

INOVASI NANOTEKNOLOGI PUPUK BIOSILIKA TERENKAPSULASI ZEOLIT DARI LIMBAH ABU BOILER UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN SAWIT TERDAMPAK PERUBAHAN IKLIM

Oleh:

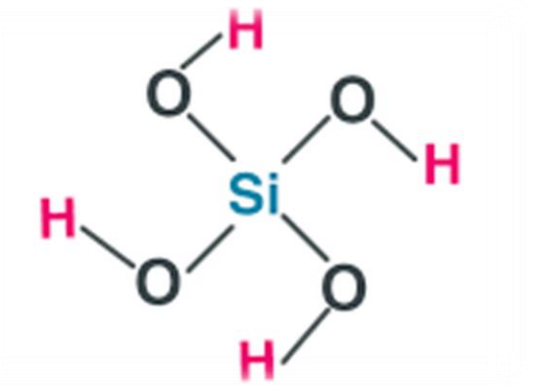
- Ir. Sundahri, PGDip.Agr.Sc., M.P. (Agronomi)
- Hardian Susilo Addy, S.P., M.P., Ph.D. (Proteksi Tanaman)
- Dr. Ir. Tri Candra Setiawati, M.Si. (Ilmu Tanah)



Kelompok Riset : Nutrition and Pest Management



TUJUAN PROJECT



1. Untuk meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman kelapa sawit tercekam kekeringan dan penggenangan akibat perubahan iklim melalui aplikasi pupuk biosilika terenkapsulasi zeolit dari limbah abu broiler pabrik minyak sawit dengan menggunakan teknologi nano.
2. Untuk meningkatkan produksi tanaman kelapa sawit melalui inovasi pupuk nano-biosilika yang terenkapsulasi zeolit.
3. Untuk meningkatkan efisiensi pemupukan melalui pemberian zeolit agar tidak mudah hilang dari zona perakaran sehingga serapan hara maksimal.
4. Untuk meningkatkan populasi PGPR pada area perakaran tanaman kelapa sawit dalam membantu ketersediaan silika pada abu boiler melalui sekresi yang dihasilkan; sekaligus untuk meningkatkan kesehatan tanaman sebagai antisipasi terhadap serangan penyakit, terutama busuk pangkal batang.
5. Untuk menemukan formula pupuk silika yang tepat bagi tanaman kelapa sawit, ramah lingkungan dan berbiaya rendah serta sesuai dengan kondisi lahan.

JUSTIFIKASI RISET/PROJECT

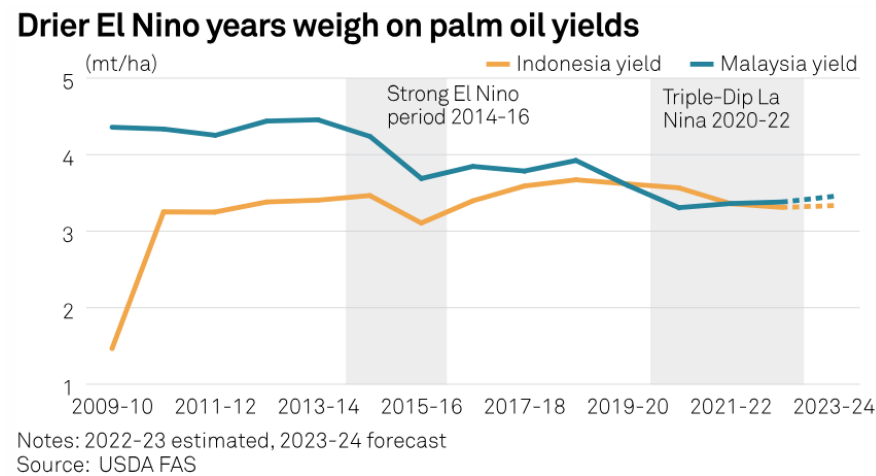
Indonesia merupakan produsen minyak sawit terbesar di dunia dengan luas lahan 14,1 juta ha menurut Renstra Kementan (2020-24) dimana sebelumnya mencapai 14,6 juta ha (BPS, 2020) dengan produksi 48,5 juta ton (CNBC, 2024).

Perubahan iklim merupakan ancaman bagi industri sawit (BPDSawit, 2024). La-nino dapat menurunkan produksi 11% di Kolumbia (Rivera-Mendes et al., 2016). Di Indonesia, selama la-nino 2015-2016 hasil sawit indonesia turun sebesar 17%, termasuk produksi BTS **PT Bumitama Gunajaya Agro (BGA)** (Ardianto et al., 2021; CNBC, 2024) (Gambar 1). Kekeringan pada fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman sawit dapat menurunkan potensi hasil hingga 40% (Amanah et al., 2019), bahkan di beberapa daerah mencapai 60% (Darlan et al., 2016; Fauzi et al., 2021).

