

Perancangan *Controlling and Monitoring* Penerangan Jalan Umum (PJU) Energi Panel Surya Berbasis *Fuzzy Logic* Dan Jaringan Internet

Muhammad Agam Syaifur Rizal¹, Widjonarko², Satryo Budi Utomo³
Mahasiswa Strata 1 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember¹
agamsyaifur@yahoo.co.id

Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember²
Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember³

Abstrak

Sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan suatu komponen jalan yang sangat penting untuk keselamatan pengguna jalan. Pada sistem PJU konvensional, lampu PJU akan menyala selama malam hari sampai menjelang pagi secara terus menerus tanpa ada pengontrolan dan *monitoring*. Selain itu, penggunaan lampu PJU juga masih membutuhkan daya yang besar, boros energi listrik, dan tidak terkendali. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dirancanglah sebuah *prototype* alat yang mampu mengontrol tingkat penerangan lampu PJU berdasarkan jumlah kendaraan dan juga mampu *monitoring* menggunakan jaringan internet. Pada proses *controlling*, alat ini menggunakan kontrol *fuzzy logic* untuk mengatur tegangan yang akan disuplai ke lampu penerangan. Sedangkan pada proses *monitoring*, alat ini menggunakan sensor LDR untuk mendeteksi kondisi lampu dan ditampilkan pada *web*. Semua aktivitas *control* dan *monitoring* akan diproses oleh Arduino MEGA 2560 sebagai komponen pemroses utama. Dari hasil pengujian didapatkan, ketika kendaraan masuk maksimal dan kendaraan keluar minimal, lampu menyala terang dengan maksimal PWM 227,51 dan lux 988. Kemudian ketika kendaraan masuk minimal dan kendaraan keluar maksimal, lampu redup dengan minimal PWM 27,49 dan lux 112. Nilai analog *monitoring web* juga akan menyesuaikan dengan tingkat kecerahan lampu. Kontrol *fuzzy logic* ini telah mampu mengatur terang redup lampu PJU sehingga daya yang dibutuhkan hanya sebesar 8,76 watt. Lebih kecil apabila menggunakan sistem konvensional yang butuh daya 17,9 watt. Selain itu *error* yang didapatkan pada alat jika dibandingkan dengan simulasi pada MatLab tidak lebih dari 0,39% pada *output control fuzzy logic*.

Kata kunci: *Controlling, Monitoring, Penerangan Jalan Umum (PJU), Web*.

1. Pendahuluan

Pada zaman modern seperti saat ini, energi listrik menjadi salah satu kebutuhan bagi kehidupan manusia. Dengan kebutuhan energi listrik yang besar, harus diupayakan adanya efisiensi dalam penggunaan listrik agar listrik yang dibutuhkan tidak boros dan terjadi penghematan energi. Salah satu teknologi yang perlu diupayakan tingkat efisiensinya yaitu sistem penerangan jalan umum (PJU), baik pada jalan perkotaan, pedesaan, jalan tol, maupun jembatan tol. Tetapi teknologi penerangan jalan yang diterapkan selama ini masih teknologi konvensional yang tergolong boros energi karena masih menggunakan sistem menyala terus-menerus dan juga sumber listrik masih dari PLN. Kemudian berdasarkan perhitungan Balitbang Kementerian ESDM, diketahui bahwa potensi penghematan tenaga listrik di PJU mencapai 2.042 GWh/tahun atau setara Rp. 2 triliun /tahun. Selain itu, sistem PJU saat ini, untuk pemantauan dan pengendalian lampu, masih dilakukan dengan cara langsung mendatangi tempat/lokasi di mana sistem ini dipasang, sehingga memerlukan waktu yang lama dan memerlukan biaya operasional yang tinggi.^[1]

