



Bioteknologi Tanaman: dampak ekonomi dan lingkungan global 1996-2024

**Graham Brookes
PG Economics Ltd
Inggris**



Latar Belakang

- Kajian ke-16 mengenai dampak tanaman bioteknologi global
- Tiga makalah terpisah (dengan akses terbuka) yang mencakup dampak ekonomi dan lingkungan saat ini sedang dalam proses telaah sejawat (peer review) di jurnal GM Crops and Food. Dampak lingkungan terkait penggunaan pestisida, dampak lingkungan terkait emisi karbon, dan dampak ekonomi
- Laporan lengkap juga akan tersedia di www.pgeconomics.co.uk



Cakupan

- Dampak kumulatif: 1996-2024
- Dampak terhadap pendapatan dan produktivitas usaha tani: berfokus pada pendapatan usaha tani, hasil panen, dan produksi
- Analisis dampak lingkungan yang mencakup perubahan penyemprotan pestisida dan dampak lingkungan terkait
- Analisis dampak lingkungan: emisi gas rumah kaca



Metodologi

- Menggunakan berbagai literatur mengenai dampak yang telah melalui telaah sejawat, ditambah analisis sendiri
- Analisis dinamis - menggunakan data terbaru untuk setiap tahun, misalnya biaya, harga, hasil panen
- Mengkaji praktik pengendalian hama dan gulma, penggunaan pestisida: perlakuan aktual dan tipikal pada tanaman bioteknologi dibandingkan konvensional
- Menggunakan indikator dampak lingkungan tambahan – indikator Environmental Impact Quotient (EIQ)
- Kajian dampak karbon – perubahan penggunaan bahan bakar dan penyimpanan karbon tanah



Struktur presentasi

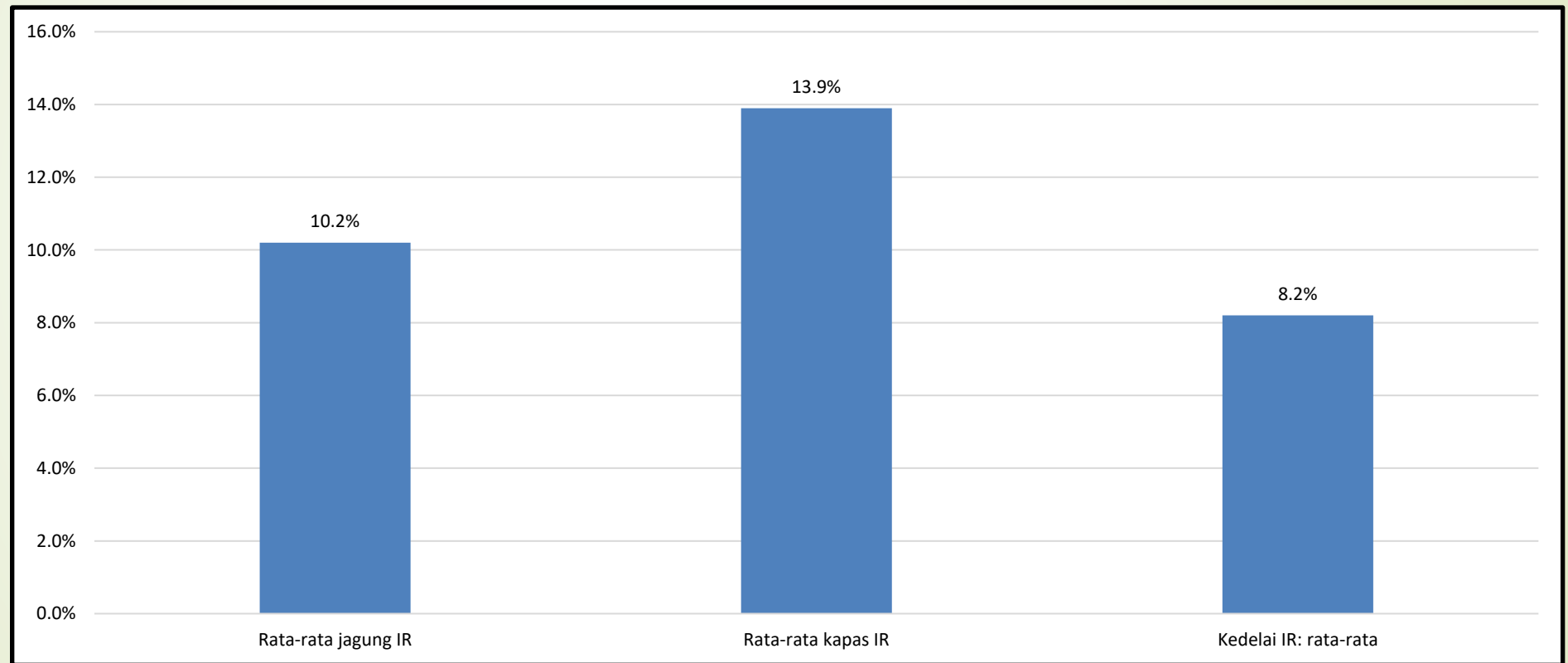
Apakah bioteknologi tanaman telah berkontribusi dalam memberi makan dunia secara berkelanjutan?