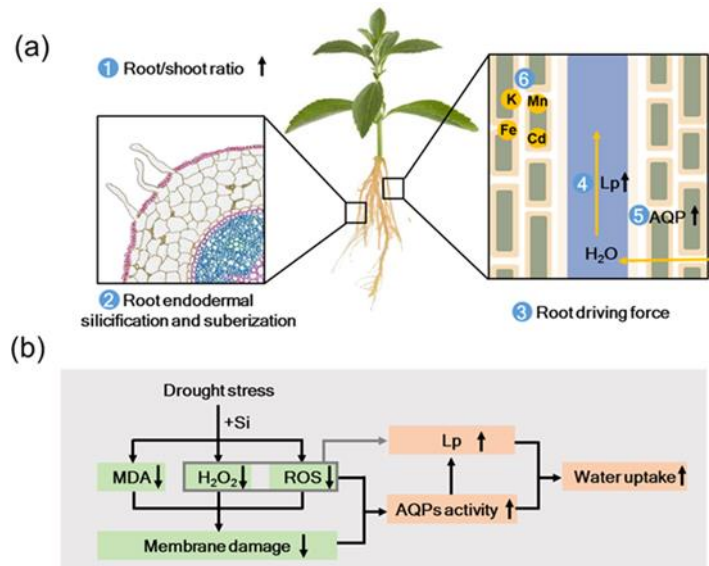
Dampak perubahan iklim lainnya adalah el-nino yang mengakibatkan banjir/penggenangan. Kalimantan sebagai sentra sawit selalu dihadapkan pada resiko banjir (Konservasi Alam Nusantara, 2022) yang berpengaruh negatif pada produksi. Daun menjadi kekuningan karena kekurangan nitrogen dan sulfur (Koon dan Kun, 2006). Di Aceh Selatan, terjadi penurunan hingga 50% akibat terendam banjir (Wahid-Antara, 2024). Selain penurunan produksi, genangan yang berkepanjangan dapat berpengaruh pada kualitas minyak, dan apabila tetap berlanjut dapat menyebabkan kematian (Firmansyah, 2018).

Silikon telah terbukti mampu mengurangi dampak buruk kekeringan atau penggenangan terhadap perkembangan dan produktivitas tanaman (Asaeedi et al., 2022; Sundahri et al., 2001; Sundahri et al., 2012; Sundahri et al., 2019) terutama pada tanaman yang dapat menyerap silika dalam kadar tinggi.

Hasil penelitian Gao et al. (2022) menunjukkan bahwa silikon mendorong biosintesis zeatin, giberelin, dan auksin, menghambat sintesis asam absisat, kemudian mendorong perkembangan akar lateral dan menghambat penutupan stomata, serta mengatur transduksi sinyal auksin, sitokinin, giberelin, dan asam salisilat. Silikon juga mengatur metabolisme berbagai asam amino dan meningkatkan akumulasi sukrosa dan glukosa untuk meningkatkan ketahanan bibit persik terhadap kekeringan. Menurut Wang et al. (2021), aplikasi silikon (Si) bertindak melalui mekanisme berikut: [a] (1) meningkatkan rasio akar/pucuk; (2) menginduksi silisifikasi dan suberisasi endodermal akar; (3) meningkatkan pegerakan akar; (4) meningkatkan konduktansi hidrolik akar (Lp); (5) peningkatan aktivitas aquaporin (AQP); dan (6) menjaga keseimbangan nutrisi. [b] Konduktansi hidrolik akar dan aquaporin diatur oleh Si pada kondisi cekaman kekeringan. Aplikasi Si meningkatkan Lp akar dengan menghambat produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan hidrogen peroksida (H₂O₂) serta meningkatkan aktivitas AQP dengan mengurangi produksi ROS dan kerusakan membran, sehingga meningkatkan penyerapan air (Gambar 2).



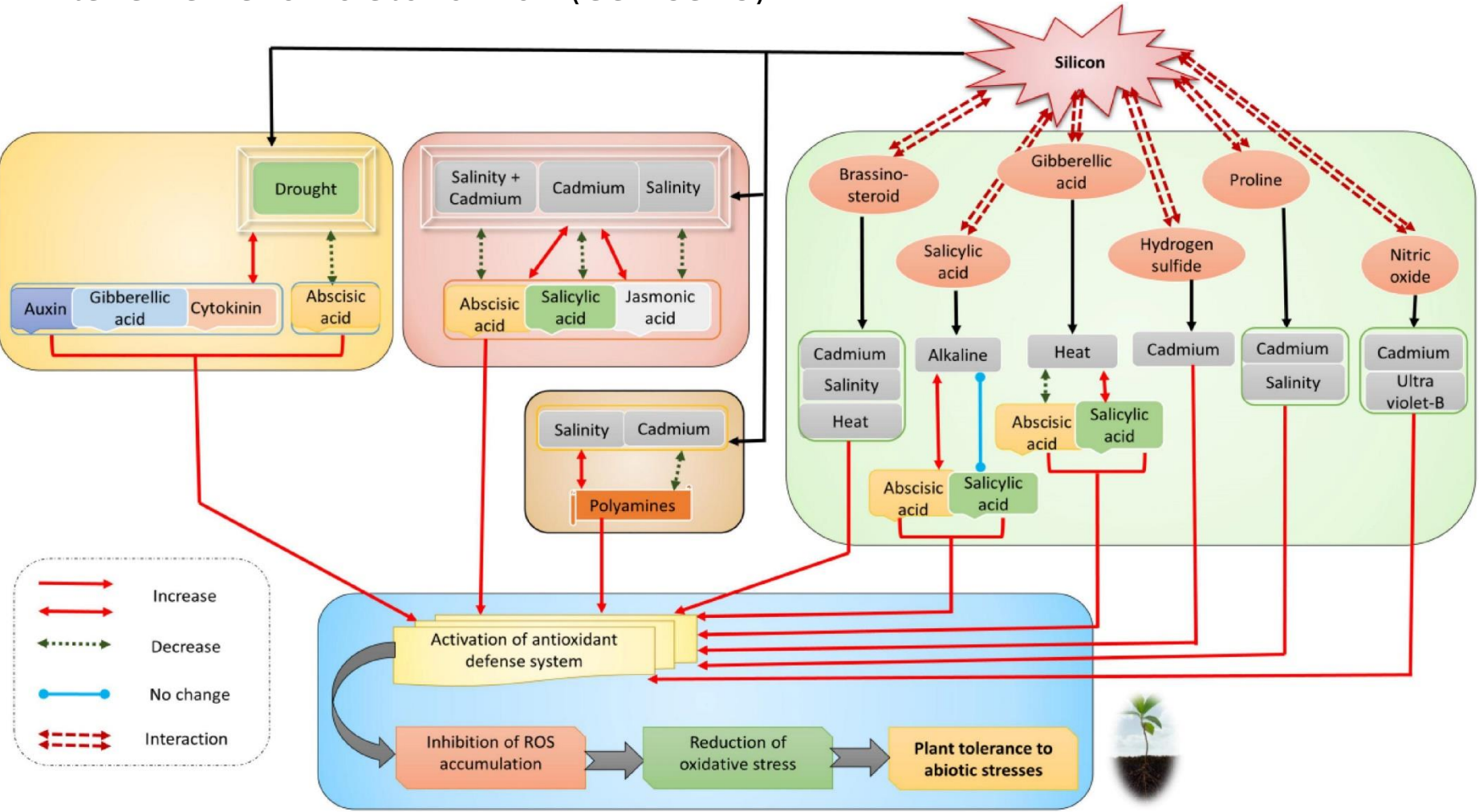
Gambar 1. Penurunan produksi sawit akibat el-nino



