

PEMANFAATAN BERBAGAI SENSOR DALAM MANAJEMEN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Muhammad Muzakky Al Maududy, Koko Mardianto, dan Agus Susanto

Abstrak - Perkembangan industri saat ini sudah memasuki era industri 4.0 yang berbasis pada digitalisasi, sehingga akan mempengaruhi semua sendi kehidupan termasuk industri perkebunan kelapa sawit. Pemanfaatan digitalisasi berbasis pada aplikasi *Internet of Things (IoT)* sangat dibutuhkan untuk peningkatan efisiensi industri perkebunan kelapa sawit. Salah satu tulang punggung pemanfaatan IoT adalah teknologi sensor. Teknologi yang dapat dimanfaatkan di dalam industri perkebunan kelapa sawit antara lain sensor suhu yang dapat dimanfaatkan sebagai pendeteksi hama, sensor warna yang dapat dimanfaatkan sebagai pendeteksi kematangan buah, sensor aroma untuk mendeteksi penyakit *Ganoderma* atau reseptifitas bunga kelapa sawit, sensor gerak untuk mendeteksi serangan babi hutan, sensor pH digunakan untuk mendeteksi tingkat kesuburan tanah, sensor cahaya untuk pengaturan penerangan kebun, sensor jarak digunakan pada pemetaan, sensor mekanik yang dapat digunakan dalam proses sortasi buah. Teknologi sensor masih sangat banyak jenisnya dan kemungkinan dapat dimanfaatkan dalam industri kelapa sawit.

Kata kunci: digitalisasi, *internet of things*, perkebunan kelapa sawit, teknologi sensor

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit di Indonesia dimulai sejak tahun 1848 yang ditandai dengan ditanamnya 4 biji kelapa sawit di Kebun Raya Bogor. Perkembangan terpesat luasan perkebunan kelapa sawit dimulai pada tahun 1990-an dan mencapai puncaknya pada tahun 2019 dengan luas total 16,38 juta hektar (Kepmentan, 2019). Dengan posisi ini menempatkan Indonesia sebagai produsen CPO terbesar di dunia. Dalam pengelolaan industri kelapa sawit juga mengikuti perkembangan industri secara umum yaitu industri 4.0 yang berbasis pada digitalisasi (Nayantakaningtyas & Daryanto, 2012).

Dalam rangka meningkatkan efisiensi sistem produksi, penerapan *Internet of Things (IoT)* dalam hal ini teknologi sensor menjadi hal yang sangat penting. Teknologi sensor sudah banyak dimanfaatkan di luar industri kelapa sawit, sehingga hal ini menjadi dasar pemanfaatannya di industri kelapa sawit.

Teknologi sensor merupakan penghubung antarmuka antara dunia fisik dan dunia perangkat listrik yang berfungsi mengubah fenomena fisika seperti aroma atau cahaya menjadi signal listrik yang dapat dibaca. Teknologi sensor telah berkembang sangat pesat di abad ke-21 ini, teknologi sensor sangat relevan pada hampir semua aspek kehidupan. Saat ini teknologi sensor dimanfaatkan pada dunia industri misalnya kegiatan industri kontrol kualitas, pemantauan dan analisa. Kemampuan teknologi sensor untuk merasakan, mencium, mendengar, berpikir dan berkomunikasi sangat mengagumkan sehingga kehadirannya dapat mempermudah proses pekerjaan menjadi lebih cepat, konsisten dan terukur.

Sensor adalah alat untuk mendeteksi/mengukur sesuatu, yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik (Link, 1993). Dalam penerapannya sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya (Petruzella, 1996).

