



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Zeily Nurachman

**MIKROALGA LAUT TROPIS
SEBAGAI SUMBER PENGHASIL MINYAK LAUT**

28 Oktober 2016
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
28 Oktober 2016

Profesor Zeily Nurachman

**MIKROALGA LAUT TROPIS
SEBAGAI SUMBER PENGHASIL MINYAK LAUT**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: MIKROALGA LAUT TROPIS SEBAGAI SUMBER PENGHASIL
MINYAK LAUT
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 28 Oktober 2016.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis
Data katalog dalam terbitan

Zeily Nurachman
MIKROALGA LAUT TROPIS SEBAGAI SUMBER PENGHASIL MINYAK LAUT
Disunting oleh Zeily Nurachman

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2016
vi+36 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-8468-98-5
1. Teknologi 1. Zeily Nurachman

KATA PENGANTAR

Sebagai negara maritim terbesar di dunia, Indonesia memiliki wilayah dengan panjang 5.200 km dan lebar 1.870 km. Namun, kekayaan sumber daya alam yang dimiliki Indonesia khususnya sumber daya hayati mikroalga laut tropis belum dikelola seoptimal mungkin. Oleh karena itu, perlu usaha keras untuk meningkatkan industri kelautan berbasis mikroalga yang memberikan nilai tambah tinggi untuk mencukupi kebutuhan minyak dalam negeri.

Mikroalga merupakan tumbuhan air seukuran plankton yang sangat efisien dalam mengubah energi matahari menjadi energi kimia dalam bentuk biomassa melalui fotosintesis. Mikroalga mengubah karbondioksida, air, dan nutrisi lain menjadi minyak dengan produktivitas (jumlah minyak per satuan luas per satuan waktu) mencapai 30 kali lebih tinggi dibandingkan dengan produktivitas tanaman darat penghasil minyak.

Pada orasi ilmiah ini, penulis memulai dengan paparan pemanenan energi, studi forensik mikroalga mikroalga laut tropis, biomassa alga untuk sumber minyak nabati, dan produk bernilai lain dari alga. Penulis berharap orasi ilmiah ini dapat membuka wawasan dan memberi inspirasi baru. Semoga ke depan, Indonesia benar-benar dapat mewujudkan diri sebagai negara penghasil laut terbesar di dunia.

Bandung, 28 Oktober 2016

Zeily Nurachman

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. MEMANEN ENERGI MATAHARI	2
3. IDENTIFIKASI FORENSIK MIKROALGA LAUT TROPIS	7
4. BIOMASSA ALGA UNTUK SUMBER MINYAK NABATI	10
5. PRODUK BERNILAI LAIN DARI ALGA	15
6. UCAPAN TERIMA KASIH	20
DAFTAR PUSTAKA	21
CURRICULUM VITAE	23

MIKROALGA LAUT TROPIS SEBAGAI SUMBER PENGHASIL MINYAK LAUT

1. PENDAHULUAN

Gagasan untuk memulai riset mikroalga sebagai sumber organisme penghasil minyak laut muncul dalam suatu diskusi kecil ketika penulis sedang melakukan riset *postdoc* di Universitas Groningen pada 2006. Ini didasarkan atas laporan Departemen Energi, Amerika Serikat yang telah memulai riset penggunaan tanaman air sebagai sumber energi sejak 1978 melalui *the Aquatic Species Program* (Sheehan dkk., 1998). Bahkan pada perkembangan selanjutnya, Departemen Energi, Amerika Serikat telah menyusun peta jalan teknologi bahan bakar hayati yang berasal dari alga (Ferrel dan Sarisky-Reed, 2010).

Tidak ada kata terlambat untuk memulai riset mikroalga sebagai sumber minyak nabati baru di Indonesia, mengingat segala keperluan mendasar untuk pengembangan mikroalga laut tropis sebagai penghasil minyak yang dimulai dari sumber plasma nutfah mikroalga laut tropis, teknologi budidaya mikroalga, teknologi pemanenan biomassa dan ekstraksi minyak dari sel, hingga teknologi konversi bahan bakar hayati alga dapat dikembangkan secara mandiri. Bahkan, jika Indonesia diembargo pun, Indonesia masih mampu melakukannya secara mandiri.

Eksplorasi mikroalga laut tropis untuk sumber bahan bakar hayati baru di Kelompok Keilmuan (KK) Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Teknologi Bandung (ITB),

diinisiasi oleh dana riset yang bersumber dari Kementerian Pendidikan Nasional, Republik Indonesia melalui Program Beasiswa Unggulan, dan dari *Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture – Seed Fund for Strategic Research and Training Program (SEARCA – SFRT)*. Hasil riset tersebut dipaparkan dalam orasi ilmiah ini.

2. MEMANEN ENERGI MATAHARI

Berbicara mengenai energi terbarukan tidak lepas dari bahasan sumber yang berasal dari energi matahari baik dalam bentuk paparan cahaya maupun dalam bentuk panas. Energi foton matahari tersebut dapat dimanfaatkan langsung misalnya dengan menggunakan perangkat sel surya (menjadi arus listrik), pengumpul termal matahari (untuk pemanas air), dan pembangkit listrik tenaga matahari, atau secara tidak langsung dengan mengubah energi foton tersebut menjadi energi kimia melalui fotosintesis yang hasilnya disimpan dalam bentuk biomassa. Bumi (daratan, lautan dan udara) menyerap 70% energi yang dipancarkan oleh matahari yang setara dengan daya 170 ribu terrawatt (1 terra = 1 trilyun). Ini berarti, populasi dunia tinggal di bawah paparan sinar matahari pada tingkat 150–300 watt per meter persegi, atau 3,5–7,0 kWh/m²/hari.

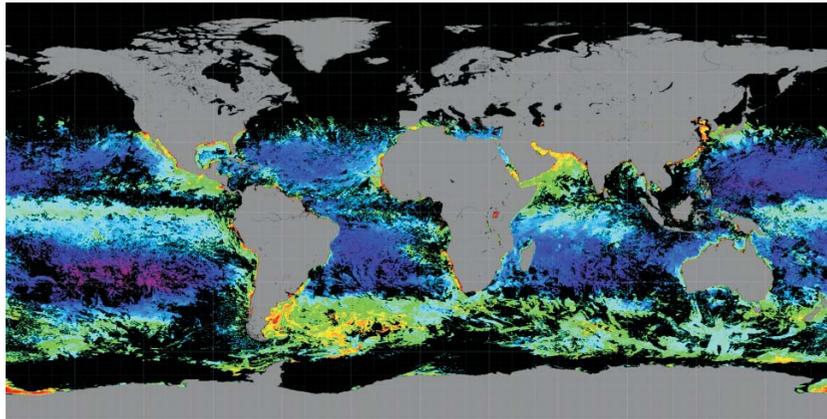
Lautan yang menutupi 71% dari luas permukaan bumi menyerap radiasi matahari lebih banyak dibandingkan dengan daratan dan udara. Energi radiasi matahari yang diserap laut tersebut digunakan untuk menguapkan air laut sehingga menimbulkan konveksi yang menghasilkan fenomena atmosfer seperti angin, badai puting beliung, dan antisiklon (yang kesemuanya dapat menjadi sumber energi terbarukan). Sementara

itu, uap air yang mengembun dan turun sebagai air hujan yang ditampung dalam kolam, waduk, atau danau juga dapat menjadi sumber energi terbarukan. Selain itu, tanaman berklorofil mengubah energi radiasi matahari menjadi energi kimia yang tersimpan dalam biomassa yang menjadi umpan untuk pembentukan bahan bakar fosil (minyak bumi) dan juga minyak nabati.

Dari energi matahari keseluruhan yang diserap (3,85 juta exajoule per tahun, 1 exa = 1 quintiliun atau 10¹⁸), fotosintesis menyerap 3 ribu exajoule per tahun yang tersimpan dalam bentuk biomassa (10 milyar ton karbon terasimilasi). Mikroalga merupakan tanaman berukuran renik yang paling dominan melakukan fotosintesis di perairan. Mikroalga atau disebut juga sebagai fitoplankton yang berukuran 1–100 µm mendiami segala bentuk perairan mulai dari air tawar, air payau, hingga air laut. Habitat mikroalga tersebar mulai dari area tropis hingga area kutub baik dalam wujud mengambang di perairan, menempel pada permukaan benda apapun yang terdapat dalam perairan, atau mengendap pada dasar perairan. Sebaran mikroalga di perairan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi, cahaya matahari, kadar karbondioksida, predator, dan patogen (Gambar 1).

