PENINGKATAN KETAHANAN KELAPA SAWIT TERHADAP *Ganoderma boninense* PATOGEN PENYEBAB PENYAKIT BUSUK PANGKAL MELALUI INDUKSI KETAHANAN SISTEMIK OLEH BAKTERI AGEN HAYATI

ABSTRAK

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) kelapa sawit yang disebabkan jamur *Ganoderma boninense* merupakan penyakit utama di perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Laju perkembangan penyakit BPB di lapang sampai saat ini belum bisa diimbangi dengan laju perkembangan metode pengendalian yang efektif. Diperlukan metode pengendalian secara terpadu yang membutuhkan integrasi antara teknik penguatan ketahanan tanaman, pelemahan patogen melalui aplikasi agen hayati, dan manipulasi lingkungan melalui praktek agronomis yang benar. Saat ini sudah ada beberapa varietas tahan yang dilepas oleh beberapa produsen benih seperti DxP 540 NG dari PPKS, DxP MT Gano, dan DxP IGR dari PT Dami Mas Sejahtera. Di lain sisi, pengendalian penyakit BPB menggunakan agen hayati bakteri antagonis menawarkan konsep pengendalian yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan relatif murah. Usaha untuk menemukan agen pengendali hayati khususnya bakteri antagonis terhadap *G. boninense* sudah banyak dilaporkan dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Meskipun demikian, belum ada studi yang mengungkap secara mendalam di level molekuler mengenai mekanisme pertahanan tanaman tahan dan komersil dalam merespon patogen, dan respon tanaman ketika berinteraksi dengan bakteri antagonis. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan profil transkriptomik kelapa sawit varietas tahan dan komersil yang diinokulasikan dengan *G. boninense* dan diberi perlakuan bakteri antagonis di fase awal dan akhir setelah infeksi (14 dan 70 HSI). Untuk semua percobaan, seluruh jaringan akar tanaman dari 2 individu tanaman sebagai replika biologis yang di*bulk* menjadi 1 sampel. Profil transkriptomik dilakukan dengan mengisolasi RNA total akar dan dibaca menggunakan analisis RNAsequencing. Hasil pembacaan akan dianalisa untuk melihat gen yang berperan fungsional dalam interaksi masing-masing organisme, yang pada akhirnya meningkatkan ketahanan kelapa sawit terhadap patogen. Studi ini menghasilkan output gen dan metabolit tanaman kelapa sawit yang berperan penting dalam pertahanan terhadap infeksi *G. boninense*, dan dapat dimanfaatkan sebagai bio-marker untuk mengembangkan varietas tanaman tahan berikutnya.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) kelapa sawit yang disebabkan jamur *G. boninense* merupakan penyakit utama di perkebunan kelapa sawit di Indonesia dan Malaysia. Intensitas kejadian penyakit semakin tinggi dan semakin cepat menyerang tanaman muda seiring meningkatnya usia kebun tersebut ditanami kelapa sawit secara terus menerus akibat jumlah inokulum yang terakumulasi (Gabda *et al*, 2022). Berbagai macam metode pengendalian masih terus dikembangkan termasuk pencarian varietas tahan, penggunaan agen hayati, dan aplikasi praktek agronomis yang higienis. Untuk varietas tahan, saat ini terdapat beberapa produk komersialnya di pasar dari beberapa produsen benih, namun sampai sekarang belum diketahui secara pasti mekanisme bagaimana pathway biomolekuler pertahanan tanaman terhadap infeksi *G. boninense*. Penelitian ini dirancang untuk menjawab mekanisme pertahanan kelapa sawit terhadap infeksi *G. boninense*. Proses interaksi antara kelapa sawit dan *G. boninense* akan dipantau secara time series pada fase awal dan akhir periode infeksi menggunakan pendekatan transkriptomik.