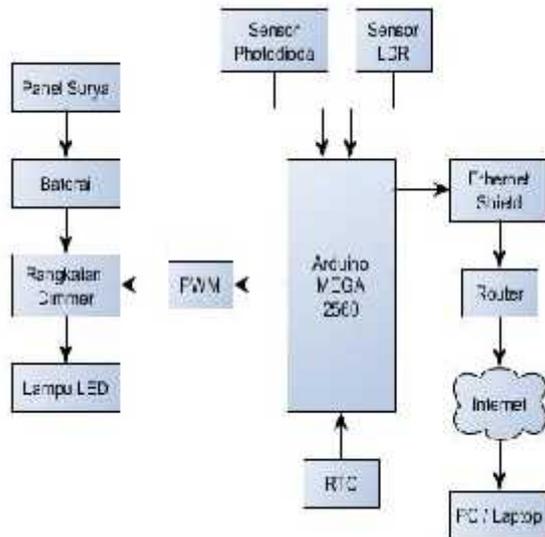
Dari beberapa alasan tersebut, dibuat sebuah penelitian teknologi lampu PJU dengan sumber listrik mandiri dari baterai yang *di-charge* oleh panel surya dan intensitas lampu yang digunakan diatur berdasarkan kepadatan kendaraan serta dapat *me-monitoring* lampu melalui *web*. Untuk menghemat pemakaian daya, digunakan lampu LED yang hanya butuh daya kecil, sedangkan penyesuaian terang redup lampu terhadap jumlah kendaraan diatur menggunakan logika *fuzzy logic*. Sensor yang digunakan untuk menghitung kepadatan kendaraan yaitu sensor photodiode, sedangkan untuk *monitoring* lampu digunakan sensor LDR. Proses pengolahan data diatur oleh Arduino MEGA 2560 yang terhubung dengan *Ethernet Shield*. Data *monitoring* lampu yang telah diolah selanjutnya dapat diakses menggunakan PC yang terhubung melalui internet.

2. Metode

Untuk mempermudah dalam perancangan sistem, maka diperlukan beberapa komponen alat dan bahan penunjang. Alat dan bahan penunjang tersebut meliputi panel surya dan baterai untuk proses *charge* sumber energi listrik. Kemudian sensor photodiode, rangkaian *dimmer*, dan lampu LED pada sisi kontrol lampu penerangan.

Selanjutnya sensor LDR, *Ethernet Shield*, *router* pada sisi *monitoring web* dan *Real Time Clock* (RTC) yang digunakan sebagai pewaktuan sistem. Semua alat dan bahan diatas diatur dan diolah menggunakan *Arduino MEGA 2560* sebagai pemroses utama dan *Personal Computer* (PC) yang terkoneksi dengan internet pada sisi penerima data *monitoring*. Dari beberapa alat dan bahan tersebut memiliki fungsi masing-masing dalam rangkaian sistem. Gambar 1 merupakan blok diagram sistem alat *controlling and monitoring* PJU.

Komponen yang terdapat pada sistem memiliki fungsi masing-masing. Sensor photodioda digunakan sebagai *counter* kendaraan, dan sensor LDR untuk *monitoring* lampu. Kemudian rangkaian *dimmer* difungsikan untuk mengatur tegangan *supply* lampu LED dari baterai, sehingga lampu LED dapat menyala terang redup. Data *monitoring* lampu dari sensor LDR ditransmisikan oleh *Ethernet Shield* yang terhubung dengan *router*, sehingga PC dapat mengakses data melalui internet.

