Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)
Vol. 20, No. 2, Agustus 2026, 254-266
p-ISSN 2085-5869/ e-ISSN 2598-4853

Evaluasi Beban Kerja melalui Pengukuran Konsumsi Oksigen dan Detak Jantung Petani di Salah Satu Area Pertanian Hortikultura Indonesia

Muhammad Fahmy Fakhrija[1*], Hardianto Iridiastadi[2]
[1,2)] Program Studi Teknik dan Manajemen Pendidikan Industri, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132, Indonesia
Email: fahmyfakhrija08@gmail.com*, hiridias@itb.ac.id

(Diterima: 05-10-2023; Direvisi: 14-08-2026; Disetujui: 31-08-2026)

Abstrak

Pekerjaan di sektor pertanian merupakan pekerjaan yang cenderung berat dan berisiko tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi beban kerja petani dengan mengukur kapasitas oksigen maksimum dan detak jantung petani. Penelitian ini terdiri dari dua tahap pengukuran, yaitu pengukuran di laboratorium dan pengukuran di lapangan. Sebanyak 20 data responden petani berhasil dikumpulkan dari tahap pertama. Tahap pertama menunjukkan nilai dari kapasitas aerobik adalah 26,91 mL/kg/min atau 1883,3 mL/min. Tahap kedua yaitu pengukuran di lapangan, tahap ini menghasilkan nilai estimasi konsumsi oksigen sebesar 1390 mL/min dari hasil substitusi ke model estimasi, yang mana perolehan *energy expenditure* dari petani selama satu siklus pekerjaan berada di nilai 6,95 kcal/min. Hasilnya menunjukkan beban para petani berada di tingkat *heavy work*. Saran dari penelitian ini yaitu melakukan perbaikan sistem kerja dan penggunaan alat bantu. Selain itu, alat-alat bantu yang bersifat otomatis dan harga terjangkau diperlukan untuk membantu menyelesaikan pekerjaan para petani.

Kata kunci: Beban Kerja Fisik; Volume Oksigen Maksimum; Konsumsi Oksigen; *Heavy Work*

Abstract

Work in the agricultural sector tends to be strenuous and high-risk. This study aims to evaluate farmers' workload by measuring their maximum oxygen capacity and heart rate. This study consisted of two measurement stages, the steps are laboratory measurements and field measurements. A total of 20 farmer respondents' data was collected from the first stage. The first stage showed the value of aerobic capacity was 26.91 mL/kg/min or 1883.3 mL/min. The second stage is field measurement, this stage produces an estimated value of oxygen consumption of 1390 mL/min from the substitution results to the estimation model, where the energy expenditure of farmers during one work cycle is 6.95 kcal/min. The results show that the burden of the farmers is at the heavy work level. Suggestions from this study are to improve the work system and the use of tools. In addition, tools that are automatic and affordable are needed to help complete the work of farmers.

Keywords: *Physical Workload; Maximum Oxygen Volume; Oxygen Consumption; Heavy Work*

PENDAHULUAN

Pekerjaan di sektor pertanian menjadi salah satu pekerjaan yang cenderung berat dan berisiko tinggi. Pekerjaan di sektor pertanian menyebabkan lebih dari 60% pekerja bermasalah pada kesehatan. Masalah serupa diikuti oleh 40% pekerja sektor konstruksi, manufaktur, dan layanan kesehatan. Pekerjaan yang paling sedikit terpengaruh adalah

pekerjaan di sektor keuangan, dengan sekitar 20% melaporkan masalah kesehatan fisik, sementara pekerja di sektor pendidikan melaporkan lebih banyak masalah kesehatan mental. Faktor risiko yang paling sering dilaporkan oleh 60% pekerja adalah gerakan tangan dan lengan yang repetitif, sedangkan 40% sisanya melaporkan posisi yang menyakitkan dan melelahkan ketika bekerja (Toomingas dkk., 2012).

Untuk mengevaluasi berat atau ringannya suatu pekerjaan dapat dilakukan evaluasi dengan menggunakan metode pengukuran volume oksigen, *heart rate*, dan pengukuran subjektif (Toomingas dkk., 2012). Mengukur konsumsi oksigen yang telah terbukti sebagai metode yang bisa digunakan untuk menilai metabolisme energi. Cara tersebut digunakan sebagai salah satu cara untuk menilai tuntutan pekerjaan dari sudut pandang energi. Konsumsi oksigen ditentukan dengan menghitung selisih antara pengukuran oksigen ketika terhirup dan udara yang terhembus saat bernapas. Selain konsumsi oksigen, detak jantung bisa digunakan dalam menilai permintaan energi. Hal tersebut bisa dilakukan karena adanya korelasi linear antara beban kerja, konsumsi oksigen, dan detak jantung. Pengukuran teknis juga bisa dilakukan dengan observasi atau pelaporan diri secara subjektif terhadap aktivitas yang dikerjakan (Astrand dkk., 2003).

Pengukuran serta evaluasi bermanfaat terutama dalam konteks kesehatan, keselamatan kerja, serta efisiensi dan efektifitas dalam bekerja. Beban kerja yang berat dan dinamis sampai saat ini tetap menjadi isu umum di dunia industri seperti manufaktur, pertambangan, konstruksi, agrikultur, dll. Di negara berkembang, 10-20% dari pekerja diikutsertakan dalam permintaan pekerjaan yang menggunakan otot (Daneshmandi dkk., 2013). Teknik kerja yang baik adalah syarat penting untuk mengatasi produktivitas yang tinggi. Sementara itu pada waktu yang sama beban kerja fisik dan mental juga perlu diperhatikan agar teknik kerjanya bagus. Seseorang yang memiliki kapasitas fisik rendah sering kali lebih banyak mengeluarkan usaha saat bekerja dibanding seseorang yang memiliki kapasitas fisik yang tinggi. Semakin kecil kekuatan otot yang dikeluarkan maka semakin kecil pula panas yang dirasakan seseorang, sehingga pemicu stres lebih rendah jika dibandingkan dengan seseorang yang mengeluarkan tingkat kekuatan otot di level maksimum. Banyaknya permintaan dari sebuah pekerjaan akan mempercepat rasa lelah dan stres yang akan dialami oleh para pekerja (Kroemer dkk., 2010).