Gambar 2. Mekanisme silikon dalam stres kekeringan

JUSTIFIKASI RISET/PROJECT

Mekanisme silikon dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap pengenangan belum jelas walaupun dalam penelitian Lee (1993) dan Sundahri (2012) dikatakan bahwa silikon dapat mempertahankan degradasi aerenkem yang dapat menyumbat aliran oksigen akibat penuanaan jaringan. Selanjutnya, Mir et al. (2022) menjelaskan, interaksi dan jaringan komunikasi silang silikon dengan fitohormon dan molekul pemberi sinyal lainnya sebagai respons terhadap berbagai tekanan abiotik dan oksidatif diilustrasikan pada tanaman akumulator silikon (Gambar 3).



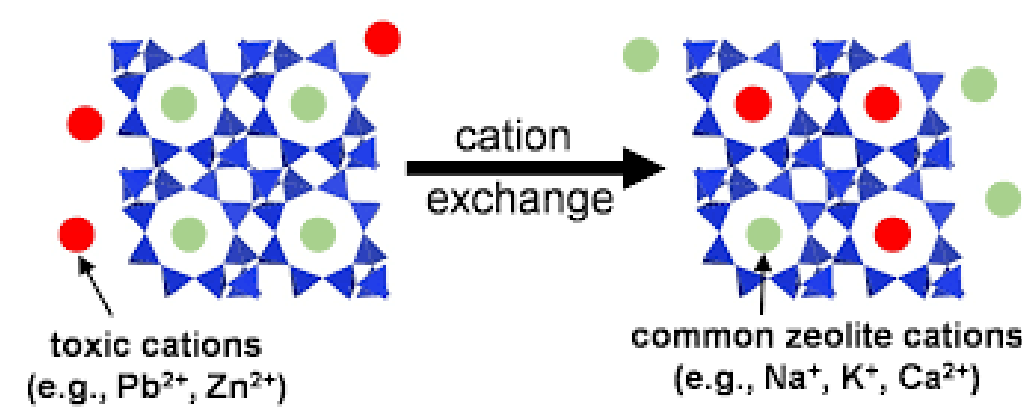
Gambar 3. Mekanisme silikon dalam stres abiotic

Tanaman sawit termasuk akumulator silika tinggi, dapat mencapai 4,07% pada daun (Duangpan et al., 2022). Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tanaman kelapa sawit akibat pengenangan dan kekeringan dapat penggunaan sumber silika banyak tersedia dan murah karena silika sintesis sangat mahal. Sumber tersebut dapat berupa: fly ash batu bara (Sundahri et al., 2011) abu sekam, jerami padi, daun bambu (Sundahri et al., 2021), batang, daun, biji, daging buah, tunggul, dan ampas tebu (Flores-Contreras et al., 2024), tempurung kelapa serta cangkang inti sawit atau abu sawit (Razak et al., 2022). Abu sawit mengandung silika cukup banyak, berkisar 31,45% (Raharja et al., 2021). Sedangkan abu boiler sawit mencapai 89,9% (Rahmania et al., 2018).

