

Automatic Transfer Switch Dilengkapi Fitur Monitoring Website pada On-Grid Solar Home System

Iqbal Aulia Lazuardi, Imam Wahyudi Farid, dan Ciptian Weried Priananda
Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wahyu@ee.its.ac.id

Abstrak—Penggunaan *photovoltaic* sangat meningkat untuk memenuhi kebutuhan sehari - hari. Namun saat ini penggunaan energi listrik dari *photovoltaic* belum dapat dimonitoring dan dikontrol dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari cepat rusaknya baterai dan sistem *photovoltaic* yang digunakan pada *Solar Home System* (SHS). Oleh karena itu, diperlukan sebuah perangkat *monitoring* serta kendali untuk membantu pembagian besaran daya yang keluar dari *photovoltaic* untuk suplai beban rumah tangga. *Automatic Transfer Switch* (ATS) merupakan alat yang dapat melakukan pergantian porsi suplai energi listrik secara otomatis memanfaatkan cara kerja *relay* dengan memperhatikan kondisi presentase dari baterai. ATS dilengkapi dengan sistem *monitoring* berbasis website dengan menggunakan metode *Network Control System* yang dapat melakukan kontrol dan *monitoring* secara *real time*. Sistem *Automatic Transfer Switch* dapat melakukan *switching* atau perpindahan beban dari sumber utama ke sumber cadangan berdasarkan kondisi presentase dari baterai saat mencapai nilai sebesar 11,4 Volt dengan kapasitas baterai berkisar antara 36%-38%. Sehingga ATS melakukan *cut off* sumber dari PLTS dan mengalihkan beban pada sumber PLN tanpa jeda. Pada sistem *monitoring* ATS menggunakan metode *Moving Average* sebagai filter hasil data yang tidak sesuai pada pengukuran keluaran *photovoltaic*, dan didapatkan grafik *monitoring* tegangan dan arus *photovoltaic* yang lebih stabil. Dengan MAE tegangan PV = 1,368 V, MAE arus PV = 0,152 A dan MSE tegangan PV = 3,389 V, MSE arus PV = 0,079 A. Serta penggunaan metode *Network Control System* dengan pemrograman *millis interrupt* pada kendali *relay* ATS didapatkan rata-rata hasil *delay relay* 1 dan *relay* 2 sebesar 1,034 *seconds* jauh lebih baik daripada penggunaan pemrograman tanpa *millis interrupt* yaitu sebesar 61 *seconds*. Hal tersebut tentunya berpengaruh pada keefektifan kerja dari *relay* kontrol.

Kata Kunci—*Automatic Transfer Switch, Monitoring Website, Moving Average, Network Control System, Solar Home System.*

I. PENDAHULUAN

Di era sekarang ini, tidak dipungkiri bahwa energi listrik hampir seluruhnya bersumber dari penggunaan bahan bakar fosil. Dapat dipastikan dalam jangka beberapa tahun kedepan, energi fosil akan habis. Dalam menanggulangi hal itu, penggunaan energi terbarukan harus semakin ditingkatkan. Di Indonesia, energi terbarukan yang paling *reliable* adalah pembangkit listrik tenaga surya (*photovoltaic*). Saat ini penggunaan *photovoltaic* sangat meningkat untuk memenuhi kebutuhan sehari - hari baik ditingkat rumah tangga ataupun sebuah desa. Namun pada saat ini penggunaan energi listrik dari *photovoltaic* belum dapat dimonitoring dan dikontrol dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari cepat rusaknya baterai dan sistem *photovoltaic* yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alat yang dapat melakukan *monitoring* dan optimasi

keluaran dayanya. Sebuah perangkat *monitoring* dan kontrol untuk membantu pembagian besaran daya yang keluar dari *photovoltaic* untuk suplai beban. Dengan fitur *monitoring* dapat melakukan penerapan sistem kontrol berbasis *internet of thing* (IoT) dengan mempertimbangkan teknologi dan teknik pengolahan data secara *realtime*. Peningkatan sistem *monitoring* menggunakan website dalam melakukan *monitoring solar home system* untuk mempermudah konsumen energi listrik. Sehingga memudahkan konsumen dalam pengambilan keputusan dari penggunaan konsumsi energi listrik rumah tangga agar lebih efisien.