Sel mikroalga berbentuk seragam yang tumbuh secara individu tunggal atau secara berkoloni. Tidak seperti tanaman tingkat tinggi, mikroalga tidak memiliki akar, batang dan daun. Karena bentuk struktur sel yang sangat sederhana, mikroalga memiliki kemampuan untuk menyerap air, karbondioksida dan nutrisi lain untuk melakukan fotosintesis dengan sangat efisien dan efektif. Mikroalga menghasilkan

setengah dari jumlah oksigen atmosfer dan secara bersamaan mengurangi gas rumah kaca (karbondioksida).



Gambar 1: Sebaran mikroalga di perairan pada Desember 2010. Sumber: NASA

Sekurang-kurangnya ada empat jenis mikroalga yang kelimpahannya paling banyak ditemukan di segala bentuk perairan. Pertama adalah diatom (*Bacillariophyceae*). Alga ini mendominasi fitoplankton lautan, dan juga ditemukan dalam air tawar dan air payau. Diatom memiliki dinding sel yang dibangun dari silika terpolimerisasi yang disebut frustul. Diatom menyimpan karbon dalam bentuk minyak alami atau sebagai polimer karbohidrat. Kedua adalah alga emas (*Chrysophyceae*). Alga ini mirip dengan diatom dalam hal pigmentasi dan komposisi biokimia. Mereka memiliki sistem pigmen fotosintesis yang kompleks sehingga tampak berwarna kuning, coklat, atau jingga. Alga ini umumnya ditemui pada air tawar dan menyimpan karbon dalam bentuk minyak alami dan karbohidrat. Ketiga adalah alga hijau (*Chlorophyceae*). Alga hijau ini

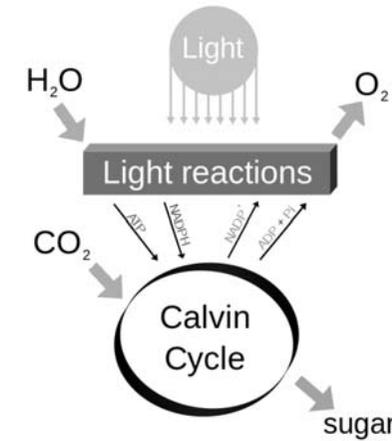
dijumpai berlimpah pada air tawar dalam bentuk sel tunggal atau sebagai koloni. Tanaman ini merupakan nenek moyang dari evolusi tanaman tingkat tinggi. Alga hijau menyimpan karbon dalam bentuk pati, atau minyak pada kondisi tertentu. terakhir adalah alga hijau biru (*Cyanophyceae*). Struktur dan organisasi alga ini sangat dekat dengan bakteri. Alga hijau biru ini berperan sangat penting dalam menangkap nitrogen dari udara dan menyimpannya dalam bentuk protein.

Pada kondisi tertekan oleh intensitas cahaya tinggi atau kekurangan nutrisi, beberapa jenis mikroalga menyimpan lipid netral (triasil gliserol, TAG) sebagai senyawa karbon simpanan utama. Bahkan, beberapa spesies alga secara alami dapat menyimpan TAG hingga 70% dari massa keringnya dan menunjukkan efisiensi fotosintesis dan produksi lipid dibandingkan dengan tanaman darat. Pemahaman mengenai jalur metabolisme dan proses untuk menghasilkan lipid dan karbohidrat sangat penting untuk memproduksi bahan bakar hayati.

Secara teoritis, maksimum energi matahari yang dapat diubah menjadi biomassa adalah 9%. Bila alga dibudidayakan melalui fotosintesis, efisiensi fotosintesis sangat penting untuk menentukan produktivitasnya, laju pertumbuhan, dan produksi biomassa. Jumlah biomassa mikroalga seringkali diukur dengan dari kandungan konsentrasi klorofil *a* yang dinyatakan dalam nilai indeks potensial produksi (Nelson dan Yocum, 2006). Fotosintesis berlangsung pada organel kloroplas, dimana dalam membran tilakoidnya terdapat protein-protein yang berperan penting untuk memanen energi cahaya (reaksi terang), dan stroma sebagai tempat untuk mensintesis gula glukosa (reaksi gelap). Pada fotosintesis, reaksi

terang (serangkaian reaksi oksidasi air dengan bantuan energi foton dan menghasilkan energi kimia yang disimpan dalam bentuk ATP (adenosin trifosfat) dan NADPH (nikotinamid adenin dinukleotida fosfat)) dan reaksi gelap atau siklus Calvin (reaksi penangkapan karbondioksida dan membentuknya menjadi glukosa yang digerakkan oleh ATP dan NADPH (Gambar 2).

Selama reaksi terang, dua tahap fundamental perubahan energi foton menjadi energi eksiton tinggi. Pertama, pemanen dan pengantaran energi foton dilakukan oleh kompleks pemanen cahaya (LHC, suatu kompleks protein yang berperan sebagai antena fotosistem. LHC merupakan protein membran tilakoid khas yang secara kasar mengikat setengah klorofil dalam kloroplas. LHC dikarakterisasi oleh warna hijau gelap akibat kandungan tinggi klorofil dan karotenoid khususnya β -karoten, lutein, neoxantin, violaxantin, dan zeaxantin. Dinamika keadaan terksitasi karotenoid memainkan peranan penting dalam pemanenan energi foton. Kedua, eksitasi elektron pada pusat reaksi fotosistem II diidentifikasi oleh pemisahan muatan yang digerakkan oleh cahaya. Kekosongan elektron yang terjadi pada pusat reaksi fotosistem II diisi oleh elektron hasil oksidasi air. Melalui reaksi berantai, aliran elektron yang tereksitasi tersebut digunakan untuk mensintesis NADPH dan ATP.



Gambar 2: Fotosintesis. Sumber: <http://en.wikipedia.org>

Bila terpapar oleh intensitas cahaya tinggi, fotosistem mikroalga telah dilengkapi dengan sistem untuk mencegah kelebihan absorpsi foton yang mengakibatkan kerusakan oksidatif. Sebagian besar sinar datang yang diserap dibuang kembali dalam bentuk panas. Walaupun, pada kondisi intensitas cahaya tertentu fotoinhibisi dan reduksi fotosintesis tidak dapat dielakkan. Upaya untuk mengatasi hal ini dilakukan dengan cara mengurangi ukuran antena klorofil sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan cahaya.

Pada reaksi gelap, asimilasi karbon berlangsung menggunakan potensial kimia dalam bentuk NADPH dan ATP yang dari reaksi terang. Di sini, karbondioksida bereaksi dengan ribulosa-1,5-bifosfat dengan bantuan biokatalis rubisco (ribulosa-1,5-bifosfat karboksilase) menghasilkan 3-fosfoglisarat, yang kemudian secara bertahap diubah

menjadi glukosa. Molekul glukosa disimpan dalam bentuk sukrosa atau pati sebagai cadangan makanan, atau untuk membuat selulosa untuk membangun dinding sel. Pada kondisi tertentu, glukosa diubah menjadi lipid (sebagai simpanan makanan).

