

## Teknologi baja GREENCOAT: Formulasi pelepasan nutrien terkawal masa bagi tanaman betik

(GREENCOAT fertiliser technology: Time controlled nutrient release formulation for papaya crops)

Muhammad Syahren Adzahar, Muhammad Hafiz Muhammad Hassan, Norsyahidah Mohd Sam dan Wan Mahfuzah Wan Ibrahim

### Pengenalan

Tanaman betik (*Carica papaya* L.) di Malaysia adalah seluas 2,529 hektar dengan kadar sara diri (SSR) 142.3% berdasarkan Perangkaan Agromakanan 2022. Sebanyak 99.5% dieksport ke Singapura dengan nilai purata sehingga RM30 juta setahun menjadikannya antara tanaman buah premium di Malaysia. Kawasan bertanam ini dijangka akan terus meningkat saban tahun, seiring dengan penghasilan pelbagai teknologi daripada MARDI dalam membantu penanaman betik, bermula dari peringkat biji benih, pengurusan kawalan penyakit dan perosak yang intensif sehingga kepada pelbagai peringkat pertumbuhan bagi peningkatan produktiviti. Antara varieti yang popular ialah Exotica 2 yang mampu mencapai purata hasil 50 – 80 t/ha setahun dan varieti Sekaki dengan 100 – 150 t/ha setahun. Namun bagi mengekalkan pengeluaran hasil yang tinggi untuk memenuhi pasaran dalam dan luar negara, kadar pembajaan yang intensif menggunakan baja sebatian NPK setiap bulan perlu dijalankan iaitu sebanyak 100 – 700 kg sebatian NPK diperlukan mengikut umur pokok. Penyelidikan menunjukkan hanya 45 – 50% aplikasi nutrien nitrogen (N) diserap tanaman seperti buah-buahan.

Kurangnya ambilan nutrien nitrogen adalah disebabkan kehilangan 50 – 55% pada peringkat aplikasi baja seperti pemeruapan, denitrifikasi, hakisan tanah dan larut resap. Aplikasi nutrien fosforus (P) yang berlebihan pula akan mengakibatkan masalah risiko ekologi iaitu pengumpulan P berlebihan dalam tanah dan larut resap N-P ke dalam air sungai mengakibatkan eutrofikasi. Pada amnya, pengambilan nutrien oleh tanaman hanyalah sekitar 40 – 50% sahaja dan lebihan baja mengakibatkan pembaziran serta pencemaran alam sekitar. Penggunaan baja pelepasan nutrien terkawal masa [*controlled released fertiliser (CRF)*] adalah satu alternatif bagi mengurangkan kehilangan nutrien ke persekitaran malah dapat memenuhi keperluan bagi pertumbuhan tanaman secara spesifik. Melalui amalan konvensional, aplikasi dan jumlah baja yang diperlukan untuk tanaman betik adalah berterusan setiap sebulan. Walau bagaimanapun, dengan menggunakan baja pintar CRF ini, jumlah dan frekuensi aplikasi baja akan dapat dikurangkan selain keperluan nutrien dapat dibekalkan secara tepat iaitu ketika tahap kritikal pertumbuhan. Namun kos baja CRF sedia ada di pasaran sekarang ini adalah jauh lebih mahal sehingga 2 – 3 kali ganda daripada kos baja konvensional. Selain itu, ia juga menggunakan bahan salutan yang

terdiri daripada kimia polimer plastik/resin yang sukar terurai dalam tanah sekali gus mengakibatkan pencemaran alam sekitar.

Alternatif penggunaan teknologi hijau seperti bahan salutan biopolimer dan agropolimer pula mempunyai pelbagai kegunaan dalam penghasilan baja CRF yang konsisten. Secara relatifnya, bahan agropolimer adalah mudah reput serta dapat menyerap kandungan air sehingga 200%. Maka, formulasi agropolimer GREENCOAT telah dibangunkan sebagai bahan salutan baja pelepasan nutrien terkawal masa yang mesra alam menggunakan bahan pengikat yang dimodifikasi dari segi kimia-fizikal untuk membentuk mekanisme 'nutrient release pattern' dalam salutan baja sebatian supaya bersesuaian untuk ambilan tanaman betik. Formulasi ini memberi pengurangan jumlah dan frekuensi aplikasi baja sehingga 25 – 50% berbanding dengan amalan pembajaan konvensional.

