

University of Groningen

Unlocking microalgal treasures

Azimatun Nur, Muhamad

DOI:
[10.33612/diss.126441666](https://doi.org/10.33612/diss.126441666)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2020

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):
Azimatun Nur, M. (2020). *Unlocking microalgal treasures: Utilization of palm oil mill effluent as growth medium for the production of value-added microalgal compounds*. [Groningen]: University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.126441666>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Ringkasan

1. Ringkasan

Akhir-akhir ini Indonesia dikenal sebagai produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, diikuti oleh Malaysia dan Thailand. Selama proses produksinya, sekitar 1 ton tandan buah segar (TBS) menghasilkan 0.66 ton limbah cair kelapa sawit (LCKS). Nilai pH dari LCKS curah berkisar 4,0 – 5,0, sementara nilai *chemical oxygen demand* (COD) dan *biological oxygen demand* (BOD) sangat tinggi. Di samping itu, LCKS mengandung nilai total padatan tersuspensi (TSS), total padatan terlarut (TDS) dan padatan tersuspensi volatile (VSS) yang tinggi. Sehingga diperlukan penanganan khusus untuk memenuhi standar baku limbah sebelum LCKS dibuang ke lingkungan. Untuk mengolah limbah ini, beberapa metode kimia, mekanik, dan biologis telah dikembangkan. Namun, jika dibandingkan dengan metode lain, metode biologis lebih ramah lingkungan, lebih murah, dan efisien dari sisi energi.

Selama beberapa dekade, terdapat kecenderungan pemanfaatan limbah cair perkebunan untuk menghasilkan nilai produk yang memiliki ekonomis yang tinggi. Valorisasi adalah proses pemanfaatan material bahan sisa / limbah menjadi produk bernilai tinggi dengan memanfaatkan yeast, bakteri ataupun mikroalga. Secara umum, pemanfaatan mikroalga untuk mengolah limbah cair lebih menguntungkan karena produk mikroalga yang dihasilkan memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibanding yeast atau bakteri. Pada awal project studi PhD, pemanfaatan LCKS untuk media tumbuh mikroalga lebih banyak ditekankan pada biomassa, lipid, dan limbah cair kelapa sawit. Fokus pada produk bernilai tinggi dengan orientasi skala massal masih minim. Sehingga, tujuan dari thesis ini adalah mengisi kekosongan dari pengetahuan ini dengan i) menginvestigasi potensi pertumbuhan beberapa jenis mikroalga pada LCKS dan memonitor produksi produk bernilai tinggi, ii) menginvestigasi beberapa parameter yang berkaitan dengan kondisi lingkungan dan nutrisi dan hubungannya, serta mengoptimasi pemanfaatan LCKS sebagai media tumbuh mikroalga dan produk bernilai tinggi dari mikroalga, iii) menginvestigasi potensi kultivasi mikroalga untuk meningkatkan kualitas LCKS melalui pendekatan warna limbah dan kandungan total fenol. Tujuan-tujuan dari penelitian ini dijabarkan lebih lanjut menjadi beberapa tujuan yang lebih spesifik dalam empat bab.

Pada bab 2, kami mengeksplorasi pemanfaatan LCKS sebagai media tumbuh diatom air laut, *Phaeodactylum tricornutum*, dan menginvestigasi variasi kondisi lingkungan untuk mengoptimalkan produktivitas fucoxanthin pada penyinaran, temperatur, dan kondisi nutrisi yang berbeda. Fucoxanthin yang diproduksi oleh

diatom dapat menghambat kanker, obesitas, dan diabetes. Dalam hipotesis kami, produktivitas fucoxanthin dari *P. tricornutum* yang dibiakkan dalam LCKS tergantung pada kombinasi penyinaran, rasio nutrisi, salinitas, dan temperatur. Pada eksperimen pertama, telah ditentukan level penyinaran pada kondisi optimum di mana diatom dibiakkan pada media sintesis. Hasil penyinaran optimal ini nantinya akan diaplikasikan pada semua eksperimen yang berkaitan dengan pemanfaatan LCKS. Pada eksperimen selanjutnya, fraksi LCKS dan penambahan nutrisi divariasikan guna mengetahui laju pertumbuhan dan produktivitas fucoxanthin yang paling optimal. Box-behken design (BBD) response surface methodology (RSM) digunakan untuk mengoptimasi kombinasi antar kondisi lingkungan dan mengetahui interaksi antara salinitas, temperatur, dan konsentrasi nutrisi pada produktivitas fucoxanthin. Melalui eksperimen ini, kami menemukan bahwa *P. tricornutum* dapat digunakan untuk produksi fucoxanthin skala massal pada 30% LCKS. Dari hasil perhitungan BBD RSM, produktivitas fucoxanthin dipengaruhi oleh temperatur, salinitas, dan penambahan urea. Penambahan fosfor tidak meningkatkan densitas sel dan produktivitas fucoxanthin, sementara penambahan urea mempengaruhi densitas sel dan fucoxanthin. Lebih jauh, kondisi optimal dari produktivitas yakni 85 mg L^{-1} , temperatur 23°C dan salinitas 22-23 PSU.