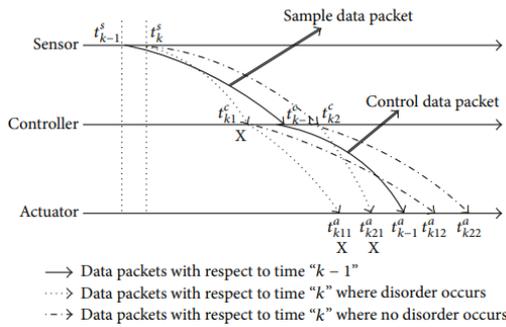
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. On-Grid Solar Home System

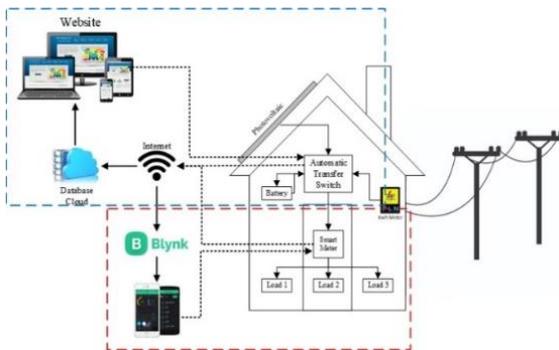
On-Grid Solar Home System merupakan suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya yang mengubah panas matahari menjadi energi listrik. Sistem *On-Grid* memanfaatkan kinerja dari panel surya (*photovoltaic*) untuk mengkonversi panas matahari pada siang hari menjadi arus listrik DC (arus searah). Dari arus DC akan dikonversikan kembali menjadi arus AC (arus bolak-balik) menggunakan inverter yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai beban peralatan rumah tangga seperti lampu, tv, kipas, setrika dan lain sebagainya. Sistem *On-Grid* akan mensinkronkan antara arus listrik keluaran dari *inverter* dengan arus listrik dari PLN [1]. Untuk mensinkronisasi antara dua arus sumber perlu sebuah alat yang bernama *automatic transfer switch*. Seperti namanya, *automatic transfer switch* bekerja sebagai pengalih arus listrik dari sumber utama ke sumber cadangan atau sebaliknya. Keuntungan menggunakan sistem *solar home On-Grid* adalah pertama, dapat mereduksi penggunaan dari bahan bakar fosil sebagai penghasil listrik konvensional. Kedua, merupakan energi bersih dan tidak berisik. Ketiga, mampu mengurangi biaya tagihan listrik rumah tangga. Keempat, pengoprasian dan perawatan sistem yang sangat mudah [2].

B. Automatic Transfer Switch

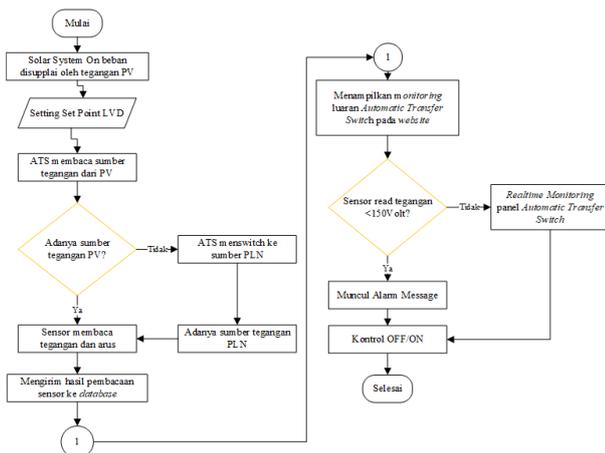
Automatic Transfer Switch (ATS) merupakan saklar listrik/elektronik yang dapat beralih ketika sumber daya utama terganggu dan secara otomatis menggeser beban ke sumber kedua. Hal tersebut bisa terjadi selama parameter tegangan dan frekuensi berada dalam batas yang ditentukan. Disebut sebagai saklar otomatis yang bekerja apabila sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman maka *switch* akan berpindah ke sumber listrik cadangan yaitu dari PLTS. Pada saat sumber dari PLN hidup kembali, alat ini akan secara otomatis memindahkan sumber daya ke beban



Gambar 1. Grafik gangguan paket data di NCS.



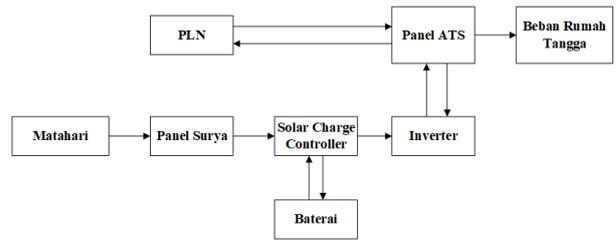
Gambar 2. Rancangan Sistem Besar.



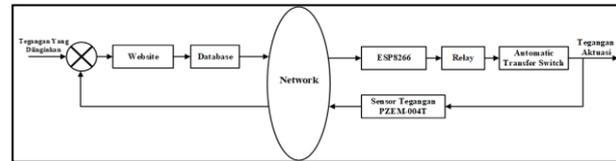
Gambar 3. Flowchart sistem.

dari PLTS ke PLN. Atau sebaliknya jika pada ATS dipilih sumber utama dari PLTS, maka sebagai sumber cadangannya yaitu dari PLN. Ketika daya yang dihasilkan oleh PLTS tidak dapat memenuhi kebutuhan beban, maka sumber dari PLN akan membackupnya.