### **Teknologi baja GREENCOAT untuk tanaman betik**

Baja pelepasan nutrien secara terkawal masa dibangunkan berdasarkan parameter-parameter tertentu bagi mematuhi keperluan pengambilan nutrien bagi tanaman spesifik. Dalam penyelidikan pada tahun 2016, MARDI melalui Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja (SF) telah menghasilkan bahan ekstrak polisakarida berserta komposisi terbitannya (pektin, selulosa, hemiselulosa dan lignin) daripada pelbagai jenis sisa pertanian. Pencirian fungsi komposisi terbitan bahan-bahan tersebut menunjukkan ciri-ciri yang sesuai untuk formulasi salutan baja pelepasan nutrien secara perlahan selain fungsi fizikal dan komposisi molekul yang berbeza bagi menentukan kadar masa pereputan dalam tanah. Oleh yang demikian, fokus kajian ini lebih menjurus kepada pengoptimuman parameter formulasi hibrid komposit tersebut dari segi jisim molekul [*molecular weight* (MW)], peratus karbon, ketebalan/lapisan salutan, pembentukan dan saiz partikel, suhu, hidroskopi, porositi, kandungan kelembapan dan kestabilan fizikal bahan bagi menghasilkan satu salutan yang efektif.

Formulasi yang dihasilkan diuji dalam tiub larut resap dan melalui ujian inkubasi tanah dalam tempoh masa 3 – 4 bulan bagi mengkaji kandungan nutrien yang dilepaskan dalam kondisi tanah mineral. Penggunaan semua parameter formulasi untuk bahan salutan komposit yang dibangunkan adalah khusus bagi mengawal pelepasan nutrien untuk tanah tempatan dan disesuaikan dengan keperluan tanaman betik secara spesifik dengan julat kadar nutrien seimbang seperti peringkat pertama iaitu menggalakkan pembentukan pucuk baru di mana kandungan pembebasan nutrien yang diperlukan iaitu nitrogen (N) lebih tinggi berbanding dengan fosforus (P) dan kalium (K). Bagi peringkat kedua pula adalah pertumbuhan bunga di mana keperluan nutrien P dan K adalah lebih tinggi berbanding dengan N. Seterusnya peringkat ketiga adalah pembentukan buah iaitu nutrien K diperlukan lebih tinggi berbanding dengan N dan P.

Formulasi akan dilengkapi lagi dengan unsur makro (Mg, Ca) dan mikro (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo) nutrien tambahan yang penting dan diperlukan oleh tumbuhan melalui pensampelan tisu tumbuhan dan tanah menggunakan kaedah 'nutrient budgets' dan DRIS.

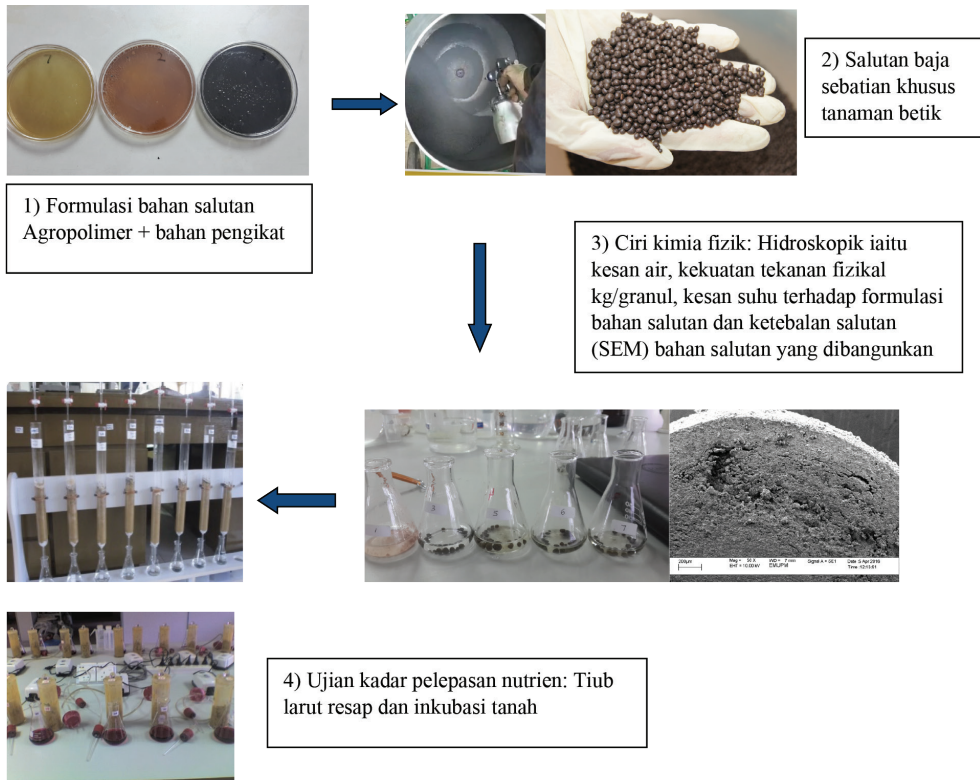
### **Proses penghasilan formulasi GREENCOAT betik**

Teknologi ini menggunakan sisa pertanian dari lapangan seperti tandan kelapa sawit kosong [*empty fruit bunch* (EFB)], kulit nangka, sisa jagung dan sisa nanas. Sisa pertanian ini dikumpulkan sebelum dikeringkan dan dikisar menjadi serbuk bagi mengekstrakan pelbagai komponen dalam agropolimer seperti pektin, selulosa, hemiselulosa dan lignin. Bahan salutan agropolimer diekstrak secara kaedah pengasingan kimia dan diformulasi menggunakan bahan pengikat mengikut nisbah parameter tertentu menjadi bahan salutan polimer. Proses salutan baja pula menggunakan bahan pengikat mengikut nisbah peratusan tertentu. Sebelum diuji secara kimia dan fizikal di makmal, formulasi komposisi agropolimer adalah mengikut parameter kadar pereputan agropolimer dalam tanah yang telahpun dibangunkan. Kadar pereputan agropolimer yang terpilih adalah berdasarkan MW setiap bahan iaitu antara 5,000 – 10,000 MW bagi proses salutan baja sebatian khusus untuk tanaman betik. Proses seterusnya adalah penentuan kadar pelepasan nutrien (*Nutrient Release Pattern*) menggunakan tiub larut resap dan inkubasi tanah yang dijalankan di makmal seperti bagi penentuan kadar pelepasan nutrien yang diperlukan khusus untuk tanaman betik bagi pemilihan formulasi terbaik sebelum ujian di lapangan. *Carta alir 1* menunjukkan proses penghasilan parameter bagi penentuan formulasi bahan salutan yang dibangunkan serta keberkesanan formulasi baja GREENCOAT di peringkat makmal.

### **Pencirian fiziko-kimia baja GREENCOAT betik di makmal**

Teknologi baja GREENCOAT betik yang berasaskan formulasi bahan salutan agropolimer direka bagi kadar pelepasan nutrien 3 – 4 bulan bagi memenuhi keperluan tanaman betik dengan nisbah nutrien 15:9:17:3 + TE. Parameter-parameter seperti keseimbangan formulasi kandungan makro dan mikro nutrien ini penting bagi memastikan kadar pelepasan nutrien yang mencukupi bagi keperluan tanaman manakala ketebalan salutan menentukan berapa lama baja salutan tersebut dapat bertahan dalam tanah di mana bagi tanaman betik telah ditetapkan tempoh 3 – 4 bulan. Pelbagai parameter pencirian fiziko-kimia turut dianalisis seperti dalam *Jadual 1* bagi memastikan kadar pelepasan nutrien tersebut dapat dikawal seperti peratusan kandungan abu ataupun kadar ikatan karbon dalam formulasi, ketahanan suhu, kekuatan mekanikal granula baja salutan dan peratusan porositi kadar serapan air yang memainkan peranan penting dalam menyerap air sama ada melalui pengairan/hujan bagi melarutkan baja sebatian sekali gus melepaskan kandungan nutrien mengikut

masa yang telah ditetapkan. Sebanyak 252 formulasi telah dibangun mengikut pelbagai nisbah peratusan komposisi agropolimer dan bahan pengikat telah diuji di peringkat makmal sebelum pengesyoran formulasi ini dibuat.

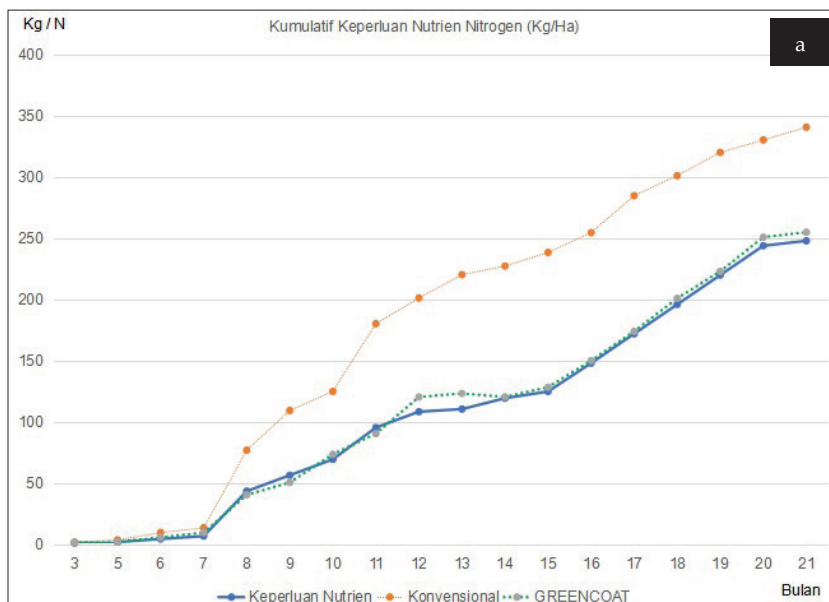


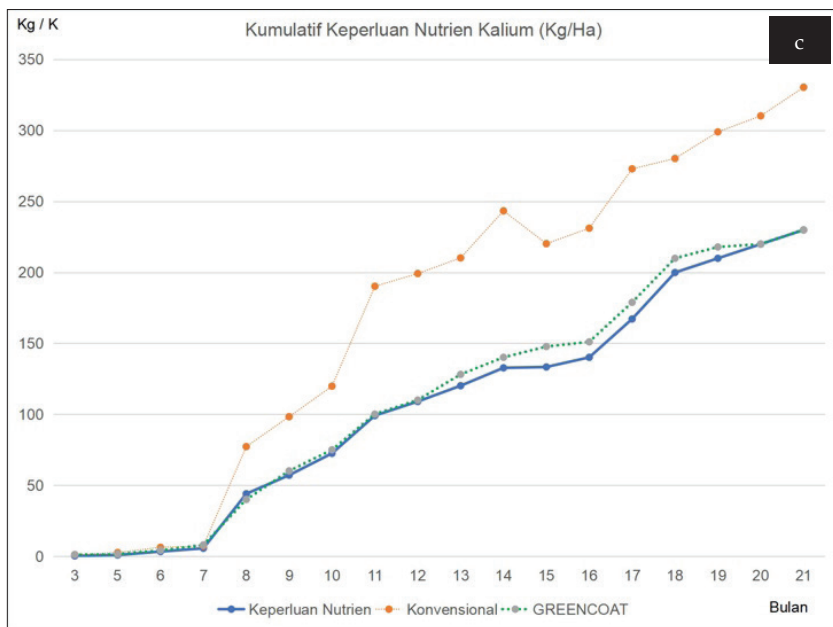
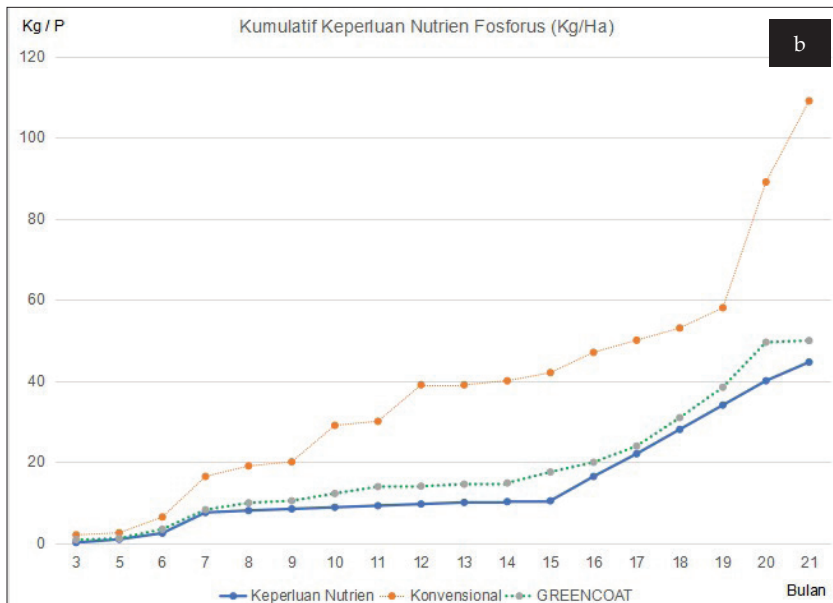
Carta alir 1. Proses penghasilan formulasi bahan salutan baja GREENCOAT betik

Jadual 1. Pencirian fizik dan kimia formulasi baja pintar betik

Parameter	GREENCOAT betik	
Makronutrien (%)	N	15.0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	9.0
	K <sub>2</sub> O	17.0
	MgO	3.0
Mikronutrien (ppm)	B	45.0
	Mn	5.0
	Zn	10.0
Tebal salutan (μm)	2.68 – 2.87	
Porositi (%)	41 – 44	
Kandungan abu (%)	0.5 – 1.0	
Kesan suhu (°C)	50 – 80	
Kekuatan (kg/granul)	5.0 – 8.0	

Satu pangkalan data bagi semua parameter ini telah dibangunkan bagi mendapatkan formulasi terbaik, khusus untuk tanaman betik. Baja pintar betik ini mempunyai kadar pelepasan nutrien yang lebih rendah berbanding dengan konvensional iaitu sebanyak 32 – 65% seperti dalam *Rajah 1* bagi memenuhi keperluan nutrien tanaman melalui ujian makmal yang dilakukan menggunakan tiub larut resap dan inkubasi tanah. *Rajah 1* juga menunjukkan antara kadar pelepasan makro nutrien bagi nitrogen (N), fosforus (P) dan kalium (K) bagi formulasi yang terbaik bagi memenuhi kadar keperluan nutrien tanaman mengikut pengesyoran kaedah DRIS. Perbandingan juga dibuat dengan pengesyoran baja konvensional yang menampakkan kadar pelepasan nutrien yang amat tinggi berbanding dengan graf kadar pelepasan nutrien formulasi GREENCOAT dan keperluan tanaman betik. Ini adalah amat penting bagi meningkatkan kecekapan nutrien di samping mengurangkan kehilangan nutrien baja konvensional yang agak intensif saban tahun.





Rajah 1. Kumulatif kadar pelepasan nutrien (kg/ha) bagi aplikasi baja konvensional dan GREENCOAT berbanding dengan keperluan nutrien tanaman bagi 21 bulan. (a) Nitrogen (N), (b) Fosforus (P) dan (c) Kalium (K)



### Kajian lapangan baja CRF GREENCOAT

Kajian lapangan baja GREENCOAT betik telah dijalankan di MARDI Sintok, Kedah selama dua musim (*Gambar 1*). Hasil kajian tersebut menunjukkan pengurangan kos pengeluaran ladang dapat dikurangkan di mana frekuensi aplikasi sehingga 75%, di mana aplikasi baja GREENCOAT hanyalah setiap tiga bulan berbanding dengan baja konvensional yang perlu diaplikasi setiap bulan (*Jadual 2*). Kajian tersebut juga mendapati terdapat peningkatan hasil sebanyak 30.5% tanpa berlaku perbezaan signifikan dari segi kualiti buah. Jumlah kadar penggunaan baja juga dapat dikurangkan sebanyak 41 – 64% berbanding dengan amalan konvensional (*Jadual 3*). Penggunaan baja CRF GREENCOAT betik yang cekap dan mesra alam ini sekali gus dapat membantu mengurangkan kos pekerja selain kos pembajaan.

### Aplikasi dan manfaat

Melalui teknologi CRF GREENCOAT ini, petani dan pengusaha tanaman dapat menjimatkan kos pengeluaran tanaman betik dengan mengurangkan kadar larut resap baja ke persekitaran. Selain itu, teknologi ini juga berpotensi diperluaskan kepada tanaman buah-buahan lain dengan tempoh keperluan nutrien selama 3 – 4 bulan seperti tanaman pisang, belimbing, buah naga dan sebagainya.



*Gambar 1. Plot eksperimen, aplikasi GREENCOAT betik di lapangan dan pengambilan data hasil dan kualiti buah betik di MARDI Sintok, Kedah*

Jadual 2. Kadar aplikasi baja konvensional berbanding dengan baja GREENCOAT bagi tanaman betik

Masa aplikasi (bulan)	Konvensional (g/pokok)	GREENCOAT betik (g/pokok)
0 (sebelum tanam)	CIRP - 100 Baja organik - 60 GML - 60	CIRP 100 Baja organik 60 GML 60
1	15:15:15 - 200	15:9:17:3 - 300
2	15:15:15 - 200	-
3	15:15:15 - 200	-
4	12:12:17:2 - 200	15:9:17:3 - 300
5	12:12:17:2 - 200	-
6	12:12:17:2 - 200	-
7	12:12:17:2 - 200	15:9:17:3 - 300
8	12:12:17:2 - 200	-
9	12:12:17:2 - 200	-
10	12:12:17:2 - 200	15:9:17:3 - 300
11	12:12:17:2 - 200	-
12	12:12:17:2 - 200	-

Jadual 3. Perbezaan purata hasil kg/pokok, kualiti buah dan aplikasi nutrien bagi baja konvensional dan GREENCOAT betik di plot MARDI Sintok, Kedah 2018 – 2019 dan Pertubuhan Peladang kawasan (PPK) Gombak/Petaling 2019/2020

Parameter	MARDI Sintok		PPK Gombak/Petaling	
	Konvensional	GREENCOAT betik	Konvensional	GREENCOAT betik
Purata hasil (kg/pokok)	17.56	22.93 (Peningkatan 30.5%)	18.19	23.89 (Peningkatan 31.3%)
Panjang buah (cm)	32.34	31.43	31.10	31.29
Diameter buah (cm)	10.32	11.15	11.16	11.24
Berat isi (g)	20.12	19.23	-	-
Berat biji (g)	51.13	52.87	-	-
Berat kulit (g)	106.21	110.23	-	-
TSS (%)	12.33	12.06	12.07	12.12
Aplikasi N (kg/pokok)	0.306	0.180 (-41.2%)	0.306	0.180 (-41.2%)
Aplikasi P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/pokok)	0.306	0.108 (-64.7%)	0.306	0.108 (-64.7%)
Aplikasi K <sub>2</sub> O (kg/pokok)	0.396	0.204 (-48.48%)	0.396	0.204 (-48.48%)



## Kesimpulan

Sisa pertanian tempatan berpotensi menghasilkan agropolimer pada kos rendah dan mesra alam berbanding dengan salutan kimia dengan harga pasaran 2 – 3 kali ganda lebih tinggi. Penjimatan kos aplikasi juga dapat dikurangkan sehingga 75% di mana pengesyoran aplikasi baja GREENCOAT dibuat hanya sekali dalam tempoh tiga bulan berbanding dengan aplikasi baja konvensional yang intensif setiap bulan. Selain itu, baja salutan pelepasan nutrien terkawal masa (CRF) di pasaran kebanyakannya menggunakan bahan salutan kimia seperti sulfur, formaldehyde, polyolefin, polyvinyl chloride (PVC), polysulfone (PSF), polyacrylamide (PA) dan asid polilaktik (PLA) di mana penggunaan bahan berasaskan plastik mempunyai tempoh pereputan yang lama serta boleh mencemarkan alam sekitar. Formulasi GREENCOAT yang dihasilkan adalah berdasarkan MW (jisim molekul) agropolimer dan kestabilan melalui modifikasi secara kimia dan fizikal dengan salutan poros air dan 100% pereputan secara semula jadi. Ia mampu meningkatkan peratus keberkesanan nutrien (N: 58.8%, P: 35.3%, K: 51.5%) dan mengurangkan kehilangan nutrien (N: 41.2%, P: 64.7%, K: 48.5%) khususnya untuk formulasi tanaman betik di tanah mineral dan berpasir.

## Bibliografi

- Allison, F. E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.* 18, 219–258.
- Bhaduri, D., & Pal, S. (2013) Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): concepts and applications on nutritional diagnosis of plants. *J. Soil and Water Sci. Conserv.* 12(1), 70–79.
- Carpenter, S. R. (2008). Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 105, 11039–11040.
- Fenn, L. B., & Kissel D. E. (1973). Ammonia volatilization from surface application of ammonia compounds on calcareous soils. *General Theory. Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 137, 885–859.
- Maher, M. J. (1998). Horticultural growing media and plant nutrition. *Teagasc*. 19 Sandymount Avenue, Balsbridge, Dublin.
- Muhammad Syahren, A., Muhammad Hanafi, M., & Roslan, I. (2016). Extraction and analysis of polysaccharides from various Malaysian agrowaste. *Technical Report 2015, Crop and Soil Science Research Centre*, 312–305.
- Muhammad Syahren, A., Muhammad Hafiz, M. H., Zulharmey, M. S., Norsyahidah, M. S., Wan Mahfuzah, W. I., & Norfadilah, A. H. (2021). Pembangunan formulasi baja pintar GREENCOAT untuk tanaman betik dan mangga. Seminar Buah-buahan Kebangsaan 2021, MARDI-TFNET, Serdang, Selangor.
- Perangkaan Agromakanan (2022). Penerbitan Perangkaan Agromakanan 2022, Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan.

- Syers, J. K. (1996). Nutrient budgets: uses and abuses. Dalam: Soil data for sustainable land uses: A training workshop for Asia. *IBSRAM-Thailand Proceedings* 15, 163–168.
- Watson, B. J. (1983). Papaya, *Fruit Council of Australia*. Fact Sheet No. 6.
- Xiaoyun, M., & Zongwen, L. (2005). Controlled-release fertiliser (CRF): A green fertilizer for controlling non-point contamination in agriculture. *J. Env. Sci.*, 17(2), 181–184.

### **Ringkasan**

Pembangunan baja pintar dengan kadar pelepasan nutrien terkawal masa dan persekitaran telah dijalankan melalui ujian makmal dan lapangan untuk memenuhi keperluan spesifik tanaman betik. Beberapa parameter penting telah dibangunkan, termasuk formulasi komposisi bahan salutan agropolimer dari segi jisim molekul, ketebalan salutan, formasi partikel, suhu, porositi, kestabilan fizikal dan kadar pereputan dalam tanah. Agropolimer ini adalah bahan mudah reput yang mampu menyerap air sehingga 200%, menjadikannya sesuai sebagai salutan baja pelepasan perlahan. Penggunaan bahan mesra alam dengan modifikasi kimia-fizikal telah mengurangkan jumlah dan frekuensi aplikasi baja sebanyak 25 – 50%, hanya memerlukan pembajaan sekali setiap tiga bulan berbanding dengan bulanan dalam kaedah konvensional. Ujian mendapati formulasi baja pintar GREENCOAT betik mampu meningkatkan keberkesanan nutrien (N: 58.8%, P: 35.3%, K: 51.5%) dan mengurangkan kehilangan nutrien dengan ketara. Agropolimer yang dihasilkan daripada sisa pertanian tempatan digunakan sebagai bahan salutan bagi menggantikan salutan polimer kimia yang sukar reput, menjadikannya satu teknologi bernilai tambah untuk petani dan menyokong kelestarian pertanian yang lebih mesra alam.

### **Summary**

The development of smart fertilisers with controlled nutrient release based on time and environmental conditions has been conducted through laboratory and field tests to meet the specific needs of papaya crops. Several key parameters were developed, including the formulation of agro-polymer coating materials in terms of molecular weight, coating thickness, particle formation, temperature, porosity, physical stability and decomposition rate in soil. These agro-polymers are biodegradable and capable of absorbing up to 200% of their weight in water, making them suitable for slow-release fertiliser coatings. The use of environmentally friendly materials with chemical-physical modifications has reduced the frequency and quantity of fertiliser applications by 25 – 50%, requiring fertilisation only once every three months compared to monthly in conventional methods. Tests showed that the GREENCOAT betik smart fertiliser formulation significantly improves nutrient efficiency (N: 58.8%, P: 35.3%, K: 51.5%) and reduces nutrient loss. Agro-polymers derived from local agricultural waste are used as coating materials to replace non-biodegradable chemical polymer coatings, making this a value-added technology for farmers and supporting more environmentally sustainable agriculture.

**Pengarang**

Chm. Muhammad Syahren Adzahar  
Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja, Ibu Pejabat MARDI,  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor  
mel: syahren@mardi.gov.my

Nor Syahidah Md Sam  
Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja, Ibu Pejabat MARDI,  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

Muhamad Hafiz Muhamad Hassan  
Pusat Penyelidikan Hortikultur, MARDI Sintok,  
06050 Bukit Kayu Hitam, Kedah

Wan Mahfuzah Wan Ibrahim  
Pusat Penyelidikan Hortikultur, Ibu Pejabat MARDI,  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor