

Estimasi Energi Tenaga Kerja Manusia dalam Budidaya Tomat Servow dengan Sistem Irigasi Tetes di Nusa Tenggara Timur

Osias Fatin¹, Jonathan Ebet Koehuan², Jemmy J.S.Dethan³, Arlindo U. S. Kette⁴

¹²³⁴ Program Studi Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Kristen Artha Wacana Kupang. Jl. Adi Sucipto no. 147 Oesapa, Kecamatan Kelapa LTK-1, Nusa Tenggara Timur 85228 Indonesia

¹Email: osiasfatin1110@gmail.com

²Email: jekoehuan@gmail.com

³Email: jemmydethan19@gmail.com

⁴Email: arlindo020304kette@gmail.com

Submit : 17-05-2025

Revisi : 17-06-2025

Diterima : 21-06-2025

ABSTRACT

*Tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation is a high-value agricultural activity that requires efficient resource management, particularly in areas with limited access to water and labor such as East Nusa Tenggara. This study aims to estimate the human energy expenditure at each stage of cultivating Servow tomato plants up to the vegetative phase using a drip irrigation system. The methods employed include surveys, interviews, field observations, and pulse rate measurements before and after each activity. Energy expenditure was estimated using physiological formulas based on changes in pulse rate, duration of activity, body weight, and age of the laborers. The results indicate that the plant maintenance stage required the highest energy expenditure at 360.49 kcal, followed by land preparation (229.35 kcal), irrigation system installation (148.52 kcal), watering (147.00 kcal), and planting (46.04 kcal). High-intensity tasks such as stake installation and weed removal led to pulse rate increases of up to 40 beats per minute. These findings underscore the importance of ergonomic principles and workload management in sustainable agricultural systems and reveal a significant correlation between physical work intensity and energy expenditure.*

Keywords: Drip irrigation, Ergonomics, Labor, Physiological energy, Pulse rate, Tomato cultivation

ABSTRAK

Budidaya tomat (*Solanum lycopersicum*) merupakan salah satu kegiatan pertanian yang bernilai ekonomi tinggi dan membutuhkan efisiensi sumber daya, khususnya di daerah dengan keterbatasan air dan tenaga kerja seperti Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi energi atau tenaga kerja manusia yang dikeluarkan pada setiap tahapan budidaya tomat Servow hingga fase vegetatif dengan menggunakan sistem irigasi tetes. Metode yang digunakan meliputi survei, wawancara, observasi lapangan, serta pengukuran denyut nadi sebelum dan sesudah aktivitas. Estimasi energi dihitung menggunakan rumus fisiologis berdasarkan perbedaan denyut nadi, durasi kerja, berat badan, dan umur tenaga kerja. Hasil menunjukkan bahwa tahap perawatan tanaman memerlukan energi tertinggi sebesar 360,49 kkal, diikuti oleh tahap persiapan lahan (229,35 kkal), pemasangan irigasi (148,52 kkal), pengairan (147,00 kkal), dan penanaman (46,04 kkal). Aktivitas berintensitas tinggi seperti pemasangan ajir dan pembersihan gulma menyebabkan peningkatan denyut nadi hingga 40 denyut/menit. Temuan ini menekankan pentingnya penerapan prinsip ergonomi dan manajemen beban kerja dalam sistem pertanian berkelanjutan, serta menunjukkan hubungan signifikan antara intensitas kerja fisik dan pengeluaran energi.

Kata kunci: Budidaya tomat, Denyut nadi, Energi fisiologis, Ergonomi, Irigasi tetes, Tenaga kerja.

1 Pendahuluan

Tomat (*Solanum lycopersicum*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi dan gizi yang tinggi. Permintaan terhadap tomat terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan kebutuhan industri pengolahan pangan. Oleh karena itu, upaya peningkatan produktivitas tomat perlu dilakukan secara berkelanjutan, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya seperti air dan tenaga kerja.