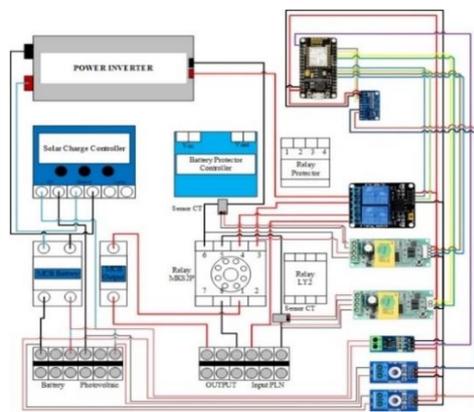
Selain dalam penggunaan Sistem *Solar Home System*, penggunaan ATS sangat diperlukan dalam hal *back-up* di Industri. Pada Industri sendiri penggunaan ATS ini digunakan pada sumber PLN dan Genset. Apabila sumber listrik dari PLN padam, maka ATS akan mengubah sumbernya menjadi sumber dari Genset. Pada dasarnya pembuatan ATS menggunakan beberapa komponen pendukung seperti Relay, Kontaktor, MCB, Timer. Komponen-komponen tersebut pada prinsipnya adalah sebagai sakelar ataupun pemutus hubungan. Biasanya ATS bisa diterapkan pada PLTS *off-grid* dan *on-grid* atau *grid-connected photovoltaic plant* yaitu sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan listrik yang sudah ada. Berdasarkan operasi pada PLTS terdapat sistem penyimpanan energi listrik yaitu sistem dengan penyimpanan (*grid-connected photovoltaic with battery*



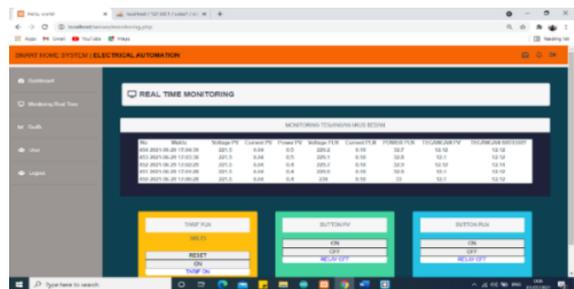
Gambar 4. Diagram blok *automatic transfer switch*.



Gambar 1. Diagram kontrol monitoring *automatic transfer switch*



Gambar 6. Wiring diagram sensor monitoring ATS.

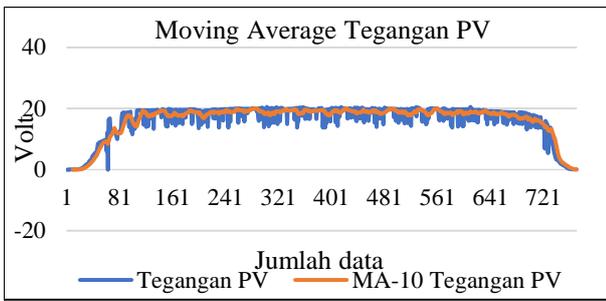


Gambar 7. Website monitoring ATS.

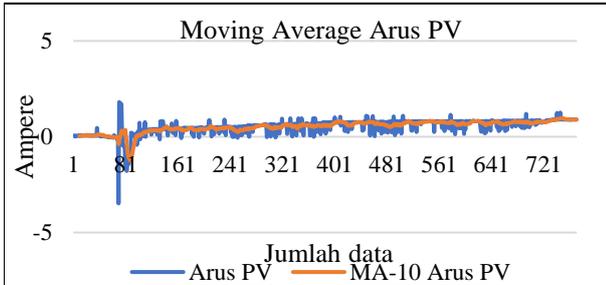
back-up) dan sistem PLTS tanpa penyimpanan (*grid-connected photovoltaic without battery back-up*) [3].

C. *Monitoring Website*

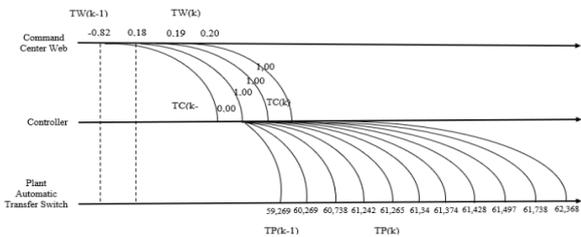
Monitoring Website merupakan sebuah interface yang digunakan untuk memantau sebuah data yang diinginkan oleh pengguna secara *real time*. *Website Monitoring* akan mengumpulkan informasi secara statistik dengan melakukan pengukuran terhadap parameter sumber energi listrik yaitu arus, tegangan, dan daya. *Website Monitoring* berbasis *Web Server* yang merupakan sebuah perangkat lunak dalam server yang berfungsi menerima permintaan (request) berupa halaman web melalui HTTP atau HTTPS dari klien yang dikenal dengan browser web dan mengirimkan kembali (response) hasilnya dalam bentuk halaman-halaman web yang umumnya berbentuk dokumen HTML. *Hypertext*



Gambar 8. Grafik perbandingan antara tegangan PV dan MA-10 tegangan PV.