VO_{2max} secara definisi sesuai dengan volume maksimal pengambilan oksigen per satuan waktu yang dapat diukur pada individu (Astrand dkk., 2003). Kemampuan ini bervariasi secara signifikan antar individu yang berbeda, tergantung pada faktor-faktor individu seperti usia, jenis kelamin, kondisi kesehatan, dan faktor gaya hidup seperti latihan fisik. Dalam pekerjaan maksimum seperti pekerjaan di industri manufaktur dan sejenisnya, seorang pria berusia 30 tahun yang bugar dengan gen yang baik dalam hal fisik dapat meningkatkan metabolisme energinya sekitar 20 kali dibandingkan dengan laju metabolisme basal (energi yang dibutuhkan saat istirahat). Kekuatan atau fungsi fisik mengacu pada kemampuan seseorang untuk melakukan aktivitas fisik yang membutuhkan aksi atau tindakan fisik, seperti mandi atau berjalan kaki. Fungsi fisik akan menurun seiring dengan bertambahnya usia seseorang (Rundell dkk., 2022). Aktivitas fisik secara operasional didefinisikan sebagai setiap gerakan tubuh yang mengarah ke pengeluaran energi seperti berjalan, bersepeda, rekreasi aktif, dan bermain pada tingkat intensitas yang berbeda dapat meningkatkan banyak kondisi kesehatan dan telah dipromosikan oleh *World Health Organization* (WHO) (Shahar dkk., 2022).

Penelitian mengenai kapasitas aerobik khususnya di Indonesia yang mempunyai implikasi terhadap beban kerja masih sedikit dikaji. Penelitian Bugajska dkk. (2011) menjelaskan mengenai efek yang merugikan dari pekerjaan fisik yang tinggi untuk kesehatan didasarkan pada level kapasitas fisik dari pekerja. Kapasitas fisik ini didasarkan efisiensi

dari mekanisme pada distribusi oksigen yaitu level kapasitas aerobik, yang mana jumlah dari oksigen seseorang dapat dikonsumsi selama upaya maksimal yang melibatkan sebagian otot besar (pengambilan oksigen maksimal). Semakin tinggi VO_{2max} maka semakin rendah beban kerjanya, seperti hubungan antara konsumsi oksigen selama bekerja dan pengambilan oksigen maksimal dari seseorang. Beban kerja juga memiliki hubungan dengan berbagai indikator dari proses fisiologi yang berlangsung selama latihan yaitu biaya kerja fisiologis dan penilaian subjektif dari beban kerja.

Neto dan Amaral (2020) juga menjelaskan mengenai beban kerja pada perawat. Di rumah sakit terdapat kondisi yang penuh tekanan dan berat menyebabkan peningkatan tekanan beban kerja pada perawat. Pengukuran beban kerja fisiologis termasuk postur kerja, faktor-faktor fisiologis, dan konsep-konsep terkait kerja merupakan hasil yang paling signifikan yang diamati pada penelitian ini. Penelitian yang dilakukan oleh Wu dan Wang (2002) yaitu fasilitas keselamatan yang sesuai diperlukan untuk memastikan keselamatan dan kesehatan di tempat kerja. Penting dalam menentukan beban kerja maksimum selama waktu kerja yang diperoleh oleh para pekerja. Penelitian ini menyarankan bahwa 33% dari kapasitas aerobik maksimum setiap individu (VO_{2max}) harus menjadi beban kerja yang dapat diterima untuk pekerjaan fisik yang umumnya dilakukan selama 8 jam kerja.

VO_{2max} secara definisi sesuai dengan volume maksimal pengambilan oksigen per satuan waktu yang dapat diukur pada individu (Astrand dkk., 2003). Kemampuan ini bervariasi secara signifikan antar individu yang berbeda, tergantung pada faktor-faktor individu seperti usia, jenis kelamin, kondisi kesehatan, dan faktor gaya hidup seperti latihan fisik. Dalam pekerjaan maksimum seperti pekerjaan di industri manufaktur dan sejenisnya, seorang pria berusia 30 tahun yang bugar dengan gen yang baik dalam hal fisik dapat meningkatkan metabolisme energinya sekitar 20 kali dibandingkan dengan laju metabolisme basal (energi yang dibutuhkan saat istirahat). Kekuatan atau fungsi fisik mengacu pada kemampuan seseorang untuk melakukan aktivitas fisik yang membutuhkan aksi atau tindakan fisik, seperti mandi atau berjalan kaki. Fungsi fisik akan menurun seiring dengan bertambahnya usia seseorang (Rundell dkk., 2022). Aktivitas fisik secara operasional didefinisikan sebagai setiap gerakan tubuh yang mengarah ke pengeluaran energi seperti berjalan, bersepeda, rekreasi aktif, dan bermain pada tingkat intensitas yang berbeda dapat meningkatkan banyak kondisi kesehatan dna telah dipromosikan oleh *World Health Organization* (WHO) (Shahar dkk., 2022).

Di sektor pertanian, masih sedikit penelitian yang membahas mengenai beban kerja dan kapasitas fisik, penelitian di sektor pertanian banyak yang mengkaji praktik pengangkutan beban secara manual. Masyarakat yang berprofesi sebagai petani telah mengalami masalah kesehatan yang signifikan karena penanganan material secara manual dibandingkan dengan sektor industri. Penanganan material dan transportasi adalah dua kegiatan utama yang membutuhkan tenaga kerja manual. Di industri, banyak pengaturan yang menggunakan otomasi dalam banyak kegiatannya, dan sebaliknya dalam pekerjaan bertani, aspek tersebut masih terabaikan dan perlu dibenahi lagi secara ilmiah (Kumar dkk., 2021). Di Amerika Serikat, keseluruhan insiden dari bahaya kesehatan dan keselamatan kerja melebihi 60 per 1000 pekerja pertanian, menempatkan sektor pertanian berada di posisi tertinggi (Chapman dkk., 2001).