Transkriptomik adalah keseluruhan kumpulan transkrip RNA yang dihasilkan oleh gen-gen dalam suatu jaringan pada waktu tertentu. Metode analisis transkriptomik yang umum digunakan adalah RNA-seq (RNA sequencing), metode ini melibatkan pengurutan seluruh transkrip RNA untuk mendapatkan informasi tentang ekspresi gen. Dengan teknologi ini data sekuen transkriptomik dapat dianalisa dan gen-gen yang terekspresi dapat diidentifikasi, serta dimanfaatkan untuk mengetahui potensi yang terkandung pada suatu tanaman serta peluang untuk meningkatkan ketahanan tanaman kelapa sawit dari infeksi *G. boninense*.

Kurangnya studi transkriptom yang komprehensif untuk mengungkap mekanisme biomolekuler ketahanan kelapa sawit terhadap patogen *G. boninense* menjadi gap dalam pemahaman tentang mekanisme pertahanan yang mendasari respon, regulasi dan ekspresi gen tanaman kelapa sawit. Selain itu, tanaman kelapa sawit yang merespon aplikasi agen hayati bakteri antagonis juga masih menjadi pertanyaan terbuka tentang mekanisme regulasi gen yang terkait. Studi ini bertujuan untuk mengungkap isolat bakteri antagonis yang mampu menunjukkan interaksi antagonis terhadap *G. boninense* secara *in-vitro* dan *in planta*. Serta dapat mengungkap satu atau lebih gen fungsional yang berperan dalam pertahanan tanaman

kelapa sawit yang terinfeksi terhadap infeksi *G. boninense* juga terhadap aplikasi bakteri antagonis secara *in planta* melalui pendekatan transkriptomik.

1.2 Tujuan dan Sasaran

Tujuan

Penelitian ini ini bertujuan untuk mengetahui cara meningkatkan induksi ketahanan sistemik (*Induced Systemic Resistance*/ISR) kelapa sawit terhadap patogen *G. boninense* dan dengan agen hayati melalui analisa biomolekuler transkriptomik.