Irigasi tetes mampu mengurangi konsumsi air hingga 22,6% dan meningkatkan hasil buah sebesar 28% dibandingkan metode konvensional (Mukherjee et al., 2023). Dalam kondisi terkontrol seperti rumah kaca, kuota irigasi sebesar 120% terbukti mengoptimalkan efisiensi penggunaan air, hasil dan kualitas buah (Hong et al., 2022).

Selain itu, irigasi tetes meningkatkan respons fisiologis tanaman, mempercepat fase pembungaan, dan berkontribusi terhadap hasil panen yang lebih tinggi (Mukherjee et al., 2023). Penggabungan irigasi aerasi juga terbukti memperbaiki aerasi tanah, yang berdampak positif pada produktivitas dan kualitas nutrisi buah (Zhu et al., 2022). Penggunaan air daur ulang dalam sistem ini mempertahankan atau bahkan meningkatkan kualitas buah, termasuk kandungan vitamin C dan gula terlarut, serta menghemat air bersih (Hashem et al., 2022). Penggunaan model pengambilan keputusan irigasi yang berbasis parameter fisiologis tanaman dan kondisi lingkungan memungkinkan irigasi diterapkan secara presisi dan efisien, khususnya di rumah kaca (An et al., 2022).

Irigasi tetes telah banyak diteliti dari segi manfaat agronomisnya, namun aspek pengeluaran energi fisiologis tenaga kerja dalam konteks pertanian di Indonesia, khususnya pada skala kecil dan menengah, masih kurang mendapat perhatian. Kesenjangan ini menjadi signifikan karena kontribusi fisik tenaga kerja merupakan komponen utama dalam produktivitas sektor pertanian dan akuakultur. Pemahaman yang lebih dalam mengenai dinamika ini berpotensi meningkatkan efisiensi kerja dan hasil produksi secara keseluruhan.

Dalam budidaya tomat, irigasi tetes terbukti mampu mengurangi input air sekaligus meningkatkan hasil panen hingga 22% dengan pengaturan kelembapan optimal (Mukherjee et al., 2023). Selain itu, sistem ini juga memengaruhi sifat fisiologis tanaman, seperti peningkatan kedalaman dan ketebalan akar, yang dapat berdampak pada intensitas tenaga kerja selama proses penanaman dan pemeliharaan (Bian et al., 2023). Meskipun demikian, pengelolaan sistem irigasi tetes sering kali memerlukan tenaga kerja yang lebih intensif, terutama di daerah yang belum mengalami mekanisasi pertanian secara optimal. Kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan beban fisiologis pada pekerja, sehingga menurunkan produktivitas (Tuong & Bhuiyan, 1999).

Integrasi teknologi hemat tenaga kerja, seperti sistem irigasi otomatis, dapat mengurangi tekanan tersebut, tetapi biaya awal investasi seringkali menjadi kendala bagi

petani skala kecil (Tuong & Bhuiyan, 1999). Oleh karena itu, meskipun irigasi tetes menawarkan berbagai keuntungan agronomis, implikasi terhadap tenaga kerja perlu diperhitungkan secara menyeluruh. Pendekatan yang seimbang, yang mempertimbangkan efisiensi teknologi sekaligus dinamika tenaga kerja, menjadi kunci dalam mendorong adopsi berkelanjutan di kalangan petani kecil.

Memahami beban kerja fisik petani akuakultur penting untuk menilai energi yang dikeluarkan dalam aktivitas padat karya. Pengukuran denyut jantung sebelum dan sesudah tugas memberi gambaran intensitas kerja dan potensi kelelahan. Studi menunjukkan bahwa aktivitas seperti mengangkat beban dapat meningkatkan denyut jantung rata-rata 9,10 bpm (Korshøj et al., 2022), sementara fluktuasi denyut pada pekerja kehutanan bervariasi tergantung jenis aktivitas (Sláma et al., 2023)).