Di Indonesia, penelitian yang berfokus pada pertanian banyak membahas mengenai pengembangan pendidikan, *socioeconomic,* produktivitas, dan masih sedikit yang membahas tentang kesehatan dan keselamatan kerja khususnya yang membahas mengenai beban kerja. Seperti pada penelitian Yamamoto dkk. (2019) membahas mengenai penurunan produktivitas para petani yang disebabkan oleh hama biologis dan deforestasi, sehingga menyebabkan penurunan fungsi utama dari pertanian. Sedangkan penelitian Mulyati dkk.

(2020) yaitu bertujuan untuk menentukan beban kerja para pemanen padi dalam berbagai teknologi panen dan mencari cara untuk mengurangi beban kerja fisik. Penelitian tersebut menggunakan model regresi linear untuk mengidentifikasi variabel apa saja yang berpengaruh terhadap beban kerja. Hasilnya yaitu beban kerja petani yang melakukan panen secara manual berada di level sedang, sedangkan beban kerja petani yang menggunakan metode semi mekanis dan mekanis berada pada tingkat beban kerja yang rendah. Namun beberapa kondisi seperti lingkungan dan demografi tidak bisa diterapkan di semua populasi petani, melainkan hanya untuk petani padi.

Permasalahan yang diangkat berdasarkan fakta yang berada di lapangan, yaitu para petani sering merasa kelelahan ketika bekerja. Subjek yang dipilih adalah sektor pertanian khususnya untuk para petani hortikultura. Penelitian berfokus untuk mengukur VO_{2max} dan mengestimasi konsumsi oksigen menggunakan parameter detak jantung para petani. Hasilnya dapat digunakan untuk mengevaluasi beban kerja dari para petani. Urgensi penelitian di sektor pertanian yaitu karena masih relatif sedikit penelitian yang mengukur kapasitas oksigen maksimum dan konsumsi oksigen para petani khususnya di Indonesia, serta sebagian data antropometri dan data demografi di Indonesia tidak bisa disamakan dengan data demografi populasi di negara lain. Sedangkan untuk kapasitas oksigen para pekerja di sektor konstruksi, manufaktur, dan petugas pemadam sudah ada penelitian yang pernah mengkajinya. Pada penelitian ini akan dilakukan dua tahapan pengukuran, yaitu tahap pengukuran di laboratorium dan pengukuran di lapangan. Rencana pengukuran akan dilakukan menggunakan metode pengukuran langsung dengan alat pengukur oksigen terbaru dan *wireless*. Pengukuran data responden ini juga sebagai pembaharuan data VO_{2max} pekerja di Indonesia khususnya di sektor pertanian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kapasitas oksigen maksimum, melakukan estimasi terhadap konsumsi oksigen, dan menilai beban kerja fisik dari pekerja pertanian di salah satu daerah pertanian hortikultura di Indonesia.

Selama tahun 1980-an dan tahun seterusnya, Toomingas dkk. (2012) menjelaskan mengenai mekanisasi yang terus berlanjut dan perbaikan ergonomi yang signifikan dilakukan untuk mengurangi beban otot. Perangkat keras seperti komputer diperkenalkan dalam mesin-mesin kehutanan, bertujuan untuk lebih meningkatkan peluang kualitas dan kuantitas produksi. Mesin-mesin canggih dan tuntutan tinggi terhadap produktivitas menghasilkan persyaratan perseptual dan kognitif yang signifikan pada operator. Pekerja kehutanan dengan cara manual yang berat dan dinamis, kini telah digantikan dengan pekerjaan yang bersifat menggunakan mesin. Dengan gerakan kecil yang berulang untuk mengendalikan tuas dan tombol mesin, serta adanya paparan getaran yang besar dan tuntutan mental yang besar juga.

Pada aktivitas atau pekerjaan yang menggunakan otot, kapasitas aerobik (VO_{2max}) dari pekerja menentukan produktivitas dari para pekerja (Daneshmandi dkk., 2013). Kapasitas fisik dari masyarakat mungkin bervariasi berdasarkan faktor hereditas, nutrisi, dan aktivitasnya. *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) di USA merekomendasikan batas maksimal kapasitas fisik yang dikeluarkan adalah sebesar 5.0 kkal/min, didasarkan pada 5% pekerja yang lebih rendah kapasitas fisiknya serta untuk melindungi perempuan dan pekerja yang sudah lanjut usia (Bugajska dkk., 2011).

Kapasitas fisik seseorang pasti memiliki hubungan dengan kapasitas oksigennya. Kapasitas oksigen maksimum bisa diukur dengan metode secara langsung (*maximal*) maupun tidak langsung (*submaximal*). Metode pengukuran langsung sering dipandang sebagai metode yang paling akurat karena pengukuran secara terkontrol dan dilakukan di

laboratorium. Penelitian Aware dkk. (2018) menilai VO_{2max} dengan metode pengukuran langsung dengan memilih 10 partisipan dari para pekerja agrikultur (petani atau orang yang berkebun) dengan mempertimbangkan umur, tinggi, dan berat badan. Penelitian tersebut dilakukan di laboratorium dengan membandingkan dua *field operations* yang berbeda yaitu mengupas kelapa menggunakan mesin yang dikayuh dan bekerja menggunakan sekop, bekerja di laboratorium dan di tempat aslinya. Hasilnya nilai VO_{2max} yang didapat dari kedua operasi tersebut adalah berbeda secara signifikan antara VO_{2max} yang diukur di laboratorium dan diukur ketika bekerja langsung. Di dalamnya termasuk juga untuk pengukuran detak jantung seseorang yang memiliki keterkaitan erat dengan konsumsi oksigen.