Dikaji berdasarkan 3 tema utama

- Kontribusi terhadap ketahanan pangan global dan berkurangnya tekanan untuk menggunakan lahan baru di bidang pertanian
- Kontribusi terhadap pengurangan jejak lingkungan pertanian
- Kontribusi terhadap keberlanjutan ekonomi

Rata-rata kenaikan hasil 1996-2024: jagung, kapas & kedelai tahan serangga (IR)

Tema: kontribusi pada ketahanan pangan global dan berkurangnya tekanan membuka lahan pertanian baru



Catatan: kedelai IR hanya di Amerika Selatan sejak 2013

Sifat toleran herbisida (HT): pengaruh terhadap hasil panen dan produksi

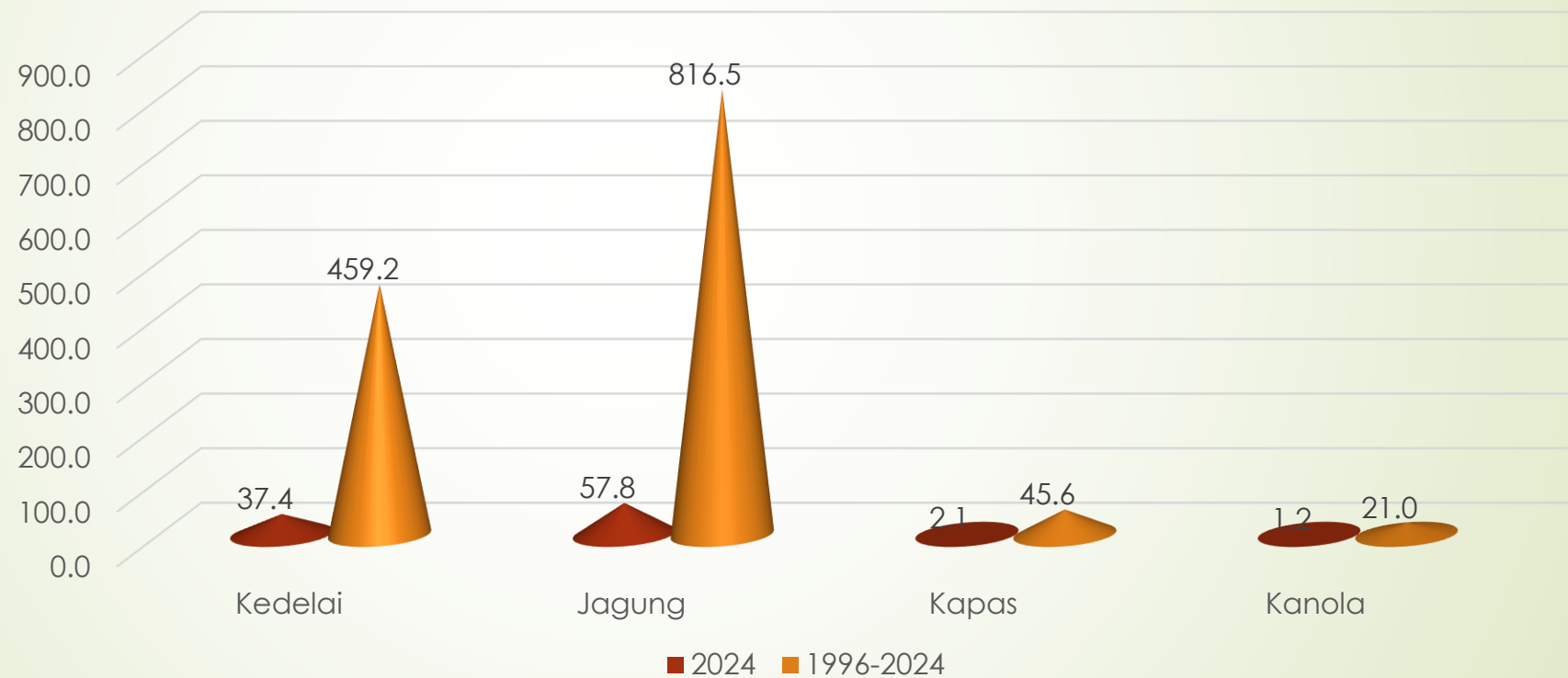
Tema: kontribusi pada ketahanan pangan global dan berkurangnya tekanan membuka lahan pertanian baru