Indeks denyut jantung juga berkorelasi dengan ekuivalen metabolik (MET), memungkinkan estimasi pengeluaran energi secara akurat (Okuda et al., 2023). Pendekatan ini berguna dalam merancang intervensi untuk meringankan beban kerja berlebih di peternakan keluarga (Umstätter et al., 2022). Penerapan teknologi efisien, seperti di peternakan sapi perah, terbukti menurunkan tuntutan fisik (Hogan et al., 2023). Meski demikian, pemantauan denyut jantung belum mencakup beban psikologis dan faktor lingkungan, yang juga berdampak pada kesejahteraan petani.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan estimasi energi tenaga kerja manusia pada setiap tahapan budidaya tomat varietas Servow menggunakan sistem irigasi tetes, mulai dari tahap persiapan lahan hingga perawatan tanaman pada fase vegetatif. Lokasi penelitian berada di Kecamatan Amarasi, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur, yang mewakili kondisi agroklimat kering dan keterbatasan sumber daya yang nyata.

Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem kerja pertanian berbasis ergonomi dan fisiologi kerja, serta menjadi acuan dalam merancang strategi efisiensi tenaga kerja yang lebih aman, sehat, dan produktif dalam budidaya hortikultura berkelanjutan.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan budidaya tomat dengan sistem irigasi tetes yang berlokasi di Kotabes, Kecamatan Amarasi, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. Kegiatan penelitian berlangsung selama dua bulan, mencakup seluruh tahapan budidaya tomat hingga fase vegetatif.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif kuantitatif, dengan fokus pada estimasi energi atau tenaga kerja manusia yang dikeluarkan dalam setiap tahapan budidaya. Data dikumpulkan melalui beberapa teknik berikut:

Survei dan Wawancara

Kuesioner disusun untuk menggali informasi mengenai jenis aktivitas budidaya, durasi waktu kerja, serta penggunaan alat atau mesin. Selain itu, dilakukan wawancara langsung dengan petani untuk mendapatkan data primer yang lebih rinci.

Observasi Lapangan

Pengamatan langsung dilakukan untuk memverifikasi keakuratan data dari survei dan wawancara, sekaligus mencatat aspek teknis dan fisik dari tiap aktivitas pertanian yang dilakukan oleh tenaga kerja.

Pengukuran Denyut Nadi

Denyut nadi diukur secara manual melalui arteri radialis, baik sebelum maupun sesudah setiap aktivitas. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui peningkatan detak jantung sebagai indikator intensitas fisik yang digunakan dalam perhitungan energi.

Estimasi Energi Tenaga Kerja

Estimasi kebutuhan energi dilakukan dengan menggunakan rumus fisiologis sebagai berikut (persamaan 1) :

$$E = (0,014 \times (DN_k - DN_i) \times \text{Lama Kerja}) + 0,006 \times \text{Berat Badan} \times \text{Umur} + 0,089 \quad (1)$$

Keterangan : DN_k = denyut nadi setelah aktivitas (denyut/menit)

DN_i = denyut nadi sebelum aktivitas (denyut/menit)

3 Hasil dan Pembahasan

Energi Tenaga Kerja pada Tahap Persiapan Lahan

Tahap awal budidaya tomat Servow melibatkan pengolahan lahan yang cukup intensif, mencakup pencangkulan, perataan tanah, serta penyiapan bedengan. Kegiatan ini dilakukan oleh dua orang tenaga kerja laki-laki berusia 23 tahun, dengan berat badan masing-masing 53 kg (TK-1) dan 58 kg (TK-2).

Tabel 1. Data Pengukuran Tahap Persiapan Lahan

Tanggal	Tenaga Kerja	Umur (th)	Berat Badan (kg)	Lama Kerja (mnt)	DN _i	DN _k	Energi (kkal)
4/11/2024	TK-1	23	53	45	89	102	22,59
4/11/2024	TK-2	23	58	45	91	113	29,61
5/11/2024	TK-1	23	53	54	86	117	40,70
5/11/2024	TK-2	23	58	54	94	123	40,81
7/11/2024	TK-1	23	53	58	75	106	43,71
7/11/2024	TK-2	23	58	58	82	121	51,94
Total Energi							229,35