Dalam hubungannya dengan konsumsi oksigen, detak jantung sangat memiliki hubungan yang sangat erat. Tingkat kerja juga dapat diklasifikasikan dengan variabel yang dapat berhubungan secara linier dengan detak jantung. Saat ini dibutuhkan metode pengukuran di lapangan yang praktis dan dapat digunakan untuk menilai dan mengklasifikasikan beban kerja, maka pengukuran menggunakan detak jantung cukup efisien dan efektif untuk digunakan (Kolus dkk., 2016). Ketika menggunakan detak jantung dalam menginterpretasikannya dalam pengambilan konsumsi oksigen maka metode ini memiliki beberapa manfaat seperti tujuan pendidikan, promosi kesehatan, pencegahan penyakit, serta bisa juga dilihat dari perspektif penelitian. Hal tersebut dikarenakan pemahaman kita mengenai efek aktivitas fisik terhadap morbiditas (keadaan tidak sehat), *premature mortality,* kontrol berat badan, dan performa fisik secara luas sangat berkaitan dengan *heart rate* dan konsumsi oksigen maksimal (Olsson dkk., 2022).

Banyak peneliti melaporkan adanya hubungan linier antara konsumsi oksigen dengan detak jantung untuk berbagai jenis aktivitas. Hubungan linier antara kedua variabel tersebut lalu dimodelkan menggunakan analisis grafis sumbu x dan sumbu y atau regresi linear. Tetapi sebelum itu, perlu dilakukan terlebih dahulu kalibrasi data terhadap responden yang diinput ke analisis statistik dengan menggunakan pengukuran Latihan bertingkat, *treadmill, bicycle test*, dan *step test*. Selain *heart rate* (HR) terdapat juga indikator untuk menentukan kebugaran seseorang yaitu menggunakan *Heart Rate Reserve* (HRR) (Kolus dkk., 2014).

Persen dari HRR sering digunakan sebagai indikator intensitas beban kerja yang sama dengan pengukuran kapasitas aerobik seseorang. HRR juga sering digunakan pekerjaan dinamis dimana pengukuran konsumsi oksigen kurang praktis (Dinh-Dang dkk., 2023). Untuk praktik penggunaan, beberapa studi juga merekomendasikan untuk menggunakan persentase dari *Heart Rate Reserve* (HRR) untuk mengestimasikan konsumsi oksigen dengan rumus sebagai berikut:

$$\%HRR = 100 \times (HR - HR\,rest) \div (HR\max - HR\,rest) \quad (1)$$

HRR dihitung berdasarkan estimasi dari HR *max*, HR *rest*, dan HR ketika beraktivitas (Kolus dkk., 2016). Persentase HRR merupakan metrik fisiologis yang sudah valid, yang menggambarkan keseimbangan antara *demand* pekerjaan dan kapasitas fisik seseorang yang mengerjakannya, yang memungkinkan bisa digunakan untuk melihat perbandingan kapasitas fisik para responden (Coenen dkk., 2018). Konsumsi oksigen dan HRR merupakan dua variabel penting yang perlu diukur menggunakan alat pengukuran yang semestinya digunakan baik itu di laboratorium maupun di lapangan. Pengukuran oksigen dibagi menjadi dua metode, yaitu metode pengukuran langsung dan metode pengukuran tidak langsung (Daneshmandi dkk., 2013).

Responden Penelitian

Responden merupakan pekerja aktif yang beraktifitas di area pertanian hortikultura. Para responden dipilih dari pekerja berpengalaman dan memiliki pengetahuan mengenai pertanian hortikultura serta beban kerja yang dirasakan dalam aktivitas bertani. Variasi usia dan jenis kelamin dipilih untuk menggambarkan variasi data demografi dari populasi petani hortikultura. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui secara menyeluruh untuk parameter yang diukur. Kesehatan fisik juga harus diutamakan karena pada pengukuran konsumsi oksigen dan detak jantung akan menggunakan *treadmill* sehingga kesehatan fisik responden harus dalam keadaan bugar agar bisa menyelesaikan kegiatan di atas *treadmill*. Terutama diharapkan responden tidak memiliki penyakit terkait dengan respirasi dan sirkulasi. Para petani diharapkan bersedia untuk bisa meluangkan waktu dan mengeluarkan energinya serta bisa menjawab pertanyaan yang berkaitan dengan penelitian.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian berbasis eksperimen. Desain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *between-subject design*. Dimana *between-subject design* merupakan desain eksperimen yang dilakukan terhadap beberapa responden yang berbeda untuk setiap perlakuan yang sama. Sedangkan *within-subject design* adalah eksperimen yang dilakukan kepada beberapa responden yang sama untuk perlakuan yang berbeda (Martin, 2008). Responden pada penelitian ini mendapatkan perlakuan yang sama ketika pengukuran di laboratorium.

VO_{2max} setiap responden ditentukan dengan pengukuran di laboratorium. Responden dimohon untuk datang ke laboratorium untuk melakukan tes *treadmill* dengan metode maksimal. Penelitian ini dilakukan dalam dua fase sebagai berikut:

Fase 1: pengukuran VO_{2max} pekerja pada fase pertama. Sebelum percobaan fase pertama, responden dibagikan formulir untuk dilakukan pengisian kesediaan mengikuti penelitian dan kuesioner demografi. Kuesioner tersebut berisi tentang variabel-variabel, seperti usia, massa tubuh, tinggi badan, status pernikahan, tingkat pendidikan, olahraga, kondisi tubuh, penyakit tertentu, kelelahan dalam bekerja, dan konsumsi obat-obatan (Bagherifard dkk., 2022). Pada tahap pertama, VO_{2max} pekerja diukur dengan melakukan aktivitas di *treadmill,* alat ini diproduksi oleh perusahaan Kettler (Jerman) dan VO_2 Master Pro dengan *bruce protocol* di laboratorium. VO2 Master Pro adalah alat analisis gas portabel baru, yang dibuat oleh VO_2 *Health Sensor* (Vernon, BC, Kanada) telah diproduksi untuk penggunaan pelanggan di lapangan (Toulouse dkk., 2021).

Data dari setiap peserta termasuk nama, jenis kelamin, tinggi badan, dan berat badan dimasukkan ke dalam perangkat lunak alat analisis di ponsel. Kemudian, responden dikenakan monitor detak jantung Polar. Alat ukur harus dikalibrasi sebelum semua alat ukur dikenakan oleh responden. Laju oksigen dan detak jantung dicatat saat responden melakukan latihan di *treadmill*. Responden melakukan aktivitasnya di *treadmill* hingga mencapai tingkat lelah. Kemudian dilanjut dengan pendinginan tubuh dengan berjalan di atas *treadmill* dengan kecepatan yang lebih rendah. Responden memiliki waktu 10 menit untuk memulihkan diri (Rosenberger dkk., 2011). Setelah tubuh mereka pulih, mereka diberikan pengenalan tes verifikasi, di mana responden diminta untuk berlari di *treadmill* setidaknya 2 menit pada tahap yang lebih tinggi dari tes VO_{2max} protokol *Bruce* (Hanson dkk., 2016).

Rating of Perceived Exertion (RPE) 6-20 adalah metode untuk mengukur usaha dan pengerahan tenaga partisipan selama melakukan pekerjaan fisik (Olsson dkk., 2022). RPE digunakan pada penelitian ini sebagai pedoman ukuran kenyamanan eksperimen kepada responden. Responden dihimbau untuk menyampaikan kondisinya bersamaan dengan RPE selama tiga menit pada setiap tahapan tes. Tes dinilai maksimal ketika nilai tes verifikasi

tidak lebih besar dari 50 mL/menit dan lebih tinggi dari nilai tes protokol *Bruce* (Hanson dkk., 2016).

Fase 2: pada fase kedua dari penelitian ini, beban kerja fisik para pekerja pertanian diukur saat bekerja di ladang. Fase ini akan memprediksi VO_2 para pekerja pertanian. Pengeluaran energi dan detak jantung diukur pada jam kerja dengan menggunakan monitor detak jantung. Pengukuran HR dan data lainnya akan dilakukan langsung di lapangan, monitor detak jantung akan dipasangkan pada bagian dada pekerja untuk mendeteksi HR pekerja saat beraktivitas, HR akan diukur dalam delapan jam kerja dan akhir pengukuran RPE akan digunakan untuk menilai aktivitas fisik yang dirasakan oleh para pekerja (Bagherifard dkk., 2022). Hasil dari tingkat detak jantung dapat menjadi pertimbangan untuk memprediksi VO_2 kerja dan mengevaluasi beban kerja.

Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan IBM SPSS. Variabel dependen adalah VO_2 dan variabel independen adalah %HRR serta tambahan model regresi untuk VO_{2max} dengan variabel independen adalah usia. Uji *Kolmogorov-Smirnov* dan *Shapiro Wilk* digunakan untuk mengukur normalitas data dan regresi linier digunakan untuk analisis data. $p < 0{,}05$ menunjukkan bahwa data tersebut signifikan secara statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Responden Penelitian

Penelitian ini melibatkan responden sebanyak dua puluh (20) petani yang bekerja di area pertanian hortikultura di salah satu daerah pertanian Indonesia. Dengan kriteria yaitu: 1) berusia 25-55 tahun, berat badan 75.9 ± 9.5 kg, tinggi badan 175.3 ± 7.6 cm, 2) pekerja penuh waktu di sektor pertanian, 3) tidak memiliki masalah atau kondisi medis yang dapat mempengaruhi pengujian VO_{2max}. Pemilihan responden dilakukan dengan beberapa pertimbangan yang memiliki keterkaitan dengan tujuan penelitian. Kriteria tersebut adalah keterlibatan aktif responden dalam pekerjaan keseharian petani, variasi usia dan jenis kelamin, kesehatan fisik, ketersediaan dan kesediaan para petani untuk menjadi responden penelitian. Semua responden memberikan persetujuan tertulis sebelum pengujian.

Sampel penelitian ini mencakup individu dari berbagai daerah pertanian di Bandung dan berlatar belakang dari berbagai usia, tinggi badan, berat badan, dan karakteristik fisik lainnya serta tidak memiliki penyakit tertentu yang berkaitan dengan jantung atau pernafasan. Para petani ini berfokus pada penanaman tumbuhan hortikultura seperti sayuran pakcoy, kol, sawi, timun, dll. Beberapa petani juga menambahkan tanaman palawija di lahan pertaniannya seperti ubi dan singkong sebagai tumbuhan sampingan. Berikut merupakan data dari responden secara umum yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Demografi Responden Penelitian

Variabel Kuantitatif	***Mean* ± *Std. Deviation***	**Minimum**	**Maksimum**
Usia (tahun)	34.8 ± 12.56	25	55
Berat Badan (kg)	66.3 ± 10.72	50	90
Tinggi Badan (cm)	168.2 ± 8.32	148	179
BMI	23.4 ± 2.82	17.72	28.09
Variabel Kualitatif	**n**	**Prosentase**	
Status Pernikahan			
Belum Menikah	10	50%	

Tabel 1. Data Demografi Responden Penelitian (Lanjutan)

Variabel Kualitatif	**n**	**Prosentase**
Menikah	10	50%
Merokok		
Ya	12	60%
Tidak	9	40%

Pengukuran VO_{2max}

Pengukuran volume oksigen maksimum (VO_{2max}) merupakan tahap awal penelitian yang juga menghasilkan data konsumsi oksigen (VO_2) para responden. Data volume oksigen maksimum (VO_{2max}) dari para responden diukur di laboratorium menggunakan alat ukur *oxygen analyzer.* Pendataan seperti usia, BMI, dan juga tingkat RPE dari para responden dilakukan di pengukuran tahap pertama. Hasil dari data deskriptif ditunjukkan pada Tabel 2, data deskriptif yang ditunjukkan adalah data mengenai VO_{2max}, VO_2 rata-rata, HR saat aktivitas, HR Istirahat, dan HR *Reserve*. Penelitian ini menggunakan variabel *Heart Rate Reserve* (HRR) sebagai variabel independen untuk model regresi dan fungsi dari VO_2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran di Laboratorium dan Lapangan