Pada bab tiga, produksi *sulfated exopolysaccharide* (sEPS), produk samping spesifik yang diproduksi *P. tricornutum*, dipelajari dengan memanfaatkan LCKS sebagai media tumbuh. Pada bidang farmasi, sEPS dari *P. tricornutum* merupakan produk anti pendarahan, antivirus, anti parasit, antitumor, dan hypo kolesterol. Namun, produksi sEPS pada skala besar sangat terbatas karena biaya produksinya yang tinggi. Alternatifnya, kultur mikroalga dalam LCKS untuk produksi sEPS menjanjikan untuk diterapkan karena dapat menurunkan biaya produksi. Lebih lanjut, LCKS yang digunakan sebagai media kultur mikroalga, dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas tanah di perkebunan kelapa sawit karena mengandung sEPS. Mikroalga cenderung memproduksi sEPS pada kondisi stress seperti radiasi berlebih dan suhu yang tinggi sebagai upaya mikroalga menghambat kerusakan sel. Faktor lain seperti kondisi nutrisi dan salinitas juga dilaporkan mempengaruhi produksi sEPS. Sehingga diduga bahwa produksi sEPS oleh *P. tricornutum* yang dibiakkan dalam LCKS akan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan nutrisi. Untuk mengkonfirmasi ini, empat tahap eksperimen telah dilakukan, yakni i) menentukan konsentrasi LCKS optimal untuk pertumbuhan *P. tricornutum*. ii) mempelajari efek penambahan nutrisi terhadap biomassa *P. tricornutum* dan sEPS ketika dibiakkan dalam 30% LCKS, iii) mengaplikasikan BBD RSM untuk mengetahui kondisi optimal dari temperatur, salinitas, dan penambahan urea, serta iv) mempelajari efek penambahan nutrisi terhadap efisiensi penurunan polutan dalam LCKS. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *P. tricornutum* merupakan kandidat yang cocok dalam memproduksi sEPS skala besar dengan memanfaatkan 30% LCKS. Dengan

menggunakan BBD RSM, kami menemukan bahwa interaksi urea tinggi (100 mg L^{-1}) dan temperatur tinggi ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) dapat meningkatkan laju pertumbuhan dan produksi sEPS. Lebih jauh, penambahan urea ke dalam LCKS dapat menurunkan fosfor dengan bantuan *P. tricornutum*.

Pada bab empat, cyanobacterium air payau, *Arthrospira platensis*, dikultur dalam LCKS fraksi tinggi dengan tujuan memperoleh produk pigmen C-phycoyanin yang tinggi yang dipengaruhi oleh metode kultivasi, kondisi lingkungan, dan nutrisi. Seperti yang dilaporkan sebelumnya, LCKS fraksi tinggi dapat digunakan oleh *A. platensis* jika menggunakan mode kultivasi kontinyu. Namun demikian, mode kultivasi tersebut relatif lebih sukar diaplikasikan dalam skala besar. Pada studi ini kami menduga bahwa dengan menggunakan mode kultivasi semi-kontinyu, produktivitas biomassa dan C-phycoyanin dari *A. platensis* menjadi lebih tinggi jika dibiakkan dalam LCKS fraksi tinggi pada kondisi lingkungan dan nutrisi optimum. Untuk mengkonfirmasi hipotesis ini, pendekatan penelitian terstruktur telah dilakukan: pertama, kami menginvestigasi efek interaksi penyinaran dan konsentrasi nitrogen terhadap produktivitas biomassa dan C-PC, dengan menggunakan media standar. Kedua, dilakukan studi tentang laju pertumbuhan dan produktivitas C-PC dari *A. platensis* yang dibiakkan dalam LCKS dengan fraksi yang berbeda. Kemudian, kondisi nutrisi dan lingkungan diinvestigasi lebih lanjut untuk menentukan interaksi antara penyinaran, urea, salinitas, dan konsentrasi LCKS terhadap produktivitas C-PC. Penambahan urea juga dioptimasi seiring kemungkinan terbentuknya racun pada konsentrasi tinggi. Salinitas juga dipotimasi karena LCKS relatif mengandung nilai salinitas yang rendah. Pada eksperimen terakhir, *A. platensis* dikultur dengan menggunakan mode semi-kontinyu dengan mengubah kondisi nutrisi. Pada penelitian ini kami menemukan bahwa penyinaran dan konsentrasi nitrogen adalah faktor utama dalam produktivitas C-PC. Berdasarkan central composite design (CCD) RSM, salinitas optimal diperoleh pada 22.5 PSU, tidak ada inhibisi dengan penambahan urea sampai 813 mg L^{-1} jika menggunakan mode batch. Dengan menggunakan semi-kontinyu, di mana pada stage pertama digunakan 50% LCKS dan 100% POME pada stage kedua, produktivitas C-PC menjadi lebih tinggi jika dibandingkan dengan mode batch dengan penambahan urea, dan hampir sama dengan menggunakan media Zarrouk pada mode batch.