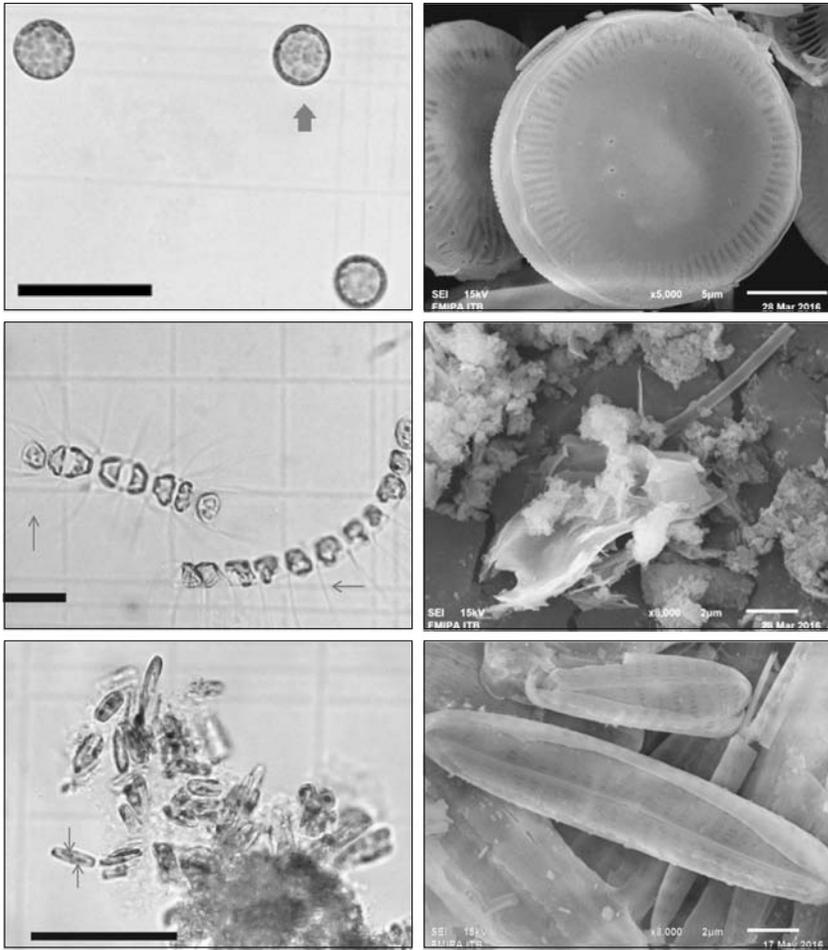
3. IDENTIFIKASI FORENSIK MIKROALGA LAUT TROPIS

Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki kawasan perairan dengan karakteristik yang sangat beragam. Keberadaan muara-muara sungai baik dari pulau-pulau yang ada maupun dari benua dan juga pertemuan dua samudera besar membawa nutrien-nutrien penting seperti fosfat, nitrat, nitrit, amonium, dan silikat untuk kesehatan perairan khususnya mikroalga. Selain itu, letak Indonesia yang strategis di kawasan tropis di mana sinar matahari tersedia berlimpah sepanjang sepanjang tahun menjadi kawasan yang sangat ideal untuk budidaya mikroalga. Sayangnya, data koleksi dan sebaran mikroalga kita tidak rapi sehingga klaim dan pencurian mikroalga laut tropis oleh warga negara lain sangat mudah terjadi. *National Center for Marine Algae and Microbiota*, suatu institusi yang mengoleksi mikroalga di Amerika Serikat, mengenakan biaya mulai \$175 hingga \$750 yang bisa jadi satu di antaranya berasal dari kawasan kita (<https://ncma.bigelow.org/ccmp1587>). Ini bisa merugikan kita terlebih mikroalga bisa menjadi sumber ekonomi potensial seperti untuk bahan bakar, pangan, dan obat-obatan. Oleh karena itu, metode forensik cepat untuk identifikasi mikroalga laut tropis perlu dikembangkan.

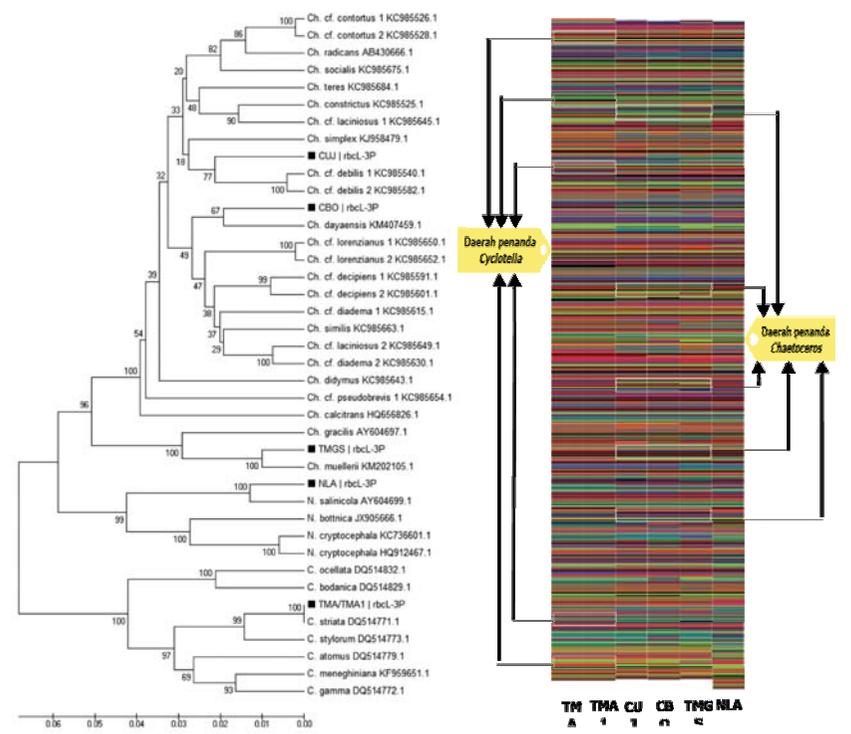
Bekerjasama dengan Dr. Yanti Rachmayani (KK Biokimia, FMIPA,

ITB) dan Drs. Sutomo (Pusat Penelitian Oseanografi (PPO), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), identifikasi kode batang DNA (*DNA barcoding*) mikroalga laut tropis berdasarkan gen penanda spesifik sedang dikembangkan Gambar. Gen penanda tersebut adalah *rbcl-3P* (menyandi daerah ujung-3' subunit besar ribulosa 1,5-bifosfat karboksilase), LSU D2/D3 (menyandi daerah D2 dan D3 RNA ribosom 28S), dan 18S rDNA area V4 (menyandi area V4 RNA ribosom 18S). Salah satu contoh model, mikroalga yang diuji forensik adalah jenis diatom (Gambar 3) (Stiawan, 2016). Ke depan, informasi data sidik DNA dan sidik sel diatom laut tropis ini dapat menjadi rujukan asal-usul mikroalga beserta produk-produk yang dihasilkan.

Sidik DNA diatom yang ditampilkan dalam bentuk kode batang DNA di atas (Gambar 4) memberikan informasi urutan-urutan nukleotida secara ringkas dan khas yang menjadi dasar forensik untuk penentuan asal usul diatom. Dari sekira 800 pb fragmen *rbcl-3P*, diatom laut tropis Indonesia dari genus *Cyclotella* memiliki lima daerah sidik DNA spesifik yang tidak ditemukan pada basis data diatom yang tersedia. Sementara itu, diatom laut tropis dari genus *Chaetoceros* juga memiliki daerah sidik DNA khas pada *rbcl-3P* yang sangat berbeda dari genus *Cyclotella*. Dengan demikian, diatom dapat disidik dengan cepat melalui pemindaian kode batang DNANYa. Ini mirip identifikasi cepat barang-barang dagangan di toko-toko modern melalui pemindaian nomor kode batang dari barang yang bersangkutan.



Gambar 3. Contoh diatom dari perairan tropis. Citra mikroskop cahaya, skala batang 50 µm (kiri) dan citra mikroskop elektron pemindai (kanan). Sumber: Stiawan,2016



Gambar 4. Pohon filogeni (kiri) dan kode batang diatom berdasar gen penanda rbcL-3P. Sumber: Stiawan, 2016.