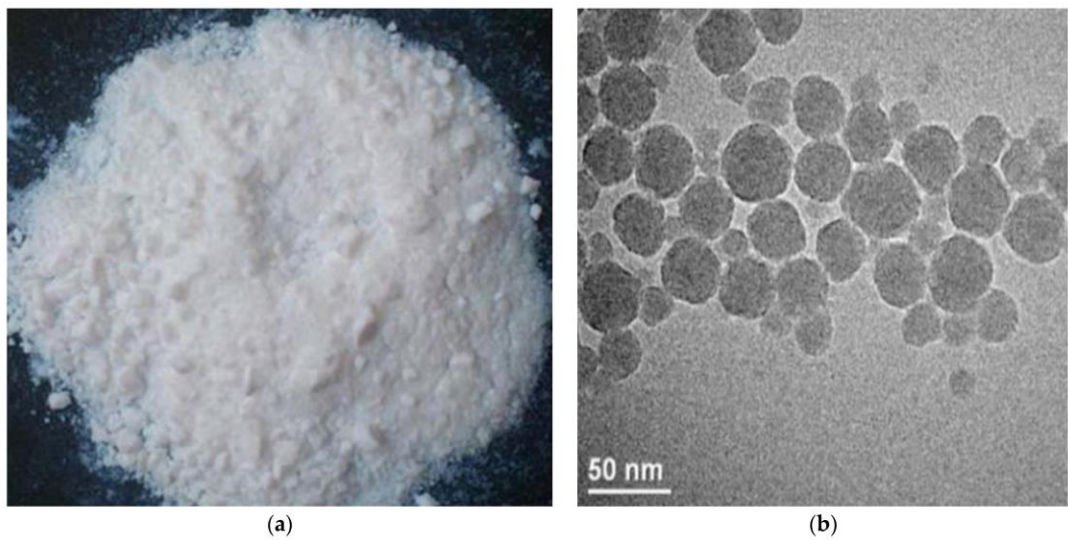
Silika asal limbah sawit jarang menggunakan teknologi nano sehingga tidak segera tersedia bagi tanaman. Menurut Flores-Contreras et al. (2024), sintesis nanopartikel silika menggunakan bahan limbah tanaman merupakan pendekatan energi hijau karena membutuhkan energi rendah dan produksi berbiaya rendah. Selain itu, penelitian limbah silika masih sedikit yang menggabungkan PGPR untuk meningkatkan kesehatan tanaman. Bahkan terdapat penelitian yang menggunakan mikroorganisme untuk meningkatkan kelarutan silika pada abu. Namun, hal ini kurang efektif karena mikroorganisme tidak berkembang dengan baik. Oleh karena itu maka dalam penelitian ini perlu adanya enkapsulasi mikroba sebagai tempat bertahan dan bertumbuh. Menurut John et al. (2011); Mustafa et al. (2023) enkapsulasi membantu mikroba mempertahankan kemampuannya dan efektivitasnya selama penerapan.

JUSTIFIKASI RISET/PROJECT

Selain itu, enkapsulasi pada penelitian ini dengan memakai zeolit diharapkan dapat mengurangi serangan penyakit busuk batang dan mengurangi kehilangan silika dan kation-kation dari zona perakaran tanaman kelapa sawit. Hal ini disebabkan zeolit memiliki pori-pori mikro bermuatan negatif dan merupakan tempat pertukaran kation (Sundahri, 2005; Price et al., 2022) (Gambar 4) yang dapat disisipi mikroba menguntungkan seperti PGPR dan silika berukuran nano (Gambar 5).

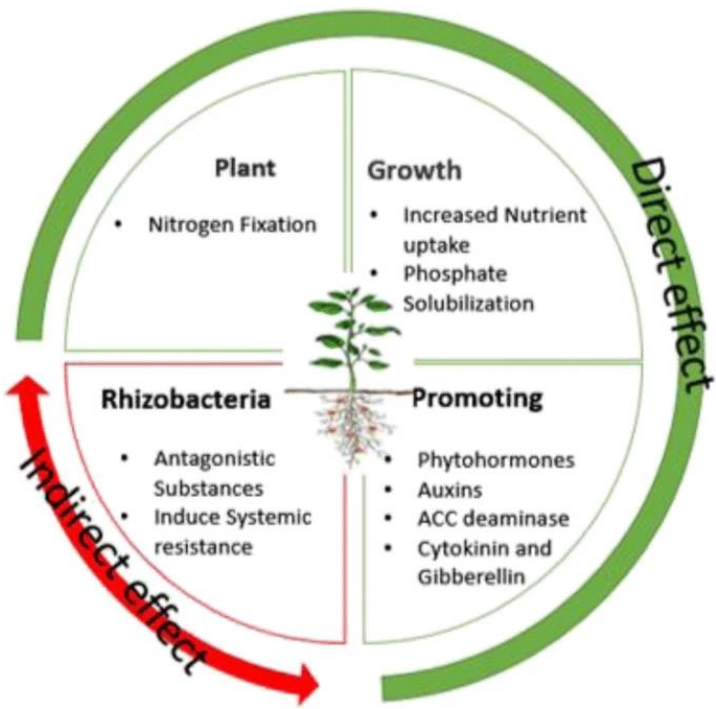


Gambar 4. Stuktur dan zone pertukaran kation dan tempat mikroba pada zeolit



Gambar 5. Nanosilika berbentuk serbuk (a), dilihat dengan SEM (b)

Rhizobakteri (plant growth promoting bacteria/PGPR) bersimbiosis dengan akar tanaman melalui dua mekanisme dasar untuk meningkatkan perkembangan dan perlindungan tanaman. Promosi langsung melibatkan mekanisme untuk meningkatkan penyerapan air dan nutrisi mineral, termasuk fiksasi nitrogen dan aktivitas pelarutan fosfat serta produksi fitohormon dan siderofor. Mekanisme tidak langsung melibatkan pengendalian fitopatogen yang berhubungan dengan berbagai penyakit tanaman melalui produksi zat antagonis (seperti antibiotik, enzim litik, bakteriosin) dan dengan menginduksi resistensi sistemik (Mustafa et al., 2019; Sundahri et al., 2023) (Gambar 6). Berdasarkan uraian di atas maka penelitian tentang inovasi nantoteknologi biosilika terkapsulasi zeolit untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit sebagai antisipasi terhadap perubahan iklim perlu dilakukan.



