



Integrasi *smart agriculture technology map* dan model *objective matrix* untuk analisis *key performance indicators (KPI)* pengelolaan *greenhouse*

Dani Yudiastono^{1*}, Nafis Khuriyati², Mohammad Affan Fajar Falah²

¹Magister Teknologi Industri Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia

²Teknologi Industri Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia

Article history

Diterima:

13 Juni 2023

Diperbaiki:

15 Agustus 2023

Disetujui:

16 Agustus 2023

Keyword

Aquaponics;

Key Performance

Indicators (KPI);

OMAX;

Productivity;

Smart Agriculture

ABSTRACT

Key Performance Indicators (KPI) for Agriculture is a guide to assessing performance in agriculture using 5 work indicators: efficiency, quality, capacity index, work environment, and maintenance. The purpose of this study is to identify the level of technology application in greenhouses based on the Smart Agriculture Kaizen Level (SAKL) technology mapping, determine a systematic performance appraisal method in greenhouses, and evaluate the operational performance of Greenhouse Pandanaran, Gunung Kidul Regency. The use of technology and utilization of production data is very important to support the level of productivity of an agricultural system. Moreover, in the transition process from traditional agriculture to agriculture based on smart agriculture, actual research is needed to support its performance against Agricultural KPIs. Through this research, the relationship between the level of technology application and agricultural KPIs in greenhouse production will be obtained Initial research was carried out by identifying the level of technology application in several greenhouse samples and then performing a performance assessment based on Agricultural KPIs. In the performance appraisal based on KPI Agriculture conducted in the greenhouse, the productivity value is obtained from the Objective Matrix (OMAX) method. The use of OMAX includes calculating 3 (three) indicators: efficiency, quality, and capacity index. The study results show that the Pandanaran Greenhouse performance assessment uses the OMAX method from May 2021 to November 2022 (19 months). 11 months are equal to or above standard productivity. The highest overall productivity was achieved in November 2022, whereby the cultivation method implemented in November 2022. From this research, it was found that the best results in aquaponic cultivation were obtained by using fish as the main product and vegetables as a side product.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

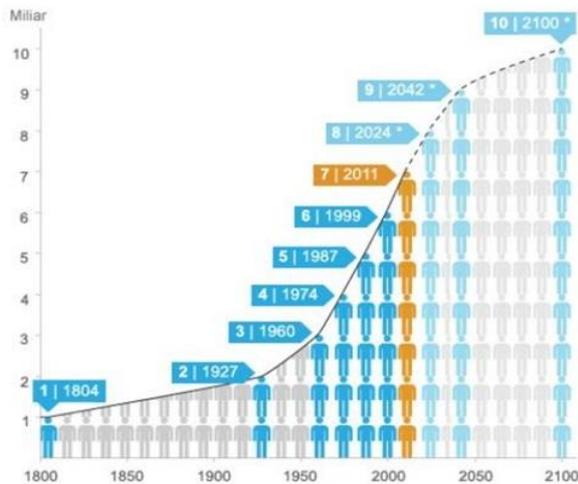
* Penulis korespondensi

Email : daniyudiastono@mail.ugm.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v18i3.20451

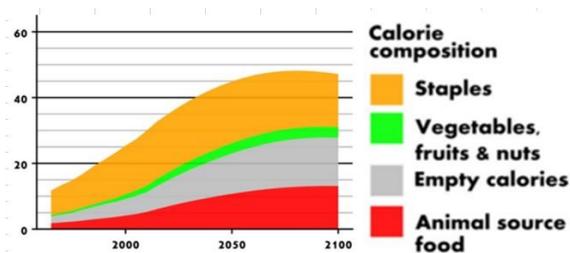
PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dunia yang terus meningkat. Namun, tantangan seperti perubahan iklim, populasi yang terus bertambah dan peningkatan permintaan pangan menyebabkan perlunya inovasi dalam praktik pertanian yang ada saat ini.



Gambar 1 Prediksi peningkatan populasi manusia sampai dengan tahun 2100

Salah satu solusi yang semakin berkembang dalam menjawab tantangan ini adalah pertanian pintar atau *smart agriculture*.



Gambar 2 Prediksi kebutuhan pangan manusia sampai dengan tahun 2100

Pertanian pintar merujuk pada penggunaan teknologi digital dan inovasi terkait untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan dalam pertanian. Melalui pemanfaatan sensor, pemantauan jarak jauh, analitik data, kecerdasan buatan (AI), dan teknologi lainnya, pertanian pintar memberikan kemampuan untuk memantau dan mengelola keadaan tanaman, hewan ternak, dan lingkungan secara lebih akurat dan efektif (Mishra *et al.* 2019).

Penelitian dalam bidang pertanian pintar telah menghasilkan modernisasi dalam bentuk berbagai aplikasi dan teknologi yang mengubah lanskap pertanian. Penggunaan *drone* untuk pemantauan lahan, penggunaan sensor tanah dan cuaca untuk pemantauan kondisi tanaman, penggunaan sistem irigasi cerdas berbasis presisi, penggunaan *greenhouse* dengan metode hidroponik/akuaponik dan penggunaan teknologi pengolahan data untuk analisis keputusan pertanian adalah contoh dari bagaimana pertanian pintar telah mengoptimalkan produksi. (Gubbi *et al.* 2013).

Dari uraian diatas, diketahui bahwa pertanian pintar telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian melalui pemanfaatan teknologi digital dan inovasi. Namun, untuk memastikan keberhasilan implementasi pertanian pintar, penting untuk memiliki metode pengukuran yang tepat untuk memantau dan mengevaluasi kinerja sistem pertanian pintar. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah penggunaan *Key Performance Indicators* (KPI).

KPI dalam konteks pertanian pintar merujuk pada parameter dan metrik yang digunakan untuk mengukur kinerja operasional, produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan pertanian yang diterapkan. Dengan menggunakan KPI yang tepat, petani dan pemangku kepentingan lainnya dapat memantau dan mengevaluasi kinerja sistem pertanian pintar, mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan, serta mengambil tindakan perbaikan yang sesuai.

Salah satu pengaplikasian dari pertanian pintar adalah penggunaan *greenhouse* dengan metode hidroponik/akuaponik. Pertanian berbasis *greenhouse* menjadi salah satu pendekatan yang populer dalam mencapai keberlanjutan dan efisiensi dalam produksi pangan. Metode *greenhouse* memanfaatkan struktur terkontrol dengan lingkungan yang dioptimalkan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, mengurangi penggunaan sumber daya, dan melindungi tanaman dari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Penggunaan KPI dapat menjadi alat yang efektif untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja pertanian berbasis *greenhouse*. Adapun jenis KPI Pertanian yang dapat diterapkan pada *greenhouse* dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1 KPI untuk Agriculture (Washizu and Nakano 2022)

	KPI (Tujuan dari Pengenalan Teknologi)
Efisiensi	Mengurangi jam kerja dan pekerja
Indikator	Memecahkan kelangkaan tenaga kerja
	Mengurangi biaya produksi (biaya input bahan baku)
Kualitas	Untuk meningkatkan nilai tambah
Indikator	Meningkatkan total produksi, profit dan produktivitas
Kapasitas	penggunaan tanah
Indikator	Untuk memperluas skala ekspansi
	Untuk melatih pekerja yang tidak terampil
	Untuk memperluas bisnis
Linkungan	Untuk mengurangi beban kerja dan membuat kerja menjadi lebih ergonomis
Indikator	
Perawatan	Untuk optimalisasi produksi dan proses manajemen (termasuk manajemen penanaman, manajemen pemupukan, manajemen air, manajemen pakan, dll)
Indikator	Untuk optimalisasi praktik manajemen bisnis termasuk biaya produksi dan keuangan data manajemen
	Untuk penggunaan teknologi baru dalam bisnis, termasuk pembagian dari alat-alat pertanian dan penggunaan servis manajemen tanam

Penerapan KPI dalam pertanian berbasis *greenhouse* memiliki beberapa tujuan. Pertama, KPI memungkinkan pemantauan dan evaluasi yang akurat terhadap kinerja operasional dan produktivitas pertanian, seperti pertumbuhan tanaman, produksi hasil panen, penggunaan air, energi, dan pupuk (Liu *et al.* 2018; Egea *et al.* 2020). Kedua, KPI juga memungkinkan penilaian terhadap keberlanjutan pertanian, termasuk pengurangan emisi gas rumah kaca, pengelolaan limbah, dan efisiensi penggunaan sumber daya (Chen *et al.* 2019). Adapun jenis penilaian KPI yang lazim dipakai untuk mengukur tingkat produktivitas dapat dilihat pada Tabel 2.

Penerapan sistem akuaponik menjadi salah satu pendekatan yang menarik dalam memadukan pertanian hidroponik dan budidaya ikan secara terpadu. Sistem akuaponik mengintegrasikan pertumbuhan tanaman dengan budidaya ikan dalam suatu lingkungan yang terkontrol, menciptakan siklus yang saling menguntungkan antara tanaman dan ikan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tingkat pengaplikasian teknologi pada *greenhouse* berdasarkan SAKL *technology mapping*, menentukan metode penilaian kinerja yang sistematis pada *greenhouse* dan menerapkan serta mengevaluasi kinerja operasional *greenhouse*.

METODE

Desain Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan penelitian kuantitatif berdasarkan data primer maupun sekunder yang diambil dari objek penelitian. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

Pemilihan obyek penelitian

Obyek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari metode *non-random sampling* dengan *purposive sampling*. Sampel yang ditetapkan adalah berdasarkan:

- Ukuran *greenhouse*
Sampel akan dipilih dari berbagai ukuran *greenhouse* yang ada di wilayah Pulau Jawa dan termasuk pada kategori standar minimal yaitu dengan bangunan berukuran 9,6 m x 16 m = 153,6 m² (Kementan, 2021). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan produksi yang stabil.
- Jenis Tanaman
Sampel dipilih dari berbagai jenis tanaman yang biasanya ditanam dalam *greenhouse* di wilayah Pulau Jawa, seperti sayuran dan buah-buahan. Hal ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang penerapan KPI dalam berbagai jenis tanaman.
- Usia Pembangunan *Greenhouse*
Sampel dipilih berdasarkan kebaruan pembangunan *greenhouse* dimana dipilih *greenhouse* yang mulai dioperasikan minimal pada tahun 2021. Penelitian dilaksanakan dari Juli hingga November 2022.

Tabel 2 Jenis-jenis pengukuran produktivitas

No	Metode Pengukuran Produktivitas	Keterangan	Penggunaan
1	Model Craig Haris	Keluaran total yang dibagi dengan faktor masukan tenaga kerja ditambah dengan faktor masukan modal, faktor masukan bahan dan alat dan faktor masukan lain pada barang dan jasa.	Untuk menggambarkan tingkat efisiensi dan pertumbuhan perusahaan secara keseluruhan dengan mengasumsikan bahwa tujuan perusahaan berorientasi pada profit maksimum (Setiadi 2014)
2	Model Mundel	Output dan inputnya dinyatakan dalam agregat, perusahaan yang akan diukur produktivitasnya disyaratkan mempunyai waktu standar untuk bekerja seperti perusahaan <i>job order</i> .	Untuk mengukur produktivitas pada perusahaan yang berproduksi <i>by order</i>
3	Model Sumanth	Pengukuran produktivitas dengan memperhatikan pengaruh semua faktor input yang terhadap output yang sifatnya tangible, dapat digunakan tidak hanya pada tingkat agregat tetapi juga pada tingkat operasioanal misalnya tingkat departemen.	Untuk mengukur, mengevaluasi dan merancang perbaikan produktivitas pada perusahaan industri manufakturing pada terdiri dari pembagian departemen dan perusahaan jasa.
4	Model <i>Productivity Evaluation Tree</i> (PET)	Mengandalkan pada keputusan manajerial terutama dalam mengidentifikasi dan menguji alternatif yang mungkin serta memutuskan alternative mana yang sebaiknya dilakukan dalam penetapan target produktivitas total di masa yang akan datang.	Mengetahui turunnya indeks produktivitas (dilakukan jika sudah dilakukan penilaian kinerja pendahuluan)
5	Model <i>Objective Matrix</i> (OMAX)	Menggabungkan kriteria produktivitas ke dalam suatu bentuk yang terpadu dan berhubungan satu sama lain. Bentuk dan susunan dari model produktivitas ini terdiri dari kriteria produktivitas, nilai pencapaian, butir-butir matriks, skor, bobot, nilai dan performance indikator.	Digunakan pada perusahaan manufaktur, bentuk dan susunan dari model produktivitas ini terdiri dari kriteria produktivitas, nilai pencapaian, butir-butir matriks, skor, bobot, nilai dan performance indikator. Untuk mengukur produktivitas secara parsial untuk memonitoring produktivitas tiap bagian dengan cara melakukan pembobotan untuk memperoleh indeks produktivitas total (Nurmaydha 2017)
6	Metode <i>American Productivity Center</i> (APC)	Metode untuk mengukur produktivitas tidak hanya menghitung faktor finansial tetapi juga menghitung faktor fisik perusahaan. Dengan model APC ini perusahaan dapat mengetahui hasil pengukuran tingkat produktivitas dengan menggunakan periode dasar dan mengevaluasi kembali hasil dari pengukuran produktivitas serta faktor – faktor yang berpengaruh terhadap turun-naiknya produktivitas.	Digunakan pada perusahaan yang sudah <i>seattle</i> yang relatif besar dengan proses produksi yang telah berjalan lama sehingga dapat dianalisis perubahan naik turunnya produksi.

