

## ANALISIS ENERGI MASUKAN – KELUARAN PADA PERTANIAN JAGUNG DI LAMPUNG SELATAN (STUDI KASUS TANJUNG BINTANG)

*Audit Energy of Corn Cultivation in South Lampung : Case Study Tanjung Bintang*

Amna Citra Farhani<sup>1,\*</sup>, Dwi Cahyani<sup>1</sup>, Yuliyana<sup>2</sup>, Arya Dwi Satria<sup>2</sup>, Agus Hariyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

\* [amna.citra@tbs.itera.ac.id](mailto:amna.citra@tbs.itera.ac.id)

DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2025.6.2.16032>

Naskah ini diterima pada 14 Mei 2025; revisi pada 17 Juli 2025;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 9 Oktober 2025

### ABSTRAK

Pertanian merupakan kegiatan yang menghasilkan energi namun tetap membutuhkan energi dalam pelaksanaannya. Jagung merupakan salah satu komoditas pertanian utama di Lampung dan Tanjung Bintang, Lampung Selatan adalah salah satu sentra produksi jagung. Penelitian mengenai energi masukan dan keluaran dalam pertanian diperlukan untuk mengetahui keefektifan penggunaan energi dan melihat gambaran daya dukung lingkungan sekitar. Analisis energi masukan dan keluaran dari suatu proses merupakan salah satu tahapan dalam audit energi. Berdasarkan hasil analisis, energi masukan pada pertanian jagung dalam satu tahun tanam di Tanjung Bintang, Lampung Selatan adalah sebesar 56.652,56 MJ/ha dan energi keluaran bersihnya adalah sebesar 194.311,84 MJ/ha. Energi masukan paling besar adalah dari penggunaan pupuk yaitu sebesar 84%. Rasio energi pertanian jagung adalah sebesar 3.43 dan intensitas energinya adalah sebesar 5,7 MJ/kg. Berdasarkan nilai intensitas energi dan produktivitas yang dicapai, pertanian jagung ini dapat disebut telah efektif dalam penggunaan energi dan lingkungan sekitar masih mampu menopang terselenggaranya pertanian di masa selanjutnya.

**Kata kunci :** pertanian jagung, analisis energi, efisiensi energi

### ABSTRACT

*Agriculture is an activity that produces energy but still requires energy in its implementation. Corn is one of the main agricultural commodities in Lampung, and Tanjung Bintang, South Lampung is one of the centers of corn production. Research on input and output energy in agriculture is needed to determine the effectiveness of energy use and to capture the carrying capacity of the surrounding environment. Analysis of input and output energy from a process is one of the stages in an energy audit. Based on the results of the analysis, the input energy in corn farming in one planting year in Tanjung Bintang, South Lampung is 56,652.56 MJ/ha and the net output energy is 194,311.84 MJ/ha. The largest input energy is from the use of fertilizers, which is 84%. The energy ratio of corn farming is 3.43 and its energy intensity is 5,37 MJ/kg. Based on the value of energy intensity and productivity achieved, this corn farming can be said to have been effective in energy use and the surrounding environment is still able to support the implementation of agriculture in the future*

**Keywords :** corn cultivation, energy analysis, energy intensity

### PENDAHULUAN

Pertanian masih berperan sebagai motor penggerak pembangunan untuk provinsi Lampung. Hingga tahun 2023, sektor pertanian merupakan sektor penyerap tenaga kerja paling banyak (BPS Provinsi Lampung, 2024). Luasan lahan jagung di Lampung mengalami perubahan

sepanjang tahun 2010 – 2017 namun produktifitas lahan cenderung mengalami kenaikan sepanjang tahun yang sama (BPS Provinsi Lampung, 2018). Dari segi ekonomi, hal ini merupakan fenomena yang menguntungkan. Dari segi lingkungan, harus dipastikan bahwa peningkatan produktifitas ini tidak membawa pengaruh buruk bagi lahan jagung untuk keberlangsungannya di kemudian hari. Dalam beberapa kasus, peningkatan produksi pertanian yang diikuti dengan pola pertanian yang maju menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan, seperti erosi tanah (Rickson et al., 2015). Lampung Selatan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Lampung dengan luasan areal panen jagung di tahun 2022 adalah yang terbesar jika dibandingkan dengan padi dan ubi kayu (BPS Lampung Selatan, 2024).

Tujuan pertanian jagung mengalami pergeseran pola konsumsi, yang awalnya digunakan untuk konsumsi langsung, bergeser menjadi konsumsi tidak langsung, yaitu untuk industri pakan dan pangan (Panikka et al., 2017). Hal ini menyebabkan adanya kecenderungan petani untuk beralih menanam jagung dikarenakan nilai jual yang bersaing serta adanya intensif dari pemerintah berupa bantuan pupuk dan bibit (Rittgers et al., 2019). Kecenderungan ini tidak berubah di tahun – tahun berikutnya. Dengan meningkatnya produksi, artinya meningkat pula energi yang dibutuhkan untuk melakukan produksi tersebut. Energi ini diperlukan untuk meningkatkan produktifitas pertanian serta efektifitas pekerja yang digunakan. Diperlukan adanya kajian mengenai audit energi, khususnya penggunaan energi masukan dan keluaran pada pertanian jagung untuk mendapatkan penggunaan energi yang efisien dan tidak merusak keberlangsungan pertanian jagung.

Peneliti di Amerika (Camargo et al., 2013) telah mengembangkan *software* sederhana untuk menghitung energi masukan dan keluaran beberapa produk pertanian untuk daerah Amerika Serikat bagian utara. Dalam sistem ini, basis data dari berbagai penelitian digunakan untuk mengembangkan sistem yang bisa digunakan untuk menganalisis energi masukan dari 13 komoditas pertanian. Dalam simulasinya, ditemukan bahwa penggunaan nitrogen dalam pupuk merupakan faktor terbesar dalam masukan energi pertanian. Dari informasi ini, peneliti melakukan rekayasa budidaya yang lebih ramah lingkungan sehingga mampu mengurangi penggunaan energi pemupukan.