Gambar 9. Grafik perbandingan antara arus PV dan MA-10 arus PV.



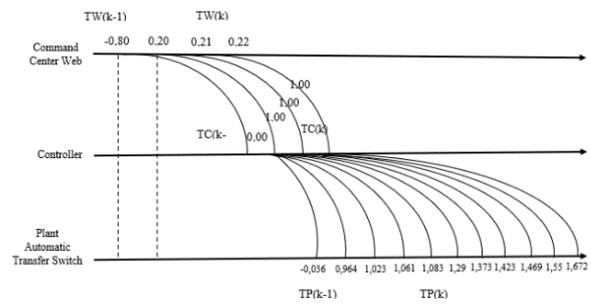
Gambar 10. Grafik delay network control system pada relay tanpa program millis interrupt.

Markup Language (HTML) adalah bahasa markup yang umum digunakan untuk membuat halaman web. Sedangkan Hypertext Preprocessor (PHP) adalah bahasa serverside scripting yang menyatu dengan HTML untuk membuat halaman web yang dinamis banyak dipakai untuk pemrograman situs web dinamis [4].

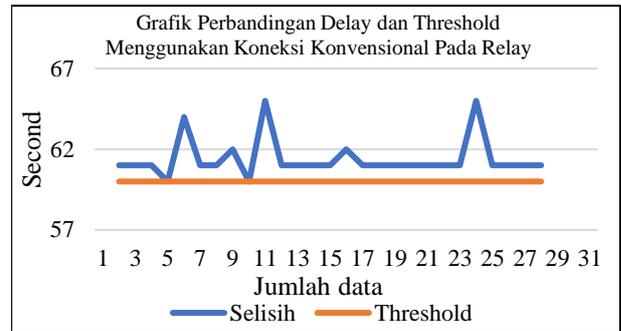
Pada sistem ini, terdiri dari komunikasi antara modul mikrokontroler dengan bahasa pemrograman PHP yang disatukan dalam pemrograman website. Selain komunikasi pemrograman mikrokontroler dan website, terdapat aplikasi XAMPP yang berfungsi sebagai local server untuk menangani berbagai tipe data website. Penggabungan teknologi seperti Internet of Things (IoT) dan web server memungkinkan hubungan antara sensor dengan data digital untuk optimasi pengelolaan dan pemantauan konsumsi energi. Selain itu, seiring dengan perkembangan teknologi mikro dan nano teknologi, pengembangan komunikasi modul secara nirkabel dapat berkembang dengan cepat dan efisien. Hal ini sangat berguna untuk memantau dan melakukan kontrol konsumsi energi [5].

D. Metode Moving Average

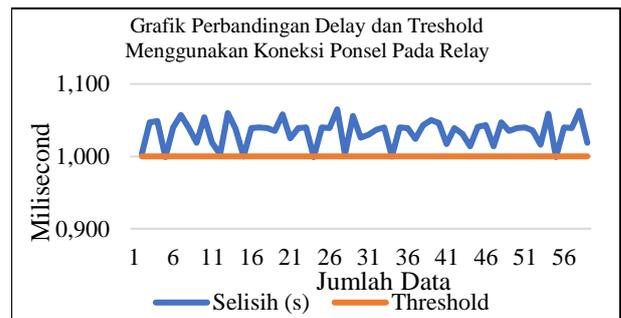
Metode Moving Average atau dalam bahasa Indonesianya disebut rata-rata bergerak merupakan suatu metode peramalan yang dilakukan dengan mengambil sekelompok nilai pengamatan, mencari nilai-rata tersebut sebagai ramalan untuk periode yang akan datang. Metode Moving Average memiliki karakteristik khusus yaitu untuk menentukan ramalan pada periode akan datang memerlukan data historing



Gambar 11. Grafik delay network control system pada relay tanpa program millis interrupt.



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil delay dengan threshold pada koneksi wifi konvensional.