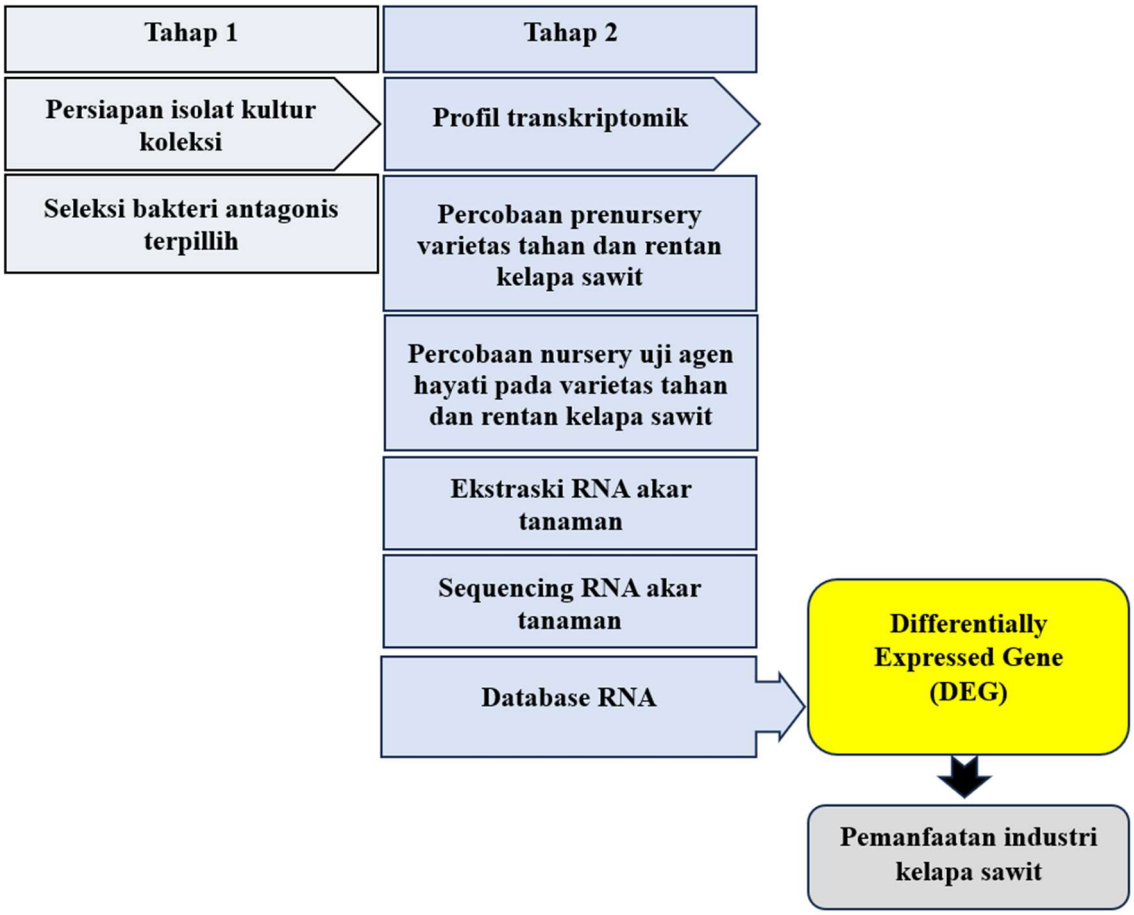
Sasaran

1. Didapatkan profil transkriptomik tanaman tahan dan komersil pada saat terinfeksi patogen di empat belas (14) dan tujuh puluh (70) hari setelah infeksi (HSI).
2. Didapatkan profil transkriptomik agen hayati bakteri antagonis dalam interaksinya membantu meningkatkan ketahanan tanaman kelapa sawit varietas tahan dan komersil yang terserang *G. boninense* di empat belas (14) dan tujuh puluh (70) hari setelah infeksi (HSI).

1.3 Perumusan Masalah

Interaksi parasitisme antara kelapa sawit dengan *G. boninense* serta aplikasi agen hayati bakteri antagonis melibatkan kompatibilitas biomolekuler seperti pengenalan protein effector patogen oleh receptor sel tanaman, cell signaling crosstalk, regulasi gen pertahanan, dan produksi senyawa alleophaty. Meskipun demikian data dan informasi mengenai interaksi parasitisme tersebut di level biomolekuler masih belum tersedia, sehingga diperlukan suatu studi yang dapat mengungkap interaksi biomolekuler terkait mekanisme ketahanan kelapa sawit terhadap infeksi *G. boninense* serta aplikasinya dengan agen hayati bakteri antagonis. Di lain sisi, analisis transkriptomik dapat mengungkap *gene-to-gene interaction* antara ketiga organisme dan mengungkap interaksinya yang kompleks.

1.4 Roadmap atau Research Design



2. METODOLOGI

2.1. Stok Kultur

Koleksi mikroba endofit yang lengkap telah diisolasi dari jaringan tanaman kelapa sawit yang sehat di daerah endemik *G. boninense*. Dasar pemikiran dari pendekatan ini adalah keyakinan bahwa mikroba endofit tersebut memiliki kemampuan alami untuk melawan infeksi *G. boninense* pada tanaman kelapa sawit. Kultur stok dari mikroba ini dirawat dengan baik di Laboratorium Bioteknologi, Badan Penelitian Riset dan Inovasi Nasional, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia. Untuk meremajakan stok kultur dilakukan pemurnian mikroba. Medium yang digunakan untuk pemurnian mikroba endofit adalah medium NA (*Nutrient Agar*). Satu ose bakteri endofit diinokulasikan ke medium NA dengan metode streak atau zig-zag kemudian diinkubasi selama 24 jam dalam suhu 28ºC.

2.2. Uji Keefektifan isolat Bakteri Antagonis Terhadap Infeksi *Ganoderma boninense* Pada Bibit Kelapa Sawit

2.2.1. Bahan Tanam

Kecambah dua populasi DxP kelapa sawit yaitu populasi tahan (DxP 540NG) dan komersil (DxP Yangambi) yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dari IOPRI (Indonesian Oil Palm Research Institute) Marihat, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara, Indonesia. Kecambah kedua populasi tersebut ditanam di green house untuk dilakukan uji keefektifan isolat bakteri antagonis terhadap infeksi jamur patogen *G. boninense*. Kecambah ditumbuhkan dalam polybag persemaian (diameter 10cm x tinggi 15cm) berisi tanah, pasir dan kompos dengan rasio 1:1:1 kondisi steril sampai umur 3 bulan. Penyiraman dilakukan setiap hari (1L/ polybag) dan dilakukan pemupukan NPK setiap minggu.