Pengambilan data tingkat penggunaan teknologi dan analisis data yang digunakan pada obyek penelitian

Pengambilan data dilakukan dari kuosioner untuk mengetahui tingkat penggunaan teknologi dan analisis data yang diterapkan. Adapun responden yang dipilih adalah pengelola *greenhouse* yang bertanggungjawab pada kegiatan operasional harian. Adapun sampel *greenhouse* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Pemetaan hasil penerapan teknologi dan analisis data yang digunakan pada obyek penelitian

Pada tahap ini, dilakukan penentuan metode yang digunakan untuk menilai kinerja produktivitas berdasarkan hasil yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Pemilihan metode penilaian produktivitas disesuaikan dengan karakteristik dari obyek penelitian. Adapun metode yang dipilih adalah OMAX (Edhianto dan Basuki, 2019)

Analisis Penilaian Kinerja Produktivitas

Penilaian kinerja produktivitas dilakukan pada salah satu sampel *greenhouse* yang dipilih yaitu *greenhouse* Pandanaran. Metode adalah OMAX.

Analisis Penilaian Kinerja KPI Work Environment

Tahapan berikutnya adalah melakukan pengambilan data primer berupa data denyut nadi pekerja kemudian melakukan perhitungan %CVT untuk mengetahui kondisi pekerja yang ada di *greenhouse*. Terdapat hubungan yang erat antara lingkungan kerja (*work environment*) dan beban kerja. Lingkungan kerja yang baik dapat mempengaruhi tingkat beban kerja yang dialami oleh individu. Lingkungan kerja yang baik menyediakan fasilitas dan sumber daya yang memadai untuk melaksanakan tugas.

Penilaian indikator lingkungan kerja dilakukan dengan tujuan memastikan bahwa beban kerja (*workload*) yang dimiliki oleh tenaga kerja tidak melebihi batas kewajaran. Untuk itu dapat digunakan metode pengukuran kepada

pekerja untuk mengetahui beban kerja yang dimiliki dengan pengukuran nadi kerja. Lebih lanjut, untuk menentukan klasifikasi beban kerja berdasarkan peningkatan denyut nadi kerja yang dibandingkan dengan denyut nadi maksimum karena beban kardiovaskuler (*cardiovascular* = % CVL) yang dihitung berdasarkan Persamaan (1) (Hudaningih 2022).

$$\%CVL = \frac{100 * (DNK - DNI)}{DN_{maks} - DN_{istirahat}} \quad \text{Pers.(1)}$$

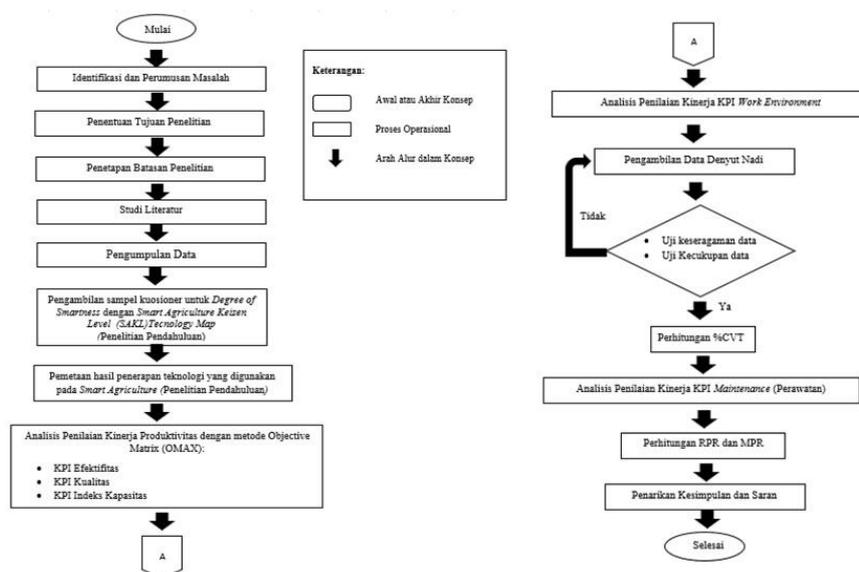
Dimana denyut nadi maksimum adalah (220 – *umur*) untuk laki-laki dan (200-*umur*) untuk wanita. Dari perhitungan % CVL kemudian akan dibandingkan dengan klasifikasi yang telah ditetapkan sebagai berikut :

1. < 30% = Tidak terjadi kelelahan
2. 30-<60% = Diperlukan perbaikan
3. 60-<80 = Kerja dalam waktu singkat
4. 80-<100%= Diperlukan tindakan segera
5. >100% = Tidak boleh beraktivitas

Dalam melakukan Penilaian Analisis Kinerja KPI *Work Environment* dilakukan uji kecukupan data dan uji keseragaman data.