Gambar 13. Grafik perbandingan hasil delay dan threshold dengan koneksi wifi ponsel pada relay.

selama jangka waktu tertentu. Karakteristik yang kedua yaitu semakin panjang jangka waktu moving average, efek pelicinan atau smoothing akan terlihat dalam ramalan atau menghasilkan moving average yang semakin halus. Rumus persamaan matematis single moving average adalah sebagai berikut:

$$St = \frac{Xt + Xt-1 + Xt-2 + \dots + Xt-n+1}{n} \tag{1}$$

Keterangan:

- St = Moving Average untuk periode t
- St + 1 = Ramalan untuk periode t + 1
- Xt = Data pada periode ke t
- N = Jangka waktu dalam moving average

Dalam metode peramalan tentunya ada kesalahan, untuk mengukur error forecast biasanya digunakan mean absolute error atau mean square error. Mean Absolute Error (MAE) adalah rata-rata nilai absolute dari kesalahan meramal (tidak dihiraukan tanda positif atau negatifnya).

$$MAE = \frac{\sum |Xt - St|}{n} \tag{2}$$

Keterangan:

- ∑ = Jumlah

Tabel 1.
Penguujian fungsi ATS mode PLTS

Waktu (WIB)	Kapasitas Baterai %	Tegangan Baterai	P L T S	P L N	Beban	Daya (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:02	39	11,5 V	1	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	49,67	211	0,28
08:07	38	11,5 V	1	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	50,22	211	0,28
08:13	37	11,5 V	1	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	49,65	211	0,28
08:18	36	11,4 V	0	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	54,2	222	0,30
08:23	35	11,4 V	0	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	60,9	222	0,31
08:28	34	11,4 V	0	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	61,7	222	0,31

Keterangan:

- Kondisi 0 = Sumber mati.
- Kondisi 1 = Sumber menyala.
- Tabel warna hijau = Kondisi saat sumber PLTS melakukan *switching* beban ke sumber PLN.

Tabel 2.
Penguujian fungsi ATS mode *automatic*

Waktu (WIB)	Kapasitas Baterai %	Tegangan Baterai	P L T S	P L N	Beban	Daya (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)
16:59	81	12,8 V	1	1	Lampu (ON)	1,55	216	0,07
17:09	76	12,4 V	1	1	Lampu (ON)	1,66	217	0,07
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20:09	39	11,5 V	1	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	48,20	217	0,22
20:19	39	11,5 V	1	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	48,30	217	0,22
20:29	38	11,5 V	0	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	48,20	223	0,22
20:39	38	11,4 V	0	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	47,64	222	0,22
20:49	38	11,4 V	0	1	Lampu + Kipas+ Kipas (ON)	47,63	222	0,22

Keterangan:

- Kondisi 0 = Sumber mati.
- Kondisi 1 = Sumber menyala.
- Tabel warna hijau = Kondisi saat sumber PLTS melakukan *switching* beban ke sumber PLN.

Xt = Data pengamatan periode t
 St = Ramalan periode t
 n = Banyaknya data

Sedangkan Mean Square Error (MSE) adalah rata-rata dari kesalahan forecast error dikuadratkan. Dapat ditulis dalam persamaan berikut ini.

$$MSE = \frac{\sum (X_t - S_t)^2}{n} \quad (3)$$

Keterangan:

Xt = Data pengamatan periode t

Tabel 3.
Penguujian fungsi ATS mode PLN

No	Waktu	Daya (Watt)	Fungsi Switch	Kondisi Beban	Jenis Beban Load
1	10:45	30,12	Mematikan sumber PLN dan memindahkan ke sumber cadangan PLTS	Beban ON	Lampu + Kipas
2	10:50	30,28	Mematikan sumber PLN dan memindahkan ke sumber cadangan PLTS	Beban ON	Lampu + Kipas
3	10:55	30,22	Mematikan sumber PLN dan memindahkan ke sumber cadangan PLTS	Beban ON	Lampu + Kipas
4	11:00	344,1	Menggunakan sumber utama dari PLN	Beban ON	Lampu + Heater
5	11:05	343,6	Menggunakan sumber utama dari PLN	Beban ON	Lampu + Heater
6	11:13	0	Mematikan sumber PLN dan memindahkan ke sumber cadangan PLTS	Beban OFF	Lampu + Heater + Kipas
7	11:14	0	Mematikan sumber PLN dan memindahkan ke sumber cadangan PLTS	Beban OFF	Lampu + Heater + Kipas
8	11:16	341,7	Mengembalikan ke sumber utama PLN	Beban OFF	Lampu + Heater + Kipas

Keterangan:

- Tabel warna orange = Kondisi saat sumber PLN melakukan *switching* beban ke sumber PLTS.

Tabel 4.
Hasil Mean Absolute Error dan Mean Squared Error tegangan arus PV

MAE Tegangan PV	MSE Tegangan PV	MAE Arus PV	MSE Arus PV
1,386 V	3,389456 V	0,152307087 A	0,079465 A

St = Ramalan periode t
 n = Banyaknya data

Nilai *error* yang asli biasanya tidak akan dirata-rata sebagai ukuran besar kecilnya *error*, sebab terdapat nilai positif maupun negatif. Untuk menghindari penyimpangan dari *forecast error* maka perlu dijadikan angka mutlak atau dikuadratkan, kemudian baru dirata-rata [6].