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Muhammad Muzakky Al Maududy (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamsno No. 51 Medan, Indonesia
Email: zakkyholmes@gmail.com

JENIS – JENIS SENSOR

Sensor Cahaya

Sensor cahaya adalah suatu perangkat fotolistrik yang berfungsi mengubah energi cahaya (foton) menjadi energi listrik (elektron). Beberapa jenis sensor cahaya adalah Fotoresistor, Fotodioda, Fototransistor dan Detektor *cryogenic*. Fotoresistor memiliki elemen semi konduktor kadmium sulfida yang sangat sensitif terhadap cahaya tampak dan inframerah. Fotoresistor bekerja mirip dengan resistor biasa namun perubahan resistansinya bergantung pada jumlah cahaya yang diterimanya (Supatmi, 2011). Fotodioda terbuat dari bahan silikon dan germanium yang terdiri dari filter optik, lensa, dan area permukaan. Fotodioda bekerja berdasarkan prinsip efek fotolistrik dimana ketika seberkas cahaya mengenai fotodioda, elektron akan terpelempar sehingga terbentuk lubang elektron dan pergerakan inilah yang kemudian menyebabkan terbentuknya arus listrik (Oktaviany & Wildian, 2016). Fototransistor dapat kita definisikan sebagai penggabungan antara penguat dengan fotodioda. Dengan amplifikasi tambahan, sensitivitas cahaya fototransistor jauh lebih baik dari pada fotodioda, namun tidak cukup baik dalam mendeteksi tingkat cahaya rendah. Detektor *cryogenic* adalah perangkat elektronika yang dapat mengukur energi dari sinar-x, paket energi radiasi elektromagnetik (foton), cahaya terlihat dan inframerah (Sadi, 2015).

Sensor pH

Sensor pH adalah salah satu alat yang biasa digunakan untuk mengukur kualitas air. Sensor jenis ini mampu mengukur jumlah alkalinitas dan keasaman dalam air dan larutan lainnya. Sensor pH biasa dipakai untuk memastikan keamanan, kualitas produk dan proses yang terjadi di dalam air limbah atau pabrik (Hafidz, 2015). Prinsip kerja sensor pH yaitu pada elektrode kaca yang memiliki ujung berbentuk bulat (*bulb*) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran ion positif (H^+), pertukaran ion menyebabkan adanya beda tegangan antara dua elektrode sehingga pembacaan potensiometer akan menghasilkan positif atau negatif (Wicaksono et al., 2017).

Sensor Jarak

Sensor jarak atau Proximity Sensor adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan suatu benda tanpa kontak fisik ketika benda memasuki lingkup sensor. Sensor jarak digunakan di telepon, mobil tanpa pengemudi, sistem antipesawat, dan industri. Ada banyak jenis sensor jarak, dan masing-masing mendeteksi benda dengan cara yang berbeda. Sensor jarak dapat di bagi menjadi 4 jenis berdasarkan jenis material yang digunakan yaitu: Sensor Jarak Induktif (*Inductive Proximity Sensor*), Sensor Jarak Kapasitif (*Capacitive Proximity Sensor*), Sensor Jarak Ultrasonik (*Ultrasonic Proximity Sensor*), Sensor Jarak Fotolistrik (*Photoelectric Proximity Sensor*) (Widyaningrum et al., 2020).

Sensor Suhu

Sensor suhu adalah perangkat elektronik yang dapat mendeteksi dan mengukur perubahan panas pada suatu benda yang kemudian diubah menjadi sinyal elektrik. Ada banyak jenis sensor suhu. Beberapa sensor suhu memerlukan kontak langsung dengan benda yang akan diukur suhunya (sensor suhu kontak), sementara yang lain secara tidak langsung mengukur suhu suatu benda (sensor suhu non-kontak). Sensor suhu non-kontak biasanya merupakan sensor inframerah (IR). Sensor inframerah dari jarak jauh dapat mendeteksi energi IR yang dipancarkan oleh suatu objek dan mengirim sinyal ke sirkuit elektronik yang kemudian menentukan suhu objek. Pengembangan dari sensor inframerah untuk mendeteksi suhu adalah kamera termal. Kamera termal terdiri dari lensa, sensor termal, dan rumah mekanis. Lensa memfokuskan energi inframerah ke sensor. Panas yang dirasakan oleh kamera inframerah dapat diukur dengan sangat presisi, yang memungkinkan untuk berbagai macam aplikasi. Kamera termal FLIR dapat mendeteksi panas dengan tingkat ketelitian $0,01^{\circ}C$ dan menampilkannya sebagai bayangan abu-abu. Di antara sensor suhu kontak adalah termokopel dan termistor. Termokopel terdiri dari dua konduktor, masing-masing terbuat dari jenis logam berbeda, yang disambungkan di ujungnya untuk membentuk sambungan. Termistor lebih akurat daripada termokopel (mampu mengukur hingga $0,05^{\circ}C$), dan terbuat dari keramik atau polimer (Jaelani & Mamahit, 2015).