4. BIOMASSA ALGA UNTUK SUMBER MINYAK NABATI

Telah diyakini banyak orang bahwa minyak bumi berasal dari fosil tanaman. Metzger dan Largeau (2005) menemukan mikroalga *Botryococcus braunii* menghasilkan hidrokarbon penting yang terkandung dalam dalam minyak bumi. Fakta menunjukkan bahwa negara-negara penghasil minyak bumi berlokasi dekat dengan areal laut/perairan dan

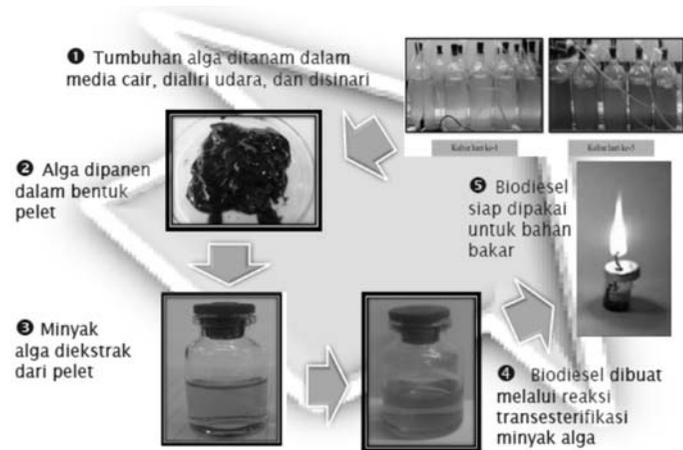
berada pada daerah perlintasan gempa. Indonesia secara geologi masih berumur muda dan minyak bumi yang dihasilkannya kecil kemungkinan berasal dari fosil tanaman berkayu tetapi dari tanaman air. Ini didasarkan atas kenyataan bahwa wilayah asal Indonesia muncul dari laut di mana pergerakan lempeng bumi dan gunung api mengangkat permukaan tanah ke atas. Pergerakan lempeng bumi melalui gempa tektonik menjebak dan menekan sedimen air laut yang mengandung biomassa tanaman air terutama alga ke dalam lapisan tanah membentuk lapisan minyak. Di laboratorium, demonstrasi pengeluaran minyak dapat ditunjukkan dengan “menggencet” biomassa mikroalga.

Mikroalga menempati seluruh lapisan perairan dengan jumlah yang sangat banyak. Mikroalga yang merupakan organisme fotosintetik bersel tunggal mengandung kadar minyak tinggi yang tersimpan dalam badan minyak dan terdistribusi dalam sitoplasma. Itu sebabnya, mikroalga (baik yang hidup maupun yang mati) menjadi bahan baku utama pembentukan bahan minyak bumi. Mikroalga mengakumulasi lipid yang berlangsung pada saat pertumbuhannya melambat (pada fase stasioner). Minyak yang diperoleh dari mikroalga berwarna kuning, dan warna kehijauan tampak pada saat minyak mengandung klorofil. Minyak dari mikroalga yang dipopulerkan dengan istilah minyak laut (Nurachman, 2013) memiliki kandungan TAG (seperti palmitat-oleat-palmitat, palmitat-oleat-oleat, palmitat-oleat-linoleat, stearat-oleat-oleat) dan asam lemak bebas (baik asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh tunggal, asam lemak tak jenuh jamak).

Ada lima tahap untuk membuat biodisel dari mikroalga (Gambar 5).

Tahap pertama adalah menanam mikroalga untuk mendapatkan biomassa sebanyak mungkin. Mikroalga cukup ditanam dalam medium pertumbuhan yang mengandung mineral-mineral yang diperlukan, disinari dengan lampu atau sinar matahari langsung, dan dialiri udara untuk memasukkan karbondioksida sebagai bahan baku fotosintesis. Tahap kedua, tanaman yang sudah cukup umur dipanen hingga diperoleh pelet sel. Yang menarik dari bercocok tanam mikroalga adalah lama waktu pertumbuhan hingga sel dapat dipanen berlangsung sangat singkat, sekira seminggu (sebagai pembanding sawit memerlukan waktu sekira 4 tahun). Selanjutnya pada tahap ketiga, minyak alga dikeluarkan dari pelet sel. Pada tahap keempat, biodisel diproduksi dari reaksi transesterifikasi minyak alga. Akhirnya, biodisel yang dihasilkan siap dipakai.

Hasil riset Tim Riset Alga dari Laboratorium Biokimia, FMIPA, ITB yang bekerjasama dengan Dr. Gede Suantika, Kelompok Riset Ekologi dan Biosistematik, SITH, ITB, dan Dra. Lily Maria Goretty Panggabean, M.Sc., PPO, LIPI menunjukkan bahwa diatom laut tropis yang ditapis dari perairan Laut Jawa mampu menghasilkan 5 barel minyak per hari dari kultur sebanyak volume kolam renang Saraga ITB atau setara dengan produktivitas minyak 80.000 L/Ha/th (Nurachman dkk., 2012a, 2012b). Ini merupakan angka yang luar biasa tinggi dibandingkan produktivitas sawit yang hanya sebanyak 6.000 L/Ha/th, kelapa 2.700 L/Ha/th, dan jarak 2.000 L/Ha/th (Chisti, 2007).



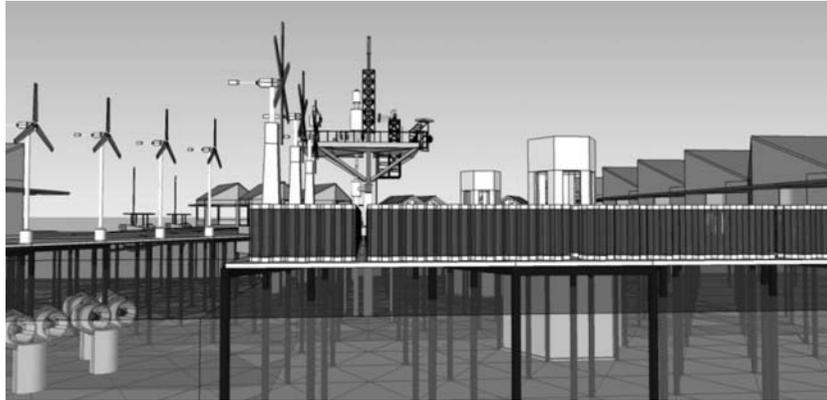
Gambar 5. Proses produksi minyak laut.

Biodiesel diatom laut tropis memiliki viskositas kinematik yang memenuhi standar nasional bahanbakar biodiesel (SNI 04-7182-2006). Minyak laut untuk biodiesel tidak bersaing dengan minyak untuk keperluan pangan. Budidaya mikroalga untuk biodiesel juga dapat mereduksi emisi karbondioksida yang dihasilkan industri. Mikroalga sangat cocok dikembangkan di atas laut, karena tidak berkompetisi dalam penggunaan lahan dan sumber air (Gambar 6). Selain itu, sinar matahari, angin, karbon dioksida, dan mineral yang merupakan kebutuhan dasar untuk keperluan pertumbuhan mikroalga tersedia dalam jumlah sangat berlimpah dan gratis pada daerah tropis. Pengembangan budidaya mikroalga di laut, khususnya di pulau-pulau terdepan, secara tidak langsung akan berdampak pada penjagaan kawasan Nusantara.

Indonesia memiliki area laut lebih dari 600 juta Ha, termasuk area

zona ekonomi eksklusif. Dari luas area tersebut, bila 2 juta Ha area laut (sekira 0,33% dari luas laut total) digunakan untuk budidaya mikroalga, lalu lintas jalur pelayaran untuk orang dan barang tidak akan terganggu. Tiga kawasan beranda depan Indonesia sangat berpotensi untuk pengembangan produksi minyak laut secara berkesinambungan. Kawasan tersebut adalah daerah sekitar Celah Timor, daerah Laut Cina Selatan (bagian utara Kepulauan Natuna), dan daerah Selat Malaka. Oleh karena itu penguasaan wilayah perairan oleh negara dan upaya pengaturan tata ruang kawasan perairan perlu segera dilakukan.

Selain itu, potensi perairan Indonesia bagian dalam juga tidak diragukan lagi. Survey kesehatan laut Indonesia telah dilakukan bersama-sama dengan Dr. Ivonne Milichristi Radjawane dan Dr. Susanna, KK Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB. Karakteristik fisik perairan Teluk Balikpapan, misalnya, telah diidentifikasi memiliki pH, salinitas, dan suhu yang sangat cocok untuk pertumbuhan mikroalga. Ini ditunjukkan dari hasil citra penginderaan jarak jauh perairan tersebut dan juga hasil uji laboratorium mengenai identifikasi jenis mikroalga yang lebih bervariasi. Pasokan mineral dari muara-muara sepanjang pantai di Kalimantan Timur turut menyuburkan perairan Selat Makassar. Gagasan kawasan terpadu yang disampaikan oleh Ir. Priyadi Hadi (seorang arsitek) yang turut serta dalam survey kesehatan laut ini berupa gagasan kawasan gabungan untuk produksi biomassa mikroalga secara massal, pariwisata dan edukasi di perairan Indonesia akan membuka lapangan kerja baru dan menghidupkan pertumbuhan ekonomi kawasan tersebut (Gambar 6).



