

Rancang Bangun Alat Ukur Klorofil Daun dengan Metode Fluoresensi Berbasis Mikrokontroler

Erus Rustami*, Aisyah Rahmayanti

*Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680*

Abstrak

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan alat ukur klorofil pada daun menggunakan metode fluoresensi. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser dioda dengan panjang gelombang 410 nm, sedangkan pengukuran intensitas fluoresensi menggunakan sensor TCS3200 dengan keluaran berupa frekuensi yang berkorelasi dengan intensitas yang diterima sensor. Pengujian alat dilakukan melalui perbandingan data hasil pengukuran antara alat yang dibuat dengan SPAD 502 Chlorophyll Meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat sudah dapat mendeteksi kadar klorofil pada daun meskipun masih terdapat persen kesalahan yang cukup besar, yaitu sekitar 14% jika dibandingkan dengan alat ukur standar.

© 2017 Penulis. Diterbitkan oleh Pendidikan Fisika UHAMKA

Kata kunci: Fluoresensi, sensor warna, klorofil, TCS3200

*Penulis koresponden. Alamat email: rustamierus@gmail.com

Pendahuluan

Pengukuran kadar klorofil pada daun sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi tanaman. Teknik pengukuran kadar klorofil yang biasa digunakan adalah metode ekstraksi yang dilanjutkan dengan pengukuran menggunakan spektrofotometer [1], ataupun fluorometer [2]. Pengukuran menggunakan metode ekstraksi memiliki beberapa kekurangan, diantaranya tidak praktis, melibatkan reaksi kimia, membutuhkan waktu lebih lama [3]. Saat ini, alat ukur kadar klorofil secara digital dan tidak melibatkan reaksi kimia sudah tersedia seperti SPAD (Soil Plant Analysis Development) 502 Chlorophyll Meter. Namun secara umum harga SPAD 502 masih belum terjangkau bagi para petani [4].

Fluoresensi adalah emisi cahaya setelah penyerapan sinar ultraviolet atau cahaya tampak oleh substruktur yang disebut *fluorophore*. *Fluorophore* menyerap energi dalam bentuk cahaya pada panjang gelombang spesifik dan membebaskan energi dalam bentuk cahaya yang dipancarkan pada panjang gelombang yang lebih tinggi dari energi yang

diserap [5].

Penyerapan foton menyebabkan peralihan molekul klorofil dari keadaan dasar (*ground state*) ke keadaan tereksitasi (*excited state*). Pada keadaan eksitasi ini, elektron menjadi tidak stabil sehingga mengalami relaksasi dan segera turun kembali ke keadaan dasarnya dengan melepaskan energi dan juga panas serta berpendar (berfluoresensi) dalam spektrum merah [6].

Pada sisi lain, perkembangan teknologi dalam bidang elektronika telah menyediakan peluang untuk membuat instrumentasi yang lebih presisi, mudah digunakan, dan ekonomis. Mikrokontroler adalah sebuah chip mikroprosesor terintegrasi yang berperan sebagai otak dalam pembuatan instrumentasi. Perekayasa logika dan algoritma pada mikrokontroler untuk tujuan instrumentasi tertentu dilakukan menggunakan bahasa pemrograman seperti assembler, C, atau C++ [7].

Dalam penelitian ini, dilakukan proses perancangan dan pembuatan alat ukur klorofil yang bersifat non-destruktif dan *portable* dengan memanfaatkan prinsip emisi fluoresensi. Pengujian

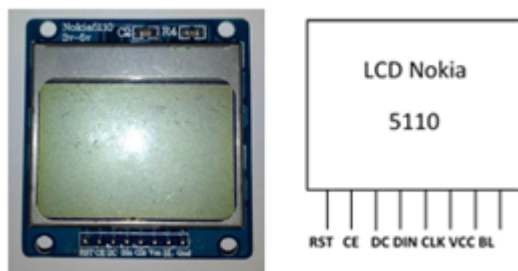
performa alat ukur yang dibangun dilakukan dengan cara membandingkan data yang didapatkan dengan alat ukur kadar klorofil yang standar.