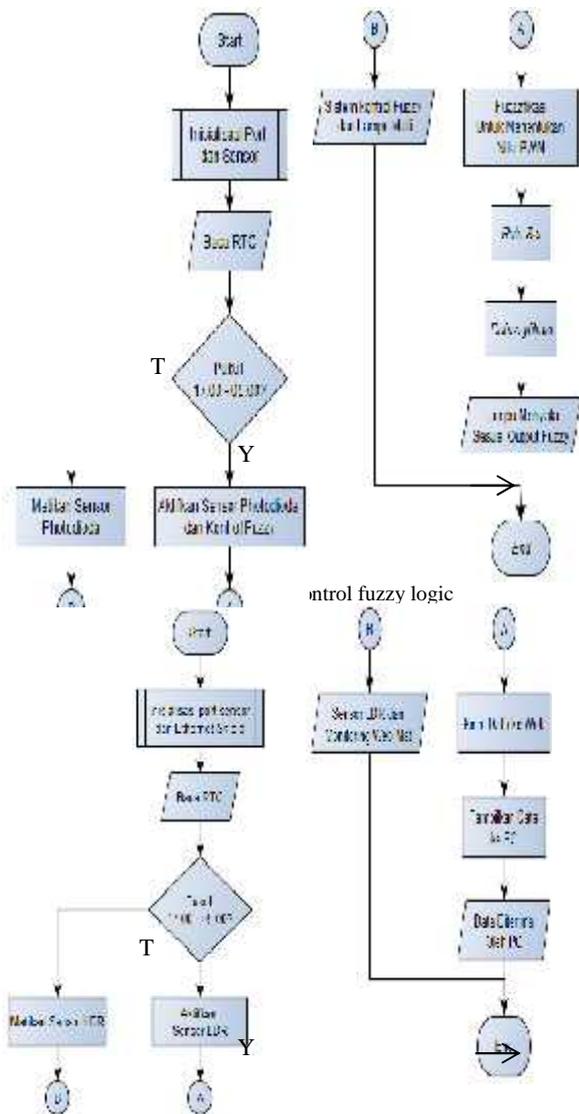


Gambar 1. Diagram blok sistem

Dari perancangan alat yang dibuat, maka dibuat *flowchart* sistem. *Flowchart* sistem ini dibagi menjadi dua yaitu *flowchart control fuzzy logic* dan *monitoring web*. *Flowchart* sistem ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Awal mulai dari kedua sistem *flowchart* ini yaitu menggunakan pewaktuan RTC. Proses RTC ini akan aktif pada pukul 17.00 – 05.00 saja, selain waktu tersebut sistem akan nonaktif. Yang pertama pada *flowchart* sistem kontrol *fuzzy logic*, dapat dilihat pada Gambar 2, setelah waktu terpenuhi maka akan dilakukan proses pengaktifan sensor dan kontrol *fuzzy*. Data *input fuzzy logic* yaitu *counting* kendaraan masuk dan keluar. Tahapan *fuzzy logic* mulai dari *fuzzyfikasi*, *rule set*, dan *defuzzyfikasi*. *Output*

dari *fuzzy* berupa nilai PWM sebagai *input* rangkaian *dimmer* untuk mengatur intensitas cahaya lampu LED.

Sedangkan pada *flowchart* sistem *monitoring web*, dapat dilihat pada Gambar 3, di mana *monitoring web* ini digunakan untuk mengetahui apakah lampu menyala atau mati. *Input* yang digunakan yaitu nilai analog dari sensor LDR yang akan dikirimkan melalui *Ethernet Shield* ke *web*. Dari *web* tersebut dapat diakses melalui PC. Nilai *monitoring web* sendiri tergantung dari nilai analog dari sensor LDR. Proses *monitoring* dimulai dari *output* sensor LDR yang diolah oleh *Arduino* kemudian dikirim melalui *Ethernet Shield* agar dapat tersambung ke internet, sehingga dapat diakses melalui PC atau laptop.



Gambar 3. Flowchart monitoring web

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Sistem Energi Panel Surya

1. Pengukuran Daya Beban

Pada sistem PJU berbasis panel surya ini, beban yang digunakan yaitu berupa 3 buah lampu LED yang dihubungkan secara paralel. Untuk pengukuran beban yaitu dengan menggunakan tiga kondisi dengan asumsi redup maksimal, sedang, dan terang maksimal yang didasarkan pada kondisi *output fuzzy* seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Dari data pengukuran beban tersebut, dapat dihitung total energi listrik yang dibutuhkan dalam satu malam. Dalam perhitungan ini, penulis menggunakan asumsi bahwa untuk kondisi beban redup maksimal menyala selama 5 jam, kondisi beban sedang selama 2 jam, dan kondisi terang maksimal selama 5 jam. Dari asumsi tersebut maka dapat dihitung total konsumsi energi dari beban seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

2. Pengukuran Baterai dan Panel Surya

Pada pengukuran total daya beban, dibutuhkan total energi sebesar 11,53 Wh. Dalam penelitian ini penulis menggunakan baterai dengan kapasitas 7Ah 12V. Dari hasil pengukuran ternyata kapasitas tegangan maksimal dan minimal melebihi dari spesifikasi tulisan yang ada pada kotak baterai. Untuk dapat mengetahui batas tegangan maksimal dan minimal baterai, pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan baterai ketika dihubungkan dengan beban. Dari kapasitas 7Ah dan dengan DOD (*Depth of Discharge*) yang digunakan 10%, baterai sudah dapat menyuplai beban yang membutuhkan total energi 11,53 Wh. Spesifikasi baterai sesuai pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.^[2]

Kemudian untuk panel surya yang digunakan, penulis menggunakan 1 buah panel surya ukuran 10 wp dan sistem *charge* dilangsungkan 10 jam, mulai dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 17.00, sehingga dapat mengatasi kebutuhan baterai meskipun arus yang dihasilkan nantinya tidak selalu maksimal tergantung dari intensitas cahaya matahari.

Tabel 1. Data pemakaian daya pada beban

Kondisi Beban	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt)
Redup Maksimal	5,80	28	0,16
Sedang	8,20	108	0,88
Terang Maksimal	9,95	180	1,79

Tabel 2. Hasil perhitungan total konsumsi energi dari beban

Kondisi Beban	Daya (Watt)	Waktu (hour)	Jumlah Daya (Wh)
Redup Maksimal	0,16	5	0,81
Sedang	0,88	2	1,77
Terang Maksimal	1,79	5	8,95
Total Kebutuhan Energi (12 jam)			11,53

Tabel 3. Pengukuran baterai

Tegangan Maksimal	12,78 V
Tegangan Minimal	11,50 V
Kapasitas	7 Ah

3. Sistem *Charge-Discharge* Baterai

Pada pengujian *charge* baterai, digunakan untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan agar baterai terisi penuh dari keadaan minimal sampai maksimal. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan panel surya 10 wp yang langsung dihubungkan ke baterai dengan kapasitas 7 Ah dan tegangan 12 V. Pengukuran *charge* baterai dapat dilihat pada Tabel 4, di mana pengukuran dilakukan pada 22 Agustus 2016.

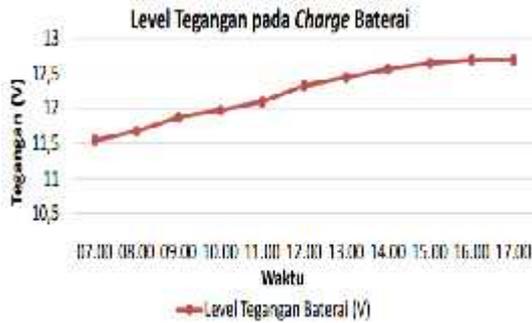
Dari data pengukuran Tabel 4, didapatkan dalam satu hari mulai pukul 07.00 sampai pukul 17.00 (10 jam), panel surya hanya bisa menyuplai baterai sampai tegangan 12,70 V, hal ini disebabkan arus pada saat pengujian tidak selalu maksimal. Sedangkan cahaya matahari dapat menyuplai secara maksimal yaitu antara pukul 10.00 – 15.00 yaitu dengan rentang arus 0,4 A ke atas. Pada percobaan, baterai hanya terisi sampai level 12,70 V dari tegangan maksimal baterai yaitu 12,78V, namun baterai sudah dapat dikatakan penuh dengan pengisian selama 10 jam karena sudah mendekati batas maksimum baterai dan hanya terpaut 0,08 V saja.

Untuk memudahkan pemahaman sistem *charge* baterai dapat dilihat pada Gambar 4. Kenaikan level tegangan paling cepat didapat ketika pukul 11.00 – 12.00, sedangkan kenaikan level paling lambat terjadi pada pukul 17.00. Arus yang berubah-ubah mempengaruhi cepat lambatnya pengisian baterai karena proses *charge* baterai sangat bergantung pada arus yang dihasilkan. Pengujian yang dilakukan di atas merupakan nilai rata-rata dari setiap jam, jadi misalkan pada jam 12.00 artinya rata-rata tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya ketika pukul 12.00 – 13.00 adalah 20,8 V dan 0,47 A.

Tabel 4. Pengujian waktu *charge* baterai

Waktu	Output Solar Cell		Level Tegangan Baterai (V)
	Tegangan (V)	Arus (A)	
07.00	18,83	0,17	11,55
08.00	19,95	0,31	11,68

09.00	19,75	0,36	11,88
10.00	19,67	0,40	11,98
11.00	19,68	0,40	12,10
12.00	20,80	0,47	12,33
13.00	19,56	0,42	12,45
14.00	18,60	0,42	12,57
15.00	20,40	0,41	12,65
16.00	20,22	0,31	12,70
17.00	17,28	0,02	12,70



Gambar 4. Grafik kenaikan level tegangan pada proses charge baterai

Kemudian pada pengujian *discharge* baterai, digunakan untuk mengetahui berapa waktu yang mampu dicapai oleh baterai dalam menyuplai beban / lampu PJU. Sistem *discharge* ini dilakukan dengan cara menyambungkan baterai ke beban dengan kontrol beban sesuai dengan asumsi sebelumnya yaitu lampu menyala terang maksimal selama 5 jam, menyala sedang selama 2 jam, dan menyala redup maksimal selama 5 jam. Sehingga total ada 12 jam secara terus-menerus baterai terhubung ke beban. Pada proses *discharge* baterai ini, dilakukan dari mulai tegangan baterai 12,78 V sampai dengan 11,50 V. Baterai diuji menggunakan program *fuzzy logic* di mana *output* PWM diatur sesuai dengan asumsi tersebut.

Dari data pengukuran *discharge* baterai seperti ditunjukkan pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa baterai belum sampai habis (batas minimal 11,50V) setelah digunakan selama 12 jam dengan 3 asumsi yang diberikan. Sisa baterai setelah *discharge* selama 12 jam tersebut yaitu 12,40V dari awal maksimal baterai 12,78V. Setiap pengukuran level baterai, dilakukan tanpa menggunakan beban (diukur dengan beban dilepas). Data yang dihasilkan dapat diketahui besarnya daya beban juga semakin turun seiring menurunnya kapasitas baterai.

Tabel 5. Pengujian waktu *discharge* baterai

Waktu	Arus (mA)	Tegangan Beban (V)	Daya Beban (W)	Tegangan Sisa Baterai (V)	PWM	Status Lampu
0 jam	0	0	0	12,78	0	Mati
1 jam	180	9,87	1,77	12,70	227,51	Terang

Waktu	Arus (mA)	Tegangan Beban (V)	Daya Beban (W)	Tegangan Sisa Baterai (V)	PWM	Status Lampu
2 jam	180	9,83	1,76	12,63	227,51	Terang Maksimal
3 jam	180	9,79	1,76	12,56	227,51	Terang Maksimal
4 jam	179	9,73	1,74	12,51	227,51	Terang Maksimal
5 jam	179	9,68	1,73	12,45	227,51	Terang Maksimal
6 jam	108	8,42	0,90	12,43	127,5	Sedang
7 jam	108	8,40	0,90	12,41	127,5	Sedang
8 jam	28	6,74	0,18	12,41	27,49	Redup Maksimal
9 jam	28	6,73	0,18	12,41	27,49	Redup Maksimal
10 jam	28	6,72	0,18	12,41	27,49	Redup Maksimal
11 jam	28	6,71	0,18	12,41	27,49	Redup Maksimal
12 jam	27	6,70	0,18	12,40	27,49	Redup Maksimal



Gambar 5. Perbandingan pengukuran sensor arus dan amperemeter

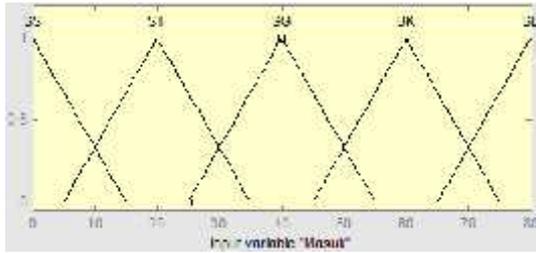
Pada data grafik yang ditunjukkan Gambar 5 didapatkan Penurunan level baterai paling besar ketika lampu menyala terang maksimal. Semakin terang lampu menyala, maka daya yang dibutuhkan lebih besar. Jadi apabila dibuat perhitungan, maka baterai akan habis (*discharge* 12,78V ke 11,50V) setelah dipakai selama 38 jam (3 malam) dengan rincian 17 jam terang maksimal, 6 jam sedang, dan 15 jam redup maksimal.

Sehingga untuk sistem *charge-discharge* baterai, untuk sistem *charge* didapatkan lama pewaktuan *charge* 10 jam, kemudian untuk sistem *discharge* didapatkan lama pewaktuan *discharge* 38 jam. Maka dari data tersebut untuk sistem *charge-discharge* baterai mempunyai kelebihan waktu *discharge* selama 28 jam.

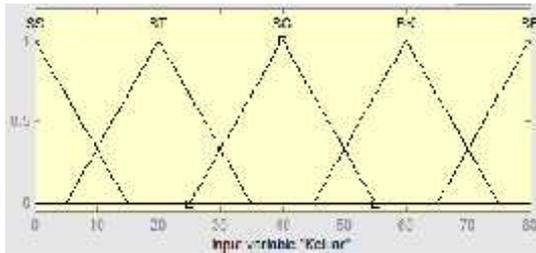
3.2 Pengujian Kontrol Fuzzy Logic

1. Himpunan Fuzzy Logic

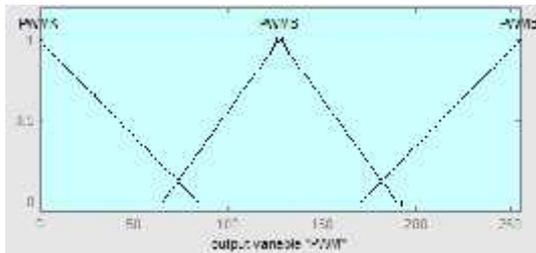
Dalam melakukan penelitian, penulis menggunakan jumlah kendaraan yang menjadi masukan adalah 0 – 80 mobil. Sedangkan untuk rentang *output* PWM yaitu antara 0 – 255.^[3] Untuk variabel linguistik *fuzzy logic* ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



Gambar 6. Representasi variabel himpunan fuzzy tingkat kendaraan masuk



Gambar 7. Representasi variabel himpunan fuzzy tingkat kendaraan keluar



Gambar 8. Representasi variabel himpunan fuzzy tingkat kendaraan masuk

2. Rule Base

Tabel 6. Rule base fuzzy logic

		KELUAR				
		Sangat Sedikit	Sedikit	Sedang	Banyak	Sangat Banyak
MASUK	Sangat Sedikit	Kecil	Kecil	Kecil	Kecil	Kecil
	Sedikit	Sedang	Kecil	Kecil	Kecil	Kecil
	Sedang	Besar	Sedang	Sedang	Kecil	Kecil
	Banyak	Besar	Besar	Sedang	Sedang	Sedang
	Sangat Banyak	Besar	Besar	Besar	Sedang	Sedang

3. Hasil Pengujian Fuzzy Inference System

Kontrol fuzzy digunakan sebagai kontrol pencahayaan lampu PJU dengan berdasar pada dua input yaitu counter kendaraan masuk dan counter kendaraan keluar. Pengujian pada sistem PJU menggunakan fuzzy logic ini dilakukan dengan cara melakukan uji coba untuk beberapa kasus yang berbeda. Diambil 25 sampel pengujian untuk mengetahui pengaruh dari setiap rules yang dibuat (Terdapat 25 rules pada fuzzy logic yang dibuat).

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 7, dapat diketahui bahwa kondisi PWM output tergantung pada kendaraan masuk dan keluar. Hasil yang diperoleh output PWM minimal yaitu

27,49 pada pengujian alat dan 27,5 pada simulasi MatLab, sedangkan PWM output maksimal sebesar 227,51 pada pengujian alat dan 228 pada simulasi MatLab. Selain itu error persen yang didapat maksimal hanya 0,39%.

Tabel 7. Respon fuzzy logic terhadap jumlah kendaraan

No.	Jumlah Kendaraan (Mobil)		PWM Output		Error (%)
	Masuk	Keluar	Pengujian Alat	Simulasi MatLab	
1.	0	0	27,49	27,5	0,03
2.	5	20	30,01	30	0,03
3.	10	40	35,25	35,3	0,14
4.	5	60	30,01	30	0,03
5.	0	80	27,49	27,5	0,03
6.	15	0	127,5	128	0,39
7.	20	20	27,49	27,5	0,03
8.	30	40	90,13	90,1	0,03
9.	20	60	27,49	27,5	0,03
10.	15	80	30,01	30	0,03
11.	35	0	224,99	225	0,004
12.	50	30	164,87	165	0,07
13.	40	40	127,50	127	0,03
14.	50	60	90,13	90,1	0,03
15.	35	80	30,01	30	0,03
16.	55	0	224,99	225	0,004
17.	60	20	227,51	228	0,21
18.	70	40	164,87	165	0,07
19.	60	60	127,5	127	0,39
20.	55	80	127,5	128	0,39
21.	80	0	227,51	228	0,21
22.	75	20	224,99	225	0,004
23.	80	40	227,51	228	0,21
24.	75	60	127,5	128	0,39
25.	80	80	127,5	127	0,39

4. Perbandingan Sistem Penerangan (Konvensional dan Fuzzy Logic)



Gambar 9. Grafik perbedaan daya sistem konvensional dan fuzzy logic

Dari kedua sistem penerangan yang diuji dengan 10 sampel percobaan, dapat diketahui seperti pada Gambar 9, bahwasanya pada sistem konvensional didapatkan total daya sebesar 17,9 W, sedangkan pada sistem fuzzy logic hanya membutuhkan daya 8,76 W. Hasil tersebut

terlihat kebutuhan daya yang dibutuhkan jika menggunakan *fuzzy logic* mempunyai selisih daya sebesar 9,14 W atau dapat menghemat kurang lebih 51% dari sistem penerangan konvensional.

3.3 Pengujian *Monitoring Web*

Pada pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi kondisi lampu penerangan menggunakan nilai *analog* dari sensor LDR di mana nilai *monitoring* tersebut tergantung dari *output* kontrol *fuzzy logic*. Dari cahaya terang redup lampu PJU, akan diterima oleh sensor LDR untuk dijadikan *monitoring* pada *web*. Proses pengujian pada *monitoring web* ini dilakukan dengan cara memberikan 6 sampel *input* kendaraan masuk dan keluar untuk kemudian di-*monitoring* pada *web*. Diambil 6 sampel untuk mendeteksi perubahan yang ditunjukkan pada *monitoring* sistem ini. Hasil data pengujian dapat dilihat pada Tabel 8, dan sampel percobaan tampilan *monitoring web* dapat dilihat pada Gambar 10.

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 8, dapat diketahui bahwa kontrol *fuzzy logic* bekerja sesuai *input* kendaraan, dan *monitoring web* bekerja sesuai *output* dari *fuzzy logic*. Nilai PWM maksimal dan minimal tidak bisa 255 dan 0 dikarenakan pengaruh dari *rule base* atau parameter *input* yang diberikan pada kontrol *fuzzy* masih kurang maksimal. Pengaruh keterkaitan dari setiap *rule* yang dibuat juga menjadi alasan kenapa kontrol tersebut menjadi kurang maksimal. Adapun *error* yang terjadi pada *monitoring web* ini yaitu nilai *analog* dari ketiga lampu terdapat selisih dari masing-masing nilai *analog* lampu. Namun selisih perbedaan *monitoring* nilai *analog* antara lampu 1 dan 2 maupun 3 tidak begitu jauh, hanya terpaut maksimal 10 sampai 20 angka.



Gambar 10. Sampel percobaan tampilan *monitoring web* dengan *input* kendaraan masuk 80 dan keluar 0.

Tabel 8. Pengujian hasil kontrol dan *monitoring* lampu PJU

No.	Input Kendaraan		Output PWM	Monitoring Web			Lampu Kondisi	Lux
	Masuk	Keluar		Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3		
1.	80	0	227	990	989	996	on	988

2.	70	20	219	989	984	996	on	923
3.	40	40	127	960	965	965	on	533
4.	20	70	35	848	865	852	on	145
5.	0	80	27	822	829	823	on	112
6.	0	80	27	0	0	8	off	0

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian alat yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan diantaranya:

1. Dari hasil pengukuran sistem panel surya, dengan kebutuhan total energi 11,53 W per hari dan kapasitas baterai yang digunakan 7Ah 12V, didapatkan *discharge* baterai ke beban selama 38 jam, sedangkan *charge* baterai selama 10 jam (tergantung dari arus yang dihasilkan oleh panel surya), sehingga terdapat kelebihan sistem waktu *charge* dibandingkan *discharge* baterai sebesar 28 jam.
2. *Error* yang didapat dari *prototype* alat dibandingkan dengan simulasi pada MatLab yaitu maksimal 0,39%, dan dari hasil kontrol *fuzzy logic* ketika kendaraan masuk maksimal dan kendaraan keluar minimal, lampu menyala terang dengan maksimal PWM 227,51 dan lux 988, sedangkan ketika kendaraan masuk minimal dan kendaraan keluar maksimal, lampu menyala redup dengan minimal PWM 27,49 dan lux 112. Namun sistem penerangan *fuzzy logic* lebih hemat energi listrik 51% dibandingkan dengan sistem penerangan konvensional karena hanya butuh daya sebesar 8,76 W dibandingkan dengan sistem konvensional sebesar 17,9 W.
3. Sistem *monitoring web* lampu PJU sangat bergantung pada penempatan sensor LDR. Nilai analog dari ketiga sensor yang ditampilkan mempunyai perbedaan meskipun cahaya dari LED sama. Selain itu, nilai analog *monitoring web* akan menyesuaikan dengan tingkat kecerahan lampu. Terdapat perbedaan *monitoring* nilai analog antara lampu 1, 2, dan 3, namun hanya terpaut maksimal selisih 10 sampai 20 angka.

Daftar Pustaka

- Buku Pedoman: Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, Buku I: Pengelolaan Sistem PJU Efisiensi Energi. Kementerian ESDM, Jakarta (2014).
- H. Afifah, "Perancangan Alat Otomatis Penyemprotan Hama Tanaman Padi Menggunakan Sensor PIR dengan Sumber PV dan Baterai", S.T. skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Univ. Jember, Jember, Indonesia (2015).
- M. Imansyah, "Sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) Berdasarkan Jumlah Kendaraan untuk Efisiensi Pemakaian Energi Listrik

*Prosiding Seminar Nasional XI “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2016
Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*

(Sub Judul: Software)”, (Journal Online Source style), Jurusan Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia (2011).