Variabel Laboratorium	***Mean* ± *Std. Deviation***	**Minimum**	**Maksimum**
VO_{2max} (mL/min)	1883,84 ± 547,33	815,79	2880,55
HR *max* (bpm)	172 ± 18,74	142	195
VO_2 rata-rata (mL/min)	1125,56 ± 302,61	586,41	1734
HR rata-rata (bpm)	125,81 ± 20,68	91,03	161,96
RPE	15,70 ± 1,38	14	18
Variabel Lapangan	***Mean* ± *Std. Deviation***	**Minimum**	**Maksimum**
HRR Lapangan (bpm)	56,88 ± 7,2	103	139
RPE di Lapangan	14,85 ± 1,31	13	17

Data pada Tabel 2, menghasilkan VO_{2max} dari 20 responden penelitian dengan rata-rata dan standar deviasi sebesar 1883,84 mL/min ± 547,33 atau rata-ratanya adalah 26,91 mL/kg/min. Hasilnya menunjukkan bahwa VO_{2max} dari responden pada rentang usia 24-30 tahun relatif tinggi jika dibandingkan dengan VO_{2max} responden dengan rentang usia 31-55 tahun. Hubungan antara variabel dependen VO_{2max} dan usia akan membentuk garis regresi linear bergradien negatif karena semakin bertambahnya usia maka akan semakin menurun nilai VO_{2max}.

Perbandingan VO_{2max} yang diperoleh dari para petani di Indonesia berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Aware dkk. (2018). Penelitian ini memilih subjek dari petani hortikultura, sedangkan penelitian Aware dkk. (2018) berfokus pada petani yang kesehariannya mengupas kacang menggunakan alat bantu sepeda statis. Penelitian ini menghasilkan rata-rata volume oksigen maksimum para petani yaitu sebesar 1883,84 mL/min, sedangkan penelitian Aware dkk. (2018) mendapat nilai volume oksigen maksimum sebesar 2560 mL/min. Perbedaan tersebut bisa disebabkan oleh keseharian petani yang memiliki pekerjaan berbeda, serta data demografi petani juga mempengaruhi hasil yang didapat. Sedangkan perbandingan VO_{2max} dengan penelitian Daneshmandi dkk. (2013) memiliki persamaan pada variabel independen yang signifikan adalah usia dan perbedaan

pada subjek penelitian. Daneshmandi dkk. (2013) berfokus pada para pekerja industri dengan rentang usia 18-64 tahun, menghasilkan nilai VO_{2max} sebesar 2,709 mL/min.

Dari hasil yang telah dianalisis, menghasilkan nilai $R^2 = 0{,}557$ yang artinya model regresi dapat menunjukkan variabilitas dalam data sebesar nilai R^2 tersebut (Nimon dan Oswald, 2013). Nilai signifikansi model regresi linear dari hubungan antara VO_{2max} dan usia bernilai $p < 0{,}05$ menunjukkan hasil dari analisis hubungan antara VO_{2max} dan usia. Nilai signifikansi $p < 0{,}05$ berarti bahwa H0 ditolak, yaitu terdapat hubungan yang signifikan antara usia dan VO_{2max}.

Tabel 3. Hasil model regresi VO_{2max} dan usia

Coefficients[a]

Model		*Unstandardized Coefficients*		*Standardized Coefficients*			*Collinearity Statistics*	
		B	*Std. Error*	*Beta*	*t*	*Sig.*	*Tolerance*	*VIF*
1	*(Constant)*	*3015.198*	*252.146*		*11.958*	*.000*		
	Usia	*-32.510*	*6.835*	*-.746*	*-4.757*	*.000*	*1.000*	*1.000*

a. Dependent Variable: VO_{2max}

Sehingga persamaan untuk model regresi antara VO_{2max} dan usia adalah:

$$VO_{2max}(\text{L/min}) = (-32{,}51 \times \text{usia}) + 3015{,}19$$

Pengukuran di tahap pertama juga menghasilkan VO_2 dari para responden. Nilai rata-rata konsumsi oksigen dari semua responden adalah sebesar 1125,5 L/min ± 302,61 atau menjadi 18,76 mL/kg/min. Sedangkan untuk nilai R^2 yang didapat adalah 0,595 menunjukkan bahwa sekitar 59% variabilitas dari variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independent dan jumlah sampel dalam model regresi. Model regresi yang diperoleh dari pengukuran tahap pertama antara VO_2 dan HRR dapat digunakan untuk mengestimasi VO_2 para petani ketika bekerja di lapangan. Tabel 4 merupakan hasil dari analisis regresi antara variabel dependen VO_2 dan variabel independen HRR.

Tabel 4. Hasil model regresi untuk VO_2 dan HRR

Coefficients[a]

Model		*Unstandardized Coefficients*		*Standardized Coefficients*			*Collinearity Statistics*	
		Model	B	*Std. Error*	*Beta*	*t*	*Sig.*	*Tolerance*	*VIF*
1	*(Constant)*	*.321*	*.091*		*3.548*	*.001*		
	HRR	*.019*	*.002*	*.775*	*11.224*	*.000*	*1.000*	*1.000*

a. Dependent Variable: VO2

Nilai *unstandardized B* menggambarkan hubungan linear antara variabel dependen VO_2 dan variabel independen HRR. Nilai *unstandardized B* untuk HRR yaitu 0,019 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu unit pada HRR akan linear dengan peningkatan sebesar 0,019 pada nilai VO_2 ditambah dengan nilai konstantanya yaitu 0,321. Sehingga model regresi yang diperoleh dari hasil analisis adalah sebagai berikut:

$$VO_2\ (\text{L/min}) = (0{,}19 \times \text{HRR}) + 0{,}321$$

Hasil Pengukuran di Lapangan

Pengukuran HR di lapangan pada sektor pertanian khususnya untuk para petani menunjukkan variasi HR yang terkait dengan jenis aktivitas kerja, seperti pekerjaan petani

pada saat mencangkul, mengangkut, memupuk, dan pekerjaan lainnya. Tingkat intensitas bekerja pada sektor pertanian dapat diprediksi berdasarkan perubahan HR yang tercatat selama aktivitas di lapangan. Jika dari keseluruhan perhitungan rata-rata HR *rest,* HR *exercise*, dan HR *max* disubstitusi ke persamaan %HRR maka akan mendapatkan nilai %HRR sebesar 56,88. Berdasarkan klasifikasi beban kerja, hasil perhitungan tersebut termasuk ke dalam level *vigorous* atau level berat.

