

Judul Proposal :

"Biodiscovery dan Aplikasi Bakteri Selulolitik Termofilik untuk Meningkatkan Efisiensi Ekstraksi dan Produksi Minyak Kelapa Sawit"

Project Leader :

Dr.Ir. Agustian

Team Project :

Prof. Dr. Ir. Hermansah, MSc

Dr. rer Nat Nurmiati

Santi Diana Putri, SSI MSi

Tujuan Riset :

1. Mengisolasi dan Mengidentifikasi Bakteri Selulolitik Termofilik Indigenous yang mampu mendegradasi selulosa pada suhu tinggi (50-70°C) untuk meningkatkan efisiensi proses pengolahan kelapa sawit.
2. Mengoptimasi Aktivitas Enzim Selulase dengan menentukan kondisi optimal (suhu, pH, waktu inkubasi) dan mengaplikasikan bakteri dalam proses pengolahan kelapa sawit guna meningkatkan produksi minyak.
3. Mengembangkan Prototipe Aplikasi Industri berbasis bakteri selulolitik termofilik untuk mengurangi limbah selulosa dan mendukung produksi kelapa sawit yang berkelanjutan.

Justifikasi Riset :

Industri kelapa sawit Indonesia sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia, menghadapi tantangan kritis dalam mempertahankan daya saing globalnya akibat inefisiensi proses produksi yang menyebabkan tingginya biaya operasional dan rendahnya produksi minyak. Data yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian, menyatakan target produktivitas kelapa sawit Indonesia yaitu 36 ton/ha/tahun dengan 25% kualitas produksi minyak sawit. Sementara itu, produktivitas untuk existing plantations sekitar 12-14 ton/ha/tahun. Artinya, terdapat perbedaan yang signifikan anatar target capaian dengan realita sehingga sektor swasta paling tidak harus bisa meningkatkan produktivitas setiap tahun hingga 10 tahun kedepan sehingga bisa mencapai target tersebut (1).

Salah satu pendekatan inovatif yang menjanjikan adalah pemanfaatan enzim selulase dari bakteri termofilik untuk membantu degradasi dinding sel mesokarp buah sawit. Bakteri termofilik yang mampu tumbuh pada suhu 50-80°C memiliki potensi besar karena menghasilkan enzim yang stabil pada suhu tinggi (2), sejalan dengan kondisi operasional pabrik kelapa sawit yang umumnya

