

1. PENILAIAN EKONOMI KOMBINASI MIKRONUTRIEN BORON DALAM BAJA FOLIAR BAGI PENINGKATAN HASIL TANAMAN JAGUNG BIJIAN

Dr. Hairazi Rahim dan Farith Fariq Hashim

Pusat Penyelidikan Sosio Ekonomi, Risikan Pasaran dan Agribisnes

1.1 PENDAHULUAN

Jagung bijian (*Zea mays L.*) merupakan tanaman bijirin yang penting dalam sektor pertanian global dan tempatan kerana peranannya sebagai sumber makanan utama bagi manusia dan ternakan (Aref 2010). Namun, penghasilan jagung sering kali terjejas akibat kekurangan nutrien penting khususnya mikronutrien Boron (B) yang berperanan dalam pemanjangan sel, pembahagian sel, pembentukan dinding sel serta proses pendebungaan dan persenyawaan (Kaur dan Nelson 2015). Kekurangan Boron boleh menyebabkan berlakunya *partly grain-free ear* iaitu keadaan yang mana sebahagian tongkol jagung tidak menghasilkan biji sekali gus berpotensi mengurangkan hasil pengeluaran sehingga 46% (Ziaeyan dan Rajaiea 2009). Boron juga didapati mempunyai interaksi dengan mikronutrien lain seperti zink (Zn) yang memainkan peranan penting dalam pertumbuhan tanaman dan pembentukan bijirin (Aref, 2010).

Selain itu, perubahan iklim seperti peningkatan suhu melebihi 37 °C akibat fenomena El Nino dan gelombang haba turut memberi kesan negatif terhadap pertumbuhan dan hasil jagung bijian (Günes et al., 2011). Aplikasi Boron terhadap tanaman terutamanya jagung bijian, telah dibincangkan dengan meluas dalam kalangan penyelidik. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk menilai daya maju ekonomi bagi keberkesanan aplikasi Boron sebagai salah satu strategi adaptasi bagi meningkatkan toleransi tanaman terhadap tekanan suhu tinggi serta mengekalkan atau meningkatkan hasil pengeluaran. Jagung bijian merupakan antara tanaman bijirin yang semakin mendapat perhatian dalam industri pertanian Malaysia kerana potensinya sebagai sumber makanan utama dan bahan asas dalam industri pemprosesan makanan dan makanan ternakan. Walaupun permintaan terhadap jagung bijian semakin meningkat, produktiviti dalam negara masih bergantung kepada import kerana hasil tempatan yang rendah.

Salah satu faktor yang menyumbang kepada kekangan dalam pengeluaran jagung bijian ialah ketidakseimbangan nutrien dalam tanah terutamanya kekurangan mikronutrien penting seperti Boron (B) (Nelson et al., 2015). Keperluan Boron dalam pertumbuhan tanaman telah dibuktikan dalam pelbagai kajian yang mana unsur ini memainkan peranan utama dalam perkembangan struktur sel, sintesis protein serta proses pendebungaan dan pengisian bijirin. Walau bagaimanapun, sifat Boron yang mudah tercuci dalam tanah berpasir serta keterhadannya dalam tanah beralkali menyebabkan kekurangan Boron menjadi masalah utama dalam sistem pertanian. Kekurangan Boron boleh menyebabkan gangguan dalam pembentukan tongkol jagung, meningkatkan kadar kegagalan pendebungaan serta mengakibatkan berlakunya penurunan hasil tanaman dengan ketara (Ziaeyana & Rajaiea, 2009).

Oleh itu, strategi pengurusan nutrien yang berkesan termasuk penggunaan baja foliar yang mengandungi Boron perlu dilaksanakan sebagai salah satu cara bagi mengatasi masalah ini. Selain kekurangan nutrien dalam tanah, faktor perubahan iklim turut memberikan cabaran besar kepada produktiviti jagung bijian. Fenomena pemanasan global dan kejadian suhu tinggi yang melebihi 37 °C boleh mengurangkan kadar fotosintesis, menjejaskan kebolehhidupan debunga dan mengurangkan pengisian bijirin dalam tongkol jagung (Günes et al., 2011). Oleh itu, pendekatan aplikasi baja foliar Boron telah dicadangkan sebagai kaedah yang boleh meningkatkan

daya tahan tanaman terhadap tekanan persekitaran ini serta memastikan pertumbuhan dan hasil yang lebih baik. Kajian ini dijalankan bagi menilai keberkesanan aplikasi Boron terhadap pertumbuhan dan hasil jagung bijian serta menentukan tahap aplikasi yang paling sesuai bagi memastikan pulangan ekonomi yang optimum kepada petani.