Sifat/negara	Pengaruh terhadap hasil panen/produksi
Kedelai HT: Rumania dan Bolivia	+23% dan +15% pada hasil panen secara berturut-turut
Kedelai HT: generasi ke-2: AS dan Kanada	+9% hasil panen
Kedelai HT Argentina dan Paraguay	Memungkinkan tanam kedelai kedua setelah gandum: setara dengan +25% dan +12% secara berturut-turut terhadap tingkat produksi
Jagung HT: Argentina, Brasil, Filipina, dan Vietnam	+10%, +3,2%, 5,2%, dan +5% pada hasil panen secara berturut-turut
Kapas HT: Meksiko, Kolombia, dan Brasil	+14%, +3,4%, dan +1,9% pada hasil panen secara berturut-turut
Kanola HT: AS, Kanada, dan Australia	+1,9%, +6,2%, dan +8,5% pada hasil panen secara berturut-turut

Tambahan produksi tanaman dari pengaruh positif sifat bioteknologi terhadap hasil panen/produksi 1996-2024 (juta ton)

Tema: kontribusi pada ketahanan pangan global dan berkurangnya tekanan membuka lahan pertanian baru





Penghematan lahan: tambahan lahan konvensional yang diperlukan tanpa bioteknologi (juta ha)

Tema: kontribusi pada ketahanan pangan global dan berkurangnya tekanan membuka lahan pertanian baru

	2024
Kedelai	12,8
Jagung	9,6
Kapas	2,5
Kanola	0,6
Total	25,5 setara dengan gabungan luas lahan pertanian Filipina dan Vietnam

Dampak pada emisi gas rumah kaca

Tema: kontribusi pada pengurangan jejak lingkungan pertanian



Emisi GRK lebih rendah:

2 sumber utama:

- Hemat bahan bakar (lebih sedikit penyemprotan dan pengolahan tanah)
- Tanaman HT memungkinkan tanpa olah tanah = persiapan lahan berkurang = tambahan simpanan karbon tanah

Pengurangan emisi gas rumah kaca: penghematan bahan bakar 1996-2024

Tema: kontribusi pada pengurangan jejak lingkungan pertanian

Penghematan	Satuan
Penggunaan bahan bakar	-24.932 juta liter
Pengurangan emisi karbon dioksida	-66.567 juta kg
Setara dengan mobil yang tidak beroperasi di jalan selama satu tahun	-44,1 juta