Gambar 6. Model area produksi biomassa alga di atas panggung pada perairan.

Pertanyaan mendasar, apakah mikroalga dapat diandalkan sebagai sumber bahan baku minyak untuk memenuhi kebutuhan energi nasional? Jawabnya, mengapa tidak. Berikut perhitungan angka produksi kasar jika Indonesia mengembangkan mikroalga untuk biodiesel di atas laut:

1. Panjang pesisir Indonesia kurang lebih 80.000 km. Panjang pesisir pantai yang potensial untuk bercocok tanam mikroalga laut adalah 20.000 km.
2. Lebar dari garis tepi pantai ke arah laut yang dapat menjadi tempat bercocok tanam mikroalga minimal 1 km (kenyataannya di laut dangkal dapat mencapai hingga 6-10 km). Artinya, tersedia areal seluas minimal 20.000 km persegi atau 2 juta Ha.
3. Asumsi angka produktivitas mikroalga di lapangan hanya setara 10 kali produksi sawit, maka total produksi minyak per tahun akan diperoleh sebanyak 120 milyar liter (atau 2 juta barel per hari).

Angka produksi ini sangat signifikan untuk menutupi kekurangan produksi minyak yang saat ini kurang dari 1 juta barel per hari. Bila upaya pengembangan minyak laut ini disertai dengan tambahan sentuhan riset sains dan teknologi, Indonesia sangat mungkin menjadi negara pengeksportir minyak kembali. Suatu analisis tekno-ekonomi dan penilaian siklus hidup produksi minyak dari mikroalga untuk produksi bahan bakar dan pakan pada fasilitas 100 Ha telah dilakukan (Beal dkk., 2015). Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa nilai keekonomian mencapai nilai kompetitif pada harga minyak \$2 per liter. Biaya investasi paling besar terletak pada biaya infrastruktur dan energi. Bila menggunakan sumber energi angin, harga minyak dapat ditekan hingga \$0,75 lebih rendah. Pemanfaatan energi terbarukan seperti angin, gelombang laut, dan matahari akan menurunkan biaya bila produksi minyak dilakukan pada laut lepas, sehingga harga produksi minyak di bawah \$1 per liter bukan merupakan suatu yang mustahil.

5. PRODUK BERNILAI LAIN DARI ALGA

Alga telah menjadi kandidat yang menjanjikan sebagai sumber untuk penghasil minyak. Selain menghasilkan minyak, mikroalga juga menghasilkan bahan yang memiliki nilai ekonomi tinggi seperti protein, karbohidrat, pigmen fotosintesis, bionanosilika, dan asam lemak omega-3. Diatom laut tropis menghasilkan asam lemak total dengan kadar yang berbeda-beda tergantung pada musim (Tabel 1). Pada musim hujan di mana intensitas matahari tidak terlalu tinggi, produk asam lemak jenuh jamak meningkat hingga sekira 25,31%. Sementara itu, produk asam lemak jenuh tunggal hingga 49,32% dihasilkan pada musim kemarau.

Seperti diketahui bahwa asam lemak jenuh merupakan asam lemak esensial dan banyak digunakan dalam industri makanan dan farmasi. DHA (asam dokosaheksaenoat) dan EPA (asam eikosapentaenoat) sangat penting untuk penanganan aterosklerosis, kanker, radang sendi, dan penyakit penuaan seperti Alzheimer. Sementara itu, AA (asam arakhidonat) dan DHA sangat penting untuk pertumbuhan pembuluh otak dan pembuluh darah serta perkembangan retina pada bayi.

Berkerja sama dengan Dr. Santi Nurbaiti (alm), KK Biokimia, FMIPA, ITB, eksplorasi pigmen fotosintesis dari mikroalga laut tropis juga telah dilakukan (Gambar 7). Sebagai organisme fotosintesis, mikroalga memiliki senyawa karotenoid dan klorofil yang berperan dalam penangkapan foton. Senyawa karotenoid (senyawa tetraterpenoid) memiliki peran menyerap energi cahaya yang digunakan untuk fotosintesis dan juga melindungi klorofil dari kerusakan akibat paparan cahaya. Karakteristik karotenoids menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang 400–550 nm (cahaya ungu hingga hijau). Oleh karena itu, senyawa karotenoid berwarna kuning, jingga atau merah. Senyawa karotenoid dibagi menjadi dua kelas, yaitu karoten (murni hidrokarbon) dan xantofil (mengandung oksigen). Contoh senyawa karoten adalah α -, β -, γ -, dan δ -karoten, yang banyak digunakan sebagai antioksidan, bahan pangan tambahan, dan pewarna makanan. Contoh senyawa xantofil adalah violaxantin, fukoxantin, diatoxantin, diadinoxantin, dan anteraxantin. Selama tekanan intensitas tinggi, violaxantin diubah menjadi zeaxantin sebagai bentuk perlindungan cahaya, khususnya antioksidan pelindung lipid. Senyawa karotenoid yang dihasilkan oleh mikroalga telah diujicobakan sebagai bahan pemeka sel surya (Gambar 8). Hasil

penelitian menunjukkan bahwa β -karoten berperan sebagai sebagai antenna penangkap cahaya dalam sel surya (Nurachman dkk., 2015).

Klorofil memiliki karakteristik menyerap cahaya biru-ungu (pita Soret) dan cahaya merah (pita Q). Sebaliknya, klorofil sangat lemah menyerap cahaya hijau, sehingga klorofil memberikan warna hijau. Sifat floresen yang dimiliki oleh klorofil digunakan untuk untuk melakukan pencitraan sebaran mikroalga pada perairan (Gambar 1). Perairan yang dicitra dengan konsentrasi klorofil rendah berwarna biru yang mengindikasikan kepadatan fitoplankton rendah. Sementara, perairan dengan fitoplankton berkepadatan tinggi berwarna tinggi.

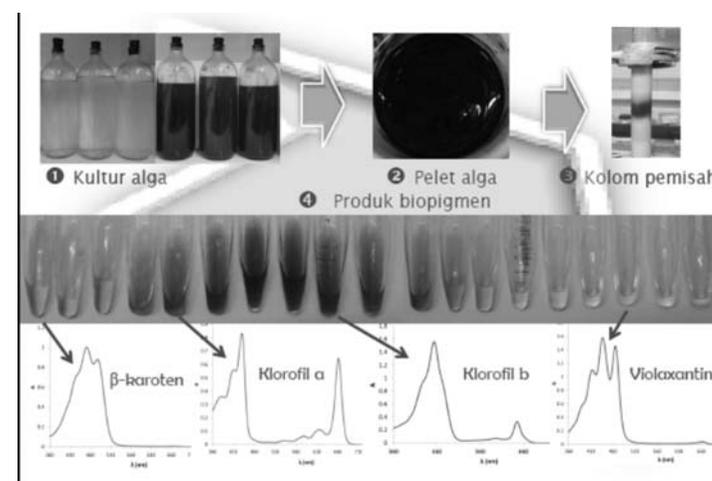
Klorofil memiliki struktur cincin klorin dan mengikat ion magnesium pada pusatnya. Rantai samping seperti rantai fitol terikat pada cincin klorin. Jenis rantai samping ini digunakan untuk membedakan berbagai jenis klorofil seperti klorofil *a*, *b*, *c₁*, *c₂*, *d*, atau *f*. Kemampuan molekul klorofil *a* dalam menyerap cahaya dan melakukan pemisahan muatan membuat senyawa ini dapat dimanfaatkan sebagai agen terapi fotodinamik untuk menghasilkan oksigen radikal yang dapat digunakan untuk membunuh sel kanker. Selain itu, gabungan klorofil dan karotenid (pigmen fotosintesis) juga merupakan bahan aktif yang untuk tabir surya.

Produk bernilai lain yang dapat diperoleh diatom laut tropis adalah frustul, cangkang sel yang dibangun oleh molekul silika (Gambar 9). Keteraturan struktur dan ukuran pori yang sangat halus membuat naonobiosilika frustul diatom dapat dimanfaatkan untuk material katalis zeolit, bahan beton nano, bahan matriks kolom kromatografi, atau bahan untuk penjernih air.