Gambar 6. PGPR dan pengaruhnya

BIG PICTURE RISET/PROJECT

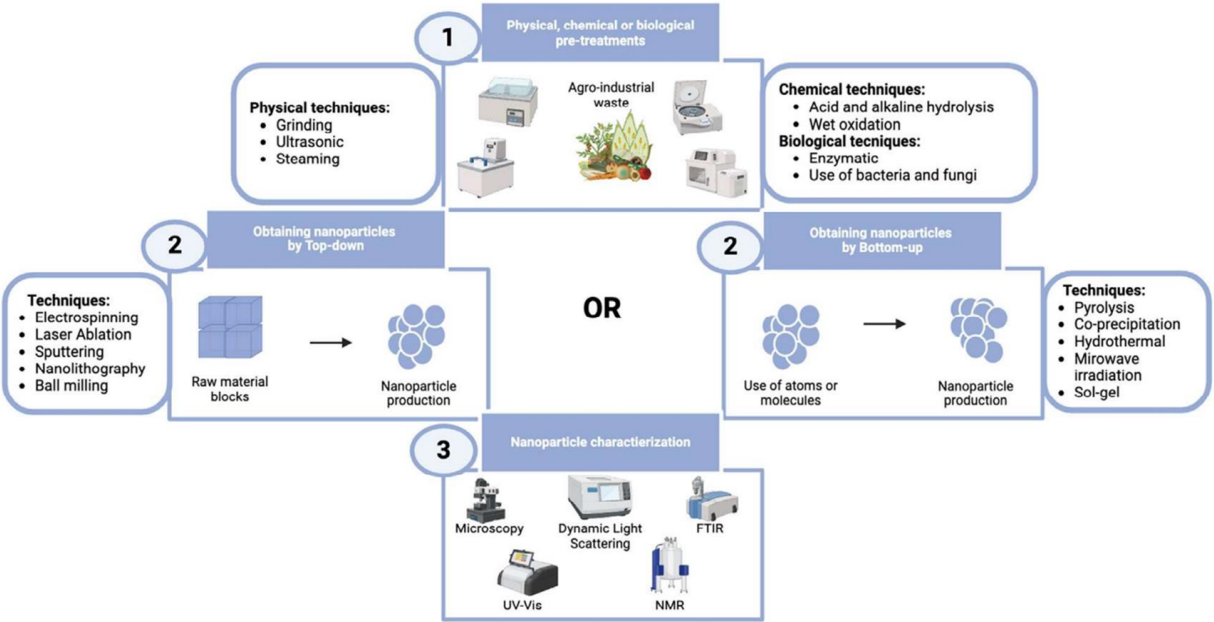
Penelitian ini direncanakan selama 3 tahun, dimana penelitian pada tahun akan dilaksanakan di beberapa laboratorium Universitas Jember. Sedangkan pada tahun kedua dan ketiga, hasil penelitian tahun ke-1 akan diaplikasikan di kebun kelapa sawit PT BGA Sampit.

TAHUN I

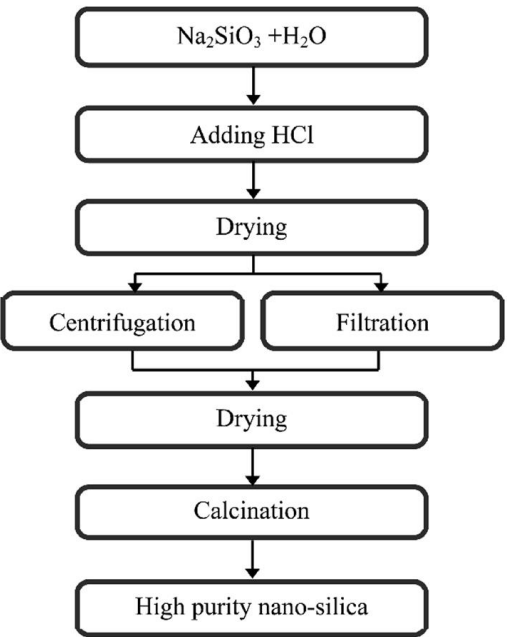
Pada tahun pertama penelitian difokuskan untuk memformulasi pupuk yang tepat atau sesuai kondisi di lapang, dimana prosedurnya sebagai berikut:

(1) Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolit

Pupuk biosilika berteknologi nano yang terkapsulasi dengan zeolit dibuat dari bahan silika berasal dari abu boiler BGA. Kemudian dengan teknologi nano bahan tersebut dimurnikan sehingga dihasilkan silika berukuran nano yaitu menggunakan teknik kimia metode sol gel sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 7-8.



Gambar 7. Nanoteknologi dengan teknik kimia



Gambar 8. Flow chart sintesis nanosilika (Choi et al., 2014)

metode sol gel. Selanjutnya silika tersebut diperkaya dengan PGPR dan dienkapsulasi dengan zeolit bayah yang mengandung silika tinggi sesuai prosedur standar menurut Mustafa et al. (2023) yang dimodifikasi. Silika murni, PGPR, zeolit dan kombinasi ketiganya dianalisis menggunakan FTIR dan SEM (mikroskop elektron).

- (2) Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolite berbentuk tablet
Pupuk biosilika ini diproduksi sesuai dengan prosedur produksi pupuk pertama tetapi dimodifikasi bentuknya menjadi berbentuk tablet agar tidak mudah hilang. Spesifikasi penggunaan pupuk ini dikhususkan pada tanaman kelapa sawit yang tergenang. Tujuannya untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, agar tidak mudah hilang dari zona perakaran.
- (3) Pupuk nano-silika berbentuk granular
Pupuk biosilika ini digunakan khusus bagi tanaman yang hanya membutuhkan asupan silika saja terutama untuk tanaman kelapa sawit yang tumbuh normal atau sehat.
- (4) Pupuk abu limbah boiler
Pupuk silika ini digunakan digunakan secara langsung tanpa melalui proses pengolahan. Pupuk ini masih kontroversi karena ada yang menyebutkan termasuk limbah B3 dan ada yang mengatakan pupuk yang aman bagi lingkungan karena berasal dari bahan organik (tanaman sawit).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini terdiri atas 2 jenis percobaan, yaitu bibit kelapa sawit diperlakukan penggenangan dan kekeringan.

Masing masing terdiri atas 2 faktor, yaitu: jenis pupuk dan dosis yang disusun secara factorial dan diulang tiga kali.

Penelitian Kekeringan:

Jenis pupuk : Kontrol, Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolite, Pupuk nano-silika berbentuk granular, dan Pupuk abu limbah boiler

Dosis pupuk: 0, 150, 300, dan 450 kg/ha

Penelitian Penggenangan:

Jenis pupuk : Kontrol, Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolit berbentuk tablet, Pupuk nano-silika berbentuk granular, dan Pupuk abu limbah boiler

Dosis pupuk: 0, 150, 300, dan 450 kg/ha

BIG PICTURE RISET/PROJECT

Parameter penelitian meliputi: tinggi tanaman, kadar air tanaman, berat kering tanaman, jumlah daun, luas daun, volume akar, analisis tanah lengkap, kekerasan jaringan, sudut daun, serapan silika dalam jaringan, serapan NPK, silika dalam tanah, laju fotosintesis, kadar klorofil, analisis fenol, analisis abu boiler-nanosilika-zeolite dengan X-Ray difraksi, FTIR dan SEM, analisis PGPR SEM, analisis silika pada dinding sel SEM, serta laju pertumbuhan bibit.

TAHUN II

Berdasarkan hasil penelitian tahun pertama maka dapat menemukan dosis yang tepat pada masing-masing jenis pupuk yang diberikan. Selanjutnya pada tahun kedua dilakukan dalam skala laboratorium dan lapangan (kebun kelapa sawit BGA di Sampit untuk menentukan efektivitas pupuk dalam menekan perkembangan penyakit busuk batang sawit dan produksi kelapa sawit. Sedangkan di lapangan, penelitian difokuskan pada jenis pupuk dan frekuensi pemberiannya dalam menekan pertumbuhan penyakit busuk batang dan produksi tanaman kelapa sawit.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini terdiri atas 2 percobaan, yaitu pada tanaman yang menunjukkan penyakit busuk batang sawit atau layu fusarium dan tanaman yang tumbuh secara normal. Masing masing terdiri atas 2 faktor, yaitu: jenis pupuk dan frekuensi pemberian yang disusun secara factorial dan diulang tiga kali.

Penelitian pada Tanaman Tersebar Penyakit:

Jenis pupuk : Kontrol, Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolite, Pupuk nano-silika berbentuk granular, dan Pupuk abu limbah boiler
Frekuensi pemberian: 1, 2, dan 3 kali

Penelitian pada Tanaman Sehat:

Jenis pupuk : Kontrol, Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolit berbentuk tablet, Pupuk nano-silika berbentuk granular, dan Pupuk abu limbah boiler
Frekuensi pemberian: 1, 2, dan 3 kali.

Parameter penelitian meliputi: tingkat keparahan terserang penyakit, analisis tanah lengkap, serapan silika dalam jaringan, serapan NPK, silika dalam tanah, laju fotosintesis, kadar klorofil, analisis fenol, analisis gejala penyakit pada dinding sel-SEM, analisis PGPR SEM, analisis silika pada dinding sel SEM, serta produksi dan kualitas buah.

TAHUN III

Berdasarkan hasil penelitian tahun kedua, akan menemukan frekuensi pemberian pupuk yang tepat. Selanjutnya pada tahun ketiga akan dilakukan penelitian pada tiga kebun kelapa sawit yang memiliki permasalahan berbeda.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini terdiri atas 2 faktor, yaitu jenis pupuk dan pengurangan dosis NPK. Masing masing-masing faktor disusun secara factorial dan diulang tiga kali.

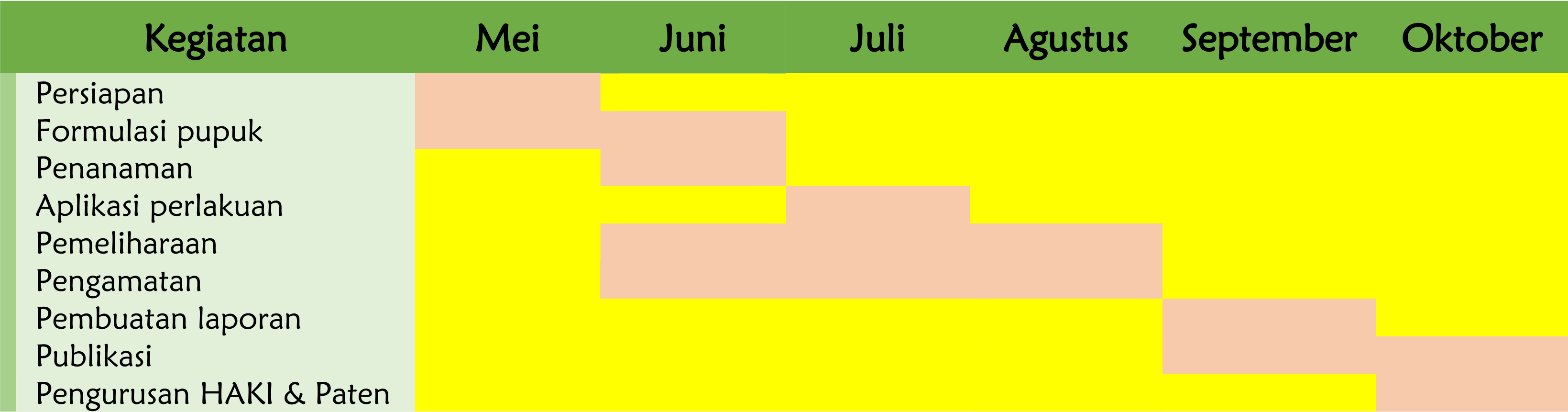
Jenis pupuk : Kontrol, Pupuk nano-biosilika terkapsulasi zeolite, Pupuk nano-silika berbentuk granular, dan Pupuk abu limbah boiler
Pengurangan dosis NPK: kontrol, $\frac{1}{4}$ dosis, $\frac{1}{2}$ dosis, dosis penuh.
dimana frekuensi pemberiannya berdasarkan pada hasil penelitian tahun kedua.

Parameter penelitian meliputi: analisis tanah lengkap, serapan silika dalam jaringan, serapan NPK, NPK tersisa pada tanah, silika dalam tanah, laju fotosintesis, kadar klorofil, analisis fenol, analisis PGPR pada zona perakaran SEM, analisis silika pada dinding sel SEM, serta produksi dan kualitas buah.

BIG PICTURE RISET/PROJECT

Tahun	2024	2025	2026
Luaran	Prototipe pupuk Si Publikasi di Jurnal Internasional terindeks Scopus dan koran online HAKI dan Paten	Produksi pupuk nano- biosilika terkapsulasi zeolit Implementasi inovasi di lapangan	Scalability Implementasi inovasi di lapangan dalam skala luas
Biaya	Rp 299.580.000	Rp 450.000.000	Rp 950.000.000

GANTT CHART PELAKSANAAN



RAB RISET/PROJECT

1. HONORAIUM				
Keterangan	Harga	Satuan	Volume	Jumlah
Project Leader	2.500.000	Bulan	6	15.000.000
Anggota peneliti	1.500.000	Bulan	6 x 2	10.000.000
Teknisi laboratorium	1.250.000	Bulan	4	5.000.000
Pengumpul data	1.000.000	Bulan	3	3.000.000
Pengolah data	1.000.000	Bulan	3	3.000.000
Teknisi lapangan	1.000.000	Bulan	4	4.000.000
SUB TOTAL (Rp)				40.000.000
2. BAHAN				
Keterangan	Volume	Harga	Satuan	Jumlah
Pereaksi Anthrone (analisis karbohidrat)	200	7.000	mL	1.400.000
Aquades	25	12.000	L	300.000
H ₂ SO ₄	5	50.000	L	250.000
Zeolit	50	15.000	kg	750.000
Na ₂ SO ₄	6	950.000	kg	5.700.000
HCl	5	90.000	L	450.000
Kertas Lakmus	5	10.000	Pcs	50.000
Bibit sawit	216	5.000	batang	1.080.000
Ember	216	25.000	lembar	5.400.000
Bakteri PGPR	1	2.000.000	paket	2.000.000
Tanah	2	400.000	Truk	800.000
Pupuk NPK 16 16 16	1	50.000	kg	50.000
Meteran	2	25.000	Pcs	50.000
Larutan safranin (analisis flavonoid)	500	1.500	mL	750.000
Kertas saring Whatman	2	500.000	Pcs	1.000.000
SUB TOTAL (Rp)				20.030.000