Pengurangan emisi gas rumah kaca: penyimpanan karbon tanah 1996-2024

Tema: kontribusi pada pengurangan jejak lingkungan pertanian

- Penghematan 2024: -6.887 juta kg karbon tersimpan di tanah = -25.276 juta kg CO₂ tidak dilepaskan ke atmosfer = setara dengan 16,7 juta mobil tidak beroperasi di jalan selama 1 tahun
- Jika penghematan tahunan 1996-2024 dijumlahkan = 400.854 juta kg CO₂ tidak dilepaskan ke atmosfer, NAMUN
- Karena sebagian lahan tidak permanen dalam sistem tanpa olah/olah minimum, penghematan sebenarnya lebih rendah
- Di AS, diperkirakan (1) hanya 20% lahan garapan yang tetap tanpa olah tanah pada 2012-2016. Di Amerika Selatan kemungkinan lebih tinggi (2)
- Perkiraan penghematan CO₂ kumulatif: 80.160-320.640 juta kg = 53-212 juta mobil tidak beroperasi selama 1 tahun

1. Sumber: Claassen R, Bowman M, McFadden J, Smith D and Wallander S. 2018. Tillage intensity and conservation cropping in the United States. EIB-197. [USDA ERS - Tillage Intensity and Conservation Cropping in the United States](#)
2. Berdasarkan data perkiraan tahunan luas lahan kedelai tanpa olah tanah dan asosiasi petani tanpa olah tanah Argentina (AAPRESID)

Pengurangan emisi gas rumah kaca: gabungan penghematan bahan bakar dan penyimpanan karbon tanah 1996-2024

Tema: kontribusi pada pengurangan jejak lingkungan pertanian

Sumber	Penghematan CO2 (juta kg)
Berkurangnya penggunaan bahan bakar	66.567
Penyimpanan karbon tanah	80.160-320.640
Total	146.727-387.207 = setara dengan 97 juta hingga 256 juta mobil tidak beroperasi di jalan selama 1 tahun



Dampak pada penggunaan pestisida

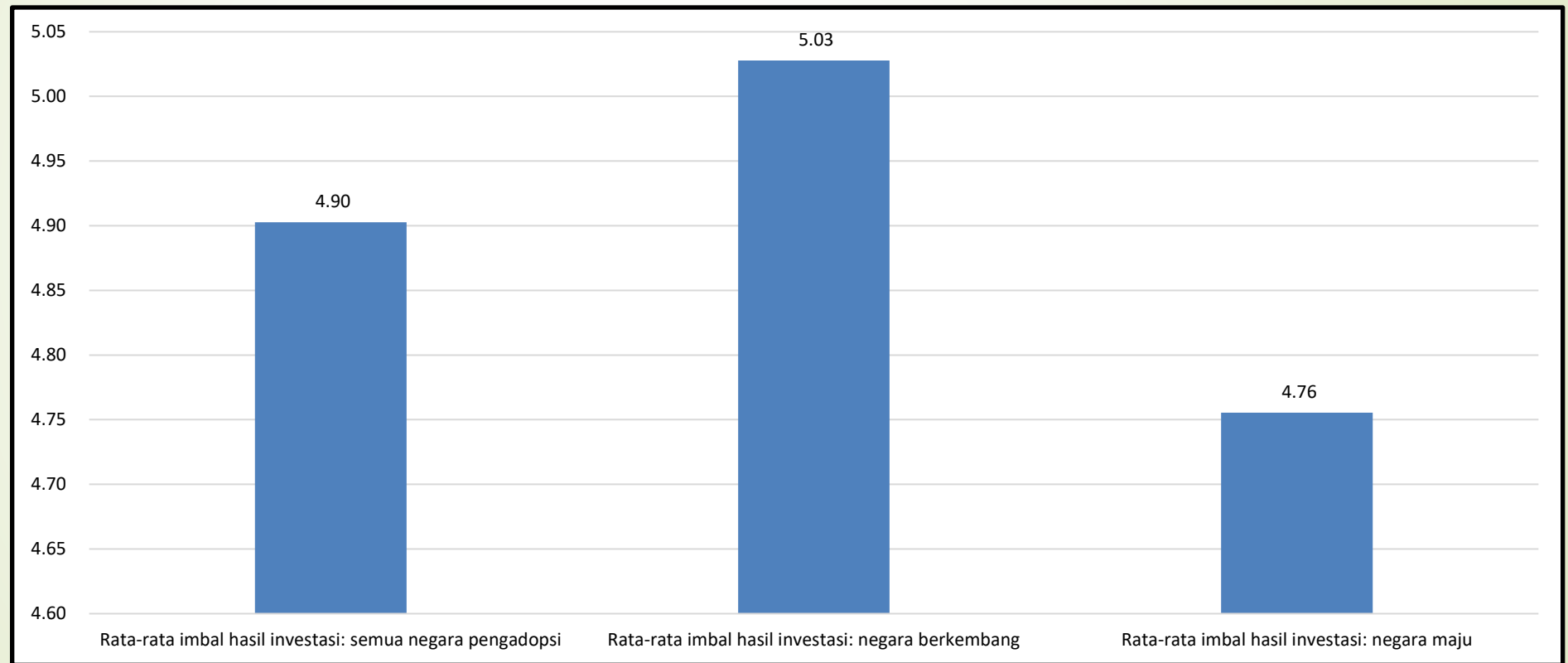
Tema: kontribusi pada pengurangan jejak lingkungan pertanian