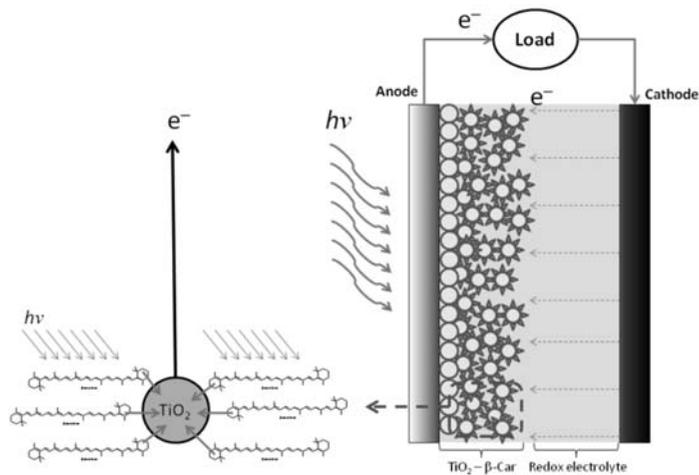
Tabel 1. Komposisi asam lemak total diatom laut tropis

Jenis asam lemak	Musim	
	Hujan	Kemarau
Jenuh (SFA):		
C12:0 (Laurat)	–	1,53 ± 0,78
C14:0 (Miristat)	10,51 ± 0,14	12,92 ± 5,44
C15:0 (Pentadekanoat)	0,39 ± 0,02	0,88 ± 0,21
C16:0 (Palmitat)	27,67 ± 15,80	12,08 ± 8,32
C17:0 (Heptadekanoat)	3,46 ± 0,03	6,17 ± 2,38
C18:0 (Stearat)	1,59 ± 0,62	5,04 ± 0,59
C20:0 (Arakidat)	0,34 ± 0,48	–
C22:0 (Behenat)	1,27 ± 0,38	1,12 ± 0,08
C23:0 (Trikosanoat)	0,17 ± 0,25	–
C24:0 (Lignoserat)	0,52 ± 0,06	0,84 ± 0,24
Total SFA	46,33	41,03
Tak jenuh tunggal (MUFA):		
C14:1 (Miristoleat)	0,50 ± 0,18	0,44 ± 0,62
C15:1 (Pentadekenoat)	0,37 ± 0,22	0,65 ± 0,25
C16:1 (Palmitoleat)	18,24 ± 18,51	42,41 ± 12,23
C17:1 (Heptadekenoat)	0,35 ± 0,14	–
C18:1n9c (Oleat)	2,20 ± 1,75	1,32 ± 0,35
C18:1n9t (Elaidat)	3,48 ± 0,68	4,78 ± 0,98
C20:1 (Eikosenoat)	0,38 ± 0,26	0,16 ± 0,23
C21:0 (Heneikosanoat)	0,41 ± 0,02	–
C22:1n9c (Erusat)	2,15 ± 0,44	–
C22:1n9t (Brussidat)	0,69 ± 0,06	–
Total MUFA	28,36	49,32
Tak jenuh jamak (PUFA)		
C18:2n6c(Linoleat)	5,66 ± 0,51	1,37 ± 1,93
C18:2n6t (Linolelaidat)	0,78 ± 0,22	0,48 ± 0,04
C18:3n3 (α -Linolenat)	0,50 ± 0,12	–
C18:3n6 (γ -Linolenat)	0,87 ± 0,33	–
C20:4n6 (AA, arakhidonat)	0,85 ± 0,94	0,67 ± 0,12
C20:5n3 (EPA, eikosapentaenoat)	4,42 ± 6,25	1,06 ± 0,69
C20:3n3 (Eikosatrienoat)	8,90 ± 10,60	5,76 ± 7,70
C20:2 (Eikosadienoat)	0,36 ± 0,01	–
C22:2 (Dokosadienoat)	1,86 ± 0,59	–
C22:6n3 (DHA, dokosaheksaenoat)	0,62 ± 0,31	0,31 ± 0,44
Total PUFA	25,31	9,65

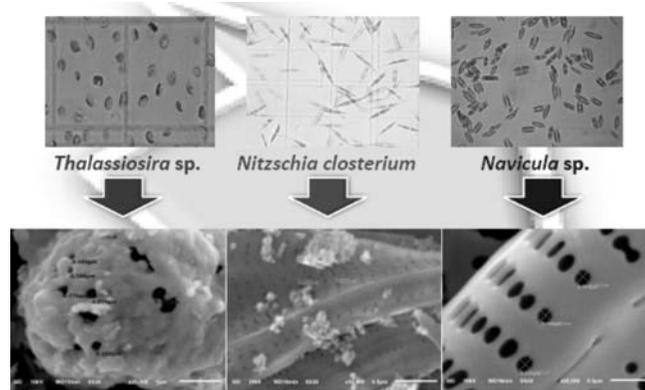
Masih banyak lagi produk kimia selain minyak dapat diperoleh dari biomassa mikroalga. Mikroalga dapat dianggap sebagai "pabrik" bahan kimia. Peningkatan produktivitas mikroalga sangat mungkin dilakukan melalui penerapan teknologi rekayasa genetika. Kesemuanya merupakan langkah awal dari suatu perjalanan panjang untuk mewujudkan industri bahan bakar dari mikroalga. Namun, kita harus bergerak memulainya dari langkah setapak.



Gambar 7. Pigmen fotosintesis dari mikroalga



Gambar 8. β -Keroten sebagai antena sel surya. Sumber: Nurachman dkk., 2015



Gambar 9. Nanobiosilika dari cangkang kulit diatom.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, bahwasannya atas segala karuniaNya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan kepada yang terhormat pemimpin dan pimpinan Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah dihadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pemimpin Senat dan Dekan FMIPA, ITB yang telah mendorong dan memberikan dukungan untuk memperoleh jabatan Guru Besar di ITB. Banyak terima kasih disampaikan kepada Prof. Akhmaloka, Prof. Yana Maolanasyah, Prof. Titania Nugroho (Universitas Riau), dan Prof. Ni Nyoman Tri Puspaningsih (Universitas Airlangga) atas rekomendasi yang diberikan.

Tak lupa pula penulis menghaturkan terima kasih kepada para guru, khususnya Drs. Soegono guru kimia SMAN 1 Pati yang penuh dedikasi dan inspirasi untuk mendorong murid belajar mandiri dan bersemangat kerja, Prof. Muhammad Wirahadikusumah (alm) atas bimbingan dan kesempatan untuk belajar kepadanya, Prof. Nobuo Tanaka (Tokyo Institute of Technology) atas bimbingan selama program doktor. Rekan-rekan KK Biokimia, FMIPA, ITB terima kasih atas kerjasama dan kebersamaannya, khususnya untuk Dr. Dessy Natalia yang menjadi mitra meneliti dan sepeuh biokimia yang telah berpulang Prof. P. Soedigdo, Dr. Purwo Arbianto, Dr. Muliawati Sindumarta, dan Dr. Achmad Saifuddin Noer. Terima kasih kepada mahasiswa bimbingan (sarjana, magister, dan doktor) dan alumni yang telah berdedikasi, bersemangat, dan bekerja

keras untuk menghasilkan karya penelitian yang semoga bermanfaat bagi umat manusia. Terima kasih kepada Dra. Lily Maria Goretty Panggabean, M.Sc. (PPO, LIPI) dan Dr. Gede Suantika (SITH, ITB) atas kerjasama riset dalam topik mikroalga.