Tabel 1. Perlakuan dalam Uji keefektifan isolat bakteri antagonis terhadap infeksi *Ganoderma boninense* pada bibit kelapa sawit

No.	Varietas	Perlakuan		
		Kontrol Negatif	**Kontrol Positif**	**Agen hayati**
1.	Tahan	Tanpa inokulum jamur *G. boninense* dan bakteri antagonis	Inokulum jamur *G. boninense* dan tanpa bakteri antagonis	inokulum jamur *G. boninense* dan bakteri antagonis
2.	Komersil	Tanpa inokulum jamur *G. boninense* dan bakteri antagonis	Inokulum jamur *G. boninense* dan tanpa bakteri antagonis	inokulum jamur *G. boninense* dan bakteri antagonis

2.2.2. Infeksi Buatan *G. boninense*

Inokulasi buatan *G. boninense* dilakukan menggunakan teknik inokulasi miselium (Chong et al. 2012) dengan beberapa modifikasi. Inokulum *G. boninense* dibuat dengan cara memotong miselia hasil kultur berumur 6 hari pada media potato dextrose agar (PDA) menjadi berukuran 1x1 cm2. Potongan miselia ini kemudian diinokulasikan kedalam media PDB dan diinkubasi selama 4 hari pada suhu 28^0C dalam rotary vapor. Setelah 4 hari kultur miselia diblender selama 3 menit dengan penambahan 0,002 % Tween®20. Bibit kelapa sawit berumur 3 bulan dikeluarkan dengan hati-hati dari tanah dan direndam dalam suspensi miselium selama 30 menit sebelum ditanam kembali. Sebagai kontrol, akar tanaman direndam dalam air steril selama 30 menit. Tanaman yang telah

diinokulasi kemudian ditanam kembali dalam polybag (diameter 25cm x tinggi 25cm) berisi tanah, pasir dan kompos dengan rasio 1:1:1 kondisi steril dan ditanam di green house. Perkembangan gejala penyakit diamati setiap minggu. Untuk setiap baris bibit, duapuluh tanaman digunakan untuk pengujian ini dan setiap tanaman ditanam dalam satu polybag. Baik varietas tahan maupun komersil yang diinfeksikan patogen, dilakukan *sampling* pada 14 dan 70 hari setelah infeksi (HSI). Tujuh sampai empat belas hari setelah infeksi (7-14 HSI) dianggap sebagai fase awal, tigapuluh lima sampai empat puluh dua hari setelah infeksi (35-42 HSI) sebagai fase medium, dan enam puluh tiga sampai tujuh puluh hari setelah infeksi (63-70 HSI) sebagai fase akhir infeksi.

2.3. Analisis Transkriptomik

2.3.1. Ekstraksi RNA

Sampel segar yang dikoleksi dari lapangan berupa akar dicuci bersih menggunakan ddH_2O steril. Setelah dipotong-potong halus dan dibekukan dengan disiram nitrogen cair, sampel digerus sampai menjadi serbuk halus Sampel yang telah digerus hingga menjadi seperti bubuk (±200 mg) kemudian ditransfer ke mikrotube 1.5 mL menggunakan spatula. Transfer tersebut dilakukan hingga bubuk sampel mencapai setengah mikrotube (kurang lebih sama dengan 100 mg) dan segera ditambahkan reagen kit **RNeasy® Plant Mini Kit** (pipet tip 10, 20, 100, 200, 1000 uL filtered, RNA later). Langkah ekstraksi RNA mengikuti protokol yang tertera pada **RNeasy® Plant Mini Kit**.

2.3.2. RNA *extraction* QC

Setelah tahap ekstraksi RNA, dilakukan pengecekan kualitas dan kuantitas RNA yang dihasilkan. Pengecekan ini adalah langkah penting yang dilakukan untuk memastikan bahwa RNA yang dihasilkan memenuhi standar sebelum sequencing. Dua metode analisis yang umum digunakan untuk QC adalah Tapestation dan Qubit Fluorometer.