- Sejak 1996, penggunaan pestisida turun sebesar 867 juta kg (-6,5%). Dampak lingkungan terkait (indikator EIQ) -15,3%
- Manfaat lingkungan terbesar berasal dari kapas IR: penghematan 427 juta kg penggunaan insektisida (-34%) dan pengurangan 29% dampak lingkungan terkait insektisida (ukuran EIQ)
- Di antaranya, manfaat lingkungan dari kapas IR di India: penghematan 217 juta kg penggunaan insektisida (-48%) dan pengurangan 37% dampak lingkungan terkait insektisida (ukuran EIQ)

Imbal hasil investasi pada benih bioteknologi (biaya akses teknologi) 1996-2024

Imbal hasil \$ per tambahan 1\$ yang dibelanjakan untuk benih

Tema: Kontribusi terhadap keberlanjutan ekonomi



Biaya teknologi mengalir ke rantai pasok benih (penjual benih kepada petani, penangkar benih, pemulia tanaman, distributor & penyedia teknologi)



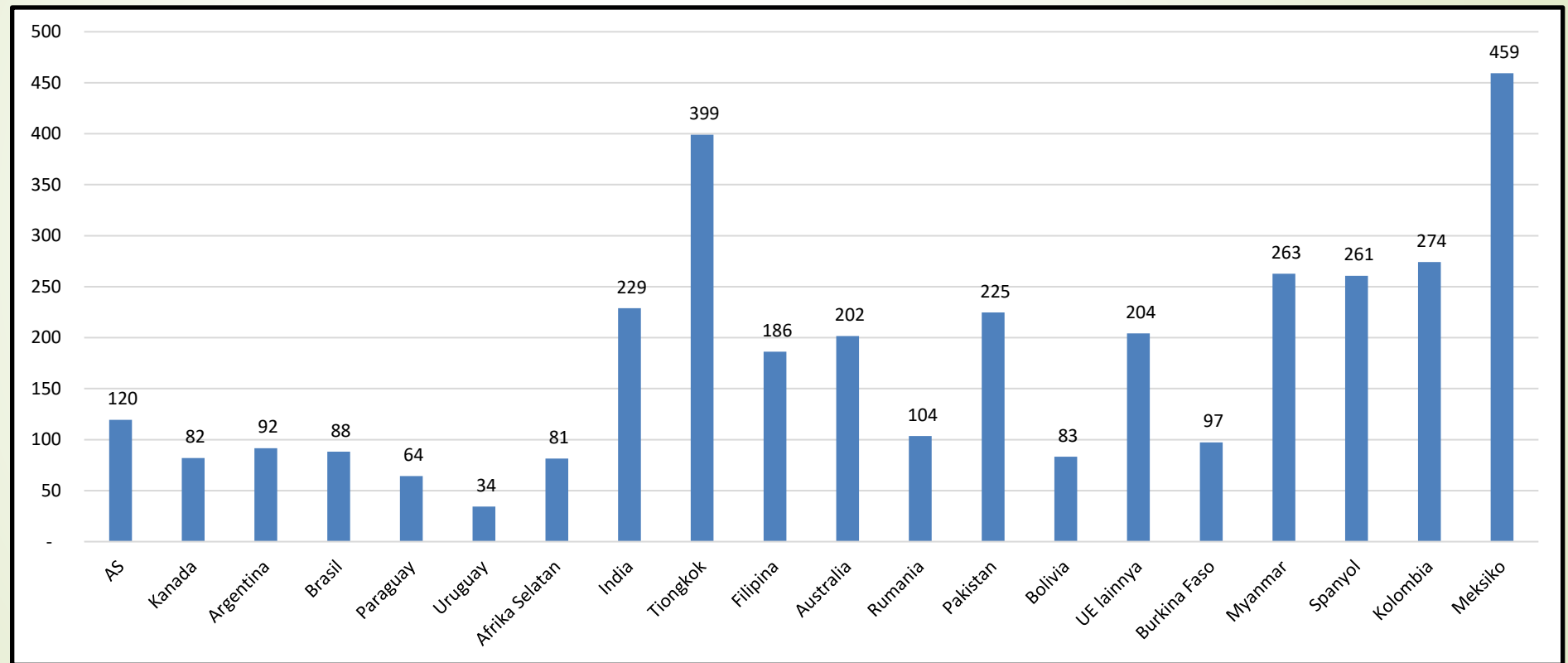
Peningkatan pendapatan usaha tani: sorotan utama

Tema: Kontribusi terhadap keberlanjutan ekonomi