E. Networked Control System

Networked Control System (NCS) merupakan sebuah sistem kendali yang melibatkan jaringan komunikasi sebagai bagian dari lingkaran kendali. Dalam sistem tersebut, interkoneksi antar bagian dalam sistemnya menggunakan jaringan komunikasi atau network. Masuknya jaringan komunikasi dalam bagian lingkaran kendali menyebabkan munculnya parameter jaringan, seperti waktu tunda transmisi, kemungkinan hilangnya data yang dikirim, keterbatasan lebar kanal komunikasi, dan sebagainya. Penggunaan jaringan komunikasi menawarkan keuntungan yang cukup signifikan dalam hal keandalan, penggunaan sumber daya, pemeliharaan, diagnosa sistem apabila terjadi kesalahan. Pengaplikasian NCS dapat ditemukan di beberapa sistem

Tabel 5.
Penguujian *Network Control System* pada relay tanpa program *millis interrupt*

No	Waktu Pada Website	Respon Website (Second)	Waktu Respon Relay	Delay (Second)	Kondisi Relay
1	12:25:40	0,20	12:26:41.497	61,497	OFF→ON
2	12:27:44	0,18	12:28:45.374	61,374	ON→OFF
3	12:29:48	0,19	12:30:49.340	61,340	OFF→ON
4	12:31:52	0,19	12:32:53.265	61,265	OFF→OFF
5	12:33:56	0,20	12:34:57.428	61,428	ON→ON
6	12:36:01	0,20	12:37:01.269	60,269	ON→OFF
7	12:38:03	0,20	12:39:05.368	62,368	OFF→ON
8	12:41:10	0,18	12:42:11.242	61,242	ON→OFF
9	12:43:16	0,20	12:44:17.738	61,738	OFF→ON
10	12:45:21	0,19	12:46:21.738	60,738	ON→OFF
Rata-Rata Delay Relay				61,3259	

Tabel 6.
Penguujian *Network Control System* pada relay dengan program *millis interrupt*

No	Waktu Pada Website	Respon Website (Second)	Waktu Respon Relay	Delay (Second)	Kondisi Relay
1	15:35:04	0,20	15:35:04.964	0,964	OFF→ON
2	15:36:07	0,20	15:36:08.290	1,290	ON→OFF
3	15:37:15	0,21	15:37:16.550	1,550	OFF→ON
4	15:38:09	0,20	15:38:10.061	1,061	ON→OFF
5	15:39:12	0,22	15:39:13.373	1,373	OFF→ON
6	15:40:12	0,22	15:40:13.423	1,423	ON→OFF
7	15:41:10	0,21	15:41:11.023	1,023	OFF→ON
8	15:42:07	0,20	15:42:08.469	1,469	ON→OFF
9	15:42:40	0,20	15:42:41.083	1,083	OFF→ON
10	15:43:27	0,21	15:43:28.672	1,672	ON→OFF
Rata-Rata Delay Relay				1,2908	

seperti pada kendaraan dengan kendali otomatis, robot, pesawat tanpa awak, jaringan sensor nirkabel, dan lain sebagainya.

Disamping keuntungan yang ditawarkan oleh jaringan komunikasi, ada beberapa parameter yang muncul dalam jaringan komunikasi seperti waktu tunda transmisi dan kemungkinan hilangnya data saat transmisi yang bisa menyebabkan penurunan kinerja sistem dan bahkan bisa menyebabkan ketidakstabilan. Menurut Heemels, dkk. beberapa parameter jaringan yang harus dipertimbangkan meliputi waktu tunda transmisi data yang bervariasi, adanya kemungkinan data hilang (yang disebut *packet dropout*) di tengah jalan akibat ketidakhandalan jaringan, adanya *error* kuantisasi disebabkan keterbatasan panjang kata (*finite word length*), *interval* pencacahan yang berubah-ubah secara acak, dan penggunaan bersama jaringan oleh beberapa komponen (*multi nodes*).

Gambar 1 merupakan grafik dari gangguan paket data pada transmisi *network control system*. Data dalam NCS dikodekan dalam paket data kemudian ditransmisikan melalui jaringan komunikasi. Transmisi berbasis paket data adalah salah satu karakteristik paling penting dari NCS yang membedakan dari sistem kontrol konvensional. Karakteristik ini dapat diartikan bahwa transmisi data yang sempurna diasumsikan dalam sistem kontrol konvensional tidak ada di NCS. Kendala komunikasi yang disebabkan oleh transmisi berbasis paket di NCS termasuk penundaan yang disebabkan oleh jaringan, paket data putus, dan gangguan paket data [7].

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Dalam melakukan pembuatan *Automatic Transfer Switch* dilengkapi fitur *Monitoring Website* pada *On-Grid Solar Home System* perlu adanya sebuah perancangan sistem.

