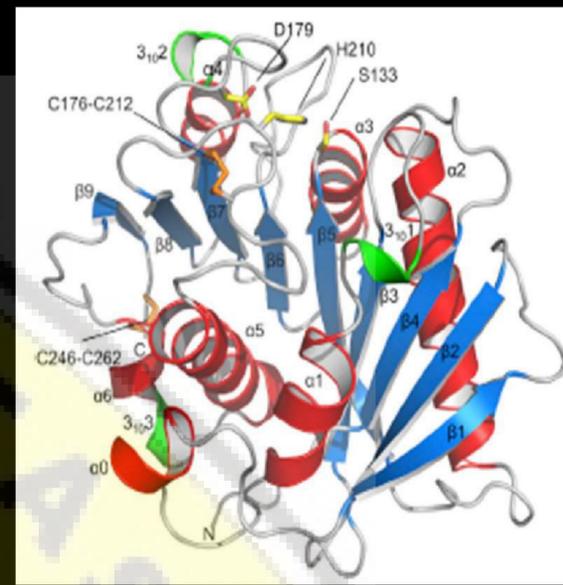
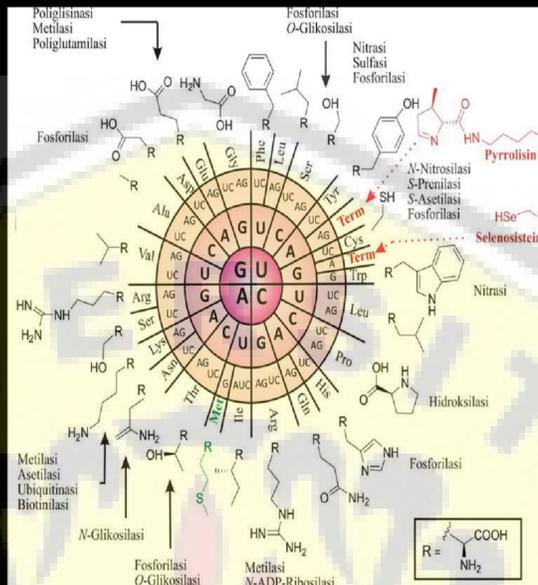
Pekik Wiji Prasetyaningrum
Endah Puji Septisetyani

9

MIKROORGANISME POTENSIAL SEBAGAI AGEN HAYATI PENDEGRADASI LIMBAH SAMPAH PLASTIK

Berlian Permata Dewi Erlambang
Rike Oktianti
Syubbanul Wathon

18



ISSN 1858-2478
9 771858 247855



Pusat Penelitian Bioteknologi
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Mikroorganisme Potensial Sebagai Agen Hayati Pendegradasi Limbah Sampah Plastik



**Berlian Permata Dewi Erlambang,
Rike Oktarianti dan Syubbanul Wathon**

Universitas Jember

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegal Boto, Jember, 68121

Email: syubbanulwathon@unej.ac.id

Beragam Sampah Plastik dan Dampaknya bagi Lingkungan

Sampah merupakan limbah organik dan anorganik berwujud padat yang dianggap tidak memiliki nilai lagi (Subekti, 2010). Menurut Sejati (2009), sampah dapat dikelompokkan berdasarkan asalnya, komposisinya, bentuknya, lokasinya, proses terjadinya, dan sifatnya. Pengelompokan sampah berdasarkan sifatnya meliputi sampah organik, sampah anorganik, serta sampah infeksius. Sampah organik adalah sampah yang mengandung unsur karbon, hidrogen, oksigen, dan mudah terfermentasi atau terdegradasi oleh mikroba, seperti daun, kayu, sisa bahan makanan, kulit buah, sisa makanan, serta kotoran hewan. Sampah anorganik merupakan sampah yang membutuhkan waktu lama hingga sangat lama dalam proses pendegradasian atau

fermentasi oleh mikroba, dan meliputi kaca, plastik, besi, kaleng. Sampah infeksius merupakan limbah rumah sakit berwujud padat serta berpotensi menularkan penyakit, seperti jarum suntik, *vacultainer* darah, alat suntik atau *syringe*, dan selang infus. Pembuangan sampah sembarangan tanpa ada pengolahan terlebih dahulu akan meningkatkan potensi sampah dalam menyebabkan kerusakan lingkungan. Menurut Subekti (2010), pengolahan sampah dapat dilakukan dengan memisahkan sampah berdasarkan jenisnya, kemudian diolah menggunakan prinsip 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*) untuk sampah organik dan anorganik, sedangkan pengolahan sampah infeksius dilakukan dengan dibakar menggunakan insinerator hingga menjadi abu.

Permasalahan sampah merupakan permasalahan yang sangat sulit ditangani.