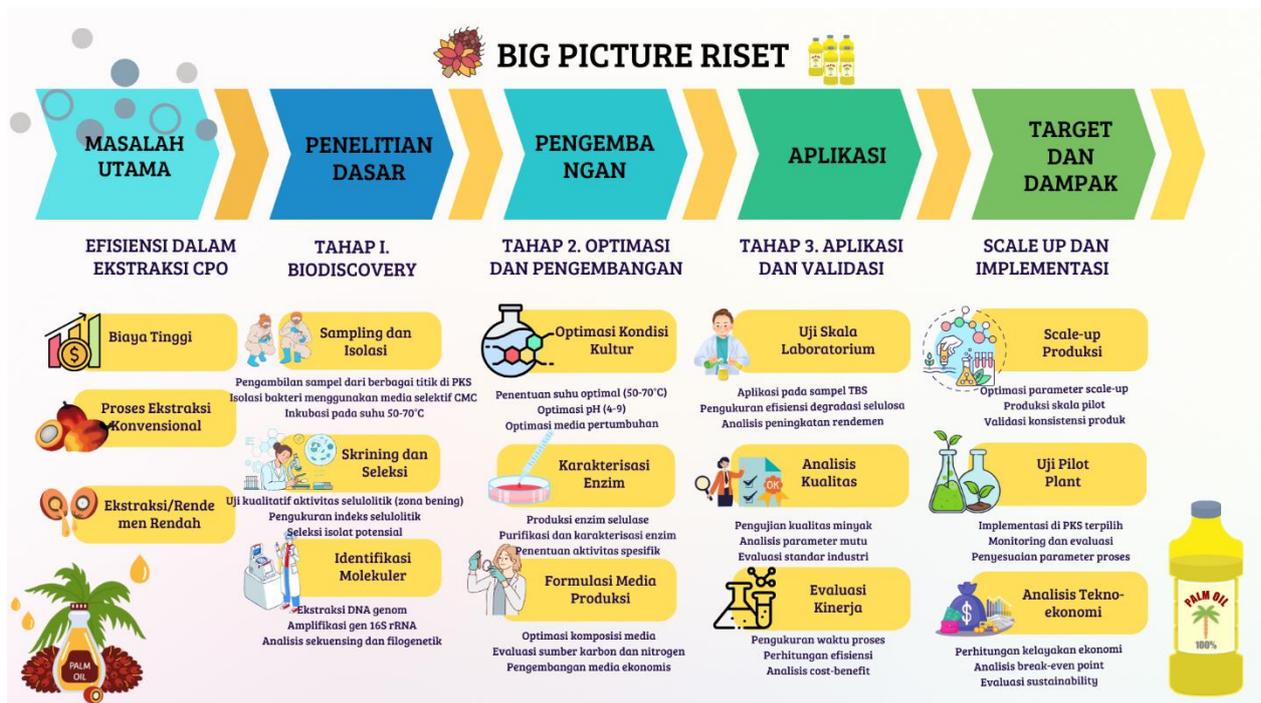
berlangsung pada suhu 60-90°C. Selain itu, enzim dari bakteri termofilik memiliki kelebihan berupa stabilitas yang lebih tinggi terhadap deterjen dan pH ekstrem, serta aktivitas katalitik yang lebih efisien dibandingkan enzim mesofilik (3).

Salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap rendahnya efisiensi ini adalah faktor produksi minyak kelapa sawit, dimana keberadaan selulosa dalam Tandan Buah Segar (TBS) yang secara signifikan menghambat proses ekstraksi minyak. Perlunya Inovasi bioteknologi dengan pemanfaatan bakteri selulolitik termofilik dimana bakteri ini memiliki kemampuan mendegradasi selulosa pada suhu tinggi (50-70°C) (4) sesuai dengan kondisi operasional pabrik kelapa sawit. Berdasarkan studi pendahuluan, implementasi bioteknologi ini berpotensi meningkatkan produksi hingga 3-4% dan mengurangi waktu proses produksi sampai 30%, yang dapat menghasilkan penghematan biaya operasional sebesar 20-25% per tahun (Writer, 2025).

Penelitian ini mengusung konsep biodiscovery fokus pada eksplorasi dan karakterisasi bakteri selulolitik termofilik lokal. Pendekatan ini sejalan dengan tren global biorefinery dan bioteknologi industrial, di mana pemanfaatan mikroorganisme sebagai biokatalis alami dalam ekstraksi minyak kelapa sawit (6). Keunggulan kompetitif riset terletak pada integrasi teknologi bioproses dengan sistem produksi existing, memungkinkan efisiensi biaya produksi tanpa memerlukan modifikasi infrastruktur yang signifikan. Riset ini juga menawarkan solusi untuk tantangan industri sawit: (1) Peningkatan produksi minyak melalui degradasi selulosa yang lebih efektif, (2) Pengurangan limbah produksi hingga 40% melalui biokonversi selulosa, (3) Penurunan jejak karbon industri melalui pengurangan penggunaan bahan kimia dan energi, dan (4) Penciptaan produk sampingan bernilai ekonomi dari hasil degradasi selulosa.

Beberapa penelitian tentang Bakteri Selulolitik yang dilakukan potensi besar biofertilizer yang terbuat dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan mikroba penghasil pertumbuhan tanaman (PGPM) untuk meningkatkan kesehatan tanaman dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan (7). Pemanfaatan lain Bakteri termofilik juga berperan dalam proses hidrolisis untuk peningkatan produk biogas (8), Riset lain tentang Bakteri selulolitik yang telah dilakukan tentang kemampuan bakteri selulolitik dalam mendegradasi selulosa, yang merupakan komponen utama dari bahan organik di tanah (9). Dalam konteks tanaman kelapa sawit, sisa-sisa tanaman (serasah) dan akar yang mati dapat menjadi sumber selulosa. Meskipun potensinya sangat besar namun bakteri selulolitik termofilik dalam industri sawit masih sangat terbatas di Indonesia. Sehingga menciptakan peluang strategis untuk mengembangkan teknologi proprietary baik berupa HKI atau prototype yang dapat dipatenkan dan dikomersialkan, memberikan keunggulan kompetitif bagi industri sawit nasional. Keberhasilan penelitian ini akan memberikan dampak transformatif pada industri sawit Indonesia, mendukung pencapaian target produksi berkelanjutan.

Big Picture Riset :



Gambar 1. Big Picture Riset yang akan dilaksanakan

Big picture riset ini merupakan pengembangan teknologi enzimatis berbasis bakteri termofilik yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi minyak kelapa sawit untuk efisiensi biaya, sinergis proses ekstraksi minyak secara mekanis dengan bioteknologi dari bakteri selulolitik termofilik untuk mempercepat memecah mesocarp buah kelapa sawit sehingga ekstraksi lebih mudah dan Produksi menjadi lebih banyak. Berangkat dari masalah utama ini riset dirancang dengan pendekatan sistematis dari hulu ke hilir, dimulai dari tahapan *discovery* dimana fokus pada penemuan dan karakterisasi bakteri termofilik penghasil enzim selulase dari lingkungan PKS. Tahap ini menjadi fundamental riset untuk mengidentifikasi kandidat bakteri yang memiliki potensi tinggi dalam mendegradasi selulosa pada suhu tinggi.

Setelah mendapatkan kandidat bakteri selulolitik termofilik yang potensial, penelitian berlanjut ke tahap optimasi dan pengembangan (*development*) yang menitikberatkan pada pengembangan kondisi optimal untuk produksi enzim. Tahap ini mencakup optimasi kondisi pertumbuhan bakteri dan karakterisasi enzim yang dihasilkan, dengan tujuan memaksimalkan produksi enzim dengan biaya yang efisien. Optimasi ini penting untuk

memastikan teknologi yang dikembangkan dapat diterapkan secara ekonomis di level industri.

Selanjutnya tahapan aplikasi dan validasi (*proof of concept*) kemudian dilakukan untuk membuktikan efektivitas enzim dalam aplikasi nyata melalui serangkaian uji laboratorium pada TBS. Tahap ini menjadi krusial untuk mengkonfirmasi bahwa teknologi yang dikembangkan dapat meningkatkan Produksi dan menghasilkan minyak yang memenuhi standar industri.

Tahapan terakhir yaitu implementasi bioteknologi melalui scale-up dan implementasi di level industri. Tahap ini dilengkapi dengan analisis kelayakan ekonomi yang komprehensif untuk memastikan teknologi ini layak dan berkelanjutan untuk diterapkan di PKS. Keseluruhan riset ini memiliki tujuan akhir untuk menghasilkan teknologi enzimatik yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga *feasible* secara ekonomi dan berkelanjutan untuk diimplementasikan dalam industri kelapa sawit.

Metodologi Riset :

Riset akan dilaksanakan dari bulan April hingga September 2025 di Laboratorium Sentral Universitas Andalas. Adapun prosedur riset yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut : Tahapan pertama penelitian ini fokus pada isolasi dan karakterisasi bakteri, yang dimulai dengan pengambilan sampel secara sistematis dari berbagai titik di Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Sampel-sampel tersebut kemudian diisolasi menggunakan media selektif CMC dan diinkubasi pada rentang suhu termofilik 50-70°C untuk mendapatkan bakteri yang tahan panas. Proses skrining dan seleksi dilakukan melalui uji kualitatif aktivitas selulolitik dengan mengamati pembentukan zona bening di sekitar koloni bakteri, dilanjutkan dengan pengukuran indeks selulolitik untuk mengidentifikasi isolat yang paling potensial. Identifikasi molekuler dilakukan melalui tahapan meliputi: ekstraksi DNA genom, amplifikasi gen 16S rRNA, serta analisis sekuensing dan filogenetik untuk menentukan identitas dan hubungan kekerabatan bakteri yang diperoleh.

Tahapan kedua fokus pada optimasi dan pengembangan, dimana kondisi kultur bakteri dioptimalkan dengan menentukan suhu optimal dalam rentang 50-70°C, pH optimal antara 4-9, serta komposisi media pertumbuhan yang ideal. Karakterisasi enzim dilakukan melalui produksi enzim selulase, dilanjutkan dengan purifikasi dan karakterisasi enzim, serta

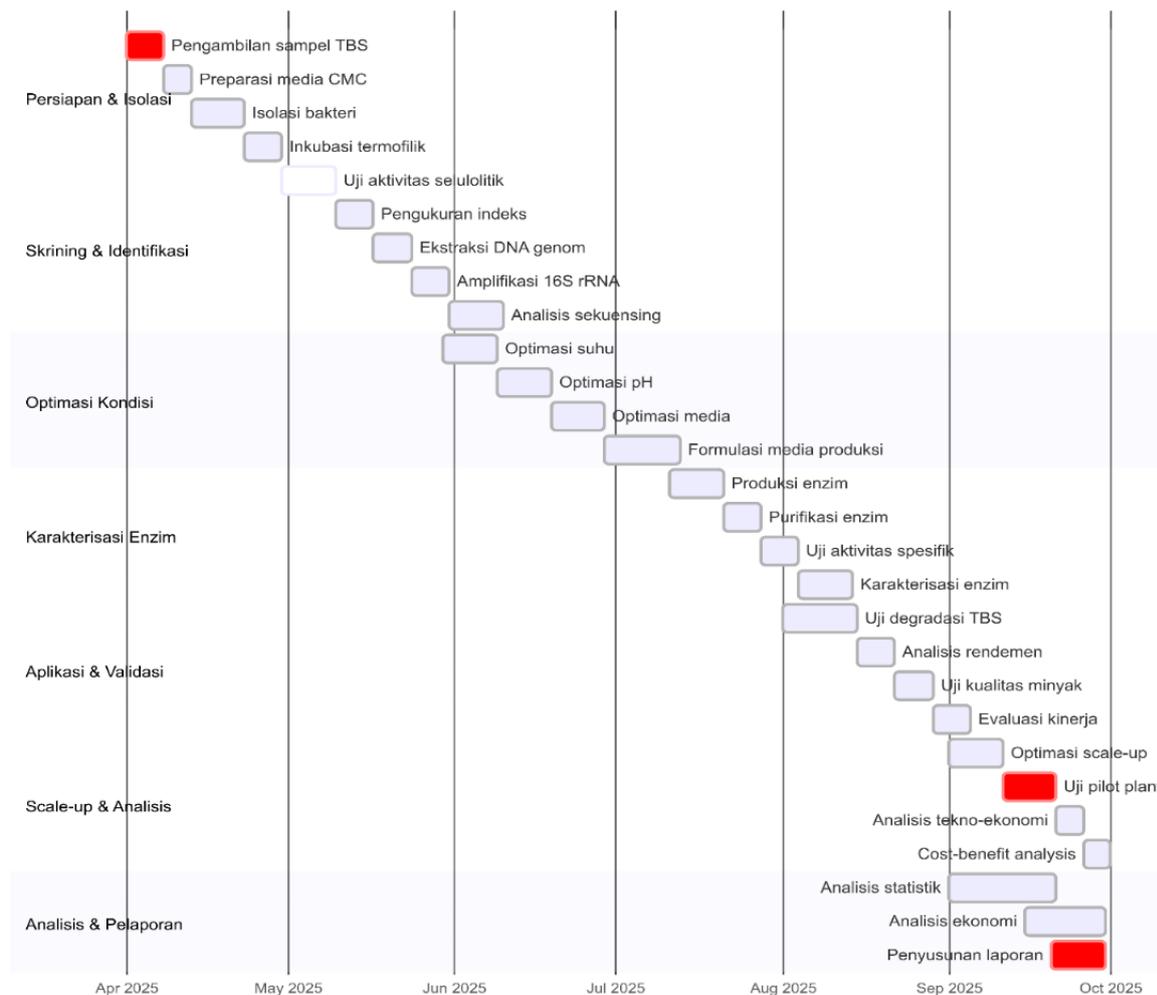
penentuan aktivitas spesifik enzim. Formulasi media produksi dikembangkan dengan mengoptimalkan komposisi media, mengevaluasi berbagai sumber karbon dan nitrogen, serta mengembangkan media yang ekonomis namun tetap efektif untuk produksi enzim.