Salam hormat dan terima kasih tak terhingga kepada kedua orang, papa Muhizier (alm) yang menjadi pemimpin keluarga yang menjamin segalanya di tengah keterbatasan dan mama Ely Yulidar yang penuh kesabaran dan ketekunan dalam membimbing kami putra-putrinya. Juga terima kasih kepada keluarga besar Zeily (kami berdelapan mempunyai nama depan yang sama) yang memberikan dukungan semangat dan bergotong-royong saling membantu. Untuk istriku, Dra. Jetty Tjahyati terima kasih telah dengan setia dan sabar menemani penulis dalam suka dan duka melewati segala tantangan dalam menjalani kehidupan bersama. Kepada anak-anak kami, Maria Armalita Surti Nurachman, S.Psi, Ibrahim Musa Arif Nurachman, dan Siti Fatimah Latif Nurachman atas kebersamaan khususnya setiap pagi selalu bersama-sama berangkat ke sekolah (kenangan jadi sopir pribadi 20 tahun yang sulit untuk dihapus), doa dan pengertiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Beal C.M., Gerber, L.N. dkk. (2015), Alga biofuel production for fuels and feed in a 100-ha facility: a comprehensive techno-economic analysis and life cycle assessment, *Algal Res.*, 10, 266–279.
- Chisti, Y. (2007), Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.*, 25, 294–306.
- Ferrel, J., Sarisky-Reed, V. (2010), National algal biofuels technology

roadmap, US Department of Energy.

- Metzger, P., Largeau, C. (2005), *Botryococcus braunii*: a rich hydrocarbons and related ether lipids. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 66, 486–496.
- Nelson, N., Yocum, C. (2006), Structure and photosystems I and II, *Ann. Rev. Plant Biol.*, 57, 521–565.
- Nurachman, Z. (2013), Minyak laut, potensi masa depan, *Kompas*, 19 Juli 2013.
- Nurachman, Z., Brataningtyas, D.S., dkk. (2012a), Oil from the tropical marine benthic-diatom *Navicula* sp., *App. Biochem. Biotechnol.*, 168, 1065–1075.
- Nurachman, Z., Hartati, dkk. (2012b), Oil productivity of the tropical marine diatom *Thalassiosira* sp., *Biores. Technol.*, 108, 240–244.
- Nurachman, Z. Hartini, H, dkk. (2015), Tropical marine *Chlorella* sp. PP1 as a source of photosynthetic pigments for dye-sensitized solar cells, *Algal Res.*, 10, 25–32.
- Sheehan, J., Dunahay, T., dkk. (1998), A look back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from algae. US Department of Energy.
- Stiawan, E. (2007), Studi forensik enam galur diatom laut tropis berdasarkan morfologi sel dan gen penanda *rbcL-3P*, *LSU D2/D3*, dan *18S rDNA* daerah *V4*, *Tesis*, Program Studi Magister Kimia, ITB.

CURRICULUM VITAE



Nama : **ZEILY NURACHMAN**
Tmpt. & tgl. lhr. : Pati, 13 Maret 1965
Kel. Keahlian : Biokimia
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung
Nama Istri : Jetty Tjahyati
Nama Anak: 1. Maria Armalita Surti Nurachman
2. Ibrahim Musa Arif Nurachman
3. Siti Fatimah Latif Nurachman

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Doctor of Sciences (D.Sc.), bidang Life Sciences, Tokyo Institute of Technology, Japan, 2000
- Magister Sains (MS), bidang Kimia, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 1991
- Sarjana (Drs), bidang Kimia, Institut Teknologi Bandung, Indonesia 1988.

II. RIWAYAT KERJA di ITB:

- Ketua Program Studi Sarjana Kimia, FMIPA, ITB, 2016-sekarang
- Ketua Kelompok Keilmuan Biokimia, FMIPA, ITB, 2010 dan 2016-sekarang
- Anggota Senat, FMIPA, ITB, 2013 dan 2015-Sekarang
- Ketua Laboratorium Biokimia, FMIPA, ITB, 2001-2004
- Staf Pengajar FMIPA, ITB, 1989-Sekarang.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- Pembina Tingkat I, IV/b, 1 April 2015
- Pembina, IV/a, 1 April 2008
- Penata Tingkat I, III/d, 1 Oktober 2005
- Penata, III/c, 1 Oktober 1998
- Penata Muda TK 1, III/b, 1 April 1995
- Penata Muda, III/a, 1 April 1990
- CPNS, III/a, Maret 1989

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Guru Besar, 1 Desember 2014
- Lektor Kepala, 1 April 2004
- Lektor (in passing), 1 Januari 2001
- Lektor Muda, 1 Juni 1997
- Asisten Ahli, 1 Desember 1994
- Asisten Ahli Madya, 1 Desember 1990

V. KEGIATAN PENELITIAN:

- (2016, Principle Investigator), Penyediaan Bahan Bakar Biodisel dari Mikroalga Laut Tropis untuk Pembangkit Listrik Mini di Pulau Terdepan, National Research Incentives, Ministry of Research, Technology and Higher Education of the Republic of Indonesia
- (2015, Principle Investigator), Development of algal oil production, Program Riset Inovasi, Institut Teknologi Bandung
- (2015, Principle Investigator), Pre feasibility study of production of microalgal biomass for oils, Coordinating Ministry for Maritime

Affairs of the Republic Indonesia.

- (2014, Member) Gene mapping of sucrose synthase from the tropical marine microalgae *Thalassiosira* sp., ITB Research Grant.
- (2013–2015, Member) Production of bio-ethyl-tert-butyl ether, Ministry of Research and Technology of the Republic of Indonesia, National Strategic Incentive Research.
- (2013, Member) Nanoencapsulation of lipase for conversion of crude palm oil into biodiesel. Ministry of Education and Culture of the Republic of Indonesia, Decentralization Research.
- (2012–2014, Principle Investigator) Development of microalgae biomass production as natural oil for food, medicine, and energy purposes. Ministry of Education and Culture of the Republic of Indonesia, MP3EI.
- (2011–2013, Principle Investigator) Standardization of cassava starch, tapioca and their derivatives for food and trading purposes, Indofood Riset Nugraha.
- (2011, Principle Investigator) Initiation of modified cassava starch, ITB Research Grant.
- (2010, Member) Cloning and overexpression of a novel α -amylase gene of *Bacillus aquimaris* MKSC 6.2, ITB Research Grant.
- (2009, Principle Investigator) Screening of local marine microalgae for biodiesel production, SEARCASFRT Program.
- (2008, Principle Investigator) Screening, isolation, and characterization of cellulose from the tropical marine microbes, ITB Research Grant.
- (2007–2009, Principle Investigator) Production of amylase for

textile industry, Ministry of National Education of the Republic of Indonesia, RAPID.

- (2007, Principle Investigator) α -Amylase from the earthworm *Peryonix excavates*, ITB Research Grant.
- (2007, Member) Biochemical characterization of raw starch degrading α -amylase from Indonesian isolates, ITB International Research Grant.
- (2006, Principle Investigator) Isolation of gene encoding fibrinolytic enzymes from the local strain earthworm, ITB Research Grant.
- (2004, Member) Expression of APL1 in *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae*, KNAW, Groningen University, Groningen, the Netherlands.
- (2003, Principle Investigator) Development of rapid detection of fibrinolytic enzymes, Ministry of National Education of the Republic of Indonesia, Fundamental Research Grant.
- (2001, Principle Investigator), Isolation fibrinolytic enzymes from the local strain earthworm, Department of Chemistry, ITB Research Grant.

VI. PUBLIKASI

- **Zeily Nurachman**, Hartini H, Wiwit Ridhani Rahmanyah, Dewi Kurnia, Rahmat Hidayat, Bambang Prijamboedi, Veinardi Suendo, Enny Ratnaningsih, Lily Maria Goretty Panggabean, Santi Nurbaiti (2015), Tropical marine *Chlorella* sp. PP1 as a source of photosynthetic pigments for dye-sensitized solar cells, *Algal Research*, 10: 25–32.