1.2 METODOLOGI KAJIAN

Analisis kos faedah atau *Cost-Benefit Analysis* (CBA) akan dijalankan bagi setiap rawatan yang dirangka dengan menilai daya maju ekonomi pengeluaran tanaman jagung bijian dengan membandingkan jumlah kos pengeluaran dengan hasil yang diperolehi (*Jadual 1.1*). Ia membantu menentukan sama ada projek atau aktiviti pertanian menguntungkan dalam jangka panjang.

Jadual 1.1. Komponen analisis kos faedah (CBA) bagi pengeluaran tanaman

Komponen	Formula @ Indikator	Penerangan
Kos Tetap	Sewa tanah, jentera dan lain-lain	Kos yang tidak berubah dengan tahap pengeluaran
Kos Berubah	Benih, baja, racun, buruh, utiliti dan lain-lain	Kos yang berubah mengikut tahap pengeluaran
Jumlah Kos Pengeluaran	Kos tetap + Kos berubah	Jumlah keseluruhan perbelanjaan bagi pengeluaran
Pendapatan	Hasil × Harga Pasaran	Jumlah pendapatan berdasarkan kuantiti hasil dan harga jualan
Keuntungan Kasar	Pendapatan - Kos berubah	Pendapatan selepas menolak kos berubah, mencerminkan keuntungan operasi
Keuntungan Bersih	Pendapatan - Jumlah Kos Pengeluaran	Pendapatan selepas menolak semua kos pengeluaran
Nilai Kini Bersih @ <i>Net Present Value</i> (NPV)	$NPV = \sum (R_t - C_t) / (1+r)^t$ R_t = pendapatan tahun ke-t C_t = kos tahun ke-t r = kadar diskaun (%) t = tahun	Projek boleh diteruskan jika $NPV > 0$
Nisbah Faedah-Kos @ <i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	Pendapatan ÷ Jumlah Kos Pengeluaran	Jika $BCR > 1$, projek menguntungkan
Kadar Pulangan Dalaman @ <i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	IRR -> kadar diskaun di mana $NPV = 0$	Jika $IRR >$ kadar faedah pinjaman, projek berbaloi
Tempoh Pulang Modal @ <i>Payback Period</i> (PP)	$PP = \frac{\text{Kos Pelaburan Awal}}{\text{Pulangan Bersih Tahunan}}$	Semakin pendek tempoh, semakin cepat pelaburan dipulangkan

Jadual 1.2 menunjukkan rangka eksperimen rawatan Boron secara semburan foliar terhadap jagung bijian bagi mengukur prestasi Boron dengan kadar berbeza. Perbandingan daya maju pengeluaran bagi setiap rawatan akan memudahkan penilaian kadar larutan Boron yang berpotensi digunakan melalui penelitian peningkatan kos dan hasil. Kajian ini menguji keberkesanan aplikasi foliar Boron (B) terhadap pertumbuhan dan hasil jagung bijian melalui empat rawatan berbeza.

Jadual 1.2. Rangka eksperimen rawatan Boron (semburan foliar) terhadap jagung bijian

Rawatan	Kadar	Kadar nutrien/ sepokok	Cara dilution dan aplikasi *berdasarkan 30 @ 200 mL air/pokok	Kepekatan B (%)
T1	0.0 kg B/ha (kawalan)	0.0 g / pokok	Sembur 3.6 L air ke 30 pokok/ batas bagi 4 batas (4 rep)	0.00% B 0.00% B ₂ O ₃
T2	0.5 kg B/ha B ₂ O ₃ /ha	0.0246 g B ₂ O ₃ /pokok	Larutkan 2.95 g B ₂ O ₃ dalam 3.6 L air dan sembur ke 30 pokok/ batas bagi 4 batas (4 rep)	0.03% B 0.08% B ₂ O ₃
T3	1.0 kg B/ha B ₂ O ₃ /ha	0.0492 g B ₂ O ₃ /pokok	Larutkan 5.90 g B ₂ O ₃ dalam 3.6 L air dan sembur ke 30 pokok/ batas bagi 4 batas (4 rep)	0.05% B 0.16% B ₂ O ₃
T4	1.5 kg B/ha B ₂ O ₃ /ha	0.0738 g B ₂ O ₃ /pokok	Larutkan 8.86 g B ₂ O ₃ dalam 3.6 L air dan sembur ke 30 pokok/ batas bagi 4 batas (4 rep)	0.08% B 0.25% B ₂ O ₃