Hasil pengukuran denyut nadi dan perhitungan energi menunjukkan bahwa total energi yang dikeluarkan oleh kedua tenaga kerja pada tahap ini mencapai 229,35 kilokalori (kkal). Rata-rata energi yang dikeluarkan per orang per hari adalah sekitar 38,22 kkal, dengan rentang energi per aktivitas berkisar antara 22,59 hingga 51,94 kkal. Variasi ini dipengaruhi oleh durasi kerja yang berbeda (antara 45–58 menit), serta perbedaan berat

badan dan intensitas fisik masing-masing tenaga kerja. Peningkatan denyut nadi antara sebelum dan sesudah aktivitas tercatat antara 13 hingga 39 denyut per menit, yang mengindikasikan bahwa aktivitas berada pada tingkat intensitas sedang hingga berat.

Secara ergonomis, aktivitas pada tahap persiapan lahan berpotensi menimbulkan kelelahan fisik akibat posisi membungkuk yang berkepanjangan dan gerakan berulang seperti mencangkul atau mengait. Beban otot yang tinggi pada punggung, bahu, dan tangan meningkatkan risiko gangguan muskuloskeletal, terutama jika dilakukan tanpa istirahat yang memadai dan tanpa variasi tugas (J. W. Park et al., 2022; Skovlund et al., 2022). Tahap ini memiliki durasi cukup singkat, tetapi kontribusi energi yang dikeluarkan cukup besar terhadap keseluruhan proses budidaya. Pengaturan beban kerja, rotasi aktivitas, dan penerapan prinsip ergonomi menjadi penting untuk mencegah kelelahan dan cedera. Penggunaan alat bantu yang ergonomis terbukti efektif menurunkan ketegangan fisik (Fan et al., 2022).

Energi Tenaga Kerja pada Tahap Pemasangan Irigasi Tetes

Setelah tahap persiapan lahan, kegiatan budidaya tomat Servow dilanjutkan dengan pemasangan sistem irigasi tetes. Tahap ini penting untuk memastikan distribusi air yang efisien langsung ke akar tanaman, terutama di wilayah dengan curah hujan terbatas seperti Amarasi, Nusa Tenggara Timur. Data pengukuran denyut nadi, lama kerja, serta berat badan digunakan untuk menghitung estimasi energi yang dikeluarkan.

Tabel 2. Data Pengukuran Tahap Pemasangan Irigasi

Tanggal	Nama	Umur	Berat Badan (kg)	Lama Kerja (menit)	DNi	DNk	Energi (kkal)
9/11/2024	TK-1	23	53	46	75	105	34,04
9/11/2024	TK-2	23	58	46	82	114	36,71
11/11/2024	TK-1	23	53	58	76	101	38,83
11/11/2024	TK-2	23	58	58	52	105	38,95
Total Energi							148.52

Pengukuran denyut nadi menunjukkan peningkatan antara 23 hingga 32 denyut per menit, yang mengindikasikan bahwa aktivitas ini termasuk dalam kategori aktivitas fisik sedang. Beban kerja tahap pemasangan irigasi tetes tidak seberat tahap sebelumnya, namun posisi kerja yang membungkuk berulang kali dan pekerjaan dengan jari dan pergelangan tangan tetap memberikan beban fisik tertentu, khususnya pada otot-otot kecil yang kurang terlatih untuk aktivitas statis yang berlangsung lama. TK-2 secara konsisten mencatat pengeluaran energi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan TK-1, dengan selisih sekitar 3 kkal. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh berat badan TK-2 yang lebih besar (58 kg dibandingkan TK-1 yang 53 kg), mengingat pengeluaran energi fisik sangat dipengaruhi oleh massa tubuh dan intensitas denyut nadi.