Pada bab lima, kami menginvestigasi pengurangan kandungan fenol dan warna dari LCKS menggunakan *A. platensis*. Berdasarkan pengetahuan kami, informasi mengenai penghilangan warna dan fenol dalam LCKS menggunakan mikroalga sangatlah minim. Pada studi ini, faktor-faktor yang mempengaruhi pengurangan warna dan fenol dari LCKS diinvestigasi, termasuk pengaruh fotodegradasi dan aktivitas mikroalga dengan mengubah variasi konsentrasi fenol awal dari LCKS, penyinaran, fraksi LCKS, penambahan nitrogen eksternal, dan salinitas. Eksperimen kontrol tanpa mikroalga juga telah dilakukan untuk mengetahui

kontribusi fotodegradasi terhadap pengurangan warna dan fenol dalam LCKS. Dari eksperimen ini, kami menemukan bahwa fraksi LCKS mempengaruhi laju pertumbuhan, biomassa akhir, pengurangan COD absolute akhir, dan warna absolute dengan aktivitas *A. platensis*. Berdasarkan factorial design, salinitas, penambahan nitrogen, dan konsentrasi awal LCKS tidak mempengaruhi perubahan warna dari LCKS. Berdasarkan CCD RSM, nilai awal fenol dari LCKS pada penyinaran tinggi dapat meningkatkan laju pertumbuhan sampai 0.45 d^{-1} dan biomassa akhir 400 mg L^{-1} , sementara fenol dapat dihilangkan dengan efisiensi 94%. Aktivitas fotodegradasi berkontribusi secara signifikan terhadap pengurangan fenol dalam LCKS. Namun, aktivitas *A. platensis* untuk mengurangi fenol hanya tinggi jika penyinaran dalam kondisi rendah. Pengurangan kandungan fenol dalam LCKS dapat dimaksimalkan dengan menggunakan kombinasi aktivitas *A. platensis* dan fotodegradasi.

2. Implikasi dan rekomendasi

Minyak kelapa sawit memiliki peran penting dalam industri makanan secara global. Minyak kelapa sawit merupakan minyak dengan nilai ekonomis tertinggi karena produktivitasnya, membutuhkan lahan yang lebih minim, dibanding tumbuhan penghasil minyak lain. Industri perkebunan kelapa sawit memiliki kontribusi sangat besar terhadap pendapatan penduduk di Indonesia, dan juga negara di Asia Tenggara lainnya. Namun, industri ini memiliki beberapa isu yang berkaitan dengan keberlanjutannya, termasuk imbas negatif terhadap lingkungan.

Sejak 2014, baku mutu limbah cair kelapa sawit yang lebih ketat telah dikeluarkan oleh pemerintah untuk mengurangi dampak polusi lingkungan dari industri kelapa sawit. Namun, beberapa industri skala kecil dan menengah masih menggunakan metode pengolahan limbah yang murah dan konvensional, sehingga parameter LCKS tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan. Beberapa industri perkebunan kelapa sawit telah memanfaatkan LCKS dengan tandan buah kosong (TBK) untuk produksi pupuk kompos. Namun, volume LCKS yang terlalu besar tidak sebanding dengan tandan buah kosong yang kecil. Selain itu lamanya waktu pembuatan kompos, dan kebutuhan lahan, masih menjadi kendala dalam pemanfaatan LCKS ini. Beberapa pilihan lain dalam mengolah limbah ini antara lain dengan menggunakan membran filtrasi, evaporasi, dan digestasi menggunakan digester anaerob. Dari beberapa pilihan itu, pengolahan LCKS dengan digester cukup menjanjikan karena selain baku mutu limbah yang lebih baik, juga diperoleh biogas yang dapat dimanfaatkan di industri pengolahan kelapa sawit.