2.3.3. *Sequence Library Preparation*

Tahap ini mencakup beberapa langkah penting yaitu : Deplesi rRNA, Fragmentasi RNA, cDNA Reverese Transcription, dan Ligasi Adaptor.

2.3.4. *Library QC*

Setelah tahap *sequence library preparation*, dilakukan pengecekan kualitas dan kuantitas *library* yang dihasilkan. Pengecekan ini adalah langkah penting yang

dilakukan untuk memastikan bahwa RNA yang dihasilkan memenuhi standar sebelum sequencing. Dua metode analisis yang umum digunakan untuk QC adalah Tapestation dan Qubit Fluorometer

2.3.5. Sequencing

Library yang telah divalidasi selanjutnya dilakukan sequencing menggunakan platform illumina NextSeq 2000, yang menggunakan teknik *paired-end sequencing* dengan 150 bp per lajur dalam 300 siklus (PE150).. Proses ini menghasilkan data sequencing dalam bentuk "reads" yang mewakili urutan nukleotida dari cDNA.

2.3.6. Sequencing QC

Proses ini untuk mengevaluasi kualitas data sequencing, memastikan bahwa pembacaan yang dihasilkan berkualitas tinggi.

2.3.7. Analisis data

Analisis data meliputi: Raw data, *sequencing QC*, *Transcript assembly*, *Assembly QC*, transformasi data, *gene prediction*, penetapan taksonomi, dan visualisasi taksonomi

2.3.8. Intrepetasi data

Hasil transkriptomik sampel adalah analisis ekspresi gen RNA sampel, identifikasi jalur metabolisme sampel serta pemahaman keanekaragaman spesies dari RNA yang terbaca.

Daftar Pustaka

Angel LPL., Bakar DA., Sundram S. (2022). A non-invasive tissue culture system for performing artificial pathogenicity assays of *Ganoderma boninense*. Australasian plant pathology 51: 39-42. DOI: 10.1007/s13313-021-00832-x

Botta L.A., Sanatacecilia A., Ercole C., Cacchio P., & Del Gallo M. (2013). In vitro and in vivo inoculation of four endophytic bacteria on Lycopersicon esculentum. New Biotechnology 30(6):666-74. DOI: 10.1016/j.nbt.2013.01.001.

Chong, K. P., Alexander, A., and Abdullah, S. (2016). Early detection and management of Ganoderma basal stem rot disease: a special report from sabah. Trans. Sci. Technol. 3, 517–523.

Gabda, D., Hassan, A., Seman, I. A., & Ho, C. M. (2022). A Review of factors affecting Ganoderma basal stem rot disease progress in oil palm. *Plants*. DOI: https://doi.org/10.3390/plants11192462.

Haqqa, Z. A., Rupaedah, B., Handayani, I., Wahid, A., & Sugianto, M. (2023). Screening and characrerization of soil fungal isolates for inhibiting the growth Of *Ganoderma boninense*. Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBI), 10(1), 59-67. **Doi:** https://dx.doi.org/10.29122/jbbi.v10i1.5669.

Rupaedah, B., Prasetyo, A. E., Hidayat, F., Asiani, N., Wahid, A., & Lutfia, A. (2023). Evaluation of microbial biocontrol agents for Ganoderma boninense management in oil palm nurseries. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.12.001.

Rupaedah, B., Wahid, A., Safarrida, A., Purwoko, D., & Masruri, M. (2024). Volatile organic. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.02.002.