Kurangnya kepedulian masyarakat dalam pembuangan serta pengolahan sampah adalah faktor penyebab utama dalam kesulitan penyelesaian masalah sampah di seluruh negara berkembang, terutama Indonesia. Salah satu permasalahan tentang sampah adalah terbawanya berbagai jenis sampah di sungai oleh arus air hingga terakumulasi di laut, termasuk sampah plastik. Plastik membutuhkan waktu sangat lama untuk terdegradasi oleh mikroba. Sampah plastik yang terakumulasi di laut dapat berupa mikroplastik (berukuran ≤ 5 mm) dan makroplastik (berukuran > 5 mm). Beragam ukuran sampah plastik di laut akan menyebabkan dampak berbeda-beda, diantaranya membuat ikan atau hewan akuatik lain terjebak dalam sampah plastik, menjerat hewan akuatik, menyumbat pencernaan hewan akuatik,

atau terakumulasi dalam sel hewan akuatik karena ukurannya yang sangat kecil (Victoria, 2017). Mikroplastik dalam sel hewan akuatik akan terakumulasi dalam tubuh manusia ketika manusia memakan hewan tersebut. Menurut Sutrisnawati dan Purwahita (2018), kandungan mikroplastik dalam tubuh manusia pada jumlah tertentu dapat meningkatkan resiko penyakit kanker. Berdasarkan kondisi tersebut, dapat diketahui bahwa akumulasi mikroplastik di perairan laut berbahaya bagi kehidupan, sehingga diperlukan solusi untuk mengurangi hingga menghilangkan kandungan mikroplastik.

Sampah plastik dapat dimusnahkan melalui proses pembakaran, namun demikian metode ini akan menghasilkan asap dengan kandungan CO₂, CO, NO_x, dan SO_x yang dapat menyebabkan fenomena hujan asam jika terakumulasi di atmosfer dalam jumlah yang banyak (Prasetyo et al, 2014). Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Hal ini dapat dilakukan karena plastik mengandung komponen utama penyusun bahan bakar (O₂, N₂, Cl, dan S) serta memiliki nilai kalor yang setara dengan bahan

bakar lainnya. Akan tetapi, menurut Suro dan Ismanto (2016), tidak semua jenis plastik dapat diolah menjadi bahan bakar minyak. Jenis plastik yang tidak dapat menghasilkan minyak adalah PET (*Polyethylene terephthalate*), sedangkan jenis plastik lainnya, seperti PE (*Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) dapat diolah menjadi bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak yang didapatkan dari hasil pengolahan sampah plastik kemudian dicampur solar serta dibandingkan unjuk kerjanya dengan solar murni. Perbandingan unjuk kerja antara campuran solar dan minyak hasil olahan sampah plastik dengan solar murni menunjukkan semakin besar volume minyak hasil olahan sampah plastik yang dicampurkan, semakin besar pula jumlah konsumsi bahan bakar. Gas buangan atau gas hasil pembakaran yang dihasilkan oleh bahan bakar berupa campuran solar dengan minyak hasil olahan sampah plastik juga mengandung CO₂, CO, NO_x, dan SO_x lebih banyak dari gas buangan bahan bakar solar murni, sehingga pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dianggap kurang efektif untuk menanggulangi permasalahan sampah plastik yang sulit didegradasi secara alami. Pemanfaatan mikroorganisme

pendegradasi sampah plastik merupakan salah satu solusi alternatif mengatasi permasalahan sampah plastik yang lebih ramah lingkungan. Pada artikel ini akan dipaparkan mengenai beragam mikroorganisme yang berpotensi sebagai agen hayati pendegradasi sampah plastik untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan.

Mikroorganisme Pendegradasi Sampah Plastik

a. *Pseudomonas* spp.

Menurut Sriningsih dan Shovitri (2015), *Pseudomonas* spp. tergolong dalam bakteri Gram negatif yang memiliki karakteristik sel berbentuk batang (*rod*), tidak membentuk spora untuk reproduksi aseksual, alat gerak berupa flagela, bersifat aerob obligat, tetapi dapat hidup secara anaerobik ketika berada di lingkungan dengan kandungan nitrat. *Pseudomonas* spp. dapat menghasilkan enzim yang mampu mendegradasi plastik, yaitu serine hidrolase, esterase, dan lipase. Proses pendegradasian sampah plastik oleh enzim tersebut dapat berlangsung secara optimal jika tidak terdapat inhibitor yang mampu menghambat aktivitas enzim di lingkungan (Treviño et al, 2012). Pendegradasian plastik oleh bakteri

bertujuan sebagai sumber karbon untuk proses metabolisme bakteri seperti yang terjadi pada *Pseudomonas* spp. *Pseudomonas* spp. aktif melekat membentuk biofilm di permukaan sampah plastik selama proses pendegradasian. Sampah plastik yang dapat didegradasi adalah plastik putih serta transparan. Plastik tersebut termasuk dalam jenis PE dan PS (*polystyrene*). Pendegradasian plastik oleh *Pseudomonas* spp. berlangsung selama ≥ 3 bulan (Sriningsih dan Shovitri, 2015).

b. *Ochrobactrum* spp.

Menurut Riandi et al (2017), *Ochrobactrum* spp. adalah bakteri Gram negatif berflagela yang mampu menghasilkan enzim katalase, sehingga mampu memetabolisme hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi oksigen dan air. Membran sel *Ochrobactrum* spp. disusun oleh membran luar, membran peptidoglikan, membran plasma, serta membran periplasmik dengan ketebalan keseluruhan membran 8-12 nm. *Ochrobactrum* spp. juga mampu menghasilkan exoenzim untuk mendegradasi sampah plastik. Proses pendegradasian sampah plastik oleh *Ochrobactrum* spp. dapat berlangsung selama ≥ 45 hari. Plastik yang dapat didegradasi

merupakan plastik jenis LDPE (*low-density polyethylene*) dan HDPE (*high density polyethylene*) seperti kantung kresek berwarna. Pendegradasian plastik tersebut menyebabkan terjadinya penurunan berat kering plastik sebesar 18,75% dan 20%, serta terbentuknya zona bening pada medium dengan kandungan plastik sebagai sumber karbon.

Karakteristik

Ochrobactrum spp. secara umum menyerupai karakter *Pseudomonas* spp., namun berbeda dari *Pseudomonas* spp., *Ochrobactrum* spp. merupakan bakteri air yang tidak mampu menghasilkan pigmen serta dapat menyebabkan infeksi nosokomial (Riandi et al, 2017) yaitu infeksi yang dialami oleh pasien rawat inap di rumah sakit (Warganegara et al, 2012). Infeksi ini dapat berupa infeksi luka (Warganegara et al, 2012) dan *immunocompromised* atau penurunan kinerja sistem imun pada anak-anak (Duran et al, 2009).

c. *Brevibacillus* spp.

Brevibacillus spp. adalah bakteri Gram positif dengan rentangan toleransi suhu, kadar garam serta pH yang luas, sehingga mampu tumbuh atau hidup di berbagai kondisi lingkungan. *Brevibacillus* spp. bersifat aerob, memiliki dinding sel yang tersusun atas tiga

membran dengan ketebalan membran 27-29 nm, mampu menghasilkan senyawa antibiotik berupa gramicidin, tidak mampu memetabolisme karbohidrat, dan DNA mengandung basa nitrogen guanin serta sitosin sebesar 45-56 mol% (Panda et al, 2014). Menurut Nanda dan Sahu (2010), *Brevibacillus* spp. mampu mendegradasi sampah plastik jenis PE untuk mendapatkan sumber karbon. Seperti beberapa bakteri pendegradasi plastik lainnya, *Brevibacillus* spp. akan membentuk biofilm pada permukaan sampah plastik. Pendegradasian plastik oleh *Brevibacillus* spp. berlangsung selama ≥ 3 minggu, menghasilkan penurunan berat kering plastik sebesar 37,5%.

d. *Rhodococcus* spp.

Rhodococcus spp. adalah bakteri Gram positif aerob yang berbentuk batang, berwarna koloni oranye ketika usia isolat 72 jam, tidak memiliki alat gerak, tidak bereproduksi menggunakan spora, dan hidup di lingkungan dengan kandungan xenobiotik/zat asing (Sulistinah et al, 2016). *Rhodococcus* spp. mampu mendegradasi senyawa alifatik serta aromatik, seperti BTEX (*Benzene*, *Toluene*, *Ethylbenzene*, dan *O-Xylene*). *Rhodococcus* spp. juga mampu mendegradasi sampah plastik jenis PE selama ≥ 3 minggu dan

menghasilkan penurunan berat kering plastik sebesar 33% (Nanda dan Sahu, 2010).

e. *Bacillus* spp.