A. Perancangan Sistem

Gambar 2 merupakan desain rancangan dari sistem *automatic transfer switch* pada sistem *solar panel on-grid* dilengkapi fitur *monitoring* menggunakan *website*. Data dari sensor arus AC, tegangan AC dan tegangan DC akan diolah menggunakan mikrokontroler dan akan disimpan pada sistem *database cloud*. Untuk selanjutnya data yang didapatkan akan ditampilkan pada *interface website*. Fokus bagian dari *device* yang dikerjakan pada kotak berwarna biru yaitu sistem *monitoring* dari sensor arus dan tegangan pada *automatic transfer switch* yang kemudian dapat dikendalikan melalui *website* dari jarak jauh.

B. Flowchart Sistem Automatic Transfer Switch

Pada Gambar 3 adalah flowchart dari sistem ATS yang telah dibuat. Ketika sistem dimulai, solar system dalam keadaan menyala dengan beban disuplai oleh tegangan dari *photovoltaic*. Nilai batasan diatur sebagai *setpoint* tegangan minimum dari baterai untuk indikator pergantian suplai tegangan pada *Low Voltage Disconnect*. Setelah nilai set point diatur ATS akan membaca sumber tegangan dari *photovoltaic*, apabila sumber tegangan dari PLTS tidak ada maka ATS akan menswitch sumber ke PLN. Apabila sumber dari *photovoltaic* masih ada maka sensor akan membaca tegangan dan arus untuk selanjutnya hasil dari pembacaan sensor dikirim ke database. *Monitoring website* akan menampilkan hasil dari pembacaan sensor arus dan tegangan. Apabila dalam *monitoring real time* terdapat sumber tegangan PLTS ataupun PLN terbaca nilainya dibawah 150 volt, maka pada *website* akan muncul *alarm message* yang akan memberitahukan kepada operator untuk melakukan aksi yaitu kontrol OFF/ON sumber.

C. Diagram Blok Sistem Automatic Transfer Switch

Sesuai pada Gambar 4 diagram blok ATS, sistem kerja *Automatic Transfer Switch* dimulai dari pemberian *input* sumber tegangan dari *photovoltaic* (PLTS) dan sumber tegangan dari PLN. *Photovoltaic* dihubungkan pada terminal *input* ATS yang tersambung dengan *Solar Charge Controller* dan baterai. *Solar Charge Controller* akan melakukan otomatisasi tegangan pada pengisian baterai *photovoltaic* agar tegangan yang dihasilkan tidak melampaui batas yang dapat mengakibatkan sel baterai rusak. *Solar Charge Controller* akan memutuskan beban dari baterai agar daya baterai tidak *full discharge* dan *overloading*. Selain itu *Solar Charge Controller* berfungsi untuk menghentikan arus terbalik pada saat malam hari. Kemudian *inverter* akan mengubah arus dari baterai atau aki 12volt DC menjadi AC 220volt untuk menyalakan peralatan rumah tangga. Output dari inverter kemudian dihubungkan pada relay, pada relay inilah terjadi pertukaran antara tegangan dari PLTS dan PLN secara elektromagnetis dengan memanfaatkan fungsi kerja dari relay. Terdapat 3 mode pilihan pada panel ATS yaitu mode *automatic/otomatis*, mode PLTS dan mode PLN.

Mode *Automatic*, yaitu prioritas utama pada PLTS Ketika baterai full maka beban semua diambil dari PLTS. Ketika

baterai low, otomatis beban akan berpindah ke PLN tanpa jeda dan ketika baterai pada PLTS sudah penuh akan pindah secara langsung ke PLN berlaku seterusnya. Pada mode ini ketika listrik padam (dalam kondisi di PLN) maka otomatis listrik akan tetap menyala karena beban diambil dari PLTS. Mode kedua yaitu mode PLN, mode ini disetting untuk prioritas beban sepenuhnya diambil dari sumber PLN tanpa harus menunggu baterai habis, dan ketika listrik padam otomatis akan pindah ke PLTS. Jika PLN telah ON kembali maka akan pindah lagi ke PLN tanpa jeda. Untuk mode yang ketiga yaitu mode PLTS, mode ini adalah mode prioritas full PLTS. Sumber arus listrik sepenuhnya disuplai dari PLTS. Mode ini bisa digunakan saat listrik PLN padam, atau momen dimana ingin menggunakan full PLTS sebagai beban utama. Mode ini bekerja dengan memperhatikan kondisi presentase dari baterai. Dimana fungsi dari komponen *low voltage disconnected* yang terhubung pada baterai PLTS akan melakukan *cut off* (mematikan *inverter*) ketika baterai dalam keadaan low. *Low voltage disconnected* dapat disetting dan disesuaikan dengan kondisi drop baterai untuk melakukan *cut off* baterai terhadap beban. Hal ini dimaksudkan untuk memproteksi baterai agar baterai atau aki lebih awet karena tidak terkuras sampai habis (memperpanjang umur baterai/aki).