Sensor Mekanik

Sensor mekanik (*Mechanical Sensor*) adalah perangkat elektronika yang hambatan listriknya berubah secara reversibel sesuai dengan gerakan mekanis dari suatu objek. Berikut ini beberapa jenis Sensor Mekanik yang sering ditemukan dalam rangkaian elektronika ataupun peralatan listrik beserta penjelasan singkatnya:

1) Sensor Gerak

Sensor gerak adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur gerakan. Ada dua jenis sensor gerak: sensor gerak aktif dan sensor gerak pasif. Sensor gerak aktif memiliki pemancar dan penerima. Jenis sensor ini mendeteksi gerakan dengan mengukur perubahan jumlah gelombang suara atau radiasi yang dipantulkan kembali ke penerima. Jenis Sensor gerak aktif yang paling umum menggunakan teknologi sensor ultrasonik; sensor gerak ini memancarkan gelombang suara untuk mendeteksi keberadaan benda. Ada juga sensor gelombang mikro (yang memancarkan radiasi gelombang mikro), dan sensor tomografi (yang memancarkan dan menerima gelombang radio). Tidak seperti sensor gerak aktif, sensor gerak pasif tidak memiliki pemancar. Sensor mendeteksi gerakan berdasarkan peningkatan radiasi yang dirasakan di lingkungannya. Jenis sensor gerak pasif yang paling banyak digunakan adalah sensor Passive InfraRed (PIR). Sensor PIR dirancang untuk mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan secara alami dari tubuh manusia.

2) Sensor aliran

Sensor aliran berfungsi untuk mengukur atau mengatur laju aliran cairan dan gas di dalam pipa dan tabung. Sensor ini berguna untuk mendeteksi kebocoran, penyumbatan dan semburan pipa.

3) Sensor Level

Sensor level adalah perangkat elektronika yang dapat mengukur level cairan. Saat level cairan terdeteksi, sensor kemudian mengubah data yang dirasakan menjadi sinyal listrik. Sensor level banyak digunakan dalam dunia industri. Sebagai contoh, mobil menggunakan sensor level cairan untuk bahan bakar, level sensor juga dapat ditemukan di dalam tangki penyimpanan

industri bahkan dapat ditemukan di peralatan rumah tangga seperti mesin pembuat kopi.

4) Sensor Tekanan

Sensor tekanan berfungsi untuk mendeteksi, mengukur tekanan, dan mengubah data fisik yang dirasakan menjadi sinyal elektronik. Sensor tekanan seringkali menggunakan teknologi piezoelektrik, hal ini karena elemen piezoelektrik dapat mengeluarkan muatan listrik yang sebanding dengan tegangan yang dialaminya.

5) Sel Beban (*Load Cell*)

Load cell merupakan jenis sensor yang dapat mengubah gaya menjadi keluaran listrik yang dapat diukur. Load cell bekerja dengan cara mengukur regangan kemudian mengirimkan tegangan dalam keluaran listrik. Beberapa jenis Load Cell diantaranya adalah *Beam Load Cell*, *Single Point Load Cell* dan *Compression Load Cell*.

Sensor Gas

Sensor gas adalah perangkat elektronika yang dapat mendeteksi dan mengukur nilai konsentrasi suatu gas. Sensor gas menghasilkan beda potensial berdasarkan nilai resistansi material di dalam sensor yang dapat diukur sebagai tegangan keluaran. Berdasarkan nilai tegangan ini jenis dan konsentrasi gas dapat diperkirakan. Karena sensor gas terus berinteraksi dengan udara dan gas lainnya, sensor tersebut harus lebih sering dikalibrasi daripada jenis sensor lainnya. Sensor gas sering kali merupakan bagian dari sistem yang lebih besar, seperti sistem keamanan, dan biasanya terhubung ke alarm atau perangkat peringatan lainnya. (Iqbal, 2019).

Sensor Hujan

Sensor hujan merupakan perangkat switching yang digunakan untuk mendeteksi curah hujan. Prinsip kerjanya sama seperti sebuah saklar dimana setiap kali terjadi hujan, saklar tersebut akan tertutup secara otomatis. Aplikasi sensor hujan dapat kita temukan pada mode penghapus hujan kaca depan mobil. Di negara maju, sensor ini juga telah digunakan dalam sistem irigasi non konvensional untuk mematikan sistem jika terjadi hujan.

Sensor Suara

Sensor suara didefinisikan sebagai perangkat yang mampu mendeteksi gelombang suara dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sensor suara bekerja mirip dengan telinga kita, yaitu memiliki diafragma yang mengubah getaran menjadi sinyal. Namun, yang berbeda adalah sensor suara terdiri dari mikrofon kapasitif internal, detektor puncak, dan amplifier yang sangat sensitif terhadap suara. Dimana gelombang suara yang merambat melalui molekul udara menyebabkan diafragma pada mikrofon bergetar sehingga mengakibatkan perubahan kapasitansi. Perubahan kapasitansi kemudian diperkuat dan ditampilkan dalam besaran listrik.

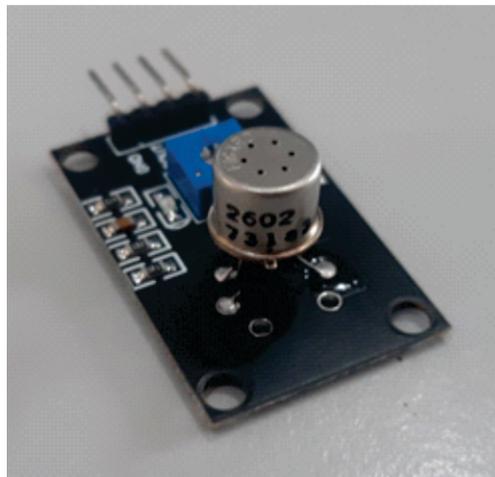
Sensor Giroskop

Sensor giroskop berfungsi untuk memantau pergerakan, baik gerakan miring, rotasi, guncangan maupun ayunan sesuai dengan gravitasi berdasarkan pada ketetapan momentum sudut. Output yang dihasilkan oleh sensor ini berupa nilai kecepatan sudut pada sumbu x yang ditampilkan

sebagai $\phi(\Phi)$, sumbu y sebagai $\theta(\theta)$, dan sumbu z sebagai $\psi(\psi)$ sehingga dapat menggambarkan perubahan sudut atas perubahan waktu. Dalam penggunaannya, umumnya sensor giroskop dintergrasikan dengan sensor accelerometer hal ini karena sudut kemiringan yang didapatkan dari data giroskop mempunyai penyimpangan selama periode waktu tertentu sedangkan sensor accelerometer memiliki waktu respon yang lambat dalam menghitung sudut kemiringan. Dapat dikatakan bahwa data pada accelerometer berguna untuk jangka panjang sedangkan giroskop digunakan untuk jangka pendek.

Sensor Warna

Sensor warna adalah jenis sensor fotoelektrik yang memancarkan cahaya dari pemancar, dan kemudian mendeteksi cahaya yang dipantulkan kembali dari objek deteksi melalui receiver. Sensor warna dapat mendeteksi intensitas cahaya yang diterima masing-masing untuk merah, biru dan hijau, sehingga memungkinkan untuk menentukan warna objek target.



Gambar 1. Sensor gas TGS

Sensor Kelembaban

Sensor kelembaban adalah perangkat elektronik yang dapat mengukur kelembaban di lingkungannya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sensor kelembaban sangat bervariasi dalam ukuran dan fungsinya. Beberapa sensor kelembaban dapat

ditemukan di perangkat genggam (seperti *smartphone*), sementara yang lain diintegrasikan ke dalam sistem tertanam yang lebih besar (seperti sistem pemantauan kualitas udara). Salah satu jenis sensor kelembaban yang sangat populer adalah Sensor DHT11. DHT11 adalah sensor suhu dan

kelembaban digital yang cukup murah. Sensor ini menggunakan sensor kelembaban kapasitif dan termistor untuk mengukur udara di sekitarnya (Adiptya & Wibawanto, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor memegang peranan penting bagi kemajuan sebuah industri tidak terkecuali industri kelapa sawit. Dengan meningkatkan teknologi pemrosesan bukan hanya mampu menghasilkan produk unggul yang diharapkan pasar namun juga dapat meningkatkan margin perusahaan karena kegagalan user dapat ditekan dan pengelolaan perkebunan dapat dioptimalkan. Sehingga pengaruh perubahan iklim atau pergantian musim tidak memberi dampak yang signifikan terhadap hasil panen. Berikut ini adalah beberapa sensor yang telah diaplikasikan dalam industri kelapa sawit.

Sensor suhu (*thermal*), sensor ini dimanfaatkan untuk *early warning system* (sistem peringatan dini) hama ulat pemakan daun kelapa sawit seperti ulat api dan ulat kantong. Aktivitas dari ulat api maupun ulat kantong yang aktif memakan daun kelapa sawit akan terdeteksi dengan kamera termal yang dijalankan menggunakan drone (UAV) sedangkan tanaman yang sehat tidak menunjukkan gambar yang sama dengan yang terserang hama. Sensor ini juga dapat membedakan intensitas serangan ulat pemakan daun kelapa sawit tersebut. Dengan aplikasi UAV+ sensor termal dapat mendata areal kelapa sawit yang sangat luas dalam waktu yang relatif singkat. Dengan demikian hama ulat pemakan daun kelapa sawit dapat dikendalikan secara tepat (Wiratmoko et al., 2018).

Selain sensor suhu, sensor warna juga dipakai di industri kelapa sawit. Sensor warna digunakan untuk pendeteksian tingkat kematangan buah yang dipanen untuk memprediksi rendemen minyak kelapa sawit. Langkah pertama yang perlu dicari adalah korelasi antara warna dan kematangan buah dengan prinsip semakin merah atau oranye buah semakin matang. Nilai korelasi antara warna buah yang ditangkap oleh sensor warna dapat diinterpretasikan ke dalam rendemen minyak sawit. Hasilnya dengan memotret tandan dapat diketahui rendemen minyak sawitnya (Fadilah et al., 2012).

Sensor lain yang digunakan di perkebunan kelapa sawit adalah sensor gas untuk mendeteksi secara dini

penyakit *Ganoderma*. Penyakit busuk pangkal batang kelapa sawit yang disebabkan oleh jamur *Ganoderma* merupakan *non diagnostic*, artinya gejala yang muncul belum tentu linier dengan perkembangan penyakit, kadang gejala seringkali tidak muncul tetapi perkembangan penyakit sudah lanjut. Tanaman yang tampak sehat tiba-tiba tumbang dan mengalami kematian (Susanto et al., 2005). Oleh karena itu, dicoba tanaman yang masih bergejala awal dideteksi dengan gas atau aroma yang dihasilkan. Tanaman yang terinfeksi *Ganoderma* akan bereaksi mengeluarkan gas tertentu sehingga gas ini dapat ditangkap oleh sensor sebagai alat pendeteksi. Semakin lanjut tingkat infeksi semakin banyak tanaman menghasilkan gas sehingga lebih mudah dideteksi oleh sensor ini (Kresnawaty et al., 2020). Sensor gas ini juga sedang dikembangkan untuk mendeteksi senyawa estragol yang dihasilkan oleh bunga jantan *anthesis* atau bunga betina reseptik. Dengan diketahuinya kereseptifan bunga sawit maka semakin mudah pengelolaan tanaman kelapa sawit, contohnya kapan waktu yang tepat melakukan *assisted pollination* (penyerbukan bantuan) dan aplikasi teknologi *hatch and carry* dalam peningkatan produktivitas kelapa sawit (Prasetyo et al., 2014).

Sedangkan sensor gerak dapat digunakan untuk mendeteksi material yang lebih besar yaitu serangan hama babi hutan, sapi, maupun pencurian. Sensor ini didesain sedemikian rupa yang bisa diletakkan di lapangan sehingga apabila terdapat serangan hama ataupun gangguan tersebut dapat memberikan informasi kepada asisten perkebunan. Sistem kerja sensor ini mendeteksi objek yang melalui batas deteksi sensor sehingga sensor mengirimkan sinyal deteksi gerak.

Kesuburan tanah merupakan faktor terpenting dalam budidaya kelapa sawit yang mencakup pada kesuburan fisik dan kimia tanah. Untuk mengetahui tingkat kesuburan tanah dapat digunakan beberapa sensor, misalnya sensor pH tanah, sensor warna, dan sensor gas. Sensor pH akan memberikan informasi mengenai tingkat keasaman tanah di perkebunan kelapa sawit sehingga mengetahui perlakuan atau tindakan perawatannya. Sensor warna digunakan untuk melihat defisiensi unsur hara khususnya nitrogen melalui daun dengan melihat tingkatan warna yang tampak. Sedangkan sensor gas digunakan untuk mengukur gas-gas yang dihasilkan oleh dekomposisi

yang tanah gambut untuk mengetahui tingkat kematangan dan kesuburan tanah gambut.

Sensor cahaya di perkebunan kelapa sawit dapat digunakan untuk otomatisasi penerangan perumahan di perkebunan. Selain itu juga dapat digunakan sebagai pengendalian cahaya lampu di perangkat pengendalian hama.

Sensor mekanik juga dapat digunakan pada pengolahan tandan buah sawit di pabrik kelapa sawit. Berikut manfaat sensor mekanik yaitu memilih tandan buah berdasarkan ukuran, menghitung berat sawit, menghitung level cairan pada tangki, dan menghitung debit cairan.

KESIMPULAN

Pengaruh perkembangan industri 4.0 tidak dapat dielakkan karena berdampak pada seluruh sendi kehidupan termasuk industri perkebunan kelapa sawit. Roh industri 4.0 terutama di perkebunan kelapa sawit adalah digitalisasi yang berbasis pada *Internet of Things* (IoT). Salah satu pilar IoT adalah teknologi sensor yang saat ini sedang dan akan terus dikembangkan di perkebunan kelapa sawit. Teknologi sensor yang dapat dimanfaatkan adalah sensor suhu, gas, dan gerak untuk deteksi serangan hama di perkebunan kelapa sawit; sensor pH dimanfaatkan untuk mendeteksi kesuburan tanah; sensor cahaya digunakan untuk manajemen kebun; sensor jarak digunakan untuk pemetaan kebun; dan sensor mekanik dapat digunakan untuk efisiensi di Pabrik Kelapa Sawit. Semua teknologi sensor ini dapat dimanfaatkan untuk efisiensi dan peningkatan produktivitas di perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiptya, M. Y. E., & Wibawanto, H. (2013). Sistem pengamatan suhu dan kelembaban pada rumah berbasis mikrokontroler atmega8. *Jurnal Teknik Elektro*, 5(1), 15-17. doi: <https://doi.org/10.15294/jte.v5i1.3548>
- Andrianto, H. (2015). *Pemrograman mikrokontroler AVR ATmega16 menggunakan bahasa C (Codevision Avr)*. Bandung: Informatika Bandung.
- Hafidz, A. (2015). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Akuarium Otomatis Berbasis Mikrokontroler*. Jakarta: Universitas Nasional.
- Fadilah, N., Mohamad-Saleh, J., Abdul Halim, Z., Ibrahim, H., & Syed Ali, S. S. (2012). Intelligent color vision system for ripeness classification of oil palm fresh fruit bunch. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12(10), 14179–14195. <https://doi.org/10.3390/s121014179>
- Iqbal, Z., & Hermanto, L. (2019). Sistem Monitoring Tingkat Pencemaran Udara Berbasis Teknologi Jaringan Sensor Nirkabel. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 22(1), 10-19. Retrieved from <https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/infokom/article/view/1531>
- Jaelani, I., Sompie, S., & Mamahit, D. (2015). Rancang Bangun Rumah Pintar Otomatis Berbasis Sensor Suhu, Sensor Cahaya, dan Sensor Hujan. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 5(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.35793/jtek.5.1.2016.10770>
- Kresnawaty, I., Mulyatni, A., Eris, D. D., Prakoso, H., Panji, T., Triyana, K., & Widiastuti, H. (2020). Electronic nose for early detection of basal stem rot caused by Ganoderma in oil palm. *Earth and Environmental Science*, 468 (1), 2-8. doi:10.1088/1755-1315/468/1/012029
- Link, W. (1993). *Pengukuran, Pengendalian, dan Pengaturan dengan PC*. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- Menteri Pertanian Republik Indonesia. (2019). Keputusan Menteri Pertanian tentang Penetapan luas tutupan kelapa sawit Indonesia tahun 2019 (Nomor 833/KPTS/SR.020/M/12/2019). Jakarta, D K I : Diakses dari <http://jdih.pertanian.go.id/index.php/main/downloadFile/2550>
- Nyantakaningtyas, J. S., & Daryanto, H.K. (2012). Daya saing dan strategi pengembangan minyak sawit di Indonesia. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 9(3), 197-198. doi: <https://doi.org/10.17358/jma.9.3.194-201>
- Oktavianty, N. U., & Wildian, W. (2016). Rancang Bangun Alat Ukur dan Indikator Kadar Air Gabah Siap Giling Berbasis Mikrokontroler dengan Sensor Fotodioda. *Jurnal Fisika Unand*, 5 (1), 94-

100. doi: <https://doi.org/10.25077/jfu.5.1.94-100.2016>
- Petruzella, F. D. (1996). *Activities manual for industrial electronics*. New York: McGraw Hill.
- Prasetyo, A.E., Purba, W.O., & Susanto, A. (2014). *Elaeidobius kamerunicus*: application of hatch and carry technique for increasng oil palm fruit set. *Journal of Oil Palm Research*, 26(3), 195-197. Retrieved from <http://jopr.mpob.gov.my/elaeidobius-kamerunicus-application-of-hatch-and-carry-technique-for-increasing-oil-palm-fruit-set/>
- Sadi, S. (2015). Rancang Bangun Sistem Eskalator Otomatis Menggunakan Sensor Photodiode dan Infrared (IR) Berbasis Mikrokontroler Atmega32. *Jurnal Dinamika UMT*, 1(1), 71-90. <http://dx.doi.org/10.31000/dinamika.v1i1.511>
- Supatmi, S. (2011). Pengaruh Sensor LDR Terhadap Pengontrolan Lampu. *Jurnal Majalah Ilmiah Unikom*, 8 (2), 175-180. Retrieved from <https://jurnal.unikom.ac.id/jurnal/pengaruh-sensor-ldr-terhadap.1n>
- Susanto, A., Sudharto, P. S., & Purba, R. Y. (2005). Enhancing biological control of basal stem rot disease (*Ganoderma boninense*) in oil palm plantations. *Mycopathologia*, 159(1), 153–157. <https://doi.org/10.1007/s11046-004-4438-0>
- Wicaksono, A., Widasari, E., & Utamingrum, F. (2017). Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring pH pada Tanaman Kentang Aeroponik secara Wireless. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(5), 386-398. Diambil dari <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11>
- Widyaningrum, V. T., Romadhon, A. S., & Safitri, R. (2020). Automatic Waste Sorter Machine using Proximity Sensor. *SciTePress*, 1, 264-270. doi: 10.5220/0010331102640270
- Wiratmoko, D., Prasetyo, A., Jatmiko, R., Yusuf, M., & Rahutomo, S. (2018). Identification of *Ganoderma boninense* Infection Levels on Oil Palm Using Vegetation Index. *International Journal of Oil Palm*, 1(3), 110-120. Retrieved from <https://ijop.id/index.php/ijop/article/view/16>