3. JASA				
Keterangan	Volume	Harga	Satuan	Jumlah
Sewa greenhouse	1	5000000	set	5.000.000
Sewa laminar	1	500000	buah	500.000
Sewa sentrifuge	1	500000	buah	500.000
Sewa furnes	1	1000000	set	1.000.000
Sewa AAS	1	2000000	set	2.000.000
Sewa oven	3	100000	buah	300.000
Analisis tanah lengkap	1	2000000	paket	2.000.000
Analisis kekuatan jaringan	48	100000	sampel	4.800.000
Jasa analisis kekuatan jaringan	48	100000	sampel	4.800.000
Analisis kandungan unsur dalam zeolit	8	100000	buah	800.000
Jasa pemanasan zeolit dalam furnes	1	500000	paket	500.000
Analisis serapan NPK tanaman	48	225000	sampel	10.800.000
Jasa analisis serapan silika dalam jaringan	48	150000	sampel	7.200.000
Jasa analisis silika dalam tanah	48	125000	sampel	6.000.000
Jasa analisis aktivitas fotosintesis	48	250000	sampel	12.000.000
Jasa analisis klorofil	48	150000	sampel	7.200.000
Jasa analisis metabolit sekunder	48	350000	sampel	16.800.000
Jasa dokumentasi foto dan videografi	1	5000000	paket	5.000.000
Sewa laboratorim	1	4000000	paket	4.000.000
Jasa pegamatan PGPR dalam zeolit - SEM	24	750000	sampel	18.000.000
Jasa pengamatan abu boiler - SEM	4	750000	sampel	3.000.000
Jasa pengamatan nanosilika - SEM	4	750000	sampel	3.000.000
Jasa pegamatan PGPR dalam zeolit - SEM	24	750000	sampel	18.000.000
Jasa analisis X-Ray difraksi zeolit dan PGPR	16	500000	sampel	8.000.000
Jasa analisis spektra FTIR zeolit dan PGPR	16	500000	sampel	8.000.000
Jasa analisis nanosilika-PGPR-zeolit - SEM	24	400000	sampel	9.600.000
Jasa pegamatan struktur zeolit - SEM	4	750000	sampel	3.000.000
Jasa pengmatan silika dengan infrared	24	400000	sampel	9.600.000
Jasa pengamatan silika zeolit - SEM	24	750000	sampel	18.000.000
Jasa pengamatan PGPR - SEM	4	750000	sampel	3.000.000
Jasa pembuatan mikrotom untuk preparat	24	75000	sampel	1.800.000
Jasa analisis silika pada dinding sel -SEM	24	750000	sampel	18.000.000
Transpor Jember - BGA Sampit	2 x 2	5.000.000	PP	20.000.000
Jasa pengiriman bibit tanaman kelapa sawit	216	50.000	kg	10.800.000
Jasa pengiriman abu limbah boiler	50	50.000	kg	2.500.000
Biaya menerjemahkan	1	500000	artikel	500.000
Biaya proof reader	1	2500000	artikel	2.500.000
Biaya publikasi di jurnal internasional	1	5.000.000	artikel	5.000.000
Biaya pembuatan laporan	1	500000	paket	500.000
Biaya desain kemasan pupuk	1	250000	paket	250.000
Biaya kemasan pupuk nanobiosika zeolit	50	10000	paket	500.000
Biaya pembuatan banner pekan inovasi	1	500000	paket	500.000
Biaya publikasi di media massa	1	500000	paket	500.000
Biaya pengurusan HKI	1	4500000	paket	4.500.000
Biaya pengurusan Paten 10 tahun	1	13500000	paket	13.500.000
Biaya Pekan Inovasi BGA	1	6000000	paket	6.000.000
SUB TOTAL (Rp)				239.550.000
Total anggaran yang diusulkan (Rp)				299.580.000

DAMPAK RISET/PROJECT

Financial

Jenis Saving

- Potensi Gross Profit sangat rendah karena bahan bakunya berupa limbah dan tidak perlu dipanaskan kembali dalam suhu sangat tinggi, sudah dalam bentuk abu. Hal ini dapat memperkecil biaya kotor.
- Potensi Cost Avoidence : pupuk yang dihasilkan dapat menurunkan kerugian akibat cekaman lingkungan abiotik maupun biotik pada tanaman sawit.
- Potensi Profit akan sangat tinggi karena hemat energi dan bahan bakunya diperoleh dari recycle limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Silika murni juga dapat digunakan sebagai bahan dasar industri yang bernilai ekonomis tinggi.

Komponen Cost Project Analisa Benefit :

- Profit/Saving Project sangat tinggi karena bahan baku gratis dan hemat energi bahan bakar.
- Payback Period sekitar 2 tahun setelah proyek penelitian selesai.
- Benefit Cost Ratio (Rasio B/C) 1,5 dalam dua tahun setelah proyek berakhir.

Non Financial

Komponen Analisa Dampak :

- Analisa Resiko dapat menekan kerugian karena terjadi penggenangan, kekeringan dan serangan penyakit yang disebabkan oleh jamur.
- Analisa Lingkungan dapat mengubah limbah abu boiler yang dapat mencemari lingkungan menjadi silika yang bernilai ekonomis tinggi.

- Analisa Legal berupa HAKI dan paten dapat menjadi milik bersama antara perusahaan dan peneliti.

Analisa Resiko (dapat mencegah) :

- Penurunan produksi akibat perubahan iklim (kekeringan, banjir dan angin kencang).
- Hama dan penyakit, seperti *Ganoderma boninense* (busuk pangkal batang) dan *Fusarium oxysporum* f. sp. elaeidis (layu fusarium).
- Kehilangan pupuk dari zona perakaran atau penurunan kesuburan tanah.
- Pencemaran tanah, air dan udara akibat limbah abu silika industri sawit.
- Penurunan kemasaman tanah.
- Pertumbuhan bibit yang rendah.

Keuntungan lain :

- Meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit.
- Mempercepat dan memaksimalkan serapan hara.
- Mengurangi penggunaan kapur dalam mengatasi kemasaman tanah
- Mengurangi pemakaian pestisida sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan dan residu bahan aktif pestisida pada minyak sawit.
- Meningkatkan nilai ekonomis limbah pabrik minyak sawit menjadi pupuk nano-biosilika terenkapsulasi zeolit yang ramah lingkungan dan low cost; disamping menghasilkan silika murni sebagai bahan dasar industri (hilirisasi lebih lanjut), seperti: katalisis, pigmen, farmasi, film tipis, isolator elektronik dan termal, bioimaging, biomedis, industri makanan, absorber kelembaban dan sebagainya.



Bumitama Gunajaya Agro

**THANK
YOU**

—