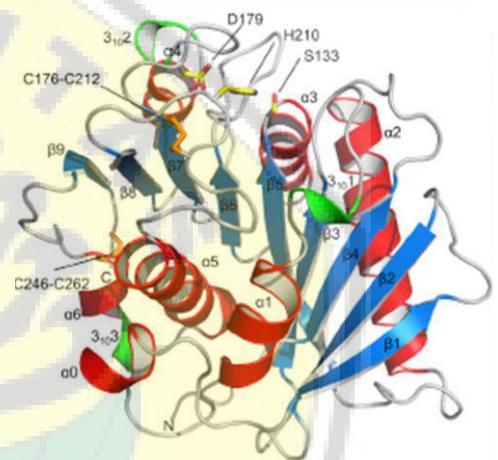
Bacillus spp. merupakan bakteri Gram positif berbentuk batang, dapat membentuk endospora, serta bersifat anaerobik fakultatif (Fadlilah dan Shovitri, 2014). Mikroorganisme anaerobik fakultatif dapat hidup dengan atau tanpa kandungan oksigen, tetapi mikroorganisme tersebut akan cenderung hidup secara aerobik dibandingkan anaerobik jika berada di lingkungan dengan sedikit kandungan oksigen (Nur, 2009). Berdasarkan sifat tersebut, degradasi sampah plastik oleh *Bacillus* spp. dapat berlangsung secara aerobik dan anaerobik menggunakan enzim ekstraseluler serta intraseluler depolimerase (Nur, 2009). Sampah plastik yang dapat didegradasi adalah kantung kresek plastik warna hitam dan putih. Kantung kresek tergolong jenis plastik LDPE (Surono, 2013). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Fadlilah dan Shovitri (2014), plastik warna hitam serta putih dapat didegradasi oleh *Bacillus* spp. selama ≥ 4 bulan dengan degradabilitas 2,3% untuk plastik hitam dan 1,9% untuk plastik putih, sehingga dalam waktu 4 bulan plastik

hitam dapat terdegradasi sebesar 6%, sedangkan plastik putih sebesar 9%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan zat pewarna pada plastik dapat mempengaruhi proses biodegradasi. Biodegradasi sampah plastik juga dipengaruhi oleh karakter organisme, perlakuan yang diberikan, dan pertumbuhan biofilm pada permukaan plastik. Bakteri pendegradasi plastik umumnya akan membentuk biofilm di permukaan plastik, begitu juga dengan *Bacillus* spp.

f. *Ideonella sakaiensis*

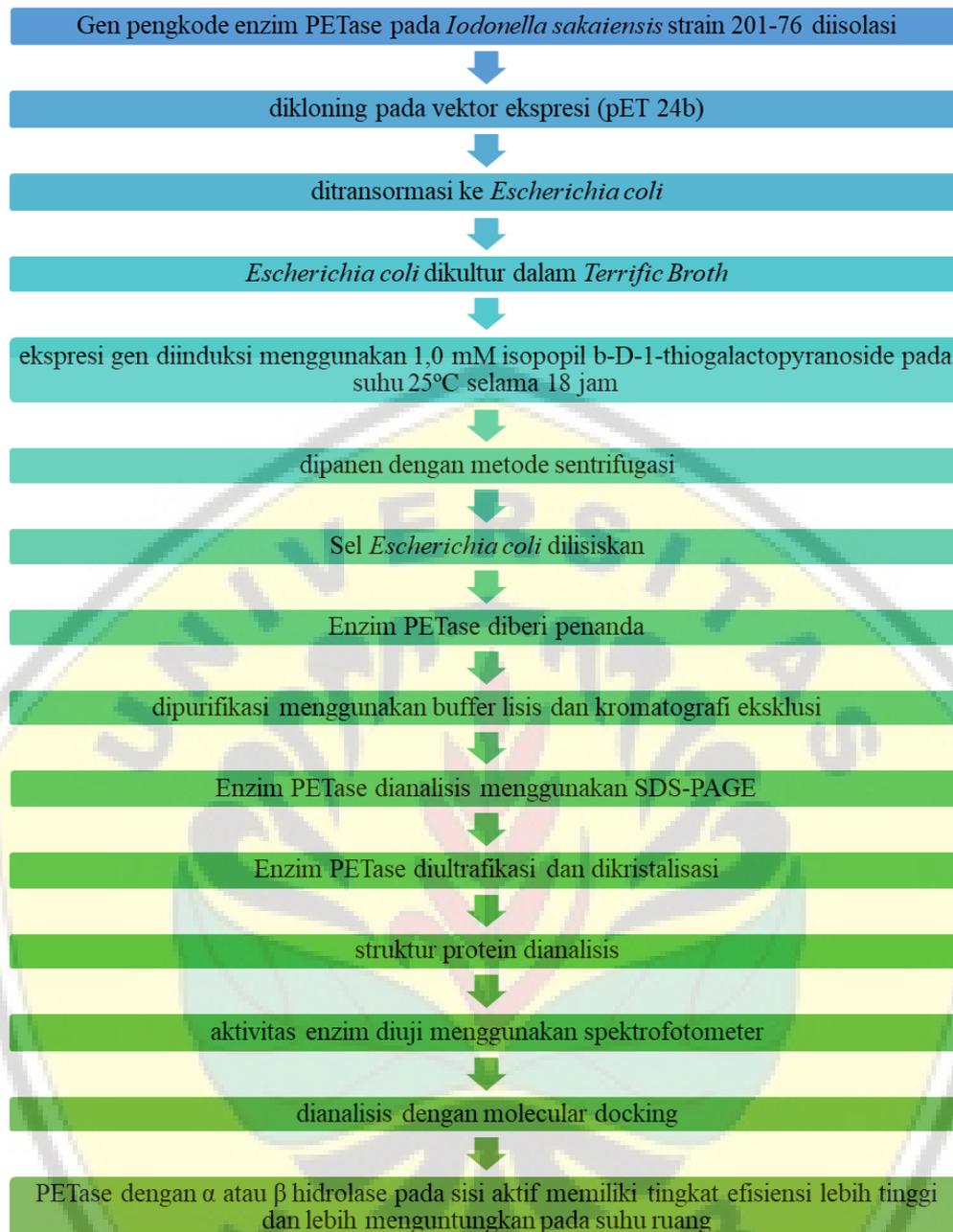
I. sakaiensis merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang, bentuk koloni bulat dengan diameter 0,5-1 mm, alat gerak berupa flagela, tidak berwarna atau dapat juga berwarna kuning gading, suhu optimum untuk pertumbuhan 30-37 °C, pH optimum pertumbuhan 7-7,5, serta DNA mengandung 70,4% basa nitrogen guanin dan sitosin (Tanasupawat et al, 2016). *I. sakaiensis* tidak dapat tumbuh pada suhu 45 °C atau lingkungan dengan konsentrasi NaCl sebesar 3%. Karakteristik biokimia *I. sakaiensis* adalah mampu menghasilkan beberapa senyawa organik serta enzim. Senyawa organik yang dihasilkan oleh *I. sakaiensis* meliputi N-asetil glukosamin, maltosa, kalium glukonat, asam adipat, asam malat, dan sitrat, sedangkan