Sedangkan jika nilai HRR yaitu 56,88 disubstitusi ke model regresi tersebut, maka akan menghasilkan VO_2 para petani di lapangan sebesar 1,4 L/min. Selanjutnya VO_2 yang telah dihitung bisa dikonversi ke dalam *energy*, dengan rumus berikut:

$$\text{Energi (Kcal/min)} = \text{VO2} \times \text{OEV}$$

Oxygen Equivalent Value (OEV) dari aktivitas berlari sesuai dengan ketentuan adalah 5 Kcal/L (Kroemer dkk., 2010). Maka hasil dari perhitungan konsumsi oksigen 1,4 L/min yang dikonversi ke *energy expenditure* menghasilkan sebanyak 7,01 Kcal/min. Kesimpulan dari perhitungan sebelumnya, yaitu menunjukkan hasil konversi konsumsi oksigen ke *energy expenditure* menghasilkan 7,01 Kcal/min yang artinya beban kerja petani masuk ke level *medium work,* sedangkan berdasarkan rata-rata *heart rate exercise* para petani ketika bekerja yaitu 129,55 bpm maka level beban kerjanya termasuk ke dalam *heavy work*.

Perbandingan nilai VO_{2max} dan nilai VO_2 petani saat di lapangan bisa juga dijadikan sebagai acuan evaluasi beban kerja yang diterima petani. Perbandingan dari nilai VO_{2max} dan nilai VO_2 adalah sebesar 0,74 atau 74%, yang mana perbandingan nilai VO_{2max} dan nilai VO_2 bisa diterima untuk bekerja adalah sebesar 50% $VO_{2max,}$ prosentase sebesar 74% menunjukkan beban kerja yang sangat berat (Daneshmandi dkk., 2013).

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yang utama adalah mendapat persamaan VO_{2max} dan persamaan VO_2. Dari tahap pertama penelitian didapatkan model regresi untuk VO_{2max} dan model regresi dari VO_2. Model regresi dari VO_2 digunakan untuk mengestimasi konsumsi oksigen petani saat berada di lapangan. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari kedua model adalah $p < 0,05$. Untuk model VO_2 diperkuat oleh nilai *pearson correlation* adalah 0,775 (berhubungan kuat), hal tersebut berarti HRR berpengaruh secara signifikan terhadap VO_2. Model regresi ini memiliki *R Square* dengan nilai 0,6 menandakan bahwa sebanyak 60% variabilitas dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model tersebut, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Dari pengukuran para responden di lapangan, pengukuran HRR yang di dalamnya terdapat HR *rest,* HR *exercise,* dan HR *max* sebagai parameter yang akan disubstitusi ke persamaan regresi yang telah dibuat sebelumnya. Dari parameter tersebut, para petani mengalami beban kerja yang berlebih sehingga diberikan intervensi ergonomi sesuai dengan pekerjaan yang dilakukannya.

Intervensi ergonomi yang diberikan berfokus pada rekayasa *engineering* dan usaha preventif seperti perbaikan sistem kerja. Rekayasa *engineering* bisa diterapkan difokuskan untuk topik teknik bekerja, presentasi peralatan baru, pencegahan kecelakaan, pencegahan penyakit kronis, dan pengembangan keterampilan berwirausaha. Dan dari waktu kerja yang disarankan adalah tidak bekerja selama berjam-jam lalu beristirahat, tetapi bisa melakukan istirahat pendek selama 5-10 menit di sela-sela pekerjaan. Istirahat tersebut bisa mengembalikan energi dan mencegah terjadinya kelelahan untuk para pekerja. Selain itu,

dikarenakan pekerjaan di lapangan banyak yang menggunakan roda dorong untuk mengangkut barang dan roda dorong yang digunakan masih menggunakan 3 roda serta manual, maka intervensi selanjutnya yaitu melakukan *improvement* terhadap roda tersebut menjadi roda dengan kekuatan berbahan bakar bensin yang memudahkan ketika ada jalur menanjak.

Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu menambah responden sampai dengan mencapai *fitness* model dilihat dari R *square* mendekati 1, menambah responden sebanyak 40 responden. Selain jumlah responden, jenis kelamin dan usia juga perlu diperhatikan karena jenis kelamin dan usia harus bisa merepresentasikan model agar bisa di semua kalangan. Jenis kelamin lebih baik untuk tidak didominasi oleh salah satu gender saja, dan untuk usia harus mencakup rentang usia yang luas. Yang terakhir adalah jenis pekerjaan, di penelitian ini jenis pekerjaan petani berfokus pada tanaman palawija sehingga model belum tentu bisa diterapkan di semua sektor pertanian selain pertanian hortikultura.

DAFTAR PUSTAKA

Astrand, P.-O., Rodahl, K., Dahl, H., & Stromme, S. (2003). *Textbook of Work Physiology-Physiological Bases of Exercise* (4 ed.). McGraw-Hill.

Aware, V., Aware, S., & Kadam VB, Wander SV, S. P. (2018). Study of VO*2max* of Agricultural Workers for Different Farm Operations. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(5), 2585–2589.