- Dessy Natalia, Keni Vidilaseris, Wangsa T. Ismaya, Fernita Puspasari, Iman Prawira, Khomaini Hasan, Gentur Febriansah, Hjalmar P. Permentier, **Zeily Nurachman**, Toto Subroto, Bauke W. Dijkstra, Soetijoso Soemitro (2015), Effect of introducing a disulphide bond between the A and C domains on the activity and stability of *Saccharomycopsis fibuligera* R64 α -amylase, *Journal of Biotechnology*, 195:8–14.
- Sari Dewi Kurniasih, Almasul Alfi, Dessy Natalia, Ocky Karna Radjasa, **Zeily Nurachman** (2014), Construction of individual, fused, and co-expressed proteins of endoglucanase and β -glucosidase for hydrolyzing sugarcane bagasse, *Microbiological Research*, 169:725–732.
- Sri Widarti, **Zeily Nurachman**, Buchari, Muhammad Bachri Amran (2014), Diaminoalkane as spacer arm between polystyrene and β -cyclodextrin in affinity chromatography for α -amylase separation, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4:709–714.
- Anak Agung Istri Ratnadewi, Muchzainal Fanani, Sari Dewi Kurniasih, Makiko Sakka, Eddy Bagus Wasito, Kazuo Sakka, **Zeily Nurachman**, Ni Nyoman Tri Puspaningsih (2013), β -D-Xylosidase from *Geobacillus thermoleovorans* IT-08: Biochemical characterization and bioinformatics of the enzyme. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170(8):1950–1964.
- Enny Ratnaningsih, Dewi Handayani, Fatiha Khairunnisa, Ihsanawati, Sari Dewi Kurniasih, Bill Mangindaan, Sinta Rismayani, Cica Kasipah, **Zeily Nurachman** (2013), Screening, gene sequencing and characterising of lipase for methanolysis of

- crude palm oil. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170(1):32–43.
- Fernita Puspasari, Ocky Karna Radjasa, Achmad Saefuddin Noer, **Zeily Nurachman**, Yana Maolana Syah, Marc van der Maarel, Lubert Dijkhuizen, Štefan Janecek, Dessy Natalia (2013), Raw starch-degrading α -amylase from *Bacillus aquimaris* MKSC 6.2: isolation and expression of the gene, bioinformatics and biochemical characterization of the recombinant enzyme. *Journal of Applied Microbiology*, 114(1):108–120.
 - **Zeily Nurachman**, Dewi Susan Brataningtyas, Hartati, Lily Maria Goretty Panggabean (2012), Oil from the tropical marine benthic-diatom *Navicula* sp. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 168(5):1065–1075.
 - **Zeily Nurachman**, Hartati, Syahfitri Anita, Etsuroyia Ewidiasari Anward, Gestria Novirani, Bill Mangindaan, Suryo Gandasmita, Yana Maolana Syah, Lily Maria Goretty Panggabean, Gede Suantika (2012), Oil productivity of the tropical marine diatom *Thalassiosira* sp. *Bioresource Technology*, 108:240–244.
 - Anceu Murniati, Buchari, Suryo Gandasmita, **Zeily Nurachman** (2012), Synthesis and characterization of polypyrrole polyphenol oxidase (PPy/PPO) on platinum electrode. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 3(4):855–864.
 - Anceu Muniarti, Buchari, Suryo Gandasmita, **Zeily Nurachman** (2011), Sintesis dan karakterisasi polipirrol pada elektroda kerja kasa baja dengan volumetric siklik (in Bahasa Indonesia).

- Indonesia Journal of Materials Science*, 13(3):210–215.
- Fernita Puspasari, **Zeily Nurachman**, Achmad Saefuddin Noer, Ocky Karna Radjasa, Marc J. E. C. van der Maarel, Dessy Natalia (2011), Characteristics of raw starch degrading α -amylase from *Bacillus aquimaris* MKSC 6.2 associated with soft coral *Sinularia* sp. *Starch/Stärke*, 63(8):461–467.
 - Dessy Natalia, Keni Vidilaseris, Pasjan Satrimafitrah, Wangsa T. Ismaya, Purkan, Hjalmar Permentier, Guntur Fibriansah, Fernita Puspasari, **Zeily Nurachman**, Bauke W. Dijkstra, Soetijoso Soemitro (2011), Biochemical characterization of a glucoamylase from *Saccharomycopsis fibuligera* R64. *Biologia*, 66(1):27–32.
 - **Zeily Nurachman** (2011), Tropical marine microalgae for biodisel production. SEAMEO-SEARCA, Policy Brief Series 3.
 - **Zeily Nurachman**, Lily Maria Goretty Panggabean, Syahfitri Anita (2010), Screening of local marine microalgae for biodisel production. SEAMEO-SEARCA: SEARCA Agriculture and Development, Discussion Paper Series 3.
 - **Zeily Nurachman**, Alfredo Kono, Ocky Karna Radjasa, Dessy Natalia (2010), Identification a novel raw-starch-degrading- α -amylase from a tropical marine bacterium. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 6(4):300–306.
 - **Zeily Nurachman**, Sari Dewi Kurniasih, Ferra Puspitawati, Sarwono Hadi, Ocky Karna Radjasa, Dessy Natalia (2010), Cloning of the endoglucanase gene from a *Bacillus amyloliquefaciens* PSM 3.1 in *Escherichia coli* revealed catalytic triad residues Thr-His-Glu. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 6(4):268–274.

- Qomarudin Helmy, Edwan Kardena, **Zeily Nurachman**, Wisjnuaprpto (2010), Application of biosurfactant produced by *Azotobacter vinelandii* AV01 for enhanced oil recovery and biodegradation of oil sludge. *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE*, 10(1):7–14.
- Keni Vidilaseris, Karina Hidayat, Debbie S. Retnoningrum, **Zeily Nurachman**, Achmad Saifuddin Noer, Dessy Natalia (2009), Biochemical characterization of raw starch degrading α -amilase from the Indonesian marine bacterium *Bacillus* sp. ALSHL3. *Biologia*, 64(6):1047–1052.
- Hera Noviana, **Zeily Nurachman**, Maelita Ramdani, AS Noer (2007), Multiplex PCR for rapid detection of rifampin and Isoniazid resistance in *Mycobacterium tuberculosis* isolated from Bandung, Indonesia. *Microbiology Indonesia*, 1(3):114–118.
- **Zeily Nurachman**, Jatnika Hermawan, Yanti Rachmayanti, Lubna Baradja (2003), A simple way to visualize fibrinolysis in the classroom. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 31(1):16–19.
- **Zeily Nurachman**, Tairo Oshima, Nobuo Tanaka (2003), Domain motion in 3-isopropylmalate dehydrogenase: A strategy to enhance its thermal stability. *Proceedings ITB Sains & Teknologi*, 35A(2):163–177.
- **Zeily Nurachman**, Satoshi Akanuma, Takao Sato, Tairo Oshima, Nobuo Tanaka (2000), Crystal structure of 3-isopropylmalate dehydrogenases with mutations at the C-terminus: crystallographic analyses of structure-stability relationships. *Protein Engineering*, 13(4):253–258.

VII. PATEN

- **Zeily Nurachman**, Sarwono Hadi, M. Bachri Amran, Deana Wahyuningrum (2012) Alat fotobioreaktor dan biokultur, ID P0030250.
- **Zeily Nurachman**, Dessy Natalia, Ocky Karna Radjasa, Sari Dewi Kurniasih, Wiwit Ridhani Rahmadiyah, Proses Pembuatan Tepung Singkong dan Tapioka Termodifikasi. Paten pending P00201506770.
- **Zeily Nurachman**, Yanti Rachmayanti, Sarwono Hadi, Piyadi Hadi, Ahdiar Romadoni, Modul fotobioreaktor sarang tawon, Paten pending.

VIII. PENGHARGAAN

- Piagam Penghargaan Pengabdian 25 Tahun, dari Institut Teknologi Bandung (2015)
- Piagam Penghargaan Karya Inovasi, dari Institut Teknologi Bandung (2015)
- Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya 20 Tahun dari Presiden Republik Indonesia (2014)
- Piagam Penghargaan Dosen Berprestasi Tahun 2012 Bidang Pengabdian kepada Masyarakat Kategori Layanan Jasa Kepakaran, dari Institut Teknologi Bandung (2012)
- Piagam Penghargaan Dosen Berprestasi Tahun 2012 Tingkat Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Bidang Pengabdian kepada Masyarakat, dari Institut Teknologi Bandung (2012)

- Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya 10 Tahun dari Presiden Republik Indonesia (2003)

IX. RISET MIKROALGA PADA YOUTUBE

- <https://www.youtube.com/watch?v=iPNxq35H9A8>
- <https://www.youtube.com/watch?v=LsE7fnTJfdy>
- <https://www.youtube.com/watch?v=b3RWgP-hgFw>

X. BUNKER ASAP PADA YOUTUBE

- <https://www.youtube.com/watch?v=YCQaL5JQkqc>
- <https://www.youtube.com/watch?v=od6BNfH95is>
- https://www.youtube.com/watch?v=Op5bH_tYyk