Rawatan T1 berfungsi sebagai kawalan tanpa Boron (0.0 kg B/ha), manakala rawatan T2, T3, dan T4 masing-masing menerima 0.5 kg, 1.0 kg dan 1.5 kg B/ha. Boron diaplikasikan dalam bentuk Boron trioksida (B₂O₃) dengan kadar B₂O₃ meningkat dari 1.64 kg/ha (T2) hingga 4.93 kg/ha (T4). Larutan Boron disediakan dengan kepekatan berbeza (0.03% hingga 0.08%) dan disembur ke tanaman menggunakan 3.6 L air untuk setiap 30 pokok per batas dalam empat replikasi. Peningkatan kadar Boron bertujuan menilai kesannya terhadap kebolehhidupan debunga, pembentukan tongkol dan hasil bijirin. Rawatan yang lebih tinggi dijangka meningkatkan daya tahan tanaman terhadap tekanan persekitaran, terutama suhu tinggi yang sering mengganggu proses pendebungaan dan pengisian bijirin. Kajian ini juga meneliti keberkesanan kos penggunaan Boron untuk menentukan sama ada ia memberikan pulangan ekonomi yang berbaloi kepada petani.

1.3. DAPATAN KAJIAN DAN PERBINCANGAN

Keputusan kajian menunjukkan bahawa aplikasi Boron meningkatkan kebolehhidupan debunga dengan ketara dan seterusnya meningkatkan hasil tuaian jagung bijian. Rawatan T1 (tanpa Boron) mencatat kebolehhidupan debunga paling rendah iaitu 23.1%, sementara rawatan T4 (1.5 kg B/ha) mencapai kadar tertinggi, iaitu 45.2%. Ini menunjukkan bahawa Boron memainkan peranan penting dalam meningkatkan kesuburan debunga, yang secara langsung mempengaruhi pendebungaan dan pengisian bijirin pada tongkol. Hasil tuaian juga menunjukkan peningkatan yang konsisten dengan kadar Boron yang lebih tinggi yang mana T4 menghasilkan jumlah hasil tertinggi sebanyak 15,517.47 kg/ha dalam dua musim, meningkat sebanyak 18.6% berbanding dengan kawalan (13,082.13 kg/ha).

Dalam perbandingan hasil antara musim, rawatan dengan Boron menunjukkan kestabilan yang lebih baik berbanding dengan kawalan, terutama dalam musim kedua yang mengalami tekanan persekitaran lebih tinggi. Rawatan T3 dan T4 mencatat hasil yang lebih baik untuk kedua-dua musim, menunjukkan bahawa aplikasi Boron dapat membantu tanaman menyesuaikan diri dengan perubahan iklim dan memastikan hasil yang lebih tinggi secara konsisten. Peningkatan hasil yang ketara ini membuktikan keberkesanan Boron dalam menyokong pertumbuhan tanaman dan memastikan pengisian bijirin yang lebih baik, terutamanya dalam keadaan yang kurang ideal (*Jadual 1.3*).

Jadual 1.3. Perbandingan kebolehhidupan debunga dan hasil tuaian (kg/ha) mengikut rawatan Boron

Rawatan	Kebolehhidupan debunga (%)	Musim 1 (kg/ha)	Musim 2 (kg/ha)	Jumlah (kg/ha)
T1 (Kawalan)	23.1	6,877.30	6,204.83	13,082.13
T2	31.5	7,471.27	6,419.32	13,890.59
T3	42.7	8,085.11	7,382.45	15,467.56
T4	45.2	8,244.59	7,272.88	15,517.47

Nota: Hasil kedua-dua musim adalah hasil Crop Cutting Test (CCT) kerana eksperimen tanaman tidak menggunakan keluasan sebenar 1 hektar