Tabel 3 Rekapitulasi responden *greenhouse*

No	Nama Sampel	Karakteristik Metode	Bentuk
1	<i>Greenhouse</i> Pandanaran, Maslaku Huda, Madinatunnajah	Akuaponik	<i>Greenhouse</i>
2	<i>Greenhouse</i> FRC UGM, Assalafiyah Mlangi, Ulul Ilmi, Nurul Iman	Hidroponik	<i>Greenhouse</i>



Gambar 3 Uji keseragaman data dan uji kecukupan data

Analisis Penilaian Kinerja KPI Maintenance (Perawatan)

Tahap selanjutnya melakukan analisis menggunakan data perawatan (maintenance) *greenhouse* untuk mengetahui kondisi perawatan yang dilakukan. Pada tahapan ini dilakukan perhitungan dari hasil analisis data KPI *maintenance*. Kemudian hasil dari perhitungan *Reaktif-Proaktif Ratio* (RPR) dan *Maintenance-Production Ratio* (MPR). Kemudian hasil dari perhitungan RPR dan MPR dilakukan *crosscheck* pada matriks keputusan KPI *maintenance*. Perhitungan yang diperlukan ditunjukkan pada Persamaan (2) dan (3) (Fereira *et al.* 2019).

$$RPR = \frac{T_{reactive} \times N_{reactive} \times C_{reactive}}{T_{proactive} \times N_{proactive} \times C_{proactive}} \quad \text{Pers.(2)}$$

$$MPR = \frac{T_{react+proact} \times N_{react+proact} \times C_{react+proact}}{T_{production} \times N_{setup} \times C_{production}} \quad \text{Pers.(3)}$$

Lokasi Penelitian

Greenhouse Akuaponik Pandanaran, Maslukul Huda dan Madinatunnajah (Akuaponik)

Merupakan metode budidaya yang dilakukan dengan berfokus *smart agriculture* pada budidaya ikan serta sayur seperti kangkung dan selada. Prinsip dasar yang digunakan adalah dengan melakukan sirkulasi pada kolam budidaya ikan serta mengalirkan ke meja tanam sayuran sehingga tanaman memperoleh nutrisi dari air yang digunakan untuk budidaya ikan

Greenhouse Field Research Center (FRC) UGM, Assalafiyah Mlangi, Ulul Ilmi dan Nurul Iman (Hidroponik)

Merupakan metode budidaya dengan berfokus pada hidroponik yaitu penggunaan air nutrisi (AB Mix) yang digunakan untuk menggantikan tanah. Adapun budidaya yang dihasilkan saat ini adalah buah dan sayuran.

Populasi dan Sampel

Metode pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik *non-random* sampling. Metode ini kebalikan dari *random* sampling dimana pengambilan data ditetapkan berdasarkan karakteristik dan ciri-ciri tertentu agar mendapatkan sampel yang sesuai dengan penelitian. Selain itu teknik *non-random* sampling memiliki karakteristik: tidak semua populasi memiliki kesempatan untuk menjadi sampel dan sampel tidak mewakili semua populasi sehingga tidak bisa digeneralisasikan.

Adapun jenis teknik *non-random* sampling yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu *purposive sampling*, merupakan teknik pengambilan sampel dengan cara memberikan penilaian sendiri terhadap sampel di antara populasi yang dipilih. Penilaian itu diambil tentunya apabila memenuhi kriteria tertentu yang sesuai dengan topik penelitian.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan tiga metode, yaitu observasi, wawancara dan studi pustaka. Observasi dilakukan dengan melakukan pengamatan lapangan serta mengetahui metode budidaya yang sebelumnya telah dilakukan serta kendala-kendala yang dihadapi pada budidaya sebelumnya. Wawancara dilakukan dengan pengelola farm yang dipilih sebagai sampel penelitian. Studi pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan data dan informasi dari berbagai literatur yang berkaitan dengan penelitian seperti buku, jurnal, laporan penelitian terdahulu, artikel, majalah maupun internet.

Analisis data

Pada penelitian ini digunakan acuan *Key Performance Indicators* (KPI) dari KPI for agriculture sesuai dengan ISO 22400 (Washizu and Nakano 2022). Pada analisis tingkat pengaplikasian teknologi pada Green House digunakan teknik *Smart Agriculture Technology Maps* (SAKL) untuk mengevaluasi keadaan derajat kepintaran (*degree of smartness*) saat ini pada pertanian individu dengan metode budidaya *greenhouse* dengan menerapkan konsep *SMKL technology maps*.

Pada SAKL *technology maps* dibagi menjadi empat tingkatan berikut:

1. Data yang diperlukan untuk manajemen tidak dikumpulkan (Level 0),
2. Dikumpulkan (Level 1),
3. Dikumpulkan dan dianalisis secara visual (Level 2), dan
4. Dikumpulkan dan dianalisis menggunakan ICT (Information and Communications Technology) (Level 3).

Dari hasil yang diperoleh akan didapatkan beberapa alternatif metode penilaian kinerja produktivitas yang dipilih untuk menilai KPI Efisiensi, Kualitas dan Indeks Kapasitas. Adapun penilaian KPI Lingkungan kerja dilakukan dengan

%CVT (Mutia 2014) dan KPI perawatan menurut (Fereira *et al.* 2019) dengan menggunakan metode *Reaktif-Proaktif Ratio* (RPR) dan *Maintenance-Production Ratio* (MPR)

Validitas dan Reabilitas

Pada pengambilan data primer dilakukan Uji Keseragaman Data dan Uji Kecukupan Data. Uji kecukupan data diperlukan untuk memastikan bahwa data yang telah dikumpulkan dan disajikan dalam laporan pengukuran tersebut adalah cukup secara objektif (Cahyawati, 2018). Pada pengujian keseragaman data dilakukan pembuatan control chart untuk perhitungan individual dimana dengan perhitungan ini akan didapatkan nilai Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) untuk pengambilan data itu sendiri serta moving range (selisih antar data yang satu dan lainnya).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan Teknologi pada *greenhouse*

Penggunaan teknologi dalam pertanian pintar dapat dikategorikan berdasarkan tingkat aplikasi teknologi yang diterapkan serta sejauh mana pengumpulan data dan pengolahan data yang dilakukan. Adapun *tools* yang digunakan untuk melakukan analisis dari penggunaan teknologi yang digunakan adalah dengan menggunakan SAKL *technology maps*.

SAKL dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengukur sejauh mana keberlanjutan dari penerapan *smart agriculture*. Dengan melakukan pengukuran secara berkala maka akan dapat diketahui perkembangan penerapan *smart agriculture*. Kerangka kerja SAKL memberikan pendekatan yang terstruktur dan sistematis untuk mengevaluasi kinerja sistem pertanian dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan. (Utomo *et al.* 2021)

Dalam penelitian ini digunakan SAKL *technology maps* untuk mengevaluasi tingkat penerapan teknologi pada pertanian pintar berbasis *greenhouse*. Hasil perhitungan dari kuisioner yang ditanyakan kepada pengelola unit *greenhouse* yang dijadikan sebagai sampel dapat dilihat pada Tabel 4.

Pada kolom vertikal menunjukkan level visualisasi sedangkan pada kolom horisontal menunjukkan level teknologi. Angka 1 sampai dengan 7 menunjukkan nomer sampel *Greenhouse* yang digunakan sebagai sampel. Dari

hasil analisis penilaian aplikasi teknologi pada *Greenhouse* diketahui bahwa pada tipe teknologi yang digunakan terdapat 4 *Greenhouse* yang berada pada level 1 dan 2 *Greenhouse* pada level 2 sedangkan untuk level visualisasi, terdapat 6 *greenhouse* yang berada di level 1 (level visualisasi dikumpulkan) dan 1 *greenhouse* di level 2 (level visualisasi dikumpulkan dan dianalisis secara visual). Bobot kuisioner menunjukkan nilai dari jawaban yang diberikan responden yang dikonversi menjadi angka.

Penentuan Metode Penilaian Kerja Produktivitas *Greenhouse*

Berdasarkan nilai visual serta tipe teknologi yang digunakan pada nilai M (1,1) yang merupakan klasifikasi mayoritas dari *Greenhouse* yang diteliti maka dari indikator yang ada dapat dilakukan penilaian kinerja produktivitas dengan metode Objective Matrix (OMAX).

Produktivitas tidak hanya dilihat dari jumlah produk yang dihasilkan saja, tetapi banyak faktor yang dapat dijadikan sebagai parameter atau kriteria produktivitas untuk mengukur produktivitas. Parameter tersebut dapat dilihat dari input, proses, dan output produksi. Salah satu metode untuk mengukur tingkat produktivitas yaitu metode Objective Matrix (OMAX). Pemilihan metode OMAX pada penilaian kinerja produktivitas ini karena metode OMAX mudah diterapkan pada sistem yang ada di suatu unit produksi, dapat memberikan gambaran mengenai produktivitas suatu unit produksi, dan memberikan perbaikan di masa yang akan datang. Hasil akhir dari metode OMAX berupa nilai produktivitas yang dapat menunjukkan keadaan produktivitas di *Greenhouse*, apakah produktivitasnya menurun atau meningkat.

Penilaian kerja pada pertanian berbasis *Greenhouse* dengan menggunakan metode Objective Matrix memiliki beberapa kepentingan penting. Pengukuran Kinerja yang Jelas: Metode Objective Matrix membantu dalam mengukur kinerja dengan jelas dan obyektif. Dengan memetakan tujuan dan sasaran yang spesifik ke dalam matriks objektif, kinerja dapat diukur berdasarkan indikator yang terukur dan terkait dengan pencapaian tujuan pertanian berbasis *Greenhouse*.

Fokus pada hasil dan kontribusi: Metode Objective Matrix memungkinkan penilaian kinerja difokuskan pada hasil yang dihasilkan dan kontribusi individu atau tim terhadap tujuan

pertanian. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi tingkat kontribusi individu, keberhasilan mencapai tujuan, dan perbaikan yang mungkin diperlukan dalam pencapaian hasil yang diharapkan.

Penggunaan Metode Penilaian Kinerja *Greenhouse* berdasarkan KPI

Penilaian Kinerja Produktivitas

Penilaian kinerja produktivitas untuk indikator kinerja efisiensi, kualitas dan kapasitas merupakan hasil perhitungan antara Mei 2021 s.d November 2022 pada *Greenhouse* Pandanaran. Rentang waktu tersebut merupakan awal dari dilakukan produksi pertama kali pada *Greenhouse* Pandanaran sampai dengan penelitian dilakukan (data sekunder). Hal ini diharapkan dapat secara lengkap menggambarkan proses produksi yang dilakukan *Greenhouse*.

Perhitungan Ratio

Data kriteria produktivitas yang telah terkumpul selanjutnya dikonversikan menjadi nilai rasio sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya.

Penentuan Nilai Sasaran

Menurut (Mahmudi 2014) dalam menentukan nilai sasaran dari setiap kriteria produktivitas, nilai sasaran ini merupakan nilai tertinggi dari setiap rasio dan menunjukkan

perkiraan performansi terbaik yang dapat dicapai selama rentang waktu yang akan datang dengan kondisi dan ketersediaan sumber daya yang sama pada saat proses pengukuran produktivitas.

Hal yang penting dalam pembentukan Objective Matrix adalah penentuan skala yang mampu menggambarkan level performansi dari setiap unit kerja yang menjadi indikator produktivitas. Pada model Objective Matrix, level yang digunakan sebagai titik acuan terdiri dari 3 level, yaitu Level 0, Level 3 dan Level 10. Didalam menentukan nilai produktivitas setiap rasio dengan mengalikan skor yang didapat dengan bobot yang diberikan.

Perhitungan Produktivitas per Bulan

Setelah didapatkan nilai produktivitas rata-rata dari *Greenhouse* Pandanaran kemudian dilakukan perhitungan produksi per bulan sesuai dengan data produksi yang ada pada *Greenhouse* Pandanaran. Nilai tersebut diperoleh dengan melakukan perhitungan ratio pada masing-masing bulan. Hasil ratio yang didapatkan setiap bulan kemudian dicocokkan dengan nilai produktivitas standar (Tabel 5) untuk mengetahui nilai skor dari masing-masing ratio pada setiap bulan. Sedangkan untuk mendapatkan nilai akhir, kemudian skor yang didapat dikalikan dengan bobot sehingga didapatkan nilai produktivitas setiap bulan. Berikut ini adalah nilai produktivitas dari Mei 2021 sampai dengan November 2022.