Bagherifard, F., Daneshmandi, H., Ziaei, M., Ghaem, H., Khoshbakht, R., Jaberi, O., & Choobineh, A. (2022). Comparison of Physical Workload and Physical Work Capacity among Municipality Cleaners in Shiraz to Determine Number of Workers Needed to Counterbalance Physical Workload. Dalam *BMC sports science, medicine & rehabilitation* (Vol. 14, Nomor 1, hlm. 85). https://doi.org/10.1186/s13102-022-00476-4

Bugajska, J., Makowiec-Dąbrowska, T., Bortkiewicz, A., Gadzicka, E., Marszałek, A., Lewandowski, Z., & Konarska, M. (2011). Physical Capacity of Occupationally Active Population and Capability to Perform Physical Work. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *17*(2), 129–138. https://doi.org/10.1080/10803548.2011.11076883

Chapman, L., & Meyers, J. (2001). Ergonomics and Musculoskeletal Injuries in Agriculture: Recognizing and Preventing the Industry's Most Widespread Health and Safety Problem. *Agricultural safety and health conference proceedings*.

Coenen, P., Korshøj, M., Hallman, D. M., Huysmans, M. A., van der Beek, A. J., Straker, L. M., & Holtermann, A. (2018). Differences in Heart Rate Reserve of Similar Physical Activities During Work and in Leisure Time – A Study Among Danish Blue-Collar Workers. *Physiology and Behavior*, *186*, 45–51. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.011

Daneshmandi, H., Fard, A. R., & Choobineh, A. (2013). Estimation of Aerobic Capacity and Determination of its Associated Factors Among Male Workers of Industrial Sector of Iran. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *19*(4), 667–673. https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11077014

Dinh-Dang, D., Khafagy, A., Krause, N., & Harris-Adamson, C. (2023). Assessment of Cardiovascular Load Among Hotel Room Cleaners. *Applied Ergonomics*, *106*. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103886

Hanson, N. J., Scheadler, C. M., Lee, T. L., Neuenfeldt, N. C., Michael, T. J., & Miller, M. G. (2016). Modality Determines VO_{2max} Achieved in Self-Paced Exercise Tests: Validation with The Bruce Protocol. Dalam *European Journal of Applied Physiology* (Vol. 116, Nomor 7, hlm. 1313–1319). https://doi.org/10.1007/s00421-016-3384-0

Kolus, A., Dubé, P. A., Imbeau, D., Labib, R., & Dubeau, D. (2014). Estimating Oxygen Consumption from Heart Rate using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Analytical Approaches. *Applied Ergonomics*, *45*(6), 1475–1483. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.04.003

Kolus, A., Imbeau, D., Dubé, P. A., & Dubeau, D. (2016). Classifying Work Rate from Heart Rate Measurements using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Applied Ergonomics*, *54*, 158–168. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.12.006

Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. J., & Kroemer-Elbert, K. E. (2010). *Engineering Physiology: Bases of Human Factors Engineering/ Ergonomics*.

Kumar, A., Pramanik, A., Singh, J. K., Tiwari, R. K., & Jena, S. (2021). An Ergonomic Intervention for Manual Load Carrying on Indian Farms. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *83*(May 2020), 103126. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103126

Martin, D. W. (2008). *Doing Psychology Experiments* (7th ed.). Wadsworth/Thomson Learning.

Mulyati, G. T., Maksum, M., Purwantana, B., & Ainuri, M. (2020). The Workload of Rice Harvester in Java Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *425*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012035

Nimon, K. F., & Oswald, F. L. (2013). Understanding the Results of Multiple Linear Regression: Beyond Standardized Regression Coefficients. Dalam *Organizational Research Methods* (Vol. 16, Nomor 4, hlm. 650–674). https://doi.org/10.1177/1094428113493929

Olsson, K. S. E., Rosdahl, H., & Schantz, P. (2022). Interchangeability and Optimization of Heart Rate Methods for Estimating Oxygen Uptake in Ergometer Cycling, Level Treadmill Walking and Running. *BMC Medical Research Methodology*, *22*(1). https://doi.org/10.1186/s12874-022-01524-w

Rodeghiero Neto, I., & Amaral, F. G. (2020). Identification and Estimation of Physiological Workload in Nursing: Concepts, Methods and Gaps in The Literature. Dalam *International Journal of Industrial Ergonomics* (Vol. 80). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103016

Rundell, S. D., Patel, K. V., Phelan, E. A., Jones, B. L., & Marcum, Z. A. (2022). Trajectories of Physical Capacity Among Community-Dwelling Older Adults in The United States. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *100*(October 2021), 104643. https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104643

Scharhag-Rosenberger, F., Carlsohn, A., Cassel, M., Mayer, F., & Scharhag, J. (2011). How to Test Maximal Oxygen Uptake: A Study on Timing and Testing Procedure of a Supramaximal Verification Test. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *36*(1), 153–160. https://doi.org/10.1139/H10-099

Toomingas, A., Mathiassen, S. E., & Tornqvist, E. W. (2012). *Occupational Physiology*.

Toulouse, A., Joubert, D., Oden, G., & Davis, P. R. (2021). Comparison of The VO_2 Master Pro and Cosmed K5 During Walking, Jogging, and Running. *Journal of Science in Sport and Exercise*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s42978-021-00146-w

Tzemah-Shahar, R., Hochner, H., Iktilat, K., & Agmon, M. (2022). What Can We Learn From Physical Capacity About Biological Age? A Systematic Review. Dalam *Ageing*

Research Reviews (Vol. 77). Elsevier Ireland Ltd. https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101609

Wu, H. C., & Wang, M. J. J. (2002). Relationship Between Maximum Acceptable Work Time and Physical Workload. *Ergonomics*, *45*(4), 280–289. https://doi.org/10.1080/00140130210123499

Yamamoto, Y., Shigetomi, Y., Ishimura, Y., & Hattori, M. (2019). Forest Change and Agricultural Productivity: Evidence from Indonesia. *World Development*, *114*, 196–207. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.10.001