- Total manfaat pendapatan usaha tani 2024: \$29 miliar
- Setara dengan penambahan 6,4% terhadap nilai produksi global jagung, kanola, kapas, dan kedelai
- Total peningkatan pendapatan usaha tani 1996-2024: \$384,9 miliar
- Rata-rata peningkatan/hektare (1996-2024): \$106
- Porsi pendapatan (1996-2024): 48% negara maju dan 52% negara berkembang

Rata-rata peningkatan pendapatan usaha tani 1996-2024 per negara (\$/ha)

Tema: Kontribusi terhadap keberlanjutan ekonomi



Fokus Vietnam: jagung dengan gabungan sifat IR dan HT

Aspek	Dampak (2015-2024)
Dampak terhadap hasil panen	+15,2%
Rerata kenaikan pendapatan (\$/ha)	+232,5
Total kenaikan pendapatan (juta \$)	+323,5
Dampak terhadap produksi (ton)	+543.150
Penggunaan insektisida (kg)	-400.000 (-15%)
Penggunaan herbisida (kg)	-1.000.000 (-6%)

Catatan: Analisis untuk semua tahun didasarkan pada Brookes dan Dinh (2021). Selain itu, analisis tidak memperkirakan dampak larangan penggunaan glifosat dalam beberapa tahun terakhir