Tabel 4 Klasifikasi Bobot Level Teknologi dan Level Visualisasi

Level Visualisasi	Bobot Kuosioner	<i>Sampel Greenhouse</i>			
Level 3	1				
Level 2	0,75			5	
Level 1	0,50		1,2,4,7	3,6	
Level 0	0,25				
Bobot Kuosioner		0	0,2 0,4	0,6 0,8	1
Level Teknologi		Level 0	Level 1	Level 2	Level 3

Tabel 5 Nilai Produktivitas Standar

Ratio 1	Ratio 2	Ratio 3	Ratio 4	Ratio 5	Ratio 6	Ratio 7	Ratio 8	Ratio 9	Ratio 10	Productivity / Criteria
1,56	1,38	0,75	0,000270	0,00022	187,14	165,69	0,030	0,29	0,58	<i>Performance</i>
5,36	4,83	2,39	0,001090	0,00078	643,60	579,00	0	0,86	0,86	10
4,82	4,34	2,16	0,000973	0,00070	578,39	519,96	0,004	0,78	0,82	9
4,27	3,84	1,92	0,000856	0,00062	513,18	460,91	0,009	0,70	0,78	8
3,73	3,35	1,69	0,000739	0,00054	447,97	401,87	0,013	0,62	0,74	7 <i>Score</i>
3,19	2,86	1,45	0,000621	0,00046	382,77	342,82	0,017	0,54	0,70	6
2,65	2,37	1,22	0,000504	0,00038	317,56	283,78	0,021	0,46	0,66	5
2,10	1,87	0,98	0,000387	0,00030	252,35	224,73	0,026	0,38	0,62	4

1,56	1,38	0,75	0,000270	0,00022	187,14	165,69	0,030	0,29	0,58	3	
1,04	0,92	0,50	0,000180	0,00015	124,76	110,46	0,070	0,20	0,51	2	
0,52	0,46	0,25	0,000090	0,00007	62,38	55,23	0,100	0,10	0,43	1	
0	0	0	0	0	0	0	0,140	0	0,36	0	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Skor	
11	11	11	9	9	10	10	10	9	10	Bobot	
33	33	33	27	27	30	30	30	27	30	Nilai	
<i>Performance Indicator</i>									<i>Current</i>	<i>Previous</i>	<i>Index</i>
300											

Nilai overall productivity tertinggi dihasilkan pada November 2022. Adapun dari data produksi dapat dilihat bahwa hasil yang dominan dari panen ikan (579 kg) yang merupakan hasil panen terbesar dalam rentang waktu penilaian kinerja yang dilakukan. Adapun hasil ini merupakan perubahan dari fokus budidaya yang dilakukan pada *Greenhouse* Pandanaran dimana fokus budidaya yang dilakukan adalah dengan melakukan budidaya ikan dengan jangka waktu pendek (1 sampai 2 bulan) sudah siap panen dengan penebaran bibit ikan remaja. Adapun budidaya sayur hanya difokuskan pada satu jenis tanaman budidaya yaitu kangkung. Sedangkan metode budidaya seluruhnya menggunakan akuaponik tanpa menggunakan hidroponik. Dengan metode tersebut ternyata didapatkan hasil paling tinggi dari *overall productivity* yang diperoleh. Data produktivitas *Greenhouse* Pandanaran dapat dilihat pada Tabel 6.

Penilaian kinerja pada setiap Key Performance Indicators (KPI)

Penilaian Kinerja KPI Efisiensi

KPI Efisiensi merupakan penjumlahan nilai dari Ratio 1 sampai dengan Ratio 7 yang

digunakan untuk menentukan indikator efisiensi pada budidaya di *Greenhouse* Pandanaran. Sedangkan nilai efisiensi standar diperoleh dari nilai penjumlahan pada nilai produktivitas standar pada ratio 1 sampai dengan 7 ($33+33+33+27+27+30+30 = 213$). Adapun data Rerata Efisiensi dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari tabel nilai Rerata Efisiensi dapat dilihat jika terjadi pola yang sama pada beberapa bulan sebelum mencapai nilai Rerata Efisiensi diatas rata-rata. Pada Juli s.d September 2021 nilai Rerata Efisiensi berada dibawah rata-rata sebelum mencapai nilai diatas rata-rata pada Oktober 2021. Begitu pula yang terjadi pada November 2021, Desember 2021 dan Januari 2022 nilainya berada dibawah standar sebelum kemudian berada diatas standar pada Februari 2022.

Kemudian yang terlama adalah pada Maret s.d Juli 2022 dimana selama lima bulan berturut turut nilai Rerata Efisiensi berada dibawah nilai rata-rata sebelum kemudian pada Agustus 2022 mencapai nilai diatas rata-rata.

Tabel 6 Nilai produktivitas *Greenhouse* Pandanaran

Tahun	Bulan	Rerata Prod (poin)	Indeks Perubahan Prod Stdr (%)	Indeks Perubahan Terhadap Prod Sebelum (%)	Tahun	Bulan	Rerata Prod (poin)	Indeks Perubahan Prod Stdr (%)	Indeks Perubahan Terhadap Prod Sebelum (%)
2021	Mei	388	29,33	0	2022	Januari	302	0,67	24,28
	Juni	370	23,33	-4,64		Februari	552	84	82,78
	Juli	264	-12	-28,65		Maret	100	-66,67	-81,88
	Agustus	300	0	13,64		April	234	-22	134
	September	243	-19	-19,00		Mei	180	-40,00	-23,08
	Oktober	427	42,33	75,72		Juni	270	-10,00	50,00
	November	190	-36,67	-55,50		Juli	251	-16	-7,04
	Desember	243	-19	27,89		Agustus	582	94	131,87
						September	518	72,67	-11,00
						Oktober	502	67	-3,09
						November	626	108,67	24,70

Tabel 7 Nilai Rerata Efisiensi dan kualitas pada *Greenhouse* Pandanaran

Tahun	Bulan	Rerata Efisiensi	Standar Efisiensi	Rerata Kualitas	Standar Kualitas
2021	Mei	287	213	30	30
	Juni	323	213	20	30
	Juli	119	213	0	30
	Agustus	154	213	10	30
	September	176	213	0	30
	Oktober	258	213	100	30
	November	62	213	100	30
	Desember	71	213	100	30
	Januari	112	213	100	30
	Februari	363	213	100	30
	Maret	0	213	100	30
	April	126	213	100	30
2022	Mei	41	213	100	30
	Juni	71	213	100	30
	Juli	52	213	100	30
	Agustus	384	213	100	30
	September	380	213	100	30
	Oktober	354	213	100	30
	November	468	213	100	30

Penilaian Kinerja KPI Kualitas

Penilaian KPI Kualitas merupakan hasil dari Ratio 8 dimana pada Ratio 8 dihitung perbandingan antara produk reject dengan produk yang diterima (*accept*). Sedangkan nilai standar kualitas didapatkan dari nilai produktivitas standar ratio 8 (30). Dari hasil Rerata Kualitas per bulan dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada tabel nilai rerata kualitas dapat dilihat bahwa hanya pada 5 bulan pertama terdapat produk *reject*, yaitu produk sayuran yang gagal panen. Hal ini disebabkan karena beberapa sayuran yang dibudidayakan tidak dapat tumbuh dengan baik karena kekurangan nutrisi. Pada bulan selanjutnya diketahui bahwa seluruh hasil panen sayuran dapat diterima (*accept*). Selain dikarenakan penguasaan metode budidaya, jenis budidaya sayuran yang dipilih yang awalnya membudidayakan berbagai jenis sayuran (selada, bayam, pokcoy, kangkung, caeshim, takecai) diubah hanya menjadi satu jenis komoditas saja yaitu kangkung sehingga peluang untuk terjadinya product *reject* menjadi berkurang.

Penilaian Kinerja KPI Indeks Kapasitas

KPI Indeks Kapasitas diperoleh dari perhitungan Ratio 9 dan Ratio 10. Semakin tinggi nilai indeks kapasitas yang diperoleh maka dapat diartikan bahwa kapasitas *Greenhouse* semakin

terisi penuh. Kedua ratio tersebut berkenaan dengan jumlah kapasitas terpakai dari meja tanam sayuran yang terpakai (Ratio 9) dan kolam budidaya ikan yang terisi (Ratio 10). Sedangkan nilai standar indeks kapasitas didapatkan dari nilai produktivitas standar ratio 9 dan ratio 10 ($27+30 = 57$). Pada *Greenhouse* Pandanaran di Mei 2021 nilai Rerata Indeks Kapasitas didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

Nilai Ratio 9 Mei 2021: 0,73 (diperoleh dari jumlah meja tanam sayur terpakai dibagi jumlah meja tanam sayur seluruhnya). Nilai Ratio 10 Mei 2021: 0,36 (diperoleh dari jumlah kolam ikan terpakai dibagi jumlah kolam ikan seluruhnya). Didapatkan nilai ratio 9 (dari tabel 5) adalah 72 dan ratio 10 adalah 0. Sehingga didapatkan nilai total adalah $72 + 0 = 72$. Kapasitas setiap bulannya dapat dilihat pada Tabel 8.

Pada tabel nilai rerata indeks kapasitas diketahui bahwa hanya pada beberapa bulan saja nilai rerata indeks kapasitas berada dibawah nilai rata-rata. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. November 2021 merupakan periode setelah panen budidaya ikan yang pertama (Oktober 2021) sehingga belum dilakukan penebaran bibit ikan kembali pada kolam budidaya.
2. Maret dan April 2022 merupakan periode libur dimana proses produksi dihentikan

sementara waktu (hanya terdapat sedikit kolam budidaya ikan) sedangkan pada April 2022 adalah masa transisi untuk dimulainya proses produksi kembali.

3. Pada September dan Oktober 2022 merupakan periode dimana fokus budidaya dilakukan untuk budidaya ikan sehingga terdapat banyak meja tanam sayuran yang tidak terpakai yang menyebabkan nilai Rerata Indeks Kapasitas berada dibawah rata-rata. Adapun penyebab tidak dapat dilakukan pemenuhan meja tanam sayuran berkenaan dengan tekanan air yang keluar dari pompa yang tersirkulasi. Ketika valve dibuka untuk mengalirkan air dari kolam ikan maka tekanan air akan berkurang yang menyebabkan sirkulasi menjadi lebih

lambat. Hal ini akan berpengaruh pada mortalitas budidaya ikan.

Penilaian Kinerja KPI Lingkungan Kerja (Work Environment)

Perhitungan %CVL diperoleh dari perhitungan menggunakan Persamaan (1). Data diperoleh dari pengukuran denyut nadi kerja dan denyut nadi istirahat pekerja *Greenhouse* Pandanaran, nilainya dapat dilihat pada Tabel 9.

Dari perhitungan uji kecukupan data dan uji keseragaman data didapatkan hasil bahwa data yang diambil telah valid. Hasil perhitungan %CVL dilakukan pengambilan data pada

September s.d November 2022.

Tabel 8 Nilai Rerata Indeks Kapasitas pada *Greenhouse* Pandanaran

Tahun	Bulan	Rerata Ind. Kapasitas	Std Ind. Kapasitas
2021	Mei	71	57
	Juni	27	57
	Juli	144	57
	Agustus	136	57
	September	68	57
	Oktober	70	57
	November	28	57
	Desember	71	57
	Januari	89	57
	Februari	89	57
	Maret	0	57
	April	9	57
2022	Mei	39	57
	Juni	99	57
	Juli	99	57
	Agustus	99	57
	September	39	57
	Oktober	48	57
	November	59	57

Tabel 9 Perhitungan %CVL

Bulan	Nilai %CVL Rata-rata	Keterangan
Sep-22	16,48	Tidak terjadi kelelahan pada saat pekerja melakukan tugasnya
Okt-22	15,64	Tidak terjadi kelelahan pada saat pekerja melakukan tugasnya
Nov-22	17,3	Tidak terjadi kelelahan pada saat pekerja melakukan tugasnya

Tabel 10 Nilai RPR, MPR dan KPI Perawatan

Bulan	Nilai RPR	Nilai MPR	KPI Perawatan
Sep-22	0,66	0,007	Wajar
Okt-22	0,4	0,003	Baik
Nov-22	0,83	0,012	Wajar

Tabel 11 Nilai 5 KPI pada Bulan September s.d November 2022 *Greenhouse* Pandanaran

Bulan	KPI Efisiensi	Std KPI Efisiensi	KPI Kualitas	Std KPI Kualitas	KPI Ind Cap	Std. KPI Ind Cap	KPI Lingk Kerja	KPI Perawatan
Sep-22	380	213	100	30	39	57	16,48	Wajar
Okt-22	354	213	100	30	48	57	15,64	Baik
Nov-22	468	213	100	30	59	57	17,30	Wajar

Penilaian Kinerja KPI Perawatan

Pada Penilaian Kinerja KPI Perawatan pada *Greenhouse* Pandanaran dilakukan pada periode September s.d November 2022. Perhitungan didapatkan menggunakan Persamaan (2) dan (3).

Berikut ini perhitungan RPR dan MPR September 2022.

$$RPR = \frac{18}{8} \times \frac{7}{4} \times \frac{100.000}{600.000} = 0,66$$

$$MPR = \frac{18 + 8}{694} \times \frac{7 + 4}{5} \times \frac{100.000 + 600.000}{8.608.500} = 0,007$$

Perawatan secara rutin ($T_{proactive}$) dilakukan dalam jangka waktu satu minggu sekali pada hari Minggu. Waktu yang dibutuhkan dalam melakukan perawatan proaktif adalah 2 jam. Dari data maintenance *Greenhouse* Pandanaran didapatkan nilai Reaktif-Proaktif Ratio (RPR) dan Maintenance-Production Ratio (MPR) dapat dilihat pada Tabel 10.

Nilai 5 KPI pada September s.d November 2022

Dari Key Performance Indikator (KPI) for Agriculture yang meliputi 5 macam yaitu KPI efisiensi, kualitas, indeks kapasitas, lingkungan kerja dan perawatan maka nilai dari kelima yang dilakukan perhitungan pada September s.d November 2022 (3 bulan) dapat dilihat pada Tabel 11.

1. Pada KPI Efisiensi di September, Oktober dan Desember 2022 telah berada jauh diatas nilai standar efisiensi. Pada November 2022 merupakan nilai KPI Efisiensi tertinggi dari *Greenhouse* Pandanaran.
2. Pada KPI Kualitas, pada 3 Bulan tersebut telah berada diatas standar
3. Pada nilai KPI Indeks Kapasitas, diketahui bahwa nilai di September dan Oktober 2022 berada dibawah standar (tidak adanya

penanaman sayuran pada meja tanam). Hanya nilai di November yang melebihi standar.

4. Pada KPI Lingkungan Kerja dapat disimpulkan bahwa pekerja tidak mengalami kelelahan pada saat melakukan tugasnya di *Greenhouse* Pandanaran.
5. Pada KPI Perawatan, pada September s.d November 2022 penilaian secara berturut-turut wajar, baik dan wajar

KESIMPULAN

Metode Penilaian Kinerja dengan dasar KPI dengan mengintegrasikan *Smart Agriculture Technology Map* dan Metode OMAX dalam mengukur produktivitas dapat menggambarkan kondisi *Greenhouse* secara obyektif. Hal ini dapat dibuktikan dari perubahan metode budidaya yang dilakukan selama proses produksi dapat digambarkan oleh hasil penilaian kinerja dengan Metode OMAX. Hasil penerapan metode tersebut menunjukkan bahwa penilaian produktivitas yang dilakukan dari Mei 2021 s.d November 2022 menunjukkan terdapat 11 bulan yang berada sama dengan atau diatas produktivitas standar. Rerata produktivitas tertinggi dicapai pada November 2022 Hasil aplikasi penggunaan metode OMAX yang dilakukan di *Greenhouse* Pandanaran dalam penilaian KPI yang dihasilkan pada Agustus s.d November 2022 (menunjukkan nilai KPI rerata tertinggi dari efisiensi, kualitas, indeks kapasitas) dalam pengelolaan *Greenhouse* Akuaponik dapat direkomendasikan penggunaan satu jenis komoditas sayur yaitu kangkung serta pada metode akuaponik fokus utama adalah untuk memastikan budidaya ikan dapat berjalan dengan baik. Hal ini disebabkan dari hasil perhitungan ratio bahwa kontribusi dari hasil panen ikan lebih signifikan. Dalam bidang akademik penelitian ini dapat digunakan sebagai langkah awal dalam pengembangan sistem *greenhouse* akuaponik sebagai suatu manufaktur untuk memproduksi ikan dan sayuran pada skala industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Program Magister Teknologi Industri Pertanian, Laboratorium Sistem Produksi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Jajaran Pengelola *Greenhouse* Akuaponik Pandanaran, Desa Batusari, Kecamatan Ngawen, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Y., Zhang, X., Yuan, Y., and Cui, Z. 2019. An integrated key performance indicator evaluation framework for evaluating sustainable greenhouse crop production. *Journal of Cleaner Production*, 234, 56-68.
- Egea, G., Font, R., and Sánchez, B. 2020. Greenhouse key performance indicators for sustainable agriculture. *Acta Horticulturae*, 1270, 63-68.
- Ferreira, S, F. J. G. Silva, R. B. Casais, M. T. Pereira, L. P. Ferreira. 2019. KPI development and obsolescence management in industrial maintenance. 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2019), June 24-28, 2019, Limerick, Ireland. Published by Elsevier B.V.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. 2013. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Liu, X., Gao, Y., Li, J., and Ma, J. 2018. Evaluation of key performance indicators for greenhouse production. *Energy Procedia*, 153, 294-299.
- Mahmudi, B. Surarso, and A. Subagio. 2014. Kombinasi Balanced Scorecard dan Objective Matrix Untuk Penilaian Kinerja Perguruan Tinggi. *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 4, no. 1, pp. 1-10, 2014, <https://doi.org/10.21456/vol4iss1pp01-10>
- Mishra, P., Tripathi, S., Sivakumar, R., Prakash, R., and Kim, K. H. 2019. Internet of Things (IoT)-enabled smart farming: A potential solution
- Nurmaydha, A. 2017. Analisis Produktivitas Pada Bagian Produksi Gondorukem dan Terpenting Menggunakan Metode Objective Matrix (Omax) (Studi Kasus Di Pgt Sukun Ponorogo Kesatuan Bisnis Mandiri Industri Non Kayu (KBM-INK) Perum Perhutani Unit II Jawa Timur). *Agroindustrial Technology Journal*, 1(1), 43-55. Retrieved from <https://ejournal.unida.gontor.ac.id/index.php/atj/article/view/1839>.
- Setiadi, I. 2014. Analisis Produktivitas Sektor Kebun PT. Perkebunan Nusantara XII (Persero) Wonosari Lawang Malang Dengan Menggunakan Craig-Harris Productivity Model. *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- Utomo, T.S, Trisakti, B, Sunyoto, A, Sugiono, T, Masykuri, AM. 2021. Development of Smart Agriculture Keizen Level (SAKL) for Precision Farming in Indonesia. *The International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20171204.2811>
- Washizu, A and Nakano, S. 2022. Exploring the characteristics of smart agricultural development in Japan: Analysis using a smart agricultural kaizen level technology map. Published by Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107001>