Kos pengeluaran bagi setiap rawatan menunjukkan peningkatan sedikit seiring dengan peningkatan kadar Boron yang mana kos tertinggi dicatatkan pada T4 (RM18,708.80/ha) dan terendah pada T1 (RM18,498.80/ha). Walaupun terdapat peningkatan kos, penggunaan Boron menghasilkan pendapatan bersih yang jauh lebih tinggi. Purata pendapatan bersih tahunan meningkat secara drastik daripada hanya RM199 bagi kawalan (T1) kepada RM3,632 bagi rawatan T4. Ini menunjukkan bahawa walaupun terdapat kos tambahan untuk Boron, peningkatan hasil lebih daripada mencukupi untuk menampung kos tersebut, menghasilkan keuntungan yang lebih baik untuk petani.

Selain itu, kos pengeluaran per kilogram hasil juga berkurang dengan aplikasi Boron. Kos pengeluaran bagi T1 adalah RM1.41/kg, manakala bagi T3 dan T4, ia menurun kepada RM1.21/kg, menunjukkan bahawa Boron bukan sahaja meningkatkan hasil tetapi juga menjadikan pengeluaran lebih efisien. Pengurangan kos ini bermakna petani boleh menjual hasil mereka pada harga pasaran standard (RM1.50/kg) dengan margin keuntungan yang lebih tinggi. Secara keseluruhannya, aplikasi Boron bukan sahaja meningkatkan hasil tetapi juga meningkatkan keberkesanan kos pengeluaran, menjadikannya strategi yang berpotensi menguntungkan dalam jangka panjang (Jadual 1.4).

Jadual 1.4. Perincian kos pengeluaran dan pendapatan (RM/ha) bagi setiap rawatan Boron terhadap jagung bijian

Indikator	Rawatan			
	T1 (Kawalan)	T2	T3	T4
Hasil Musim 1 (kg/ha)	6,877.30	7,471.27	8,085.11	8,244.59
Hasil Musim 2 (kg/ha)	6,204.83	6,419.32	7,382.45	7,272.88
Hasil Musim 1+ 2 (kg/ha)	13,082.13	13,890.59	15,467.56	15,517.47
Purata pendapatan bersih (RM/tahun)	199	1,339	3,631	3,632
Purata pendapatan bersih (RM/musim)	100	669	1,815	1,816
Kos pengeluaran (RM/kg)	1.48	1.40	1.27	1.27
Kos pengeluaran (RM/ha)	19,423.74	19,497.24	19,570.74	19,644.24
Jumlah Kos Tetap	4,636.00	4,636.00	4,636.00	4,636.00
Purata harga/kg	1.50	1.50	1.50	1.50
Purata kos berubah/kg	1.06	1.00	0.91	0.91

Nota: Hasil kedua-dua musim adalah hasil Crop Cutting Test (CCT) kerana eksperimen tanaman tidak menggunakan keluasan sebenar 1 hektar

Walaupun aplikasi Boron meningkatkan hasil dan pendapatan bersih, analisis daya maju ekonomi menunjukkan bahawa pulangan pelaburan masih terhad. Nilai Kini Bersih (NPV) untuk semua rawatan kekal negatif atau rendah, dengan T3 dan T4 masing-masing mencatat -RM4,768.21 dan -RM4,748.11, menunjukkan bahawa walaupun keuntungan meningkat, ia masih belum mencukupi untuk menampung kos awal dalam tempoh yang singkat. Walau bagaimanapun, nisbah faedah-kos (BCR) menunjukkan peningkatan yang ketara apabila Boron digunakan. T1 hanya mencatatkan BCR 0.85, manakala T3 dan T4 mencapai nilai 1.00, menandakan titik pulang modal yang lebih baik dan daya maju projek dalam jangka panjang.

Selain itu, tempoh pulang modal juga menjadi lebih pendek dengan aplikasi Boron. Tanpa Boron (T1), tempoh pulang modal adalah 24.02 tahun, namun dengan rawatan T3 dan T4, tempoh ini dikurangkan kepada hanya 7.42 – 7.43 tahun. Ini menunjukkan bahawa aplikasi Boron bukan sahaja meningkatkan hasil tetapi juga mempercepatkan pulangan pelaburan, menjadikannya lebih menarik kepada petani yang ingin meningkatkan produktiviti dalam tempoh yang lebih singkat. Oleh itu, walaupun terdapat cabaran dalam keuntungan jangka pendek, penggunaan Boron dalam baja foliar tetap berpotensi untuk meningkatkan daya saing pengeluaran jagung bijian di Malaysia.

