

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. Mendapatkan isolat Bakteri Selulolitik Termofilik Indigenous yang mampu mendegradasi selulosa pada suhu tinggi (50-70°C) untuk meningkatkan efisiensi proses pengolahan kelapa sawit.
2. Mengoptimasi kondisi produksi Selulase oleh bakteri Selulolitik Termofilik dan mengkarakterisasi aktifitas selulase pada kondisi suhu, dan pH ekstrim untuk aplikasinya dalam proses pengolahan TBS guna meningkatkan produksi minyak sawit.
3. Mengembangkan prototipe aplikasi industri berbasis bakteri selulolitik termofilik untuk mengurangi pengelolaan 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 antar target capaian dengan realita sehingga sektor swasta

paling tidak harus bisa meningkatkan produktivitas setiap tahun hingga 10 tahun kedepan untuk 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: (a) Peningkatan produksi minyak melalui degradasi selulosa yang lebih efektif, (b) Pengurangan limbah produksi hingga 40% melalui biokonversi selulosa, (c) Penurunan jejak karbon industri melalui pengurangan penggunaan bahan kimia dan energi, dan (d) 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 tepat guna (Appropriate Technology) 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.

Metodologi Riset :

Riset akan dilaksanakan selama dua (tahun), pada tahun pertama dari bulan April hingga September 2025 dilakukan tahapan pertama sampai ke tiga dari rencana penelitian yaitu: isolasi, karakterisasi dan kajian optimasi produksi selulase dari bakteri selulolitik termofilik yang diperoleh dari hasil isolasi di Laboratorium Sentral Universitas Andalas serta aplikasi skala laboratorium pemanfaatan bakteri selulolitik dan enzim selulase dalam proses ekstraksi minyak sawit mentah. Adapun prosedur riset yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

Tahapan pertama penelitian ini fokus pada isolasi dan karakterisasi bakteri, yang dimulai dengan pengambilan sampel mesocarp buah sawit. Sampel mesocarp buah sawit dari sisa pengolahan diambil dari berbagai lokasi pabrik, khususnya dari pabrik BGA dan pabrik lain di wilayah Sumatera Barat. Pengambilan sampel secara purposive untuk memastikan representasi berbagai habitat mikroba selulolitik termofilik (1)(2). Isolasi dilakukan dari sampel-sampel tersebut dengan 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. Proses isolasi menggunakan metode kultur menggunakan media kultur spesifik untuk isolasi bakteri selulolitik (3). Media selektif diperkaya dengan selulosa sebagai

sumber karbon untuk skrining awal. Metode penyaringan throughput tinggi seperti metagenomik fungsional digunakan untuk mengidentifikasi gen selulolitik dan lignolitik (4).

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. Dilakukan uji kuantitatif produksi enzim selulase (uji kertas saring, CMCase) dan menentukan kinetika enzim dan kondisi optimal (pH, suhu) untuk aktivitas (5).

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. Laju dekomposisi isolat dalam mendegradasi berbagai substrat selulosa dan lignoselulosa dilakukan pengukurannya (6). Mengevaluasi potensi enzim yang teridentifikasi untuk aplikasi proses pengolahan (aplikasi dalam ekstraksi minyak sawit) (7)(8).

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.

Big Picture Riset :



Gambar 1. Big Picture Riset yang akan dilaksanakan

Big picture riset ini merupakan pengembangan teknologi enzimatik 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.

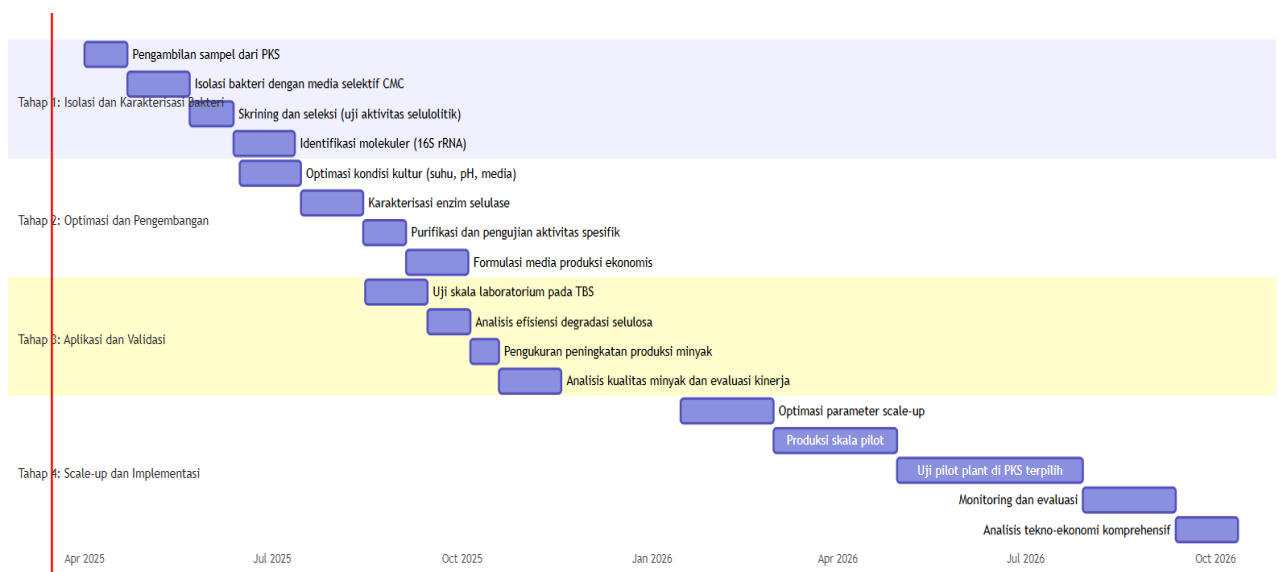
Setelah mendapatkan kandidat bakteri selulolitik termofilik yang potensial, penelitian berlanjut ke tahap optimasi dan pengembangan (*development*) yang menitikberatkan pada pengembangan kondisi optimal untuk produksi enzim. Tahap ini mencakup optimasi kondisi pertumbuhan bakteri dan karakterisasi enzim 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 enzimatis yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga *feasible* secara ekonomi dan berkelanjutan untuk diimplementasikan dalam industri kelapa sawit.

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 hasil ekstraksi >5% dan mengurangi limbah produksi hingga 20%, 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 biohydrogen 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	Rincian	Sat	Qty	Harga (Rp)	Total (Rp)
I	HONORARIUM				
1	HR Pembantu Lapangan	OJ	350	80,000	28,000,000
2	HR Pembantu Peneliti	OJ	350	25,000	8,750,000
3	Petugas Pengolah Data	Org/Riset	3	1,400,000	4,200,000
	Subtotal Honorarium				40,950,000
II	BIAYA BAHAN				
	Media Kultur dan Isolasi Bakteri				
1	Carboxymethyl Cellulose (CMC)	g	250	17,500	4,375,000
2	Nutrient Agar	g	250	9,200	2,300,000
3	Nutrient Broth	g	250	9,600	2,400,000
4	Yeast Extract	g	250	13,500	3,375,000
5	Peptone	g	250	7,200	1,800,000
6	Agar Bacteriological	g	250	8,500	2,125,000
	Substrat Enzim dan Reagen Analisis				
7	Avicel (mikrokristalin selulosa)	g	500	5,400	2,700,000
8	Filter paper (Whatman No.1)	pak	5	33,000	165,000
9	DNS (Dinitrosalicylic acid)	g	250	65,000	16,250,000
10	Glucose standard	g	100	7,000	700,000
11	Bradford reagent	L	1	500,000	500,000
12	BSA (Bovine Serum Albumin)	ml	100	1,500	150,000
	Kit Analisis Molekuler				
13	DNA Extraction Kit	kit	1	8,900,000	8,900,000
14	PCR Master Mix	kit	3	2,000,000	6,000,000

15	Primer 16S rRNA Forward	primers	5	500,000	2,500,000
16	Primer 16S rRNA Reverse	primers	5	500,000	2,500,000
17	Gel Extraction Kit	kit	2	2,500,000	5,000,000
18	Agarose	g	500	6,000	3,000,000
19	Loading dye	ml	50	10,000	500,000
20	DNA ladder	ml	5	500,000	2,500,000
	Kit Purifikasi dan Analisis Enzim				
21	Protein Purification Column	unit	5	1,200,000	6,000,000
22	Ammonium Sulfate	kg	2	800,000	1,600,000
23	Dialysis membrane	m	5	400,000	2,000,000
24	SDS-PAGE kit	kit	2	1,500,000	3,000,000
	Sampel dan Bahan Habis Pakai				
25	Tandan Buah Segar (TBS)	kg	10	50,000	500,000
26	Micropipette tips (berbagai ukuran)	pak	10	200,000	2,000,000
27	Microcentrifuge tubes	pak	10	150,000	1,500,000
28	PCR tubes	pak	10	150,000	1,500,000
29	Disposable petri dish	pak	100	17,500	1,750,000
30	Disposable gloves	box	12	100,000	1,200,000
31	Masker laboratorium	box	6	100,000	600,000
	Subtotal Biaya Bahan				89,390,000
III	BIAYA JASA				
1	Jasa analisis sekuensing DNA	sampel	20	200,000	4,000,000
2	Jasa analisis kualitas minyak	sampel	10	200,000	2,000,000
3	Jasa APC artikel Ilmiah Bereputasi	artikel	1	20,000,000	20,000,000
4	Pengurusan Prototype	sertifikat	1	2,000,000	2,000,000
5	Jasa analisis aktivitas enzim	sampel	15	200,000	3,000,000
	Subtotal Biaya Jasa				28,000,000
IV	BIAYA ALAT				
1	Sewa inkubator termofilik	bulan	6	1,000,000	6,000,000
2	Sewa spektrofotometer	bulan	6	1,000,000	6,000,000
3	Sewa peralatan purifikasi enzim	bulan	3	2,000,000	6,000,000
4	Alat pengukur aktivitas enzim	unit	1	5,000,000	5,000,000
5	Sewa PCR thermal cycler	bulan	3	1,500,000	4,500,000

	Subtotal Biaya Alat				27,500,000
V	PERJALANAN DINAS				
1	Perjalanan Padang-Pontianak (PP)	org/trip	2x1	6,000,000	12,000,000
	Subtotal Biaya Perjalanan				12,000,000
	TOTAL ANGGARAN				197,840,000

RENCANA ANGGARAN RISET (Tahun II)

No	Rincian	Sat	Qty	Harga (Rp)	Total (Rp)
I	HONORARIUM				
1	HR Pembantu Lapangan	OJ	120	80,000	9,600,000
2	HR Pembantu Peneliti	OJ	100	25,000	2,500,000
3	Petugas Pengolah Data	Org/Riset	1	1,400,000	1,400,000
	Subtotal Honorarium				13,500,000
II	BIAYA BAHAN				
	Kit Purifikasi dan Analisis Enzim				
1	Protein Purification Column	unit	5	1.200.000	6.000.000
2	Ammonium Sulfate	kg	2	800.000	1.600.000
3	Dialysis membrane	m	5	400.000	2.000.000
4	SDS-PAGE kit	kit	2	1.500.000	3.000.000
	Sampel dan Bahan Habis Pakai				
5	Tandan Buah Segar (TBS)	kg	30	50.000	1.500.000
6	Micropipette tips (berbagai ukuran)	pak	3	200.000	600.000
7	Microcentrifuge tubes	pak	3	150.000	450.000
10	Disposable gloves	box	4	100.000	400.000
11	Masker laboratorium	box	2	100.000	200.000
	Subtotal Biaya Bahan				15.750.000
III	BIAYA JASA				
1	Jasa analisis kualitas minyak	sampel	10	200.000	2.000.000
2	Jasa APC artikel Ilmiah Bereputasi Q1	artikel	1	17.000.000	17.000.000
	Subtotal Biaya Jasa				19.000.000
IV	PERCOBAAN APLIKASI				
1	Percobaan produksi enzim selulase skala mini bioreaktor	Keg	5	12.500.000	62.500.000
2	Percobaan Aplikasi dalam proses produksi	Keg	5	5.000.000	25.000.000
	Subtotal Biaya Bahan				87.500.000
V	PERJALANAN				
1	Perjalanan Padang-Pontianak (PP)	org/trip	2x1	6.000.000	12.000.000
	Subtotal Biaya Perjalanan				12.00.000
	TOTAL ANGGARAN				147.750.000

REKAPITULASI ANGGARAN (2 tahun)

No	Rincian	Total (Rp)	Persentase (%)	Total (Rp)	Persentase (%)
		TAHUN I		TAHUN II	
1	Honorarium	40.950.000	21	13.500.000	9,1
2	Biaya Bahan	89.390.000	45	15.750.000	10.7
3	Biaya Jasa	28.000.000	14	19.000.000	12.8
4	Biaya Alat	27.500.000	14	87.500.000	59.3
5	Biaya Perjalanan	12.000.000	6	12.000.000	8,1
TOTAL ANGGARAN		197.840.000	100	147.750.000	100