Purwoko D, Safarrida A, Tajuddin T, Rupaedah B, Suyono A, Wahid A, Sugianto M, Suja'i I (2022) Metagenomic data of microbial in natural empty fruit bunchesdegradation. Data in Brief 41: 107967. Doi: 10.1016/j.dib.2022.107967

3. HASIL YANG DIHARAPKAN

Pada Tahun 2025, hasil yang diharapkan adalah diperolehnya agen hayati bakteri antagonis terpilih, 1 publikasi internasional dan hasil sekuensing RNA. Rencana hasil yang diharapkan pada tahun berikutnya yakni :

1. Data profil transkriptomik tanaman tahan dan komersil saat terinfeksi patogen
2. Data profil transkriptomik bakteri antagonis dalam interaksinya membantu meningkatkan ketahanan tanaman kelapa sawit varietas tahan dan komersil yang terserang *G. boninense*
3. Publikasi internasional

4. TARGET OUTPUT

Tabel 2. Target Output Kegiatan

No.	Jenis Output	Tahun ke-1 2025	Tahun ke-2 2026
1.	Draft genom DNA bakteri antagonis	1 (sebesar 2 Gb)	
2.	Prototipe pemetaan total RNA		10 Sampel (Sebesar 10 Gb Persampel)
3.	Data metabolit		10 Sampel
4.	Publikasi internasional	1	1

5. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan varietas kelapa sawit tahan *G. boninense* dan mendapatkan bakteri antagonis yang berperan signifikan untuk mengendalikan *G. boninense* dan dapat diaplikasikan di industri perkebunan kelapa sawit.

6. JADWAL KEGIATAN

No	Uraian Kegiatan/ Aktivitas	Bulan ke-																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Persiapan, koordinasi, dan pembagian kegiatan riset dan pencapaian sasaran																								
1	Persiapan Prenursery																								
2	Percobaan nursery																								
3	Desain eksperimental RNA-seq																								
4	Isolasi RNA																								
5	Sekuensing RNA																								
6	Perakitan contiq dan komputasi data fasta																								
7	Analisis transkriptomik																								
8	Penulisan laporan																								
	Pengendalian pelaksanaan riset: laporan semester dan laporan akhir																								

7. RINCIAN ANGGARAN BIAYA (RAB)

Kode	Uraian	Merk/ Spesifikasi	No Katalog	Volume	Rincian Perhitungan							Harga Satuan	Jumlah
					Perkalian Perhitungan						Jumlah		
	Belanja Bahan												
1.	Penanaman (prenursery dan nursery)											10.000.000	10.000.000
				JUMLAH									**10.000.000**
	Belanja Honor Output Kegiatan												
1.	Prenursery dan Nursery											20.000.000	20.000.000
				JUMLAH									**20.000.000**
	Belanja Barang Non Operasional Lainnya												
1.	Jasa Analisa Sequencing RNA (library prep)			18	Sampel							6.500.000	117.000.000
2.	Output sekuesning/Gb (10 Gb)			18	Sampel							10.000.000	180.000.000
4.	Bibit			200	Bibit							30.000	6.000.000
				JUMLAH									**303.000.000**
21811	**Belanja Barang Persediaan Barang Konsumsi**												
	Belanja Barang Persediaan Bahan Kimia												
1.	Agarose Biotechnology Grade (100g/btl)	Vivantis	PC0701-100G	1	Pack							2.555.556	2.555.556
2.	50X Tris-Acetate-EDTA (TAE) Buffer, pH8.0, Ultra Pure Grade	Vivantis	PB0990-1L	1	Pack							2.821.250	2.821.250
3.	DTT (dithiothreitol), 5 gram	Thermo Scientific	R0861	1	Pack							1.813.000	1.813.000
4.	GeneRuler 1 kb Plus DNA Ladder, ready-to-use, 50 ug	Thermo Scientific	SM1334	2	Pack							2.201.500	2.201.500
5.	Rneasy Plant Mini Kit (50)	Qiagen	74904	1	Pack							14.794.080	14.794.080
6.	ClearBand Safe DNA Gel Stain Solution (20000x packing 1 ml)	EcoTech	SDGS1	1	Pack							2.466.667	2.466.667
7.	Potato Dextrose Agar	Merck	1.101.300.500	2	Pack							2.590.000	5.180.000
8.	Potato Dextrose Broth,granulated (PDB), 500G	Himedia	GM403-500G	1	Pack							1.563.250	1.563.250
9.	Nutrient Agar, 500G	Himedia	M001-500G	1	Pack							809.067	809.067
10.	Nutrient broth, 500gr/boto	Himedia	M002-500G	1	Pack							977.417	977.417
11.	Tween 20 detergent, molecular	Sigma Aldrich	P9416- 50ML	1	Pack							792.540	792.540
	Belanja Barang Persediaan Bahan Habis Pakai Aus												
1.	Isi ulang Nitrogen Cair			2	Tabung							1.067.000	2.134.000
2.	Microcrystal tips 0.5 - 20 ul, Eppendorf type	Axygen	T-400-L	**1**	pack							434.750	434.750
3.	10 ul Pipette Tips paking 1000/bag	ExtraGene	TIP-10-C	1	pack							236.800	236.800
4.	200ul pipette tips, Dnase Rnase and Pyrogen Safe, 1000/bag (Yellow	ExtraGene	TIP-210-Y	1	pack							236.800	236.800
5.	200 uL PIPET TIPS	Axygen	TR-222-Y	1	pack							370.948	370.948
6.	Blue Tip 1000 ul1000 ul Pipette Tips, Blue packing 1000/box	ExtraGene	TIP-1100-B	1	pack							325.600	325.600
7.	1000 uL Universal Fit Filter Tips, Clear, Sterile, Rack Pack, 100 Tips/Rack, 10 Racks/Pack, 5 Packs/Case	Axygen	TF-1000-R-S	4	pack							216.296	865.184
8.	Filter tips 1-20 uL, clear, racked fits pipetman sterile, Rnase/Dnase Free, 96 tips/rack	Axygen	TF-20-R-S	4	pack							216.296	865.184