Jadual 1.5. Daya maju pengeluaran jagung bijian berdasarkan rawatan Boron

Indikator	Rawatan			
	T1 (Kawalan)	T2	T3	T4
TPM (tan)	10.53	9.33	7.80	7.82
TPM (jualan)	15,792.87	13,993.03	11,693.32	11,724.84
Nilai kini bersih (NPV) @5%	(RM18,944.73)	(RM14,233.03)	(RM4,768.21)	(RM4,748.11)
Kadar pulangan dalaman (IRR)		-21%	-3%	-3%
Nisbah faedah kos (BCR) @5%	0.85	0.90	1.00	1.00
Tempoh pulang modal (tahun)	24.02	12.92	7.43	7.42

1.4 RUMUSAN

Kajian ini menunjukkan bahawa aplikasi foliar Boron memberikan kesan positif yang ketara terhadap kebolehhidupan debunga, hasil tuaian dan daya maju ekonomi jagung bijian. Penggunaan Boron pada kadar 1.0 – 1.5 kg B/ha (T3 dan T4) meningkatkan kebolehhidupan debunga sehingga 45.2%, seterusnya meningkatkan hasil tuaian kepada 15,517.47 kg/ha, iaitu peningkatan 18.6% berbanding dengan kawalan. Dari segi ekonomi, walaupun kos pengeluaran meningkat sedikit, pendapatan bersih tahunan melonjak daripada hanya RM199 (T1) kepada RM3,632 (T4), dengan kos pengeluaran per kilogram hasil berkurang kepada RM1.21. Analisis daya maju menunjukkan bahawa penggunaan Boron mempercepatkan tempoh pulang modal daripada 24.02 tahun (T1) kepada hanya 7.42 tahun (T4), dengan nisbah faedah-kos meningkat ke 1.00, menandakan titik pulang modal yang lebih baik. Walaupun nilai kini bersih (NPV) masih negatif, peningkatan hasil dan kecekapan kos menjadikan aplikasi Boron sebagai strategi berpotensi untuk meningkatkan daya saing industri jagung bijian, terutamanya dalam menghadapi cabaran perubahan iklim.

Dengan kesan yang ketara dari kajian aplikasi Boron ini Insentif kredit fiskal boleh diberikan kepada syarikat input pertanian yang membangunkan dan mengkomersialkan baja foliar Boron dengan formulasi yang lebih cekap dan mesra alam. Kerajaan boleh melaksanakan program latihan dan pemindahan teknologi kepada petani melalui bengkel dan demonstrasi lapangan bagi meningkatkan kesedaran serta kemahiran dalam aplikasi Boron secara tepat dan ekonomik.

Selain itu, sistem skor produktiviti pertanian boleh diperkenalkan yang mana petani yang berjaya meningkatkan hasil dengan amalan agronomi yang lebih baik, termasuk penggunaan Boron, layak menerima insentif dalam bentuk rebat ke atas kos pembelian input pertanian atau akses kepada dana peningkatan teknologi pertanian. Langkah-langkah ini bukan sahaja menggalakkan penggunaan mikronutrien seperti Boron dan lain-lain secara lestari tetapi juga memastikan industri jagung bijian tempatan menjadi lebih berdaya saing tanpa kebergantungan kepada subsidi.

1.5 RUJUKAN

- Aref, F. (2010). Application of different levels of zinc and boron on concentration and uptake of zinc and boron in the corn grain. *Journal of American Science*, 6(5), 100–106.
- Aref, F. (2010). Zinc and boron fertilization on concentration and uptake of iron and manganese in the corn grain. *Journal of American Science*, 6(8), 236–242.
- Günes, A., Ataoğlu, N., Esringü, A., Uzun, O., Ata, S., & Turan, M. (2011). Yield and chemical composition of corn (*Zea mays* L.) as affected by boron management. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 1(1), 42–53.
- Kaur, G., & Nelson, K. A. (2014). Effect of foliar boron fertilization of fine textured soils on corn yields. *Agronomy*, 5(1), 1–18.
- Ziaeyan, A. H., & Rajaei, M. (2009). Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn.