

OTOMASI PENERANGAN PADA SOLAR TUBED ROOM YANG DIOPTIMASI DENGAN LIGHT TRACKER

Fauzi Imaduddin Adhim¹, Ciptian Weried Priyananda², Lucky Putri Rahayu³, Abdu Aswar Haidar⁴, Arif Musthofa⁵, Joko Susila⁶

Departemen Teknik Elektro Otomasi, Pusat Unggulan IPTEK Perguruan Tinggi Mechatronics and Industrial Automation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Raya ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5947319, Faks. (031) 5947319, PABX 1276
E-mail: adhim.fi@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan umum pada penggunaan sistem penerangan untuk ruangan adalah kurangnya perhatian pada usia lampu. Lampu yang menyala 24 jam tanpa henti mengakibatkan umur lampu yang mulanya sekitar 2 tahun menjadi 6-7 bulan. Hal ini mengakibatkan kerugian terus menerus apabila tidak dicarikan solusi. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dikembangkan otomasi penerangan pada Solar Tubed Room yang dioptimasi dengan Light Tracker. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP8266 NodeMCU V2 dan Arduino Nano. Salah satu mode kendali manual alat pada penelitian ini terkoneksi ke perangkat smartphone melalui jaringan wireless. Pengendalian melalui smartphone hanya dapat dilakukan pada smartphone yang terkoneksi ke alat. Smartphone dapat mengendalikan sistem lampu penerangan secara manual ataupun auto (otomatis) dalam mode dimmer. Sistem lampu penerangan juga dioptimasi menggunakan Light Tracker berbahan Aluminium Flexible Ducting yang berfungsi secara otomatis mencari radiasi cahaya matahari terbesar pada siang hari dengan metode gerak single axis. Berdasarkan pengujian, besarnya intensitas penerangan rata-rata sebuah ruangan yang dilengkapi dengan alat ini adalah sebesar 469,9 Lux dengan error rata-rata sebesar 0,02 %.

Kata Kunci: Light Tracker, Intensitas Penerangan, Otomasi Penerangan, Sistem Kendali Penerangan, Solar Tubed Room

1. LATAR BELAKANG

Cahaya merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari. Cahaya adalah perambatan gelombang yang dihasilkan oleh kombinasi medan listrik dan medan magnet. Gelombang yang dihasilkan oleh kombinasi medan listrik dan medan magnet disebut gelombang elektromagnetik, yang mempunyai sifat dapat memantul, menembus, membias, menyerap dan dapat terlihat oleh mata kita.

Seringkali di kota besar seperti Surabaya yang memiliki paparan sinar (cahaya) matahari yang baik, tidak dimanfaatkan secara maksimal. Sebagai contoh pada siang hari seringkali bangunan-bangunan yang tertutup masih menggunakan penyinaran ruangan sebagai kebutuhan produktifitas manusia, oleh sebab itu banyak sekali konsumsi daya yang terpakai pada siang hari, padahal sebenarnya paparan sinar (cahaya) matahari bisa dimanfaatkan sebagai alternatif lampu konvensional pada siang hari. Dengan *Solar Tube*, bangunan-bangunan dapat memanfaatkan paparan sinar (cahaya) matahari sebagai sumber penerangan ruangan. Industri-industri di Surabaya memiliki bangunan yang mayoritas tertutup, sementara penerangan ruangan pada produksi di industri tersebut diharapkan menyala 24 jam sehingga lampu konvensional yang umumnya memiliki *lifetime* selama 2 tahun bias turun hingga 6-7 bulan (Herdian, 2013).

Alat-alat pengatur intensitas ruangan sejenis sebenarnya sudah sering dikembangkan, namun pada penelitian ini, sistem *Light Tracker* ditambahkan untuk menambah efektivitas penyerapan cahaya. Pembuatan *Solar Tubed Room* yang sebelumnya hanya bersifat statis, dikembangkan menjadi lebih aktif yang memungkinkan *Light Tracker* bergerak seiring pergerakan matahari (Bina, 2011).

Solar Tubed Room adalah metode pembangunan alat pemandu masuknya cahaya matahari kedalam suatu ruangan yang tertutup dengan tujuan menggantikan pencahayaan melalui lampu konvensional pada siang hari, sedangkan *Light Tracker* merupakan pergerakan alat yang mengikuti paparan sinar matahari dari matahari terbit hingga matahari terbenam. Penggabungan kedua sistem tersebut dapat memaksimalkan masuknya paparan sinar matahari untuk dapat digunakan sebagai sumber penerangan ruangan (Mayhoub et al., 2010).

2. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian terkait pemanfaatan energi solar atau cahaya matahari semakin sering digencarkan dan menjadi tren. Penerangan ruangan menjadi salah satu tren yang memanfaatkan cahaya matahari karena kemampuannya mengurangi biaya penggunaan maupun ketahanan lampu konvensional (bertenaga listrik) khususnya pada penggunaan di

industri. Wang et al., (2019) melakukan review terkait pengembangan dan performa beberapa prototipe sistem penerangan ruangan dari sistem *single solar lighting* yang hanya menggunakan cahaya matahari saja hingga *hybrid lighting* yang mengombinasikan cahaya matahari dan lampu konvensional.

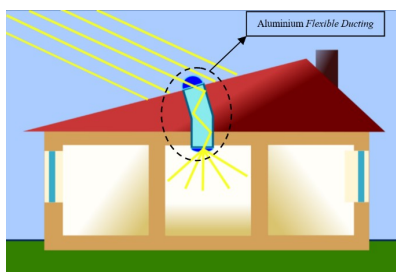
Untuk menunjang efektivitas penyerapan cahaya matahari sebagai sumber pencahayaan ruangan, beberapa peneliti mencoba mengembangkan *solar tracking system*. Hafez et al., (2018) melakukan pengelompokan dan menganalisis jenis-jenis *solar tracking system* dan yang meliputi : *active tracking*, *passive tracking*, *semi-passive tracking*, *manual tracking*, dan *chronological tracking*. Metode desain *system tracking* yang dianalisis adalah *single-axis* dan *dual-axis*. Sedangkan beberapa penelitian lain, terkait pemanfaatan cahaya hasil *tracking* untuk penerangan ruangan secara umum masih menggunakan cermin pemantul pada sistem heliostat (Song et al., 2018) dan sistem coelostat (Oh et al., 2017).

3. INTEGRASI SISTEM & PERANGKAT PENGENDALI

Aluminium Flexible Ducting berguna sebagai jalur masuknya paparan sinar menuju ruangan yang di pasang *Aluminium Flexible Ducting*, adapun ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 2.



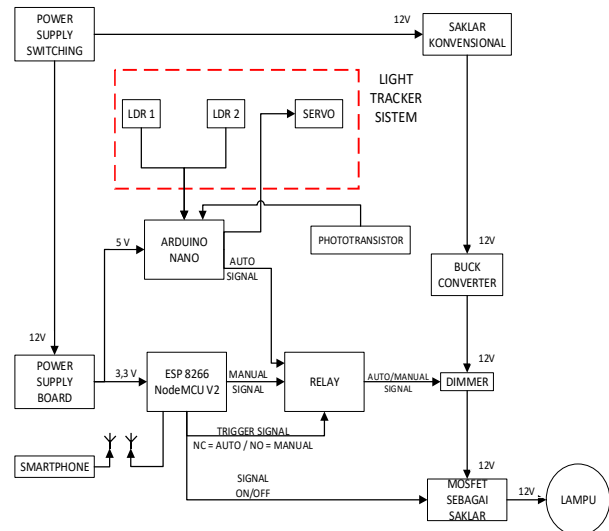
Gambar 1. *Aluminium flexible ducting* (www.ebay.com)



Gambar 2. Ilustrasi penggunaan *aluminium flexible ducting* pada *solar tubed room* (<https://en.wikipedia.org>)

Solar Tubed Room ini memiliki tambahan fungsi yang dapat memaksimalkan paparan sinar matahari yang masuk ke *Aluminium Flexible Ducting* secara optimal yang disebut *Light Tracker*. Gerakan *Light*