Tahapan ketiga mencakup aplikasi dan validasi, diawali dengan uji skala laboratorium yang meliputi aplikasi enzim pada sampel Tandan Buah Segar (TBS), pengukuran efisiensi degradasi selulosa, dan analisis peningkatan produksi. Analisis kualitas dilakukan dengan menguji kualitas minyak yang dihasilkan, menganalisis berbagai parameter mutu, dan mengevaluasi kesesuaiannya dengan standar industri. Evaluasi kinerja mencakup pengukuran waktu proses, perhitungan efisiensi, serta analisis cost-benefit untuk menilai kelayakan ekonomi.

Tahapan keempat merupakan scale-up dan implementasi, dimulai dengan optimasi parameter scale-up, produksi skala pilot, dan validasi konsistensi produk. Uji pilot plant dilaksanakan di PKS terpilih dengan melakukan monitoring dan evaluasi secara berkala, serta penyesuaian parameter proses sesuai kebutuhan. Analisis tekno-ekonomi dilakukan secara komprehensif meliputi perhitungan kelayakan ekonomi, analisis break-even point, dan evaluasi sustainability untuk memastikan keberlanjutan proses dalam jangka panjang.

Metode analisis data kuantitatif berupa aktivitas enzim (U/mL), Produksi minyak (%), efisiensi degradasi selulosa, parameter kualitas minyak, selanjutnya untuk analisis statistik dengan tabel Anova, analisis regresi dan uji signifikansi pada taraf 5%. Metode analisis ekonomi Cost-benefit analysis, ROI calculation dan Break-even point analysis.

Gantt Chart Riset :



Gambar 2. Gantt Chart dari Riset yang akan dilaksanakan

Luaran Riset :

Publikasi pada artikel scopus terindeks Q1 “Bioresource Technology” <https://www.sciencedirect.com/journal/bioresource-technology>, menghasilkan 1 prototype atau paten tentang proses dan produk enzim dari bakteri selulolitik termofilik dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi minyak kelapa sawit.

Dampak Riset (Financial & Non Financial) :

Dampak riset ini diharapkan akan memberikan kontribusi yang signifikan baik secara finansial maupun non-finansial. Dari sisi finansial, pengembangan teknologi enzimatik berbasis bakteri selulolitik termofilik bertujuan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi minyak kelapa sawit, yang dapat memperbesar margin keuntungan dengan mengurangi biaya operasional secara substansial. Dengan

kemampuan enzim untuk meningkatkan Produksi dan mengurangi limbah produksi hingga 40%, industri kelapa sawit dapat mencapai produktivitas yang lebih tinggi, mendekati target 36 ton/ha/tahun yang ditetapkan oleh pemerintah. Di sisi non-finansial, riset ini akan berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan menurunkan penggunaan bahan kimia yang berdampak negatif pada lingkungan, Implementasi bioteknologi ini akan menciptakan solusi inovatif yang tidak hanya memenuhi tuntutan pasar yang semakin berorientasi pada keberlanjutan, tetapi juga memberikan keunggulan kompetitif bagi industri kelapa sawit Indonesia di kancah global. Oleh karena itu, investasi dalam riset ini tidak hanya menjanjikan pengembalian finansial yang menarik, tetapi juga berperan penting dalam memajukan industri yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

1. SPKS. Moratorium Sawit Harus Memberikan Manfaat Yang Nyata! [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 15]. Available from: <https://spks.or.id/detail-sikap-moratorium-sawit-harus-memberikan-manfaat-yang-nyata#>
2. Jiang H, Gadow SI, Tanaka Y, Cheng J, Li YY. Improved cellulose conversion to bio-hydrogen with thermophilic bacteria and characterization of microbial community in continuous bioreactor. *Biomass and Bioenergy* [Internet]. 2015;75:57–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.010>
3. Nair LG, Agrawal K, Verma P. An overview of sustainable approaches for bioenergy production from agro-industrial wastes. *Energy Nexus* [Internet]. 2022;6(April):100086. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100086>
4. Castañeda-Barreto A, Olivera-Gonzales P, Tamariz-Angeles C. A natural consortium of thermophilic bacteria from Huancarhuaz hot spring (Ancash-Peru) for promising lignocellulose bioconversion. *Heliyon*. 2024;10(5).
5. Writer. Inovasi Bioteknologi untuk Peningkatan Produksi Kelapa Sawit [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 15]. Available from: <https://pkt-group.com/sawitnotif/inovasi-bioteknologi-untuk-peningkatan-produksi-kelapa-sawit/>
6. Gaur S, Kaur M, Kalra R, Rene ER, Goel M. Application of microbial resources in biorefineries: Current trend and future prospects. *Heliyon* [Internet]. 2024;10(8):e28615. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28615>
7. Mahmud MS, Chong KP. Formulation of biofertilizers from oil palm empty fruit bunches and plant growth-promoting microbes: A comprehensive and novel approach towards plant health. *J King Saud Univ - Sci* [Internet]. 2021;33(8):101647. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101647>
8. Saelor S, Kongjan P, Prasertsan P, Mamimin C, O-Thong S. Enhancing the efficiency of high solid anaerobic digestion of empty fruit bunches under thermophilic conditions by particle size reduction and co-digestion with palm oil mill effluent. *Carbon Resour Convers* [Internet]. 2024;(June):100262. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100262>
9. Rusman B, Agustian, Aprisal. Changes in Soil Chemical and Physical Properties of Andisols under Oil Palm Small holder in the West Pasaman District of West Sumatra. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2019;347(1).

RENCANA ANGGARAN RISET (tahun I)

No.	Komponen Pendanaan	Uraian	Jumlah (Rp)
1	Belanja bahan	alat tulis, petri dish steril, media NA, NB, Selulosa, Carboxymethylcellulose, Selobiosa, Exoglucanase, endoglucanase, β -glucosidase, Column Chromatografi, DNA kit, primer,	55.000.000
2.	Sewa Peralatan untuk analisis	Spectrofotometer, Gas chromatografi, Mikroskop SEM dan TEM, Thermocyclor, Elecrophoresis	37.000.000
3.	Focus Group Discussion	Tempat, konsumsi dan perangkat presentasi	2.500.000
4	Tranportasi dan akomodasi	Padang-Pontianak (pp) 2 orang	12.000.000
5	Pelaporan	Honor tenaga administrasi dan draft artikel	2.000.000
6	Publikasi	Biaya publikasi pada jurnal internasional bereputasi	17.000.000
	Total Anggaran		125.500.000