Metode

Pembuatan alat ukur dilakukan dengan melalui tiga tahapan utama, yaitu karakterisasi, pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan lunak (*software*), serta integrasi alat dan pengujian.

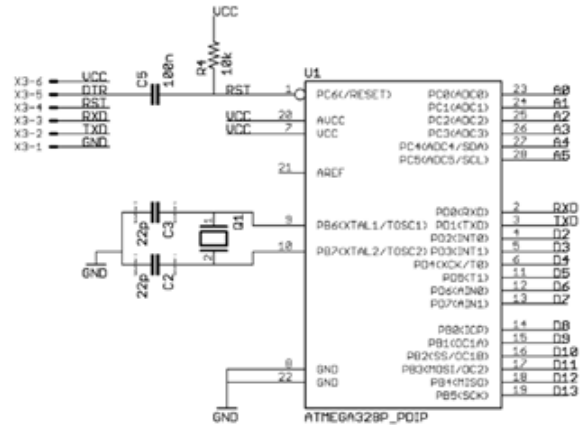
Tahapan karakterisasi dimulai dengan pengujian karakteristik sumber cahaya berupa laser dioda (LD) Purple Beam Laser Pointer Pen 5 mW dan spektrum fluoresensi yang dihasilkan dari sampel daun jambu biji. Pengukuran intensitas LD menggunakan Light Meter Lutron LX-100, sedangkan panjang gelombang operasi LD menggunakan spektrofotometer UV-Vis USB 4000 Ocean Optics. Uji panjang gelombang fluoresensi daun jambu biji dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer fluoresensi. Pada tahapan karakterisasi juga dilakukan uji kinerja sensor cahaya TCS3200. Uji sensor dilakukan dengan mengukur nilai frekuensi keluaran sensor yang menangkap intensitas hasil fluoresensi dari sampel daun jambu biji yang berbeda warna.

Pembuatan perangkat keras meliputi pembuatan rangkaian *display* menggunakan LCD Nokia 5110, sistem minimum Arduino, catu daya dan *laser driver*, sensor TCS3200, dan pembuatan *probe* sensor. LCD tipe ini merupakan LCD grafik dengan ukuran 84 × 48 piksel dan dapat berfungsi dengan baik pada sumber tegangan input 3 – 4 volt. LCD Nokia 5110 dan konfigurasi kakinya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 LCD Nokia 5110 dan konfigurasi kakinya.

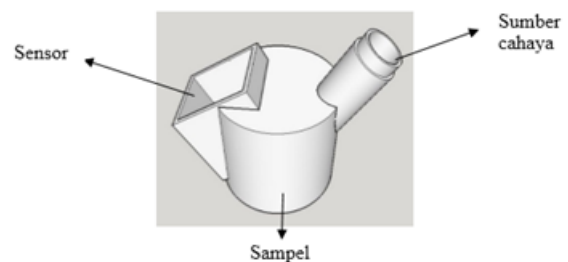
Sistem minimum Arduino merupakan rangkaian elektronik untuk menjalankan platform Arduino dalam bentuk paling minimal dalam hal penggunaan komponennya. Mikrokontroler ATmega 328P yang sudah memiliki *bootloader* Arduino UNO digunakan sebagai komponen inti dengan tambahan berupa kristal, resistor, dan kapasitor. Penggunaan sistem minimum selain menghemat secara ekonomis karena tidak perlu membeli modul Arduino, juga memudahkan dalam perancangan rangkaian elektronik untuk tujuan tertentu. Sistem minimum Arduino dapat dilihat pada Gambar 2 [8].



Gambar 2 Rangkaian sistem minimum Arduino.

Rangkaian catu daya menggunakan *integrated circuit* (IC) 7805 menghasilkan tegangan keluaran 5 V yang digunakan untuk menyuplai rangkaian sistem minimum, *display*, dan sensor, sedangkan rangkaian *laser driver* berfungsi untuk menyalakan laser. Tegangan keluaran rangkaian *laser driver* adalah 3 V. Pembuatan rangkaian sensor TCS3200 disesuaikan dengan *datasheet* dengan tambahan komunikasi dan pengontrolan dilakukan oleh rangkaian sistem minimum Arduino.