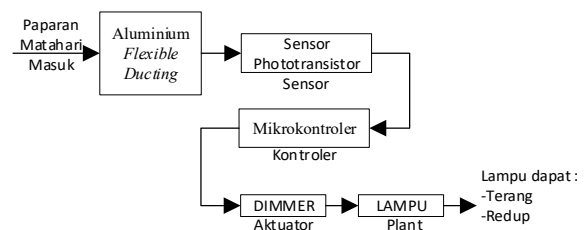
Tracker akan dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Nano. *Light Tracker* ini akan menggerakkan tuas yang ditempatkan sejajar dengan *Aluminium Flexible Ducting* di bagian atap untuk mengarahkan ujung *Aluminium Flexible Ducting* ke arah datang sinar matahari agar dapat masuk secara maksimal.



Gambar 3. Blok fungsional sistem

4. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

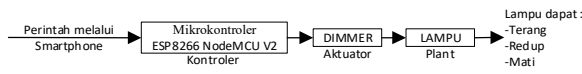
Alur proses umum sistem pada penelitian ini diawali dari *Power Supply* yang memberikan sumber kepada Arduino Nano dan ESP8266 NodeMCU V2. Arduino Nano berfungsi sebagai pengatur sistem otomatis untuk pergerakan *Light Tracker* serta pengatur nyala dan *Dimmer* lampu konvensional ketika sensor *Phototransistor* menangkap paparan sinar matahari sedangkan sensor *Light Dependant Resistor* (LDR) berfungsi untuk menggerakkan aktuator berupa Servo ke arah datangnya cahaya matahari. ESP8266 NodeMCU V2 berfungsi untuk mengontrol mati (On ke Off) atau nyala (Off ke On) dan *Dimmer* lampu konvensional secara manual. Pengontrolan secara manual dilakukan secara *wireless* melalui *Smartphone*.



Gambar 4. Diagram sistem kontrol lampu auto

Gambar 3 menunjukkan blok fungsional sistem secara keseluruhan. Untuk blok fungsional alat sistem *Light Tracker* yang ada pada kotak berwarna merah, sedangkan keseluruhannya tanpa kotak

merupakan sistem *Solar Tubed Room* yang memiliki sistem Auto atau Manual.



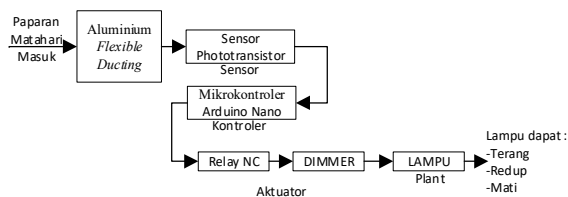
Gambar 5. Diagram sistem kontrol lampu manual

4.1 Sistem Kontrol Alat

Pada penelitian ini terdapat dua jenis sistem kontrol yang diimplementasikan pada *Solar Tubed Room*: kontrol nyala lampu dan kontrol pergerakan *Light Tracker*. Pengendalian nyala lampu pada penelitian ini ada 4 mode: Kontrol Lampu Auto, Kontrol Lampu Manual, Kontrol Lampu Auto dengan *Relay Normally Close* (NC), dan Kontrol Lampu Manual dengan *Relay Normally Open* (NO). Sedangkan kontrol pergerakan *Light Tracker* memanfaatkan respon dari sensor *Light Dependant Resistor* (LDR) dan sensor hujan.

Pada kontrol lampu Auto menggunakan kontroler Arduino Nano (Gambar 6) dan Manual menggunakan *smartphone* dan ESP8266 NodeMCU V2 (Gambar 7) yang dilengkapi dengan *Relay*, aktuator berupa *Dimmer* akan menentukan kondisi pencahayaan lampu (Terang, Redup, dan Mati) melalui kondisi *Relay NC* untuk sistem otomatis (Auto) dan *NO* untuk sistem menggunakan *slider* (Manual).

Pada kontrol pergerakan *Light Tracker*, metode yang digunakan adalah *Single Axis*, dimana ruang gerak *Aluminium Flexible Ducting* hanya terbatas dari arah Timur hingga Barat saja. Pergerakan *Light Tracker* memanfaatkan respon sensor LDR ditunjukkan pada Gambar 8.

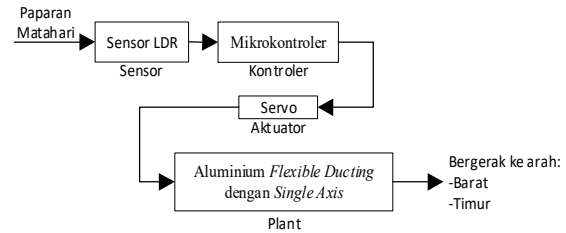


Gambar 6. Diagram sistem kontrol lampu auto dengan relay pada keadaan *normally close* (NC)

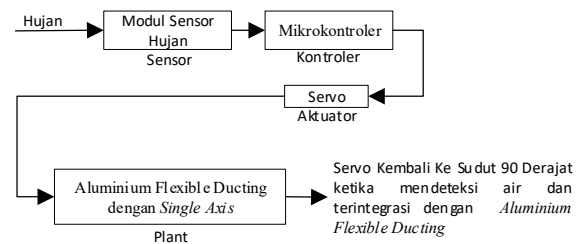


Gambar 7. Diagram sistem kontrol lampu manual dengan *relay* pada keadaan *normally open* (NO).

Selain memanfaatkan LDR, pergerakan *Light Tracker* juga mempertimbangkan respon sensor hujan. Respon sensor hujan menjadi sinyal notifikasi untuk mereset pergerakan *Light Tracker* ketika sedang terjadi hujan. Diagram sistem kontrol ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Diagram sistem kontrol *light tracker*

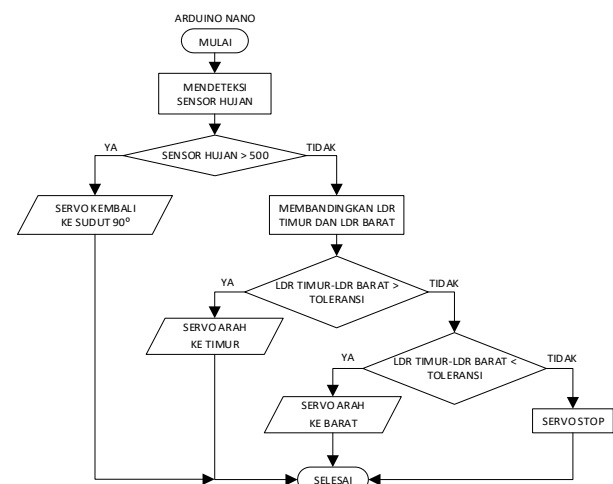


Gambar 9. Diagram sistem kontrol *light tracker* dengan modul sensor hujan

4.2 Flowchart Sistem *Light Tracker*

Gambar 10 merupakan flowchart pemrosesan sistem pencarian sumber cahaya pada *Light Tracker*.

Sensor hujan memungkinkan *Light Tracker* untuk menghentikan proses pencarian sumber cahaya matahari ketika sedang hujan. Kondisi awan mendung ketika terjadi hujan, menyebabkan cahaya matahari terpancar pada sela-sela acak di awan, hal ini mampu mempengaruhi pergerakan *Light Tracker*. Oleh sebab itu, sensor hujan mampu membantu menghindarkan *Light Tracker* dari pergerakan acak dan ketidakstabilan.



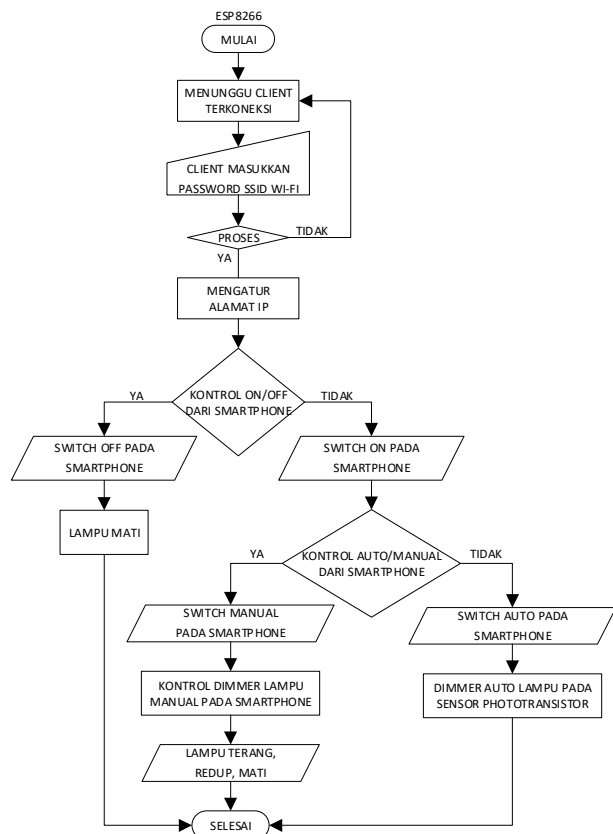
Gambar 10. Flowchart sistem *light tracker*

Pada Gambar 11, ditunjukkan bahwa jika nilai ADC yang didapatkan dari akuisisi data sensor hujan diatas 500, maka selisih nilai ADC dari sensor LDR (di bagian Barat dan Timur alat) dibandingkan dengan nilai ADC toleransi yang ditentukan pada penelitian ini sebesar 25. Perhitungan selisih nilai ADC didapatkan dari pengurangan nilai ADC sensor LDR Timur dengan ADC sensor LDR Barat.

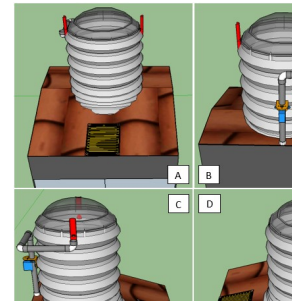
Apabila selisih nilai ADC sensor LDR lebih tinggi dari nilai toleransi, maka servo menggerakkan Light Tracker ke arah Timur. Sedangkan bila nilai selisih lebih rendah dari toleransi, maka servo menggerakkan Light Tracker ke arah Barat.

Gambar 11 menunjukkan aliran pengontrolan *On/Off* dan *Dimmer* lampu Manual yang dilakukan melalui *Smartphone*. Hasil dari perintah tersebut akan dikirim ke mikrokontroler ESP8266 NodeMCU V2. Pada saat *Switch On* lampu akan menyala dan itu berlaku sebaliknya ketika *Switch Off* lampu akan mati.

Switch Auto digunakan untuk memproses secara otomatis dengan memanfaatkan respon sensor *Phototransistor*, sehingga ketika terkena paparan cahaya matahari yang masuk melalui *Solar Tubed Room*, lampu konvensional akan meredup dikarenakan pencahayaan telah dibantu oleh paparan sinar matahari. Ketika sensor *Phototransistor* tidak terkena cahaya maka lampu konvensional akan mengeluarkan pencahayaan secara maksimal.



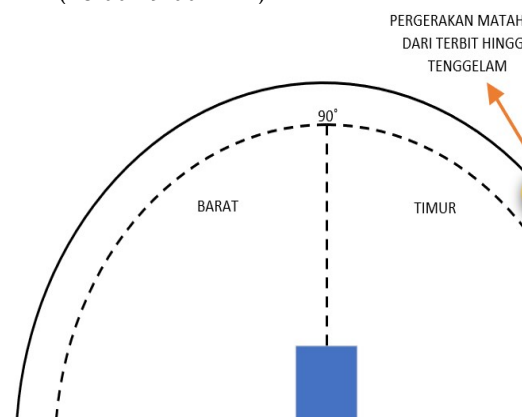
Gambar 11. Flowchart Koneksi dan Pengendalian alat secara *wireless* menggunakan *Smartphone*



Gambar 12. Ilustrasi alat. A) tampak depan, b) tampak belakang, c) tampak samping kiri, d) tampak samping kanan.

5. PENGUJIAN DAN DAN ANALISIS DATA

Pada bagian ini, hasil-hasil pengujian alat dan analisisnya akan dipaparkan. Skenario pengujian meliputi pengujian secara keseluruhan sistem dengan dan tanpa bantuan pencahayaan lampu konvensional. Pengujian dilakukan di Surabaya, Indonesia selama 3 hari (6-8 Juli 2019) pada kondisi langit cerah fajar (05:00 WIB), cerah (06:00-15:00 WIB), cerah senja (16:00-17:00 WIB), dan cerah malam (18:00-19:00 WIB).



Gambar 13. Posisi alat terhadap pergerakan matahari

Gambar 13 merupakan gambaran pergerakan matahari dari Timur ke Barat terhadap posisi alat. *Light Tracker* bergerak mengikuti posisi sinar matahari dari terbit hingga tenggelam. Pada penelitian ini, posisi datangnya sinar matahari dikondisikan tidak mengalami pemantulan atau pembiasan.

Tabel 1. Pengujian pencahayaan dengan bantuan lampu konvensional hari ke-1

| Pukul (WIB) | Langit | Sudut Matahari | Tegangan (V) | Lux | Error (%) |
|-------------|-------------|----------------|--------------|-----|-----------|
| 05:00 | Cerah Fajar | 78° | 11,99 | 470 | 0,00 |
| 06:00 | Cerah | 33° | 11,87 | 467 | 0,64 |
| 07:00 | Cerah | 36° | 11,88 | 471 | 0,21 |
| 08:00 | Cerah | 47° | 11,74 | 470 | 0,00 |
| 09:00 | Cerah | 52° | 11,63 | 469 | 0,21 |
| 10:00 | Cerah | 67° | 11,57 | 471 | 0,21 |
| 11:00 | Cerah | 74° | 9,67 | 474 | 0,85 |

| | | | | | |
|-----------|-------------|------|-------|-------|------|
| 12:00 | Cerah | 85° | 8,71 | 475 | 1,06 |
| 13:00 | Cerah | 98° | 7,73 | 473 | 0,64 |
| 14:00 | Cerah | 118° | 8,62 | 472 | 0,43 |
| 15:00 | Cerah | 132° | 10,48 | 471 | 0,21 |
| 16:00 | Cerah Senja | 141° | 10,68 | 468 | 0,43 |
| 17:00 | Cerah Senja | 153° | 11,43 | 466 | 0,85 |
| 18:00 | Cerah Malam | 161° | 11,85 | 468 | 0,43 |
| 19:00 | Cerah Malam | 179° | 11,98 | 469 | 0,21 |
| Rata-rata | | | | 470,3 | 0,43 |

Ilustrasi alat dan posisi matahari terhadap pemasangan alat pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13 secara berurutan. Pada Gambar 12 diperlihatkan desain *Light Tracker* yang telah diintegrasikan dengan *Solar Tubed Room*. Hasil pengujian sistem dapat dilihat melalui Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 dengan total waktu pengujian selama 42 jam pengujian.

Pengujian dilakukan pada bangunan setinggi 3 meter yang kedap cahaya selain dari cahaya matahari yang diarahkan masuk ke bangunan dari *Solar Tubed Room* dan lampu konvensional. Pada penelitian ini *Solar Tubed Room* menggunakan *Aluminium Flexible Ducting* (berwarna putih pada Gambar 12) yang berdiameter 20 cm. *Solar Tubed Room* dilengkapi dengan *Light Tracker* yang akan bergerak mencari sumber datangnya cahaya. Sumber cahaya dari luar bangunan dikondisikan hanya berasal dari matahari saja.

Tabel 2. Pengujian pencahayaan tanpa bantuan pencahayaan lampu konvensional hari ke-1

| Pukul (WIB) | Langit | Sudut Matahari | Lux |
|-------------|-------------|----------------|-----|
| 05:02 | Cerah Fajar | 79° | 0 |
| 06:01 | Cerah | 33° | 2 |
| 07:03 | Cerah | 36° | 3 |
| 08:02 | Cerah | 47° | 40 |
| 09:03 | Cerah | 53° | 101 |
| 10:04 | Cerah | 67° | 227 |
| 11:05 | Cerah | 73° | 398 |
| 12:03 | Cerah | 86° | 406 |
| 13:01 | Cerah | 99° | 411 |
| 14:02 | Cerah | 118° | 334 |
| 15:05 | Cerah | 134° | 91 |
| 16:03 | Cerah Senja | 141° | 41 |
| 17:04 | Cerah Senja | 155° | 10 |
| 18:04 | Cerah Malam | 161° | 3 |
| 19:03 | Cerah Malam | 179° | 0 |

Pengukuran intensitas pencahayaan pada penelitian ini menggunakan *Lux Meter*. Penempatan lokasi pengukuran hanya diposisikan pada *Beam Angle* atau titik pusat penerangan, dan tidak mengukur *Spill Light* atau penyebaran paparan cahaya melalui alat.

Tabel 3. Pengujian pencahayaan dengan bantuan lampu konvensional hari ke-2

| Pukul (WIB) | Langit | Sudut Matahari | Tegangan (V) | Lux | Error (%) |
|-------------|-------------|----------------|--------------|-------|-----------|
| 05:00 | Cerah Fajar | 62° | 11,99 | 471 | 0,21 |
| 06:00 | Cerah | 38° | 11,89 | 468 | 0,43 |
| 07:00 | Cerah | 37° | 11,44 | 469 | 0,21 |
| 08:00 | Cerah | 46° | 10,77 | 468 | 0,43 |
| 09:00 | Cerah | 51° | 10,30 | 470 | 0,00 |
| 10:00 | Cerah | 64° | 10,01 | 469 | 0,21 |
| 11:00 | Cerah | 76° | 9,54 | 471 | 0,21 |
| 12:00 | Cerah | 87° | 9,21 | 473 | 0,64 |
| 13:00 | Cerah | 97° | 7,69 | 475 | 1,06 |
| 14:00 | Cerah | 120° | 7,75 | 474 | 0,85 |
| 15:00 | Cerah | 136° | 8,66 | 471 | 0,21 |
| 16:00 | Cerah Senja | 147° | 10,47 | 467 | 0,64 |
| 17:00 | Cerah Senja | 169° | 10,71 | 468 | 0,43 |
| 18:00 | Cerah Malam | 170° | 11,68 | 466 | 0,85 |
| 19:00 | Cerah Malam | 180° | 11,96 | 468 | 0,43 |
| Rata-rata | | | | 469,9 | 0,45 |

Data pengujian yang diambil pada penelitian ini adalah data-data pengujian berdasarkan waktu (pukul 05:00 – 19:00 WIB), kondisi langit (cerah fajar, cerah, cerah senja, dan cerah malam), sudut datang matahari, intensitas pencahayaan (lux) ruangan (baik pada sistem otomatis yang menggunakan bantuan lampu konvensional maupun sistem tanpa bantuan lampu konvensional), dan prosentase nilai error atau prosentase nilai kesalahan pengaturan pencahayaan terhadap nilai *setting point* yang ditentukan sebesar 470 lux.

Pada pengujian sistem otomatis menggunakan bantuan lampu konvensional, semakin besar tegangan yang diberikan, maka semakin tinggi intensitas cahaya yang dipancarkan oleh lampu konvensional. Waktu fajar dan waktu malam adalah waktu-waktu dimana pencahayaan paling maksimal diberikan oleh lampu konvensional. Pada hari ke-1 (Tabel 1), tegangan paling tinggi terjadi pada pukul 05:00 WIB (fajar) dengan tegangan sebesar 11,99 V dan pukul 19:00 WIB (malam) dengan tegangan sebesar 11,98 V. Pada hari ke-2 (Tabel 3), tegangan paling tinggi terjadi pada pukul 05:00 WIB (fajar) dengan tegangan sebesar 11,99 V dan pukul 19:00 WIB (malam) dengan tegangan sebesar 11,96 V. Sedangkan pada hari ke-3 (Tabel 5), tegangan paling tinggi terjadi pada pukul 05:00 WIB (fajar) dengan tegangan sebesar 11,98 V dan pukul 19:00 WIB (malam) dengan tegangan sebesar 11,97 V.

Pada Tabel 1 (pengujian sistem otomatis hari ke-1), nilai tegangan lampu konvensional secara umum cukup stabil di angka 10,48 – 11,98 V kecuali pada pukul 11:00 – 14:00 WIB dimana intensitas pencahayaan sinar matahari terhadap bangunan berada pada kondisi paling maksimal dengan posisi matahari pada sudut 74° – 118° terhadap bangunan dan tegangan lampu konvensional turun diantara 7,73 – 9,67 V.

Pada Tabel 3 (pengujian sistem otomatis hari ke-2), nilai tegangan lampu konvensional secara umum cukup stabil di angka 10,01 – 11,99 V kecuali pada pukul 11:00 – 15:00 WIB dimana intensitas pencahayaan sinar matahari terhadap bangunan berada pada kondisi paling maksimal dengan posisi matahari pada sudut 76° – 136° terhadap bangunan dan tegangan lampu konvensional turun diantara 7,69 – 9,54 V.

6. KESIMPULAN

Dari hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait performa sistem dalam hal konsistensi atau kestabilan pencahayaan melalui sumber cahaya berupa sinar matahari dan lampu konvensional.

Pada pengujian intensitas cahaya menggunakan Lux Meter didapatkan rata-rata sebesar 470,3 lux pada pengujian hari ke-1, 469,9 lux dan 469,7 lux pada pengujian hari ke-2, dan hari ke-3 secara berurutan. Secara keseluruhan dari target intensitas (*setting point*) sebesar 470 lux, didapatkan rata-rata intensitas sebesar 469,9 lux dengan prosentase nilai error sebesar 0,02 %.

PUSTAKA

- [1] Ardianto, H., 2013. *Perancangan Sistem Pencahayaan dengan Menggunakan Lampu LED di Ruang Kelas P-105 Teknik Fisika-ITS Surabaya*. Skripsi. Jurusan Teknik Fisika. ITS Surabaya.
- [2] Bina, Pratomo, B., 2011. *Pengembangan Sistem Kendali Dan Akusisi Jarakjauh Perangkat Elektronik Berbasis Jaringan Ip*. Tesis, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [3] Chen, Y., Kribus, A., Lim, B., Lim, C., Chong, K., Karni, J., Buck, R., Pfahl, A., Bligh, T.J., 2004. Comparison of two sun tracking methods in the application of a heliostat field. *J. Sol. Energy Eng.*, 126, 638–644.
- [4] Hafez, A.Z., Yousef, A.M., Harag, N.M., 2018. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types—A review. *Renew. Sustain. Energy*, 91, 754–782.
- [5] Haykin, S., 2005. *Modern Wireless Communication*. London: Pearson Prentice-Hall.
- [6] Khan, B.H., 2007. *Non-Conventional Energy Resources*, India: Tata McGraw-Hill.
- [7] Mayhoub, M.S., Carter, D.J., Chung, T.M., 2010. *Towards hybrid lighting systems: A review*. *Light. Res. Technology*, 42, 51–71.
- [8] Nurahmadi, F., 2013. *Perancangan Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu Jarak Jauh Memanfaatkan Embedded System Berbasis Mikroprosesor W5100 dan AT8535*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI), Yogyakarta.
- [9] Oh, S.J., Dutton, S., Selkowitz, S., Han, H.J., 2017. *Application of a coelostat daylighting system for energy savings and enhancement of indoor illumination: A case study under clear-sky conditions*. *Energy Build.* 156, 173–186.
- [10] Putra, A.E., 2002. *Belajar Mikrokontroler Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Gava Media.
- [11] Song, J.F., Luo, G., Li, L., Tong, K., Yang, Y.P., Zhao, J., 2018. *Application of heliostat in interior sunlight illumination for large buildings*. *Renew. Energy*, 121, 19–27.
- [12] Wang, A.J-W., Yang, T-H., Deng, Z-H., Chen, Y-Y., Tseng, W-C., and Chou, C-H., 2019. *A Review of Daylighting System : For Prototype Systems Performance and Development*. *Energies Journal MDPI*, 12-0283.