Secara umum, mikroalga dibiakkan dalam limbah cair untuk mendapatkan produk karbohidrat, lipid, dan protein, dengan fokus energi dan pakan. Namun, mikroalga dikenal sebagai produsen komponen bioaktif dengan nilai ekonomis yang tinggi dengan aplikasi yang luas. Dalam thesis ini, kami telah berhasil

mengembangkan diatom air laut, *P. tricornutum*, dalam LCKS untuk memproduksi pigmen fucoxanthin dan produk samping sulfated exopolysaccharida. Produksi C-phycoyanin, antioksidan yang diproduksi dari *A. platensis*, juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan mode semi-kontinyu pada konsentrasi LCKS yang tinggi. Dengan memanfaatkan LCKS sebagai media kultur mikroalga, biaya produksi bioaktif dari mikroalga dapat diturunkan karena media sintesis dapat diganti dengan fraksi LCKS. Lebih lanjut, LCKS yang telah digunakan sebagai media kultur *P. tricornutum*, juga mengandung sEPS yang berguna untuk meningkatkan mutu tanah di area penanaman kelapa sawit.

Pemanfaatan LCKS untuk media tumbuh mikroalga masih memiliki beberapa kendala. Pertama, kandungan organik dalam LCKS seperti tanin, lignin, dan fenol dapat berdampak negatif terhadap laju pertumbuhan mikroalga. Warna gelap dari LCKS dapat menghambat penetrasi cahaya, yang sangat penting dalam pertumbuhan mikroalga. Lebih lanjut, keberadaan bakteri dapat mempengaruhi produktivitas biomassa dari mikroalga. pH dan salinitas dari LCKS juga perlu diatur sebelum dapat dimanfaatkan sebagai media tumbuh mikroalga jenis tertentu seperti *A. platensis* dan *P. tricornutum*. Logam berat yang terkandung di dalam LCKS juga dapat menurunkan kualitas produk sehingga kurang aman dikonsumsi dan digunakan sebagai produk farmasi.

Namun demikian, beberapa kondisi yang telah disebutkan dapat ditanggulangi dengan menggunakan beberapa pendekatan preventif seperti penurunan kandungan COD, warna, logam berat, yang telah dijelaskan pada penelitian pendahulu. Untuk meningkatkan salinitas, kultivasi dapat direlokasi di area yang berdekatan dengan laut. Dan juga limbah LCKS dapat diblending dengan limbah industri yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan garam tinggi seperti industri kimia. Lebih jauh lagi, perlu ditentukan tipe kultivasi yang sesuai seperti kultur terbuka atau tertutup. Jelas masih banyak pekerjaan yang perlu dilakukan untuk mengoptimasi produk bernilai tinggi dari mikroalga yang dibiakkan dalam LCKS. Optimisasi dapat dilakukan dengan mengkombinasikan beberapa parameter seperti pretreatment, pemilihan spesies, mode kultur, kondisi kultur, rasio nutrisi, sehingga volarisasi LCKS menjadi benar-benar fisibel.

3. Kesimpulan

Dapat diprediksi bahwa produk berbasis bioenergi dan biokimia dengan nilai ekonomis yang tinggi dari mikroalga yang dibiakkan dalam LCKS akan semakin fisibel di masa depan jika para pengelola industri kelapa sawit mengimplementasikan pengolahan limbah cair menggunakan sistem biodigester. Mikroalga akan lebih mudah dibiakkan dalam LCKS yang telah diolah dengan digester, di mana kandungan COD dan toksiknya menjadi lebih rendah. Kultivasi dapat diintegrasikan dengan purifikasi biogas di mana CO₂ dapat dimanfaatkan oleh mikroalga pada kondisi

autotrofik. Dengan mengintegrasikan ini, biogas dengan heating value yang lebih tinggi akan diperoleh, dan pigmen dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi dapat dicapai dengan biaya yang lebih murah dibanding dengan kultur berbasis pupuk komersial. Beberapa modifikasi seperti pembatasan nitrogen dan pencahayaan jenuh dapat digunakan untuk meningkatkan pigmen karotenoid seperti beta karoten dan astaxanthin yang memiliki nilai komersial tinggi.

Konsep biorefinery juga mungkin dapat digunakan ke depan, dengan mengimplementasikan teknik separasi tertentu guna menghasilkan produk turunan dari mikroalga. Sebagai contoh, dari satu sel mikroalga, dapat menghasilkan lipid, protein, karbohidrat, dan pigment, di mana produk ini dapat diolah menjadi bahan bakar nabati, pakan, polimer (bioplastik, nano karbon), dan antioksidan. Dengan mengimplementasikan konsep ini, biaya produksi dapat lebih diturunkan lagi, sehingga menurunkan harga produk.