Pembuatan desain *probe* sensor dilakukan dengan menggunakan aplikasi Google Sketchup. *Probe* sensor dirancang memiliki bentuk silinder dengan diameter 50 mm, dengan posisi sensor membentuk sudut 60° terhadap sumber cahaya. Ketinggian sensor yaitu sebesar 15 mm dari posisi tempat sampel. Desain *probe* sensor yang telah dilengkapi dengan sumber cahaya dan tempat sampel ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Desain *probe* sensor dilengkapi dengan tempat sampel dan tutup.

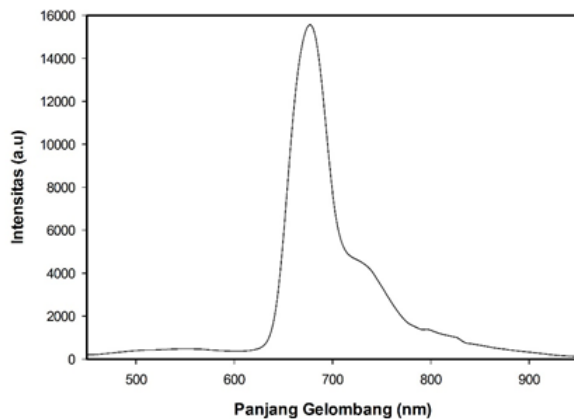
Pembuatan perangkat lunak mencakup penyusunan program untuk mikrokontroler dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Program yang dibuat meliputi pembacaan kondisi *push button*, nilai sensor, pengolahan data, dan nilai keluaran berupa tampilan pada LCD. Pengolahan data dilakukan dengan cara pengambilan data menggunakan alat secara langsung. Data yang dihasilkan diolah menggunakan metode statistik polinomial multivariabel di luar mikrokontroler. Persamaan yang didapatkan kemudian dimasukkan ke dalam

mikrokontroler untuk selanjutnya digunakan dalam pengukuran kadar klorofil dalam daun.

Setelah dilakukan pembuatan dan pengujian rangkaian sesuai fungsinya masing-masing, selanjutnya dilakukan penggabungan modul perangkat keras dan perangkat lunak. Penggabungan fungsi dari masing-masing komponen pertama kali dilakukan dengan menyatukan seluruh bagian di papan rangkai (*project board*). Kemudian dilakukan uji kerja sistem, ketika fungsi sistem berjalan dengan benar selanjutnya rangkaian dipindahkan dalam bentuk *printed circuit board* (PCB) dan dilakukan pemasangan komponen sesuai dengan tempatnya. Selanjutnya dilakukan pengujian setelah sistem terintegrasi dalam satu papan PCB.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran intensitas Purple Beam Laser Pointer Pen pada jarak 1.5 cm menunjukkan bahwa LD memiliki intensitas rata-rata yaitu sebesar 4250 lux dengan panjang gelombang operasi dari 370 nm sampai 460 nm dan puncak gelombang pada 410 nm. Hasil uji karakterisasi panjang gelombang fluoresensi klorofil secara langsung (tanpa ekstraksi) dengan sumber emisi Purple Beam Laser Pointer Pen ditunjukkan oleh Gambar 4.

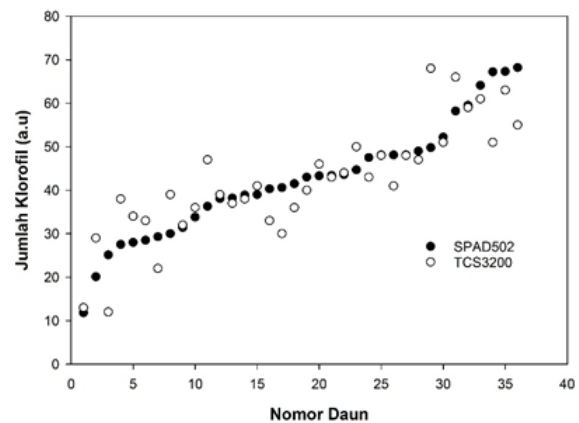


Gambar 4 Spektrum fluoresensi klorofil.

Gambar 4 memperlihatkan panjang gelombang operasi fluoresensi klorofil antara 650 nm sampai 850 nm dengan puncak tertinggi panjang gelombang daun adalah 680 nm. Nilai panjang gelombang ini dinyatakan lebih efektif untuk mendeteksi perbedaan intensitas fluoresensi [9] dan telah dikarakterisasi sebagai emisi fluoresensi dari klorofil-a yang berkaitan dengan *photosystem* II (PSII) [10]. Besarnya intensitas emisi fluoresensi dipengaruhi oleh intensitas sumber penginduksi [11]. Dari informasi ini maka dapat ditentukan bahwa agar sensor TCS3200 hanya mengukur intensitas fluoresensi maka TCS3200 diseting dominan mengukur spektrum warna merah.

Pengujian alat dilakukan setelah persamaan polinomial multivariabel yang diperoleh dima-

sukkan ke dalam mikrokontroler. Pengujian alat dilakukan dengan cara mengukur klorofil daun dengan menggunakan sensor TCS3200 dan alat SPAD 502 Chlorophyll Meter sama seperti pada saat pengambilan data. Namun hasil pengukurannya berbeda karena pada saat pengambilan data nilai keluaran berupa frekuensi merah, hijau dan biru sementara pada saat pengujian nilai keluaran sudah berupa hasil akhir yaitu jumlah klorofil dalam satuan unit sama seperti pada pengukuran menggunakan alat SPAD 502 Chlorophyll Meter. Hasil pengujian alat dengan sensor TCS3200 dapat dilihat Gambar 5.



Gambar 5 Hasil pengujian alat (TCS3200) dibandingkan dengan SPAD 502.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa dari 36 daun yang diuji terdapat 15 daun yang hasil pengujiannya hampir sama dengan hasil pengukuran menggunakan alat SPAD 502 Chlorophyll Meter. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dibuat ini mampu mendeteksi banyaknya jumlah klorofil dalam daun. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa alat ini masih memiliki *error* rata-rata sebesar 14%. Kesalahan pengukuran terjadi ketika *probe* sensor tidak diletakkan dengan baik pada permukaan daun. Selain itu, sensor hanya mendeteksi fluoresensi pada panjang gelombang 680 nm untuk PS II dan tidak mendeteksi emisi fluoresensi *photosystem* I (PSI) yang memiliki puncak gelombang pada 730 nm. Ketebalan daun berpengaruh dalam proses *selective reabsorption* oleh klorofil pada emisi fluoresensi warna merah yang bersumber dari sel hijau daun yang lebih dalam [12].

Beberapa artikel pengukuran klorofil menggunakan SPAD 502 didapatkan bahwa kandungan klorofil pada daun juga ditentukan oleh spot pengambilan data [13], umur tanaman [14], dan beberapa bentuk perlakuan. Bentuk-bentuk perlakuan ini diantaranya adalah lamanya penyimpanan [15-16], perubahan suhu [17-18] dan tingkat stres tanaman pada frekuensi tertentu akibat polusi bunyi [19-20]. Hasil riset tersebut secara keseluruhan mempengaruhi kandungan klorofil pada daun.

Khusus pada artikel ini masih terdapat beberapa kekurangan, diantaranya yaitu tidak dilakukannya pengukuran pada klorofil murni sebagai acuan atau *data control*. Sehingga panjang gelombang fluoresens yang diperoleh tidak memiliki data banding yang signifikan. Akan tetapi hasil tersebut masih dapat dikatakan sebagai khas aromatik dari klorofil. Mengingat bahwa pada daun juga banyak terdapat kandungan zat lain seperti lapisan lilin pada permukaan daun, kemungkinan hal ini juga sangat mempengaruhi pada hasil pengukuran yang diperoleh secara langsung [21-22].

Kesimpulan

Telah berhasil dibangun alat ukur kadar klorofil daun dengan metode fluoresensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa puncak fluoresensi klorofil daun berada pada panjang gelombang 680 nm. Sumber emisi berupa laser dioda dengan puncak panjang gelombang 410 nm. Sensor warna TCS3200 dapat mengukur intensitas fluoresensi yang berbanding lurus dengan kadar klorofil dalam daun. Uji kinerja alat menunjukkan bahwa secara umum alat sudah dapat berkerja dengan baik dalam hal pengukuran kadar klorofil dalam daun. Meskipun demikian masih terdapat *error* yang cukup besar, yaitu 14%.

Referensi

- [1] Y.E. Banyo *et al.*, Jurnal Ilmiah Sains **13** (1), 1-8 (2013).
- [2] A. Wirasatriya, Buletin Oseanografi Marina **1**, 137-149 (2011).
- [3] Insariani, *Pengaruh Klorofil Daun Singkong (Manihot esculenta Crantz) Terhadap Profil Copper, Zinc-Superoxide Dismutase (Cu, Zn-SOD) Ginjal Kelinci Hiperkolesterolemia*, Skripsi Institut Pertanian Bogor (Tidak Dipublikasikan).
- [4] R. Efendi, Suwardi, dan Zubachtirodin, dalam Prosiding Seminar Nasional Serelia (2011).
- [5] G. Haryanto dan R.W. Purnamaningsih, dalam Prosiding Seminar Nasional Sains (2009).
- [6] J.L. Tambunan, *Karakteristik Optik dan Elektronik Ekstrak Klorofil Spirulina Fusiformis*, Skripsi Institut Pertanian Bogor (Tidak Dipublikasikan).
- [7] R. Purbakawaca, *Rancang Bangun Alat Ukur Gula Darah Non-Invasive Berbasis Microcontroller Atmega32A*, Skripsi Institut Pertanian Bogor (Tidak Dipublikasikan).
- [8] M.K. Anam, *Pembuatan Alat Penentu Warna Tanah Berdasarkan Munsell Soil Color Chart*, Skripsi Institut Pertanian Bogor (Tidak Dipublikasikan).
- [9] Minarni dan F. Asriani, Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia **12** (10), 629-636 (2015).
- [10] R. Pedros, I. Moya, Y. Goulasb, dan S. Jacquemoud, Photochem. Photobio. Sci. **7**, 498-502 (2008).
- [11] I. Sihaloho, *Studi Awal Pengaruh Intensitas Sumber Cahaya Penginduksi Fluoresensi Terhadap Intensitas Fluoresensi Klorofil pada Daun Bayam Menggunakan Metode Fluorescence Imaging*, Skripsi Universitas Riau (Tidak Dipublikasikan).
- [12] R.B. Peterson, V. Oja, dan A. Laisk, Photosynth. Res. **70** (2), 185-196 (2001).
- [13] J. Naus, J. Prokopova, J. Rebicek, dan M.S. Pundova, Photosynth. Res. **105**, 265-271 (2010).
- [14] Q. Ling, W. Huang, dan P. Jarvis, Photosynth. Res. **107**, 209-214 (2011).
- [15] W. Fua, P. Li, dan Y. Wuak, Scientia Horticulturae **135**, 45-51 (2012).
- [16] G. Zervoudakis, G. Salahas, G. Kaspiris, dan E. Konstantopoulou, Braz. Arch. Biol. Technol. **55**, 89-95 (2012).
- [17] W.R. Chen, J.S. Zheng, Y.Q. Li, dan W.D. Guo, Russ. J. Plant Physiol. **59** (6), (2012).
- [18] L. Li *et al.*, Acta Physiol. Plant. **36** (2), 243-249 (2014).
- [19] Q. Meng, Q. Zhou, S. Zheng, dan Y. Gao, Energy Proc. **16**, 346-352 (2012).
- [20] M. Laad dan G. Viswanathan, Int. J. Appl. Agricul. Res. **5** (2), 275-282 (2010).
- [21] M. Mimuro *et al.*, BBA **1412**, 37-46 (1999).
- [22] H.K. Lichtenthaler dan C. Buschmann, J. Plant. Physiol. **129**, 137-147 (1987).