Tahap pemasangan sistem irigasi tetes memerlukan keseimbangan antara ketelitian teknis dan ketahanan fisik. Kesalahan dalam penyambungan pipa atau penempatan emitor dapat menyebabkan distribusi air yang tidak merata dan kebocoran, sehingga mengurangi efisiensi sistem dan mengganggu pertumbuhan tanaman. Kompleksitas teknis ini menuntut perencanaan yang matang serta fokus mental yang tinggi, menjadikan beban kerja tidak hanya fisik tetapi juga kognitif. Desain emitor, seperti model shunt-hedging, terbukti meningkatkan performa anti-penyumbatan hingga 60% melalui optimalisasi saluran aliran (Qin et al., 2022). Pemodelan hidraulik dapat memandu penempatan emitor yang tepat untuk distribusi air yang seragam (Zamani et al., 2022). Namun, pemahaman terhadap aspek teknis dan sifat hidraulik sistem dapat menimbulkan kelelahan mental (Shi et al., 2023), sementara posisi kerja statis selama pemasangan berisiko menimbulkan ketidaknyamanan fisik (Cristóbal-Muñoz et al., 2022).

Energi Tenaga Kerja pada Tahap Penanaman

Jumlah energi yang dibutuhkan oleh ke dua tenaga kerja pada tahap penanaman tomat disajikan pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Energi yang diperlukan pada tahap penanaman

Tanggal	Tenaga Kerja	Umur (th)	Berat Badan (kg)	Lama Kerja (mnt)	DNi	DNk	Energi (kkal)
15/11/2024	TK-1	23	53	58	74	105	19,27
15/11/2024	TK-2	23	58	58	81	115	26,77
Total Energi							46.04

Pengukuran denyut nadi menunjukkan adanya peningkatan antara 30 hingga 37 denyut per menit, yang mengindikasikan bahwa aktivitas ini masuk dalam kategori aktivitas ringan hingga sedang. Gerakan yang dilakukan bersifat berulang dan statis, seperti membungkuk atau jongkok secara kontinyu di titik tanam. Posisi kerja statis dapat menyebabkan ketegangan otot dan ketidaknyamanan, terutama di lutut, punggung bawah, dan pergelangan kaki. Kegiatan ini memiliki risiko gangguan muskuloskeletal (MSD) dan akan meningkat secara signifikan ketika posisi ditahan untuk waktu yang lama tanpa istirahat yang memadai atau intervensi ergonomis.

Tingkat MSD yang tinggi dialami oleh fisioterapis dan pekerja dapur karena postur canggung yang berkelanjutan, dengan hampir 50% kasus fisioterapi diklasifikasikan sebagai risiko tinggi (Fan et al., 2022; J. W. Park et al., 2022). Dalam lingkungan bertekanan tinggi, seperti industri kembang api, posisi statis yang berkepanjangan memperburuk risiko timbulnya masalah muskuloskeletal (Indumathi & Ramalakshmi, 2021). Kurangnya waktu istirahat dapat meningkatkan risiko MSD dan ketidaknyamanan (S. Park et al., 2021). Penerapan istirahat yang teratur dan alat bantu ergonomis dapat mengurangi nyeri otot dan meningkatkan kesehatan pekerja secara signifikan (Fan et al., 2022).

Energi Tenaga Kerja pada Tahap Pengairan

Tenaga atau energi yang dibutuhkan pada ke dua tenaga kerja pada saat pengairan menggunakan irigasi tetes pada budidaya tanaman tomat sebagai berikut!

Tabel 4. energi yang dibutuhkan pada saat pengairan

Tanggal	Nama	Umur	Berat Badan (kg)	Lama Kerja (mnt)	DNi	DNk	Energi (kkal)
16/11/2024	TK-1	23	53	24	71	83	11,75
16/11/2024	TK-2	23	58	24	75	89	13,15
19/11/2024	TK-1	23	53	25	69	80	11,89
19/11/2024	TK-2	23	58	25	74	86	12,99
24/11/2024	TK-1	23	53	24	72	82	11,08
24/11/2024	TK-2	23	58	24	77	89	12,47
29/11/2024	TK-1	23	53	25	69	80	11,89
29/11/2024	TK-2	23	58	25	74	86	12,99
4/12/2024	TK-1	23	53	24	71	83	11,75
4/12/2024	TK-2	23	58	24	76	89	12,81
7/12/2024	TK-1	23	53	24	71	83	11,75
7/12/2024	TK-2	23	58	24	74	86	12,47
Total Energi							147.00

Total energi yang dikeluarkan oleh tenaga kerja selama periode pengairan ini adalah 147,00 kilokalori (kkal). Jika dirata-ratakan per sesi pengairan, nilai energi yang dihasilkan hanya sekitar 12,25 kkal dengan durasi rata-rata kerja sekitar 24–25 menit. Nilai ini sangat rendah dibandingkan tahapan lain dalam proses budidaya, dan dikategorikan sebagai aktivitas sangat ringan. Peningkatan denyut nadi yang tercatat pada setiap sesi hanya berkisar 10 hingga 16 denyut per menit, menunjukkan bahwa kegiatan hampir tidak memberikan tekanan fisik pada tubuh pekerja.

Sistem irigasi tetes secara signifikan mengurangi penggunaan air hingga 26,18% dengan menyalurkan air langsung ke akar tanaman, sekaligus mengurangi tenaga kerja manual sehingga produktivitas meningkat (Bai et al., 2022; Yang et al., 2023). Di Pakistan, irigasi tetes berbiaya rendah meningkatkan pendapatan bersih 27–54% dan menghemat biaya irigasi hingga 50% (Aziz et al., 2021). Hasil panen juga meningkat hingga 28,92% dibanding metode tradisional, dengan efisiensi penggunaan air lebih tinggi (Moursy et al., 2023; Yang et al., 2023).

Energi Tenaga Kerja pada Tahap Perawatan Tanaman Tomat

Pada tahap perawatan tanaman tomat energi yang dibutuhkan terhadap ke dua tenaga kerja pada tahap perawatan seperti; pemupukan, semprot perangsang, pasang kayu, pengikatan batang tomat dan pembersihan gulma tenaga yang dikeluarkan sebagai berikut:

Tabel 5. energi yang diperlukan saat perawatan tanaman tomat

Tanggal	Tenaga Kerja	Umur	Berat Badan (kg)	Lama Kerja (mnt)	DNi	DNk	Energi (kkal)
10/12/2024	TK-1	23	53	47	71	83	22,93
10/12/2024	TK-2	23	58	47	77	89	24,34
18/12/2024	TK-1	23	53	31	79	111	23,84
18/12/2024	TK-2	23	58	31	84	118	25,63
19/12/2024	TK-1	23	53	43	81	118	36,04
19/12/2024	TK-2	23	58	43	86	128	40,34
20/12/2024	TK-1	23	53	56	82	115	43,77
20/12/2024	TK-2	23	58	56	87	119	44,67
27/12/2024	TK-1	23	53	60	83	117	47,73
27/12/2024	TK-2	23	58	60	87	123	51,21
Total Energi							360.49

Tahap perawatan tanaman merupakan fase yang paling kompleks dan menyita energi dalam keseluruhan proses budidaya tomat Servow dengan sistem irigasi tetes. Berbagai aktivitas tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama, kekuatan fisik dan ketahanan tubuh yang tinggi. Berdasarkan hasil pengukuran denyut nadi dan estimasi fisiologis, total energi yang dikeluarkan oleh dua tenaga kerja pada tahap ini mencapai 360,49 kilokalori. Jumlah ini merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan seluruh tahapan lain dalam proses budidaya. Rata-rata energi yang dikeluarkan per orang dalam satu aktivitas berkisar antara 36 hingga 51 kkal, dengan durasi kerja antara 31 hingga 60 menit. Pekerjaan seperti pemasangan ajir dan pembersihan gulma tergolong sebagai aktivitas dengan intensitas tinggi (40 denyut per menit). Lavallée-Bourget et al., (2022), menyatakan bahwa penjadwalan kerja yang terstruktur rotasi tugas, dan istirahat teratur dapat mengurangi kelelahan dan meningkatkan efisiensi tenaga kerja.

4 Kesimpulan

Estimasi energi fisiologis tenaga kerja pada budidaya tomat Servow dengan sistem irigasi tetes menunjukkan variasi signifikan antar tahap budidaya. Tahap perawatan tanaman menjadi tahap paling intensif dengan pengeluaran energi tertinggi (360,49 kkal), diikuti oleh persiapan lahan (229,35 kkal), pemasangan irigasi (148,52 kkal), pengairan (147,00 kkal), dan penanaman (46,04 kkal). Pengelolaan kerja berbasis fisiologi dan ergonomi untuk menjaga efisiensi dan kesehatan pekerja. Terdapat hubungan antara durasi aktivitas, intensitas denyut nadi, dan total energi, serta potensi risiko muskuloskeletal pada posisi kerja statis. Penelitian ini menegaskan pentingnya manajemen tenaga kerja berbasis ergonomi dan fisiologi kerja dalam kegiatan budidaya tanaman, khususnya pada sistem irigasi tetes.

Daftar Pustaka

- Aziz, M., Rizvi, S. A., Iqbal, M. A., Syed, S., Ashraf, M., Anwer, S., Usman, M., Tahir, N., Khan, A., Asghar, S., & Akhtar, J. (2021). A Sustainable Irrigation System for Small Landholdings of Rainfed Punjab, Pakistan. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 11178, 13(20), 11178. <https://doi.org/10.3390/SU132011178>
- Bai, C., Yao, L., Wang, C., Zhao, Y., & Peng, W. (2022). Optimization of Water and Energy Spatial Patterns in the Cascade Pump Station Irrigation District. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4943, 14(9), 4943. <https://doi.org/10.3390/SU14094943>
- Bian, J., Toyota, M., & Morokuma, M. (2023). Effect of flood and drip irrigation and difference of previous crop residue input on morphological and physiological traits in rice root. *Plant Production Science*, 26(3), 249–258. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2023.2231502>
- Cristóbal-Muñoz, I., Prado-Hernández, J. V., Martínez-Ruiz, A., Pascual-Ramírez, F., Cristóbal-Acevedo, D., & Cristóbal-Muñoz, D. (2022). An Improved Empirical Model for Estimating the Geometry of the Soil Wetting Front with Surface Drip Irrigation. *Water* 2022, Vol. 14, Page 1827, 14(11), 1827. <https://doi.org/10.3390/W14111827>
- Fan, L. J., Liu, S., Jin, T., Gan, J. G., Wang, F. Y., Wang, H. T., & Lin, T. (2022). Ergonomic risk factors and work-related musculoskeletal disorders in clinical physiotherapy. *Frontiers in Public Health*, 10, 1083609. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.1083609>
- Hashem, M. S., Guo, W., Qi, X., & Li, P. (2022). Assessing the Effect of Irrigation with Reclaimed Water Using Different Irrigation Techniques on Tomatoes Quality Parameters. *Sustainability*, 14(5), 1–19. <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v14y2022i5p2856-d761692.html>
- Hogan, C., O'Brien, B., Kinsella, J., & Beecher, M. (2023). Longitudinal measures of labour time-use on pasture-based dairy farms, incorporating the impact of specific facilities and technologies. *Animal*, 17(4), 100747. <https://doi.org/10.1016/J.ANIMAL.2023.100747>
- Hong, M., Zhang, Z., Fu, Q., & Liu, Y. (2022). Water Requirement of Solar Greenhouse Tomatoes with Drip Irrigation under Mulch in the Southwest of the Taklimakan Desert. *Water* 2022, Vol. 14, Page 3050, 14(19), 3050. <https://doi.org/10.3390/W14193050>
- Indumathi, N., & Ramalakshmi, R. (2021). An Evaluation of Work Posture and Musculoskeletal Disorder Risk Level Identification for the Fireworks Industry Worker's. 2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), ICRITO 2021. <https://doi.org/10.1109/ICRITO51393.2021.9596532>
- Korshøj, M., Baumann, M., Olsen, M. H., & Mortensen, O. S. (2022). P05-15 Effects on heart rate, physical activity and ambulatory blood pressure from occupational physical activity with and without lifting among farmers in Denmark. *The European Journal of Public Health*, 32(Suppl 2), ckac095.082. <https://doi.org/10.1093/EURPUB/CKAC095.082>
- Lavallée-Bourget, M. H., Campeau-Lecours, A., Tittley, J., Biemann, M., Bouyer, L. J., & Roy, J. S. (2022). The use of a three-dimensional dynamic arm support prevents the development of muscle fatigue during repetitive manual tasks in healthy individuals. *PLoS ONE*, 17(4 April). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0266390>
- Moursy, M. A. M., ElFetyany, M., Meleha, A. M. I., & El-Bialy, M. A. (2023). Productivity and profitability of modern irrigation methods through the application of on-farm drip

- irrigation on some crops in the Northern Nile Delta of Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 62, 349–356. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2022.06.063>
- Mukherjee, S., Dash, P. K., Das, D., & Das, S. (2023). Growth, Yield and Water Productivity of Tomato as Influenced by Deficit Irrigation Water Management. *Environmental Processes*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/S40710-023-00624-Z/METRICS>
- Okuda, M., Kawamoto, Y., Tado, H., Fujita, Y., & Inomata, Y. (2023). Energy Expenditure Estimation for Forestry Workers Moving on Flat and Inclined Ground. *Forests*, 14(5), 1038. <https://doi.org/10.3390/F14051038/S1>
- Park, J. W., Kang, M. Y., Kim, J. Il, Hwang, J. H., Choi, S. S., & Cho, S. S. (2022). Influence of coexposure to long working hours and ergonomic risk factors on musculoskeletal symptoms: an interaction analysis. *BMJ Open*, 12(5), e055186. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2021-055186>,
- Park, S., Lee, J., & Lee, J. H. (2021). Insufficient Rest Breaks at Workplace and Musculoskeletal Disorders Among Korean Kitchen Workers. *Safety and Health at Work*, 12(2), 225–229. <https://doi.org/10.1016/J.SHAW.2021.01.012>
- Qin, C., Zhang, J., Wang, Z., Lyu, D., Liu, N., Xing, S., & Wang, F. (2022). Anti-Clogging Performance Optimization for Shunt-Hedging Drip Irrigation Emitters Based on Water–Sand Motion Characteristics. *Water* 2022, Vol. 14, Page 3901, 14(23), 3901. <https://doi.org/10.3390/W14233901>
- Shi, K., Zhangzhong, L., Han, F., Zhang, S., Guo, R., & Yao, X. (2023). Reducing Emitter Clogging in Drip Fertigation Systems by Magnetization Technology. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 3712, 15(4), 3712. <https://doi.org/10.3390/SU15043712>
- Skovlund, S. V., Bláfoss, R., Skals, S., Jakobsen, M. D., & Andersen, L. L. (2022). Technical field measurements of muscular workload during stocking activities in supermarkets: cross-sectional study. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-022-04879-8>,
- Sláma, D., Mergl, V., & Pavlíková, E. A. (2023). Analysis of the Heart Rate of Operators of Forwarding Machines during Work Activities. *Forests* 2023, Vol. 14, Page 1348, 14(7), 1348. <https://doi.org/10.3390/F14071348>
- Tuong, T. P., & Bhuiyan, S. I. (1999). Increasing water-use efficiency in rice production: Farm-level perspectives. *Agricultural Water Management*, 40(1), 117–122. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00091-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00091-2)
- Umstätter, C., Mann, S., & Werner, J. (2022). A simple measure for workload as a social sustainability indicator for family farms. *Environmental and Sustainability Indicators*, 14, 100180. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2022.100180>
- Zamani, S., Fatahi, R., & Provenzano, G. (2022). A Comprehensive Model for Hydraulic Analysis and Wetting Patterns Simulation under Subsurface Drip Laterals. *Water* 2022, Vol. 14, Page 1965, 14(12), 1965. <https://doi.org/10.3390/W14121965>
- Zhu, J., Xu, N., Siddique, K. H. M., Zhang, Z., & Niu, W. (2022). Aerated drip irrigation improves water and nitrogen uptake efficiencies of tomato roots with associated changes in the antioxidant system. *Scientia Horticulturae*, 306, 111471. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111471>