9.	FILTER TIPS 1 - 200ul MAXYMUM RECOVERY UNIVERSAL CLEAR, STERILE, 10RACK/PACK, 50RACK/CASE //B2-64/	Axygen	TF-200-L-R-S	4	pack							268.250	1.073.000
10.	1.5 ml microtube MaxyClear Snaplock Microcentrifuge Tube, Polypropylene, Clear, Sterile, 500 Tubes/Box	Axygen	MCT-150-CS	2	pack							296.000	592.000
11.	2.0 mL microtube MaxyClear Snaplock Microcentrifuge Tube, Polypropylene, Clear, Nonsterile, 500 Tubes/box	Axygen	MCT-200-C	2	pack							351.165	702.330
12.	Cryoking,2" Cryo-ColorTM Cryobox with 81-well dividers, 5 assorted colors, -196ºC to 121ºC, 5 Pieces/pac	Biologix	90-5281	1	pack							161.443	161.443
13.	PCR TUBE 0,2ml, THIN WALL, FLAT CAP,1000/10000	Axygen	PCR-02-C	1	pack							1.059.570	1.059.570
14.	Polybag 15x15 cm, isi 200 lembar/ba			**1**	pack							46.398	46.398
15.	Kompos 1297 5 k			**5**	pack							32.395	161.975
16.	Arang sekam padi Kemasan 20 kg			**1**	pack							38.500	38.500
17.	Media tanam Pak Tani kemasan 15 kg	Pak Tani		**10**	pack							38.500	192.500
18.	Aluminium Foil 8mx45cm	Klinpak		**3**	pack							55.000	165.000
19.	Plastik cling wrap 30m x 30cm	Klinpak		**1**	pack							38.500	38.500
20.	Nitrile Examination Gloves, powder free, disposable, 100/box, size M	Sensi		**3**	pack							148.500	445.500
21.	Petri Dish plastik disposable steril 90x15 isi 500 pcs/box	Labware Charuzu	CLW-E09	**2**	pack							1.550.239	3.100.478
22.	Bayclin Pemutih Reguler 1000m			**1**	botol							31.900	31.900
23.	Tissue Facial 1.000 gram 2ply isi 2.000 sheets			**5**	pack							79.200	396.000
24.	KapasTissue paseo kitchen towel gulung 70 sheets, 3 roll/pack			**5**	pack							52.800	264.000
25.	Hand Blender (Choper penghancur miselium fungi	**Panasonic**	MXSS1	**1**	pack							1.096.700	1.096.700
26.	Kapas husada 1 kg	**Husada**		1	pack							154.000	154.000
				JUMLAH									**51.355.887**
JUMLAH TOTAL													**384.355.887**

8. ANALISIS *COST* DAN *BENEFIT* (*IMPACT* HASIL PENELITIAN)

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengukur dampak serta nilai dari hasil penelitian ini bagi para pemangku kepentingan yang terkait, termasuk petani, industri kelapa sawit, dan penelitian ilmiah.