Di Turki, penelitian mengenai energi masukan dan keluaran dalam pertanian telah dilakukan untuk perkebunan jeruk (Yelmen, 2025), bawang (Ozbek et al., 2021), dan kapas (Abbas et al., 2022). Penggunaan Artificial Neural Network (ANN) terbukti dapat mengestimasi kebutuhan energi dalam perkebunan jeruk. Selain itu, ketiga penelitian juga menghitung keterkaitan antara konsumsi energi dan pengeluaran gas rumah kaca pada praktek pertanian tersebut. Di Iran, penelitian mengenai analisis energi masukan dan keluaran telah dilakukan untuk komoditas kacang hijau (Fathi & Kheiralipour, 2025), sayuran (Saadi et al., 2025) dan tebu (Behnia et al., 2025). Keseluruhan penelitian ini menunjukkan pentingnya mengetahui energi masukan dan keluaran pada proses pertanian. Selain untuk meningkatkan produktivitas, hasil penelitian tersebut juga digunakan untuk menganalisis efisiensi penggunaan energi pertanian untuk menjadikan kegiatan pertanian menjadi pertanian yang berkelanjutan. Sebagaimana dimaklumkan oleh FAO bahwa pertanian di masa mendatang adalah pertanian yang berkelanjutan, yang memperhatikan keberlangsungan lingkungan dan menjaga pasokan pangan.

Untuk kawasan ASEAN, penelitian terkait energi masukan dan keluaran pada pertanian padi telah dilakukan di Malaysia (Muazu et al., 2015), Myanmar (Soni & Soe, 2016) dan Vietnam (Truong et al., 2017). Penelitian di Malaysia menunjukkan bahwa energi untuk pemupukan merupakan energi terbesar dalam pertanian padi. Di Myanmar, kebutuhan energi untuk sawah tadah hujan berbeda dengan sawah irigasi namun secara statistik, efisiensi energinya tidak signifikan. Metode SRI di Vietnam (System of Rice Intensification) terbukti menghemat 23% energi dibandingkan metode konvensional dan meningkatkan keuntungan ekonomis.

Di Indonesia, penelitian telah dilakukan untuk menganalisis energi masukan dan keluaran pada komoditas padi (Herwanto et al., 2017). Untuk wilayah Lampung, telah dilakukan analisis energi masukan dan keluaran pada komoditas kelapa sawit (Haryanto et al., 2011). Pada penelitian (Haryanto et al., 2011), diketahui bahwa penggunaan pupuk tetap menjadi energi masukan utama dalam budidaya sawit. Selain itu, tahapan pemeliharaan tanaman produktif menjadi tahapan yang

membutuhkan energi paling banyak. Dari hasil ini, peneliti mengusulkan penggunaan limbah tanaman sawit untuk digunakan kembali ke kebun sebagai pupuk organik.

Dari beberapa penelitian yang telah ditunjukkan di atas, menunjukkan bahwa analisis energi masukan dan keluaran pada suatu sistem pertanian adalah hal dasar yang perlu dilakukan. Penelitian mengenai hal tersebut juga khas pada setiap komoditas dan tempat. Untuk wilayah Lampung, penelitian mengenai analisis energi masukan dan keluaran untuk komoditas jagung perlu dilakukan mengingat Lampung Selatan merupakan sentra komoditas jagung. Terdapat dua tujuan dari penelitian ini. Pertama adalah untuk menganalisis energi masukan pada budidaya jagung konvensional. Tujuan yang kedua adalah untuk mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi pada budidaya jagung konvensional. Nantinya, data yang dihasilkan dapat menjadi masukan bagi para pengambil kebijakan untuk menentukan pengembangan pertanian jagung yang ramah lingkungan. Data yang dihasilkan juga menjadi data dasar untuk menentukan pengembangan pertanian jagung di masa mendatang.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di lahan jagung 10 hektar milik petani di Kelurahan Jatibaru, Kecamatan Tanjung Bintang, Lampung Selatan. Daerah ini dipilih karena Lampung Selatan khususnya Tanjung Bintang adalah daerah sentra jagung di Lampung Selain itu, daerah tersebut mudah diakses dan baik dari segi lahan maupun petaninya. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah meteran, *stopwatch* digital, timbangan digital, bomb kalorimeter, sprayer, dan timbangan gantung. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih jagung, lahan, pupuk NPK, pupuk urea, pupuk SP, pupuk kompos, herbisida, insektisida.

Data yang diperoleh dalam penelitian selanjutnya akan diolah dan dianalisis. Analisis energi masukan budidaya jagung dihitung mulai dari pengolahan lahan hingga pengolahan lahan pasca panen. Energi masukan yang diperhitungkan adalah energi manusia, energi bahan bakar, dan energi tak langsung dalam alat dan bahan yang digunakan dalam proses budidaya. Analisis energi keluaran budidaya jagung adalah biomassa jagung yang dihasilkan dari proses budidaya yang diamati. Energi keluaran yang diperhitungkan adalah energi bersih dari jagung pipilan dan energi kotor dari semua biomassa jagung yang dihasilkan (tongkol, daun, batang, kulit jagung, jenjet).

### **Energi Masukan**

#### ***Energi manusia***

Total energi manusia LABEN yang diperlukan selama proses budidaya diperhitungkan menggunakan Persamaan (1) :

$$\text{LABEN} = (\text{JOK} \times \text{LABENCO})/\text{AREA} \quad [1]$$

dengan LABEN adalah total energi manusia (MJ/ha), JOK adalah jam kerja orang untuk suatu kegiatan (jam), LABENCO adalah koefisien energi dari tenaga manusia, dan AREA adalah luas lahan (ha). Nilai koefisien dari tenaga manusia yang digunakan adalah sebesar 1,57 MJ/unit untuk olah tanah dan 0,79 untuk kegiatan selain olah tanah (Abdullah et al., 1985)

#### ***Energi bahan bakar***

Total energi bahan bakar FUELEN yang diperlukan selama proses budidaya diperhitungkan menggunakan Persamaan (2) :

$$\text{FUELEN} = h \times \text{FC} \times \text{FUELENCO} \quad [2]$$

Dengan FUELEN adalah energi dari penggunaan bahan bakar (MJ/ha),  $h$  adalah jam kerja alsintan (jam/ha), FC adalah konsumsi bahan bakar (L/jam) dan FUELENCO adalah koefisien energi bahan bakar (MJ/L). Nilai koefisien energi bahan bakar yang digunakan adalah sebesar 47,76 MJ/liter untuk solar dan 42,30 MJ/liter untuk bensin (Pimentel, 1980)

#### ***Energi tak langsung dari alat pertanian***

Energi tidak langsung dari pemakaian alsintan diperhitungkan dengan Persamaan [3] :

$$\text{MACHEN} = \frac{\text{MW} \times \text{MACHENCO}}{\text{SL} \times \text{AREA}} \times h \quad [3]$$

dengan MACHEN adalah energi tidak langsung dari pemakaian alsintan (MJ/ha), MW adalah berat total alsin (kg), MACHENCO adalah koefisien *embodied* energi dari alsintan (MJ/kg) dan SL adalah umur pemakaian alsintan (jam). Koefisien *embodied* energi dari alsintan adalah 109 MJ/kg berat mesin pertanian (Rathke & Diepenbrock, 2006); 29,8 MJ/kg untuk truk (Mrini et al., 2001); 23,1 MJ/kg untuk alat pertanian (Aguilera et al., 2015); 1,4 MJ/kg untuk sprayer (Kuswardhani et al., 2013) Umur pemakaian mesin pertanian yang digunakan adalah 12 tahun atau 18.000 jam untuk traktor dan 8 tahun atau 12.000 jam untuk truk (Haryanto et al., 2011). Umur pemakaian alat pertanian 24000 jam.

#### **Energi tak langsung dari benih, pupuk, zat kimia pertanian.**

Energi tak langsung dari aplikasi pupuk dan pestisida dihitung dengan Persamaan [4], [5], dan [6] :

$$\text{SEEDEN} = \frac{\text{SEED} \times \text{SEEDCO}}{\text{AREA}} \quad [4]$$

$$\text{FERTEN} = \sum (\text{RATE} \times \text{AI} \times \text{FERTENCO})_i \quad [5]$$

$$\text{PESTEN} = \sum (\text{RATE} \times \text{AI} \times \text{PESTENCO})_i \quad [6]$$

dengan SEEDEN adalah total energi tidak langsung dari benih (MJ/ha), SEED adalah berat benih yang diaplikasikan pada lahan (kg), SEEDCO adalah factor konversi energi benih (MJ/kg), FERTEN adalah total energi tidak langsung dari pupuk (MJ/ha), RATE adalah takaran aplikasi pupuk atau bahan kimia (kg/ha), AI adalah kandungan bahan aktif pupuk atau bahan kimia, FERTENCO adalah koefisien energi pupuk yang digunakan (MJ/Kg), PESTEN adalah total energi masukan tidak langsung dari zat kimia pertanian (herbisida, pestisida, fungisida) (MJ/ha), PESTENCO adalah koefisien energi zat kimia pertanian yang digunakan (MJ/Kg) serta subskrip *i* menunjukkan jenis pupuk dan zat kimia pertanian yang digunakan. Nilai koefisien energi dari pupuk, zat kimia pertanian yang digunakan dalam perhitungan ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai koefisien energi dari pupuk dan zat kimia pertanian yang digunakan

| Jenis input pertanian | Unit                             | Energi ekivalen (MJ/unit) |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Benih jagung          | Kg                               | 45,3*                     |
| Pupuk kandang         | Kg                               | 17,9                      |
| Pupuk NPK             | kg N                             | 114                       |
|                       | kg K <sub>2</sub> O              | 19,4                      |
|                       | kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 20,3                      |
| Pupuk Urea            | kg N                             | 67                        |
| Pupuk SP              | kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 25,2                      |
| Zat kimia pertanian   | kg bahan aktif                   | 447                       |

(Sumber : \* (Camargo et al., 2013),(Aguilera et al., 2015) )

Total energi masukan adalah penjumlahan dari semua komponen energi masukan. Total energi masukan (MJ/ha) dihitung dengan Persamaan (7)

$$\text{EIN} = \text{LABEN} + \text{FUELEN} + \text{MACHEN} + \text{SEEDEN} + \text{FERTEN} + \text{PESTEN} \quad [7]$$

#### **Energi Keluaran**

Energi keluaran yang diperhitungkan yaitu energi dari biomassa jagung (biji, daun, batang, tongkol). Nilai kalor biomassa jagung diukur menggunakan bomb calorimeter CalEco. Energi keluaran diperhitungkan menggunakan Persamaan (8) :

$$\text{EOUT} = \sum \left( \frac{\text{NK} \times \text{MASS}}{\text{AREA}} \right)_i \quad [8]$$

Dengan EOUT adalah total energi keluaran (MJ/ha), NK adalah koefisien energi dari pengukuran (MJ/kg), MASS adalah berat biomassa yang diukur (kg), serta subskrip *i* menunjukkan jenis

biomassa yang diukur.

### **Indikator Energi**

Hasil perhitungan energi masukan dan keluaran selanjutnya digunakan untuk menentukan indikator energi.

### **Energi bersih**

Energi bersih (NETEN) adalah selisih dari total energi keluaran dengan total energi masukan seperti yang diberikan oleh persamaan (9)

$$\text{NETEN} = \text{EOUT} - \text{EIN} \quad [9]$$

### **Rasio energi**

Rasio energi (RE) atau efisiensi penggunaan energi (*energy use efficiency*) adalah perbandingan antara total energi keluaran dengan total energi masukan, seperti yang diberikan pada persamaan (10)

$$\text{RE} = \frac{\text{EOUT}}{\text{EIN}} \quad [10]$$

### **Intensitas energi**

Intensitas energi (IE; MJ/kg) adalah perbandingan antara total energi masukan dengan total hasil per luas lahan seperti yang diberikan pada persamaan (11). Total hasil yang dimasukkan bisa berupa biomassa yang bernilai ekonomis (biji jagung saja) atau keseluruhan biomassa.

$$\text{IE} = \frac{\text{EIN}}{\text{MASS/AREA}} \quad [11]$$

### **Produktivitas energi**

Produktivitas energi (PE, kg/MJ) adalah perbandingan antara total hasil per luas lahan dengan total energi masukan seperti yang diberikan pada persamaan (12)

$$\text{PE} = \frac{\text{MASS/AREA}}{\text{EIN}} \quad [12]$$

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Energi Masukan pada Setiap Tahapan Budidaya Jagung**

Budidaya jagung pada lokasi yang diamati dilakukan sebanyak dua kali musim tanam dalam satu tahun kalender. Musim tanam pertama (MT1) umumnya dilakukan pada Oktober – Februari, sedangkan musim tanam kedua (MT2) dilakukan pada April – Agustus. Permulaan musim tanam biasanya dilakukan saat sudah memasuki musim hujan mengingat pengairan untuk budidaya jagung hanya bergantung pada adanya hujan. Hasil dari lahan jagung berupa jagung pipil yang digunakan sebagai pakan ternak. Luas lahan yang dibudidayakan adalah 10 ha.

### **Pengolahan dan penyiapan lahan**

Pengolahan lahan dilakukan hanya pada awal musim tanam pertama saja. Hal yang dilakukan adalah mengolah tanah dengan traktor dan membuat guludan. Pengolahan tanah dengan traktor dilakukan untuk sekali dalam dua tahun kalender. Untuk awal musim tanam pertama, dilakukan juga pemberian pupuk kompos yang berasal dari kotoran ayam. Sedangkan untuk musim tanam kedua, penyiapan lahan dilakukan dengan cara membakar pohon jagung dari musim tanam sebelumnya. Menurut petani, hal ini untuk mematikan gulma dan hama yang ada pada musim tanam sebelumnya. Selain pengolahan lahan dengan traktor, semua kegiatan budidaya lainnya dilakukan secara manual. Energi masukan untuk pengolahan lahan terbesar berasal dari penggunaan pupuk kompos, sebesar 75% dari total energi masukan penyiapan lahan. 15% dari energi masukan untuk pengolahan lahan berasal dari energi manusia, sedangkan bahan bakar hanya 10% dari total energi masukan proses pengolahan. Sulitnya akses mesin pertanian untuk masuk ke lahan dapat menjadi alasan penggunaan energi manusia lebih banyak daripada

penggunaan alsintan. Penggunaan pupuk kompos tetap dipertahankan karena selain berguna untuk tanaman, kompos juga membantu meningkatkan karakteristik tanah (Ho et al., 2022). Tabel 2 menampilkan energi masukan pada tahap pengolahan dan penyiapan lahan yang terjadi dalam satu tahun kalender. Nilai energi untuk bahan bakar dan traktor telah disesuaikan untuk dihitung dalam satu tahun kalender.

Tabel 2. Energi masukan pada proses pengolahan dan penyiapan lahan

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | MT1      | MT2    | Total    |
|------------------------------|----------|--------|----------|
| Energi manusia               | 606,02   | 100,48 | 706,50   |
| Energi bahan bakar           | 477,60   | -      | 477,60   |
| Energi tidak langsung:       |          |        |          |
| Alsintan                     | 18,79    | 0,04   | 18,83    |
| Pupuk kompos                 | 3.647,13 | -      | 3.647,13 |
| Total                        | 4.749,54 | 100,52 | 4.850,06 |

### **Penanaman**

Proses penanaman dilakukan secara manual dengan menggunakan tugal kayu. Sebelum benih dimasukkan ke tanah, benih diberi perlakuan berupa perendaman dengan fungisida untuk mencegah terjadinya penyakit bulai (Fitryana et al., 2018). Tabel 3 menyajikan data penggunaan energi pada tahap penanaman dalam satu musim tanam karena perlakuan yang sama diamati dalam satu tahun kalender. Energi masukan utama pada tahapan penanaman berasal dari benih, yaitu sebanyak 70%. Banyak sedikitnya benih yang digunakan bergantung kepada jarak tanam yang digunakan dan jumlah benih per lubang tanam. Pemasukan lebih dari satu benih per lubang berpeluang meningkatkan produktivitas namun perlu dilihat kepadatan tanaman yang terjadi tidak akan mengganggu pertumbuhan tanaman (Regyta et al., 2023). Jagung ditanam dengan jarak tanam 70 x 30 cm. Penggunaan tugal mekanis akan mengurangi energi manusia yang digunakan dalam tahapan penanaman. Energi masukan pada tahapan penanaman setiap musim tanam adalah 970,91MJ/ha, lebih tinggi dibandingkan penelitian di Sumatra Barat (Putri et al., 2020) yang memerlukan 292,402 MJ/ha. Perbedaan faktor konversi dan tipe energi masukan yang digunakan mempengaruhi hasil perhitungan energi masukan.

Tabel 3. Energi masukan pada tahapan penanaman

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | MT1 = MT2 | Total    |
|------------------------------|-----------|----------|
| Energi manusia               | 189,60    | 379,20   |
| Energi tidak langsung:       |           |          |
| Benih                        | 679,50    | 1.359,0  |
| Alsintan                     | 1,23      | 2,46     |
| Fungisida                    | 100,58    | 201,15   |
| Total                        | 970,91    | 1.941,81 |

### **Penyiangan.**

Pada awal penanaman umumnya dilakukan penyiangan, namun penyiangan dilakukan jika diperlukan. Penentuan perlu tidaknya dilakukan penyiangan adalah dengan melihat pertumbuhan gulma di sekitar tanaman jagung. Penyiangan dilakukan dengan menyemprotkan herbisida yang beraksi cepat dan bersifat sistemik menggunakan sprayer. Energi masukan yang digunakan pada tahapan penyiangan ditampilkan pada tabel 4. Dalam satu musim tanam dilakukan minimal dua kali penyiangan. Energi tak langsung dari sprayer sangat kecil karena sprayer yang dipakai termasuk alat yang ringan. Energi tak langsung dari herbisida mencapai 73% dari energi masukan penyiangan. Semakin banyak kandungan aktif pada herbisida, akan semakin tinggi nilai energinya. Kecenderungan yang sama ditemukan pada hasil penelitian di Sumatra Barat, dimana energi dari herbisida untuk penyiangan/penyemprotan mencapai 100% dari kebutuhan energi (Putri et al., 2020).

Tabel 4. Energi masukan pada tahapan penyiangan

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | MT1 = MT2 | Total  |
|------------------------------|-----------|--------|
| Energi manusia               | 63,20     | 126,40 |
| Energi tidak langsung:       |           |        |
| Alsintan                     | 0,03      | 0,06   |
| Herbisida                    | 167,63    | 335,25 |
| Total                        | 230,85    | 461,71 |

**Pemupukan.**

Terdapat dua kali pemupukan yang dilakukan, pemupukan pertama saat tanaman berumur 15 – 20 hari, pemupukan kedua saat tanaman berumur 60 – 65 hari. Penghitungan hari dimulai saat penanaman benih dilakukan. Perbedaan pemupukan adalah jika pemupukan pertama menggunakan tiga jenis pupuk (N, P, K) dan pada pemupukan kedua unsur K tidak diberikan. NPK yang digunakan adalah NPK dengan kadar 9 – 25 – 25 dengan dosis 300 kg/ha. Dosis Urea dan SP yang diterapkan adalah 450 kg/ha dan 150 kg/ha. Metode pemupukan dilakukan dengan menempatkan pupuk di dekat pohon tanpa menggunakan alat bantu. Energi masukan untuk proses pemupukan ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Energi masukan pada tahapan pemupukan

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | MT1 = MT2 | Total     |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Energi manusia               | 189,6     | 379,20    |
| Energi tidak langsung:       |           |           |
| NPK                          | 6.055,5   | 12.111,00 |
| Urea                         | 13.869,00 | 27.738,00 |
| SP                           | 1.360,8   | 2.721,60  |
| Total                        | 21.474,90 | 42.949,80 |

**Pengendalian hama dan penyakit.**

Sama halnya dengan penyiangan, pengendalian hama dan penyakit dilakukan jika diperlukan. Penyakit yang sering dijumpai adalah bulai. Hama yang sering dijumpai adalah lalat bibit dan pengerek batang. Hama dan penyakit umumnya dikendalikan dengan pemberian insektisida yang sesuai dengan jenis hamanya. Namun, untuk musim tanam tahun 2019, muncul hama baru yaitu ulat yang saat itu belum diketahui bagaimana cara mengatasinya. Hal ini membuat panen jagung pada musim kedua tahun 2019 tidak sebaik pada musim pertama. Energi masukan untuk proses pengendalian hama dan penyakit ditampilkan pada tabel 6. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan cara penyemprotan pestisida menggunakan sprayer. Rata – rata dilakukan 2 kali penyemprotan dalam 1 kali musim tanam. 98% energi masukan pada tahapan ini berasal dari pestisida. Pestisida yang digunakan untuk tahapan ini lebih tinggi kandungan bahan aktif dan dosisnya, disebabkan karena pada tahapan ini tanamannya lebih tinggi dan lebih rapat sehingga akan didapatkan hasil yang optimal.

Tabel 6. Energi masukan pada tahapan pengendalian hama dan penyakit

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | MT1 = MT2 | Total    |
|------------------------------|-----------|----------|
| Energi manusia               | 25,28     | 50,56    |
| Energi tidak langsung:       |           |          |
| Pestisida                    | 1.468,40  | 2.936,79 |
| Alsintan                     | 0,07      | 0,14     |
| Total                        | 1.493,75  | 2.987,49 |

**Pemanenan.**

Dilakukan saat umur tanaman lebih kurang 130 hari. Panen jagung dilakukan saat tanaman

sudah kering di pohonnya. Karena letak pabrik pakan ternak relatif dekat dengan lahan jagung, proses pasca panen yang dilakukan hanya pemipilan. Pemipilan jagung dilakukan bersamaan dengan pemanenan. Setelah lahan selesai dipanen dan jagung pipil dikirim ke pabrik, lahan diistirahatkan sekitar satu – dua bulan untuk kemudian dilakukan penanaman lagi. Terdapat tiga kegiatan utama dalam pemanenan, yaitu pemetikan, pengangkutan dan pemipilan. Lokasi pemipilan berbeda dengan lokasi panen. Hasil panen diangkut dengan truk berbahan bakar bensin ke lokasi pemipilan. Pemipilan menggunakan mesin pemipil berbahan bakar solar. Energi masukan untuk proses pemanenan ditampilkan pada tabel 7. Energi bahan bakar bisa dikurangi jika terdapat mesin pemipil *mobile* yang dapat masuk ke lahan sehingga jagung hasil panen bisa segera masuk ke pabrik pakan ternak.

Tabel 7. Energi masukan pada tahapan pemanenan

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | MT1 = MT2 | Total    |
|------------------------------|-----------|----------|
| Energi manusia               | 265,44    | 530,88   |
| Energi bahan bakar           | 1.441,96  | 2.881,92 |
| Energi tidak langsung:       |           |          |
| Alsintan                     | 24,25     | 48,89    |
| Total                        | 1.730,85  | 3.461,69 |

Energi masukan secara keseluruhan ditampilkan pada tabel 8. Dari tabel terlihat bahwa energi masukan paling banyak adalah energi pupuk (82%) sedangkan tahapan budidaya dengan energi terbanyak adalah tahap pemupukan (76%). Kecenderungan yang sama terlihat dalam beberapa penelitian, yaitu pada penelitian di Sumatra Barat (Putri et al., 2020); dan di Morang, Nepal (Poudel et al., 2019). Energi manusia selalu ada pada setiap tahapan budidaya, menunjukkan manusia masih menjadi aktor utama dalam pertanian jagung di Lampung Selatan. Penggunaan alsintan yang rendah menunjukkan pola pertanian masih tradisional walaupun pengolahan lahan telah menggunakan traktor. Pemilihan penggunaan alsintan yang memerlukan bahan bakar atau energi manusia pada beberapa tahapan budidaya umumnya didasari pada pertimbangan ekonomis. Budidaya jagung di Lampung Selatan bergantung pada hujan untuk penyediaan airnya, sehingga tidak ada energi yang diperlukan untuk mendapatkan air/irigasi.

Tabel 8. Energi masukan pada budidaya jagung

| Jenis energi masukan (MJ/ha) | Energi manusia | Energi bahan bakar | Energi alsintan | Energi pupuk | Energi benih | Energi zat kimia pertanian | Total            |
|------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------------------|------------------|
| Pengolahan lahan             | 706,5          | 477,6              | 18,83           | 3.647,13     | -            | -                          | 4.850,06         |
| Penanaman                    | 379,2          | -                  | 2,46            | -            | 1359,00      | 201,15                     | 1.941,81         |
| Penyiangan                   | 126,4          | -                  | 0,06            | -            | -            | 335,25                     | 461,71           |
| Pemupukan                    | 379,2          | -                  | -               | 42.570,60    | -            | -                          | 42.949,80        |
| Pemeliharaan                 | 50,56          | -                  | 0,14            | -            | -            | 2.936,79                   | 2.987,49         |
| Pemanenan                    | 530,88         | 2.881,52           | 48,89           | -            | -            | -                          | 3.461,69         |
| Total                        | 2.172,74       | 3.359,52           | 70,38           | 46.217,73    | 1.359,00     | 2.987,49                   | <b>56.652,56</b> |

Untuk melihat penggunaan energi secara terperinci, energi masukan pada tabel 8 dapat dikelompokkan menjadi energi langsung –tidak langsung serta energi terbarukan – tidak terbarukan seperti pada tabel 9 berikut. Persentase energi tidak langsung yang tinggi menunjukkan budidaya jagung di Lampung Selatan masih menggunakan banyak energi dari pupuk kimia. Penggunaan bahan bakar dan tenaga manusia yang sedikit dapat menjadi petunjuk bahwa efisiensi pekerja di Lampung Selatan cukup tinggi. Energi dari pupuk kandang, benih jagung dan manusia dikelompokkan sebagai energi terbarukan. Penggunaan energi terbarukan

dapat ditingkatkan dengan menggunakan pupuk hasil sisa biomassa jagung, baik dalam bentuk biochar maupun dalam bentuk pupuk hijau.

Tabel 9. Pengelompokan energi masukan pada budidaya jagung

| Jenis energi            | MJ/ha     | %   |
|-------------------------|-----------|-----|
| Energi langsung         | 5.532,26  | 10% |
| Energi tidak langsung   | 51.120,30 | 90% |
| Energi terbarukan       | 7.178,87  | 13% |
| Energi tidak terbarukan | 49.473,69 | 87% |

### Energi Keluaran pada Budidaya Jagung

Biomassa yang dihasilkan pada proses budidaya jagung dianggap sebagai energi keluaran dari proses budidaya dan dibedakan menjadi energi keluaran bersih yang bernilai ekonomi dan energi keluaran kotor yang mencakup semua biomassa yang dihasilkan. Energi keluaran kotor tetap perlu dihitung untuk melihat potensi limbah biomassa jika hanya biomassa yang bernilai ekonomi saja yang diambil. Hasil panen musim tanam ke 2 berkurang 5% dari pada musim sebelumnya karena adanya hama ulat yang belum bisa ditangani. Tabel 10 menampilkan hasil budidaya jagung beserta nilai kalor dan energi keluarannya. Berdasarkan berat, budidaya jagung paling banyak menghasilkan batang jagung (33%), daun jagung (26%) dan jagung pipil (21%). Berdasarkan energi keluaran, persentasenya berubah namun dengan urutan yang sama (32%, 24%, 23%). Selain jagung pipil, semua biomassa akan berubah menjadi limbah jika tidak dikembalikan ke lahan. Penggunaan tongkol jagung sebagai biochar dan dikembalikan ke lahan terbukti meningkatkan status hara tanah dan menopang pertumbuhan tanaman jagung (Muslimah et al., 2022). Biomassa lainnya dapat digunakan sebagai pupuk hijau yang selanjutnya bisa digunakan kembali ke lahan sebagai pupuk tambahan. Penggunaan biochar tongkol jagung dan pupuk hijau dari biomassa jagung akan mengurangi limbah pertanian (*waste minimization*) dan menuju terciptanya pertanian tertutup (*closed – loop system*) yang sesuai prinsip *circular agriculture* (Kotyal, 2023) Penggunaan kembali biomassa juga akan meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Tabel 10. Energi keluaran budidaya jagung

| Jenis energi keluaran (MJ/ha) | MT1 (kg/ha) | MT2 (kg/ha) | Total berat (kg/ha) | Nilai Kalor (MJ/kg) | Energi keluaran (MJ/ha) |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Jagung pipil                  | 5.412,66    | 5.142,03    | <b>10.554,69</b>    | 18,41               | <b>194.311,84</b>       |
| Tongkol jagung                | 854,31      | 811,60      | 1.665,91            | 17,66               | 29.419,97               |
| Batang jagung                 | 8.639,15    | 8.207,19    | 16.846,34           | 15,66               | 263.813,68              |
| Daun jagung                   | 6.724,07    | 6.387,87    | 13.111,94           | 15,2                | 199.301,49              |
| Klobot jagung                 | 4.723,87    | 4.487,68    | 9.211,55            | 15,56               | 143.331,72              |
| Total                         | 26.354,06   | 25.036,37   | 51.390,43           | -                   | <b>830.178,70</b>       |

### Indikator Energi Budidaya Jagung

Indikator energi pada budidaya jagung dihitung berdasarkan nilai energi masukan dan keluaran. Indikator energi ditampilkan pada tabel 11 dengan membedakan antara energi keluaran bersih dan energi keluaran kotor. Rasio energi untuk energi keluaran bersih sebesar 3,43 mengindikasikan energi masukan sudah digunakan secara efektif. Produktivitas jagung dalam

satu tahun tanam adalah sebesar 10 ton/ha atau 5 ton/ha setiap musim tanam. Untuk memproduksi 1 kg biji jagung dibutuhkan energi 5,37 MJ dan setiap MJ energi akan menghasilkan 0,19 kg biji jagung.

Tabel 11. Indikator energi budidaya jagung

| Indikator Energi | Energi keluaran kotor | Energi keluaran bersih |
|------------------|-----------------------|------------------------|
| NETEN (MJ/ha)    | 773.526,14            | 137.659,28             |
| RE               | 14,65                 | 3,43                   |
| IE (MJ/kg)       | 1,10                  | 5,37                   |
| PE (kg/MJ)       | 0,91                  | 0,19                   |

Nilai RE pada pertanian jagung di Sumatera Barat adalah sebesar 9,183 yang menunjukkan energi masukan sangat efektif digunakan. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada tahapan budidayanya, dimana pertanian jagung Sumatra Barat hanya melakukan satu kali pemupukan dan satu kali penyemprotan sehingga mengurangi penggunaan energi pupuk dan zat kimia pertanian, yang menjadi salah satu energi masukan utama proses budidaya jagung. Hal ini berpengaruh pada nilai IE (1,601 MJ/kg), yang menunjukkan bahwa pertanian jagung di Lampung Selatan memerlukan energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Sumatra Barat (Putri et al., 2020). Namun produktivitas jagung di Lampung Selatan lebih tinggi daripada di Sumatra Barat (4.382,848 kg/ha).

Nilai RE pada pertanian jagung di district Morang, Nepal (Poudel et al., 2019) adalah sebesar 4,14, lebih tinggi dari penelitian ini. Perbedaan pada budidaya yang terjadi adalah penggunaan pupuk kandang yang tinggi di Nepal. Nilai PE juga lebih tinggi (0,28kg/MJ), artinya pertanian jagung di Lampung Selatan menghasilkan jagung yang lebih sedikit daripada pertanian jagung di Nepal, namun produktivitas jagung di Lampung Selatan lebih tinggi daripada di Morang, Nepal (3.095,34 kg/ha).

Perbedaan jenis tanah mungkin menyebabkan perbedaan pada tahapan budidaya yang dilakukan di ketiga tempat tersebut. Tanah yang gembur umumnya akan mengurangi kebutuhan pupuk. Energi pupuk adalah energi terbesar di setiap pertanian jagung yang diteliti. Jenis tanah di Lampung Selatan Kecamatan Tanjung Bintang didominasi oleh tanah latosol dan grumosol yang kurang subur, sehingga perlu penambahan pupuk untuk mengoptimasi pertumbuhan tanaman. Produktivitas yang tinggi menunjukkan tanah di kawasan penelitian masih bisa menampung energi pupuk yang diberikan. Peningkatan produktivitas dapat dilakukan dengan menggunakan benih jagung hibrida yang lebih tahan kering. Penggunaan biomassa sisa panen juga dapat meningkatkan status hara tanah sehingga akan meningkatkan produktivitas dan mengurangi intensitas energi budidaya jagung di Lampung Selatan.

## KESIMPULAN

Energi masukan pada pertanian jagung untuk satu tahun tanam di Tanjung Bintang, Lampung Selatan adalah sebesar 56.652,56 MJ/ha dan energi keluarannya adalah sebesar 194.311,84 MJ/ha. Energi masukan terbesar berasal dari energi pupuk dan kegiatan pemupukan merupakan kegiatan dengan energi masukan tertinggi. Rasio energi/efisiensi energi pertanian jagung adalah sebesar 3,43. Produktivitas lahan adalah 10 ton/ha untuk satu tahun tanam dan dalam satu tahun tanam dilakukan dua kali musim tanam. Nilai produktivitas yang tinggi serta rasio energi yang tinggi menunjukkan lingkungan pertanian masih bisa digunakan untuk pertanian jangka panjang. Penggunaan kembali biomassa hasil pertanian sebagai biochar ataupun pupuk hijau dapat digunakan untuk meningkatkan rasio energi sehingga energi yang digunakan semakin efisien. Selain itu, benih hibrida dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanpa mempengaruhi energi masukan budidaya jagung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh skema Penelitian Dosen Pemula tahun anggaran 2019 dengan nomor kontrak B/137/IT9.C1/PT.01.03/2019.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Zhao, C., Waseem, M., Ahmed Khan, K., & Ahmad, R. (2022). Analysis of energy input–output of farms and assessment of greenhouse gas emissions: A case study of cotton growers. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.826838>
- Abdullah, K., Irwanto, A. K., Siregar, N., & Agustina, E. (1985). *Energi dan Listrik Pertanian*. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fateta, IPB.
- Aguilera, E., Guzmán, G., Infante-Amate, J., Soto Fernández, D., García-Ruiz, R., Herrera, A., Villa, I., Torremocha, E., Carranza-Gallego, G., & Molina, M. (2015). *Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective* (DT-SEHA 1507). Sociedad Española de Historia Agraria.
- Behnia, M., Ghahderijani, M., Kaab, A., & Behnia, M. (2025). Evaluation of sustainable energy use in sugarcane production: A holistic model from planting to harvest and life cycle assessment. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100617. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100617>
- BPS Lampung Selatan. (2024). *Luas Panen, Hasil per Hektar, dan Produksi Padi dan Palawija di Kabupaten Lampung Selatan—Tabel Statistik*. <https://lampungselatankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzcwIzI=/luas-panen--hasil-per-hektar--dan-produksi-padi-dan-palawija-di-kabupaten-lampung-selatan.html>
- BPS Provinsi Lampung. (2018). *Tanaman Jagung (Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas)—Tabel Statistik*. <https://lampung.bps.go.id/id/statistics-table/2/Mjk4IzI=/tanaman-jagung-luas-panen-produksi-dan-produktivitas-.html>
- BPS Provinsi Lampung. (2024). *Penduduk Usia 15+ yang Bekerja Selama Seminggu yang Lalu Menurut Status Pekerjaan Utama dan Lapangan Pekerjaan Utama—Tabel Statistik*. <https://lampung.bps.go.id/id/statistics-table/2/ODEzIzI=/penduduk-usia-15-yang-bekerja-selama-seminggu-yang-lalu-menurut-status-pekerjaan-utama-dan-lapangan-pekerjaan-utama.html>
- Camargo, G. G. T., Ryan, M. R., & Richard, T. L. (2013). Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the Farm Energy Analysis Tool. *BioScience*, 63(4), 263–273. <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.4.6>
- Fathi, A., & Kheiralipour, K. (2025). Investigating the energy consumption and carbon footprint in mung bean production ecosystems in Iran. *Biosystems Engineering and Renewable Energies*, 1(1), 59–63.
- Fitryana, D., Swibawa, I. G., Nurdin, M., & Susilo, F. X. (2018). Pengaruh beberapa jenis fungisida sebagai perlakuan benih jagung terhadap kelimpahan dan keragaman artropoda tanah. *Jurnal Agrotek Tropika*, 6(1). <https://doi.org/10.23960/jat.v6i1.2529>
- Haryanto, A., Lanya, B., Triyono, S., Saputra, M., & Setyowati, N. (2011). Analisis energi masukan—Keluaran pada proses produksi kelapa sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *Agritech*, 31(3), 8.
- Herwanto, T., Saukat, M., & Daniagam, R. (2017). Analisis energi pada proses budidaya padi metode System Rice of Intensification (SRI). *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian UNS*, 7.
- Ho, T. T. K., Tra, V. T., Le, T. H., Nguyen, N.-K.-Q., Tran, C.-S., Nguyen, P.-T., Vo, T.-D.-H., Thai, V.-N., & Bui, X.-T. (2022). Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2022.100211>

- Kotyal, K. (2023). Circular agriculture: Sustainable farming practices for zero waste. *Environmental Reports*, 5(1), 8–12. <https://doi.org/10.51470/ER.2023.5.1.08>
- Kuswardhani, N., Soni, P., & Shivakoti, G. P. (2013). Comparative energy input–output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in West Java, Indonesia. *Energy*, 53, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.032>
- Mrini, M., Senhaji, F., & Pimentel, D. (2001). Energy analysis of sugarcane production in Morocco. *Environment, Development and Sustainability*, 3, 109–126.
- Muazu, A., Yahya, A., Ishak, W. I. W., & Khairunniza-Bejo, S. (2015). Energy audit for sustainable wetland paddy cultivation in Malaysia. *Energy*, 87, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.066>
- Muslimah, D. H., Widyastuti, R., & Djajakirana, G. (2022). Aplikasi kombinasi biochar dan pupuk hayati pada tanaman jagung di lahan kering Kabupaten Pandeglang. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 24(2), 47–52. <https://doi.org/10.29244/jitl.24.2.47-52>
- Ozbek, O., Gokdogan, O., & Baran, M. F. (2021). Investigation on energy use efficiency and greenhouse gas emissions (GHG) of onion cultivation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(02), 1125–1133.
- Panikkai, S., Nurmalinga, R., & Mulatsih, S. (2017). Analisis kebijakan terhadap ketersediaan dan kebutuhan jagung nasional dengan pendekatan sistem dinamik. *Jurnal Pangan*, 26(2).
- Pimentel, D. (1980). *Handbook of Energy Utilization In Agriculture* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351072519>
- Poudel, S., Bhattarai, S., Sherpa, T., Karki, A., Hyun Kim, D., & Kafle, S. (2019). The energy input-output analysis of maize production in Sundarharaincha Municipality, Morang district, Nepal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 301(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/301/1/012027>
- Putri, R. E., Loven, C., & Fahmy, K. (2020). Studi kasus audit energi pada budidaya jagung di Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 24(1), 54–66.
- Rathke, G.-W., & Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, 24(1), 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.04.003>
- Regyta, S., Ritonga, A. W., & Permatasari, O. S. I. (2023). Kajian jumlah benih per lubang tanaman terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt). *Buletin Agrohorti*, 11(1), 18–29. <https://doi.org/10.29244/agrob.v11i1.46591>
- Rickson, R. J., Deeks, L. K., Graves, A., Harris, J. A. H., Kibblewhite, M. G., & Sakrabani, R. (2015). Input constraints to food production: The impact of soil degradation. *Food Security*, 7(2), 351–364. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0437-x>
- Rittgers, C., McDonald, G., & Meylinah, S. (2019). *Indonesia Grain and Feed Annual Indonesia Grain and Feed Annual Report 2019* (ID1904; p. 21). USDA Foreign Agricultural Services. [https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Grain%20and%20Feed%20Annual\\_Jakarta\\_Indonesia\\_3-26-2019.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Grain%20and%20Feed%20Annual_Jakarta_Indonesia_3-26-2019.pdf)
- Saadi, H., Behnia, M., Taki, M., & Kaab, A. (2025). A comparative study on energy use and environmental impacts in various greenhouse models for vegetable cultivation. *Environmental and Sustainability Indicators*, 25, 100553. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100553>
- Soni, P., & Soe, M. N. (2016). Energy balance and energy economic analyses of rice production systems in Ayeyarwaddy Region of Myanmar. *Energy Efficiency*, 9(1), 223–237. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9359-x>
- Truong, T. T. A., Fry, J., Van Hoang, P., & Ha, H. H. (2017). Comparative energy and economic analyses of conventional and System of Rice Intensification (SRI) methods of rice production in Thai Nguyen Province, Vietnam. *Paddy and Water Environment*, 15(4), 931–941. <https://doi.org/10.1007/s10333-017-0603-1>

Yelmen, B. (2025). Modeling of energy use and greenhouse gas emissions in orange production with artificial neural networks: Case study of Turkey. *International Agrophysics*, 39(2), 165–173. <https://doi.org/10.31545/intagr/200128>