Fokus Vietnam: jagung IR & HT setelah 9 tahun digunakan

Memberikan manfaat sosial-ekonomi dan lingkungan

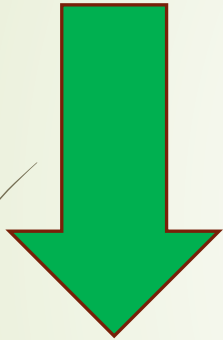
- Hasil panen lebih tinggi: pengendalian hama dan gulma yang lebih baik
- Biaya produksi lebih rendah meskipun membayar harga benih bioteknologi yang lebih tinggi
- Manfaat lingkungan dari berkurangnya penggunaan insektisida dan peralihan ke herbisida yang lebih ramah lingkungan
- Produksi jagung lebih tinggi – berkontribusi dalam memenuhi kebutuhan jagung domestik (yang terus meningkat)

Semua dampak ini juga terjadi di sektor jagung Filipina

Wajar untuk mengasumsikan dampak serupa akan terjadi di Indonesia

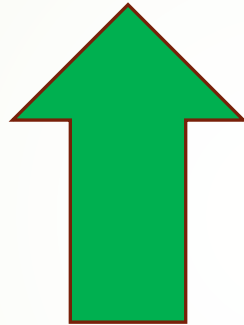
Ringkasan temuan utama

**Perubahan
pestisida 1996-2024**



**867 juta kg
pengurangan
pestisida
(6,5%) &
penurunan
15,3%
dampak
lingkungan
terkait**

**Pendapatan petani global
1996-2024**



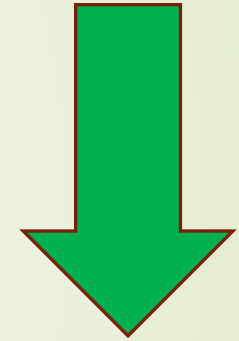
**peningkatan
\$385 miliar**

**Produksi global
1996-2024**



**tambahan 1.345
juta ton
pangan/pakan
/serat**

**Emisi karbon
1996-2024**



**CO2 berkurang 67
miliar kg (hemat
bahan bakar) &
80-321 miliar kg
(karbon tanah);
setara 97-256 juta
mobil**

Adakah dampak negatif?

- Ketergantungan berlebihan pada glifosat oleh sebagian petani di Amerika Utara/Selatan (dengan tanaman HT) turut menyebabkan masalah resistensi gulma – petani harus beradaptasi dan mengubah sistem pengendalian gulma, sehingga penggunaan herbisida meningkat, biaya lebih tinggi dibandingkan 20 tahun lalu, dan sebagian (terbatas) kembali ke sistem berbasis bajak

NAMUN:

- *Masalah resistensi gulma dan peningkatan penggunaan herbisida juga menjadi tren pada tanaman konvensional*
- *Profil lingkungan herbisida yang digunakan pada tanaman HT tetap lebih baik dibandingkan padanannya pada tanaman konvensional*
- *Tanaman HT tetap lebih menguntungkan dibandingkan alternatif konvensional*
- *Perkembangan terbatas resistensi hama terhadap generasi awal sifat IR – menurunkan efektivitas teknologi dan sebagian kecil kembali menggunakan insektisida, NAMUN:*
 - *Masalah resistensi hama – sedang diatasi dengan sifat-sifat yang lebih baru dengan lebih banyak cara kerja (mode of action) dan penggunaan refugia*

Catatan penutup

- Setelah 25 tahun penggunaan secara luas – terdapat cukup banyak bukti **yang konsisten** dalam literatur yang telah melalui telaah sejawat mengenai dampak teknologi tanaman bioteknologi
- Teknologi ini telah memberikan kontribusi bersih yang positif dalam memberi makan dunia secara lebih berkelanjutan
- Makalah dari kajian ini telah diajukan ke jurnal GM Food and Crops. Makalah dampak sosial-ekonomi telah diterbitkan di GM Crops & Food, 17(1). <https://doi.org/10.1080/21645698.2026.2726010>. 2 makalah lainnya masih ‘dalam proses telaah sejawat’ di jurnal yang sama
- Saya mendorong Anda untuk membaca makalah-makalah ini beserta referensi yang dikutip di dalamnya, lalu menarik kesimpulan Anda sendiri