I. Biaya (Cost)

1. Biaya Langsung:
   a. Pembayaran untuk peneliti, asisten laboratorium, dan teknisi yang terlibat dalam pengumpulan data, analisis biomolekuler, dan evaluasi hasil.
   b. Pengadaan bahan kimia, reagen, dan perlengkapan laboratorium yang diperlukan untuk analisis biomolekuler dan kultur bakteri.
   c. Biaya pembelian kecambah kelapa sawit dari produsen benih.
   d. Pembelian, pemeliharaan, dan penyewaan peralatan laboratorium yang diperlukan untuk eksperimen dan analisis.
2. Biaya Tidak Langsung
   a. Waktu yang digunakan untuk penelitian, yang dapat mengurangi tingkat produktivitas peneliti dan tim.
   b. Biaya terkait penggunaan fasilitas laboratorium, termasuk utilitas dan pemeliharaan gedung.
3. Resiko dan Kepastian
   a. Tidak ada jaminan bahwa hasil penelitian akan sesuai dengan harapan atau memberikan manfaat yang signifikan.
   b. Hasil peneitian dapat bervariasi tergantung pada faktor eksternal seperti cuaca dan kondisi tanah, yang bisa mempengaruhi keberhasilan.

II. Manfaat (Benefit)

1. Peningkata Ketahanan Tanaman Kelapa Sawit

   Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara biomolekul yang terkait dengan ketahanan kelapa sawit terhadap infeksi *Ganoderma boninense*, yang dapat membantu dalam pemilihan varietas kelapa sawit yang lebih tahan terhadap patogen, mengurangi kerugian akibat penyakit.
2. Pengurangan Penggunaan Pestisida

   Aplikasi bakteri antagonis yang berhasil dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, yang membawa keuntungan bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

3. Keberlanjutan dan Kesehatan Lingkungan

   Penerapan praktik pertanian yang berkelanjutan dapat diterapkan, menghasilkan potensi manfaat bagi ekosistem dan keseimbangan lingkungan di perkebunan kelapa sawit.

4. Dampak Ekonomi Positif
   a. Meningkatnya hasil panen dan kualitas kelapa sawit dapat meningkatkan pendapatan petani dan industri kelapa sawit secara menyeluruh.
   b. Inovasi dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit dapat menarik investasi baru di sektor agrikultur dan penelitian, memperkuat perekonomian lokal

5. Kontribusi terhadap Ilmu Pengetahuan

   Hasil penelitian dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang pertanian, mikrobiologi, dan bioteknologi.

6. Jurnal Ilmiah dan Publikasi

   Peluang untuk mempublikasikan hasil dalam jurnal ilmiah dapat meningkatkan reputasi lembaga penelitian serta memberikan pengetahuan baru yang dapat dimanfaatkan oleh peneliti lain.

III. Kesimpulan

Analisis *cost* dan *benefit* di atas memperlihatkan bahwa meskipun terdapat sejumlah biaya yang harus dikeluarkan untuk melaksanakan penelitian tentang karakterisasi biomolekuler ketahanan tanaman kelapa sawit, manfaat yang diharapkan jauh lebih besar. Peningkatan ketahanan tanaman kelapa sawit, pengurangan penggunaan pestisida, dan kontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan memiliki dampak positif yang signifikan dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Implementasi hasil penelitian ini memiliki potensi untuk meningkatkan hasil dan kualitas produksi kelapa sawit, serta mendukung keberlanjutan terhadap pertanian yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, dukungan dari pemerintah, instansi terkait, serta masyarakat luas sangat penting untuk mewujudkan keberhasilan penelitian ini dan penerapan hasilnya di lapangan. Analisis ini dapat menjadi dasar untuk mempertimbangkan investasi lebih lanjut dalam penelitian serupa serta pengembangan teknologi inovatif di sektor pertanian.