enzim yang dihasilkan terdiri dari asam fosfatase, naftol-AS-BI-phosphohydrolase (Tanasupawat et al, 2016). Selain itu, *I. sakaiensis* juga menghasilkan PET hidrolase atau PETase, yaitu enzim yang dapat memecah rantai polimer PET pada rentang suhu optimum 20-40 °C (Fecker et al, 2018). Struktur 3D dari PETase dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Struktur 3D PETase dari *I. sakaiensis* (Fecker et al, 2018).

Proses pendegradasian sampah plastik oleh *I. sakaiensis* dapat berlangsung 5-120 kali lebih cepat dari proses degradasi plastik pada umumnya. Peningkatan kemampuan degradasi sampah diperoleh melalui teknik rekayasa genetik dengan cara kloning dan transformasi gen pengkode PETase pada *Escherichia coli* [**Gambar 2**], diikuti dengan analisa struktur enzim PETase dengan cara *molecular docking (MD)* serta simulasi MD sesuai **Gambar 3**.

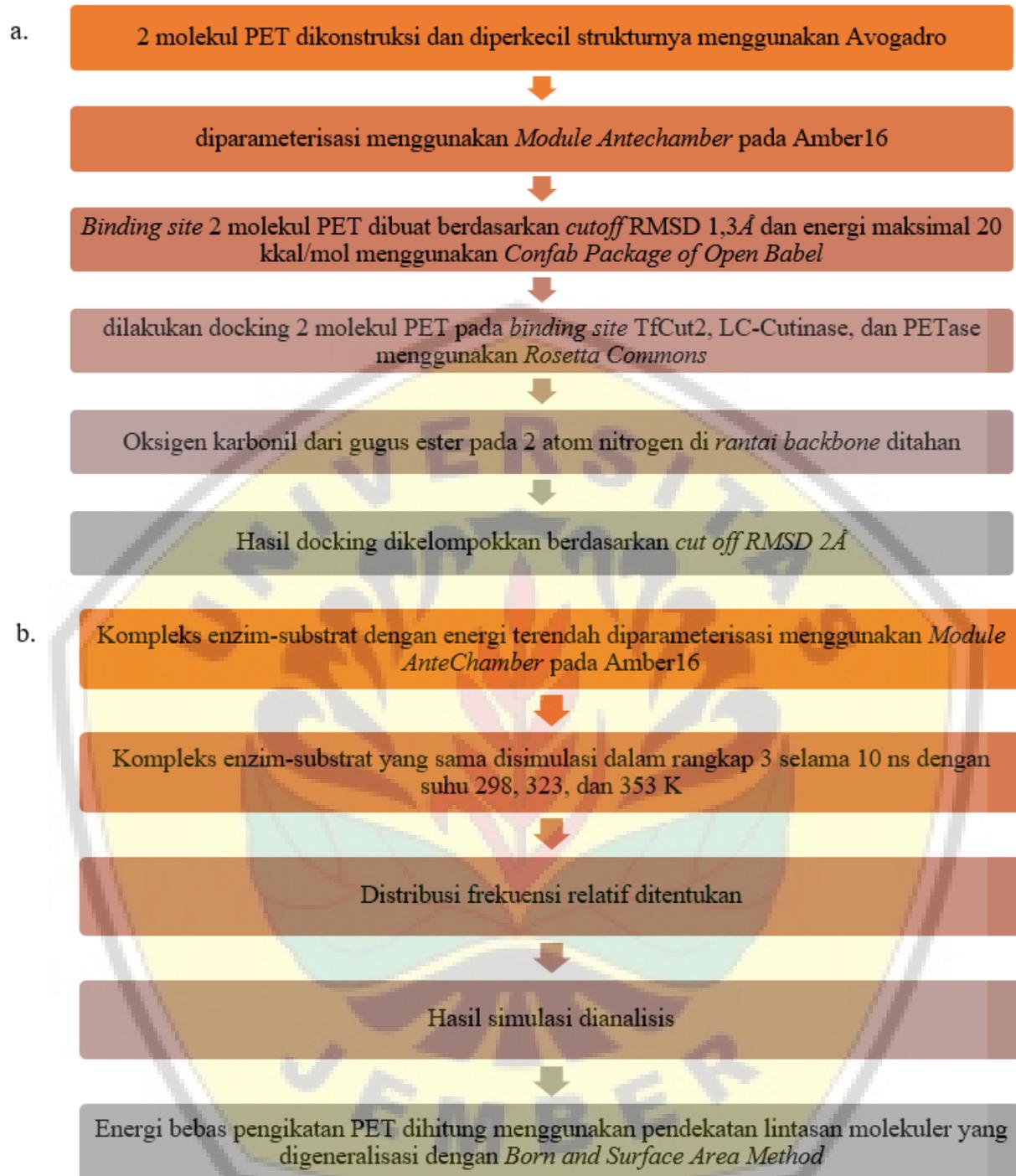


Gambar 2. Tahapan kloning dan rekayasa bioproses enzim PETase dari *I. sakaiensis* (Fecker et al., 2018).

MD dilakukan untuk memahami bagaimana ikatan antara PETase dengan PET dan hidrolisis PET yang dilakukan oleh PETase, sedangkan simulasi MD bertujuan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi struktur serta ikatan substrat

dengan protein pendeградasi plastik (PETase, TfCut2, serta LC-Cutinase). Hasil MD dalam penelitian sebelumnya menunjukkan total energi bebas terendah terdapat pada kompleks PETase-ligan [Gambar 4] (Fecker et al,

2018). Hal tersebut menunjukkan bahwa kompleks PETase-ligan lebih cepat terbentuk dibandingkan kompleks TfCut2-ligan dan LC-Cutinase-ligan (Hasana et al, 2013).



Gambar 3. (a) Prosedur *Molecular Docking (MD)* (b) Prosedur simulasi MD (Fecker et al, 2018).

Hasil simulasi MD menunjukkan bahwa peningkatan suhu dari 298K menjadi 323K menyebabkan ligan menjauh dari *active site* PETase dan LC-Cutinase, tetapi penambahan jarak

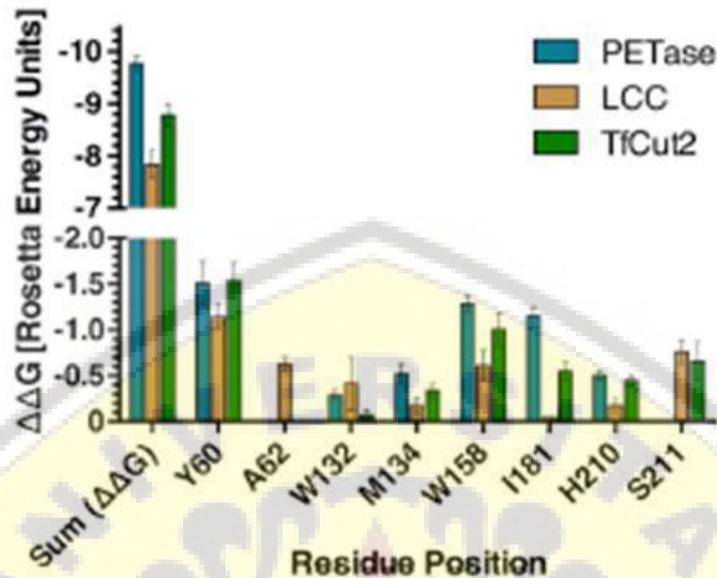
antara ligan dengan *active site* protein tidak terjadi pada protein TfCut2. Kestabilan *active site* protein juga dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu 298K PETase menjaga tingkat kestabilan

active site-nya, sedangkan TfCut2 serta LC-Cutinase tidak (Fecker et al, 2018). Berdasarkan analisis struktur PETase, kecepatan proses degradasi plastik jenis PET oleh enzim PETase

disebabkan oleh pusat *active site* enzim PETase ($\beta 5$ - $\alpha 4$) mudah dijangkau oleh

pelarut yang mengandung PET, sehingga akan lebih mudah terjadi interaksi

antara PETase dengan PET (Liu et al, 2018).

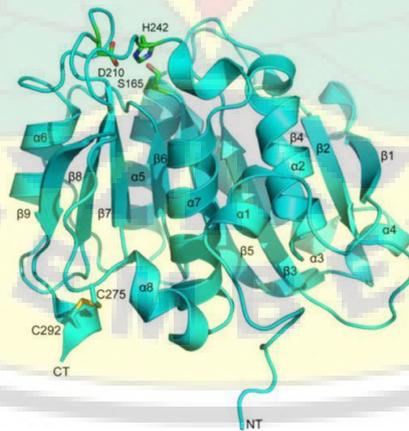


Gambar 4. Hasil perhitungan energi bebas sebagai hasil *docking* protein PETase, TfCut2, LC-Cutinase (LCC) dengan ligan berupa dua molekul PET (Fecker et al, 2018).

g. *Escherichia coli*

E. coli yang memiliki kemampuan dalam degradasi sampah plastik adalah *E. coli* mutan hasil rekayasa genetik sehingga mampu menghasilkan enzim LC-Cutinase dalam jumlah banyak. LC-Cutinase merupakan protein fungsional berupa enzim dengan berat ± 28 kDa (Sulaiman et al, 2014) yang dihasilkan dari ekspresi gen *TfCut2*. Gen tersebut berasal dari bakteri termofilik, yaitu *Thermobifida fusca* (Roth et al, 2014). Gen pengkode LC-Cutinase juga terdapat pada bakteri cutinase lain seperti *Thermobifida alba* dan jamur atau fungi cutinase seperti *Fusarium solani*, *Monilinia fructicola*, *Aspergillus oryzae* serta *Pyrenopeziza brassicae*.

LC-Cutinase sebagai metabolit primer bakteri *E. coli* mutan memiliki struktur 3D seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Struktur 3D LC-Cutinase pada *E. coli*, organisme hasil rekayasa genetik, yang serupa dengan struktur LC-Cutinase pada *Thermobifida alba* (Sulaiman et al, 2014).

Enzim LC-Cutinase berfungsi dalam proses

pemecahan asam lemak, pendegradasian PCL (*Polycaprolactone*), dan plastik jenis PET. Proses pemecahan molekul atau senyawa oleh LC-Cutinase dapat berlangsung secara optimal pada pH 8,5 dan suhu 50 °C (Sulaiman et al, 2014). Menurut Fecker et al (2018), *E. coli* mutan yang mengekspresikan PETase dari *I. sakaiensis* juga memiliki kemampuan degradasi sampah plastik PET. Enzim PETase lebih unggul dibandingkan LC-Cutinase karena suhu optimal kerja enzim berada pada suhu kamar atau pada rentang 20-40 °C. Berdasarkan uraian tersebut dapat diketahui bahwa *Pseudomonas spp.*, *Ochrobactrum spp.*, *I.*

- sakaiensis*, *Brevibacillus* spp., *Rhodococcus* spp., dan *Bacillus* spp. memiliki kemampuan untuk mendegradasi plastik. Jenis plastik dan waktu yang dibutuhkan untuk proses degradasi berbeda-beda sesuai dengan jenis bakterinya. Berdasarkan waktu pendegradasian dan kondisi yang dibutuhkan untuk proses degradasi secara optimal, bakteri *I. sakaiensis* dan *E. coli* mutan pembawa gen pengkode PETase lebih efektif sebagai agen hayati pendegradasi sampah untuk mengatasi permasalahan limbah sampah plastik karena memiliki kemampuan degradasi plastik 5-120 kali lebih cepat dari bakteri lainnya melalui sekresi enzim PETase yang memiliki aktivitas optimal pada rentang suhu 20-40°C.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Duran R, Ülfet V, Betül A dan Ümit NB. (2009) : *Ochrobactrum anthropi* Bacteremia in a Preterm Infant with Meconium Peritonitis, *International Journal of Infectious Diseases*, **13**, e62.
- Fadlilah FR dan Shovitri M. (2014) : Potensi Isolat Bakteri *Bacillus* dalam Mendegradasi Plastik dengan Metode Kolom Winogradsky, *Jurnal Teknik POMITS*, **3**, E40 – E42.
- Fecker T, Pablo GD, Felipe E, Yoshie N, Marcos S, Loreto PP dan César ARS. (2018) : Active Site Flexibility as a Hallmark for Efficient PET Degradation by *I. sakaiensis* PETase, *Biophysical Journal*, **114**, 1303 – 1309.
- Hasana AR, Ayik R dan Fifteen AF. (2013) : Analisis HKSA dan *Docking* Aktivitas Inhibisi Turunan HEPT terhadap Enzim *Reverse Transcriptase* HIV, *Jurnal Pustaka Kesehatan*, **1**, 45.
- Liu B, Lihui H, Liping W, Tao L, Changcheng L, Huayi L, Yunzi L dan Rui B. (2018) : Protein Crystallography and Site-Direct Mutagenesis Analysis of The Poly(ethylene terephthalate) Hydrolase PETase from *Ideonella sakaiensis*, *European Journal of Chemical Biology (ChemBioChem)*, **19**, 1472 – 1473.
- Nanda S dan Sahu SS. (2010) : Biodegradability of Polyethylene by *Brevibacillus*, *Pseudomonas*, and *Rhodococcus* spp., *New York Science Journal*, **3**, 96 – 97.
- Nur M. (2009) : Pengaruh Cara Pengemasan, Jenis Bahan Pengemas, dan Lama Penyimpanan terhadap Sifat Kimia, Mikrobiologi, dan Organoleptik Sate Bandeng (*Chanos chanos*), *Jurnal Teknologi Industri Hasil Pertanian*, **14**, 7.
- Panda AK, Satpal SB, Surajit DM, N Senthil K, G. Gurusubramanian dan Ashok KP. (2014) : *Brevibacillus* as a Biological Tool: a Short Review, *Antonie van Leeuwenhoek*, **105**, 623 – 627.
- Prasetyo H, Rudhiyanto R dan Ilham EF. (2015) : Mesin Pengolahan Limbah Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Alternatif, *e-Proceedings PIMNAS Program Kreativitas Mahasiswa Teknologi*.
- Riandi MI, Retno K dan Sang Ketut S. (2017) : Potensi Bakteri *Pseudomonas* sp. dan *Ochrobactrum* sp. yang di Isolasi dari Berbagai Sampel Tanah dalam Mendegradasi Limbah Polimer Plastik Berbahan Dasar High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE), *Jurnal Simbiosis*, **5**, 58 – 62.
- Roth C, Ren W, Thorsten O, Johannes T, Christina F, Wolfgang Z dan Norbert S. (2014) : Structural and Functional Studied on Thermostable Polyethylene Terephthalate Degrading Hydrolase from *Thermobifida fusca*, *Appl Microbiol Biotechnol*, **98**, 7815 – 7816.
- Sejati K. (2009) : *Pengolahan Sampah Terpadu dengan*

- Sistem Node, Sub Point, dan Center Point.*
Yogyakarta : Kanisius.
- Sriningsih A dan Shovitri M. (2015) : Potensi Isolat Bakteri *Pseudomonas* sebagai Pendegradasi Plastik, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **4**, E-67 – E-69.
- Subekti S. (2010) : Pengelolaan Sampah Rumah Tangga 3R Berbasis Masyarakat, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*.
- Sulaiman S, Dong-Ju Y, Eiko K, Yuichi K dan Shigenori K. (2014) : Crystal Structure and Thermodynamic and Kinetic Stability of Metagenome – Derived LC-Cutinase, *Biochemistry*, **53**, 1858 – 1859.
- Sulistinah N, Rini R dan Bambang S. (2016) : Potensi *Rhodococcus Pyridinovorans* GLB5 sebagai Biokatalis dalam Konversi Senyawa Methyl Sianida dan Phenil Sianida, *Berita Biologi*, **15**, 43.
- Surono UB dan Ismanto. (2016) : Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya, *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal Universitas Janabadra*, **1**, 35.
- Surono UB. (2013) : Berbagai Metode Konservasi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak, *Jurnal Teknik*, **3**, 34.
- Sutrisnawati NK dan Purwahita AAARM. (2018) : Fenomena Sampah dan Pariwisata Bali, *Jurnal Ilmu Hospitality Management*, **9**, 51.
- Tanasupawat S, Toshihiko T, Shosuke Y, Kazumi H dan Kohei O. (2016) : *Ideonella sakaiensis* sp. nov., Isolated from a Microbial Consortium that Degrades Poly(Ethylene Terephthalate), *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, **66**, 2814 – 2815.
- Treviño AL, Gerardo GS, Raúl RH dan Cristóbal NA. (2012) : Microbial Enzymes Involved in Polyurethan Biodegradation : A Review, *J Polym Environ*, **20**, 261.
- Victoria AV. (2017) : *Kontaminasi Mikroplastik di Perairan Tawar*, Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Warganegara E, Ety A dan Ryan A. (2012) : Identifikasi Bakteri Penyebab Infeksi Luka Operasi (ILO) Nosokomial pada Ruang Rawat Inap Bedah dan Kebidanan RSAM di Bandar Lampung, *Prosiding Seminar Nasional, Sains, Mipa, Informatika dan Aplikasi*, **3**, 344.