D. Perancangan Perangkat Monitoring Automatic Transfer Switch

Sistem *monitoring* pada *Automatic Transfer Switch* bekerja dengan memanfaatkan IoT sebagai kendali jarak jauh dalam kendali panel ATS. Gambar 5 merupakan diagram blok sistem dari penerapan sistem IoT berbasis *Website* pada panel automatic transfer switch. Pada sistem *monitoring* ATS ini semua sistem dikontrol menggunakan mikrokontroler ESP8266. Cara kerja dari sistem kendali pada monitoring ATS adalah ketika *button on/off* pada *website monitoring* ditekan akan mengubah nilai indikator pada tampilan *monitoring website* dan pada *database* kontrol yaitu 0 (OFF) dan 1 (ON). Setelah itu melalui jaringan *network*, pemrograman mikrokontroler yang telah terhubung dengan *server* dan *website* akan membaca nilai dari *database* kontrol tersebut apakah nilainya 1 (Kondisi Menyala) atau 0 (Kondisi Mati). Apabila nilai terbaca 1, maka mikrokontroler akan memerintahkan relay ON dan apabila nilai terbaca 0 maka akan memerintahkan untuk relay OFF.

Pada *monitoring automatic transfer switch* terdapat sensor PZEM004T dimasing-masing sumbernya. Sensor tersebut diprogram untuk mengirimkan data hasil pengukuran tegangan arus dan daya dari masing-masing sumber. Apabila sensor PZEM004T membaca tidak adanya tegangan pada salah satu sumber, maka pada *website* akan muncul indikator *warning* sebagai pengingat/ pemberitahuan kepada operator.

Gambar 6 merupakan wiring diagram dari sensor pembaca arus dan tegangan untuk memonitoring ATS. Pada Gambar 6 sensor yang digunakan yaitu sensor tegangan dan arus PZEM404, sensor arus ACS712, dan sensor tegangan DC. Mikrokontroler yang digunakan ialah ESP8266 yang berfungsi sebagai tempat pengolahan data yang dibaca oleh sensor dan kemudian dikirimkan pada *database*.

E. Perancangan Website Monitoring

Gambar 7 merupakan gambar *monitoring automatic transfer switch* dengan *website*. Terdapat 3 menu utama yaitu

menu monitoring ATS, *menu monitoring grafik*, dan *menu monitoring datauser* serta terdapat kolom mengenai informasi. Halaman *monitoring* ini dilengkapi dengan tabel *monitoring* secara *realtime*, yang akan menampilkan data hasil pengukuran sensor. Selain itu juga terdapat dua buah *menu* kontrol dibawah *monitoring* yang berfungsi sebagai kendali relay pada *automatic transfer switch*.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan pengujian dan analisa terkait dengan sistem yang telah dirancang dan dibuat.

A. Pengujian Fungsi ATS Mode PLTS

Pengujian fungsionalitas *Automatic Transfer Switch* pada mode PLTS dilakukan menggunakan PLTS dengan kapasitas panel *photovoltaic* sebesar 200Watt-Peak dan baterai dengan kapasitas 12V 100Ah. Saat ATS diberikan beban lampu dan kipas angin, PLTS dapat mensuplai beban dengan baik dapat dilihat pada Tabel 1. Mode ini bekerja dengan memperhatikan kondisi presentase dari baterai. Dimana fungsi dari komponen *low voltage disconnected* yang terhubung pada baterai PLTS akan melakukan *cut off* (mematikan *inverter*) ketika tegangan baterai dibawah 11,5Volt. Pengujian dilakukan pada kondisi pagi hari dengan kondisi panel *photovoltaic* ditutup hingga seperti kondisi malam hari. Hal ini bertujuan agar dapat mengetahui kapan ATS akan melakukan *switching* beban rumah tangga. Dapat dilihat pada Tabel 1 pada saat pukul 08:18WIB, ATS mencapai nilai presentase baterai sebesar 11,4Volt dengan kapasitas baterai sebesar 36%. Sehingga ATS melakukan *cut off* sumber dari PLTS dan mengalihkan beban pada sumber PLN tanpa jeda. Pada saat ATS melakukan *switching*, beban yang terpasang masih tetap dalam keadaan menyala.

B. Pengujian Fungsi ATS Mode

Pengujian fungsionalitas *Automatic Transfer Switch* pada mode *Automatic* dilakukan menggunakan menggunakan sumber utama dari PLTS dengan kapasitas panel *photovoltaic* sebesar 200Watt-Peak dan baterai dengan kapasitas 12V 100Ah. Saat ATS diberikan beban lampu, kipas angin, dan *charging* HP, PLTS dapat mensuplai beban dengan baik dapat dilihat pada Tabel 2 Mode ini bekerja dengan memperhatikan kondisi presentase dari baterai sama halnya dengan mode PLTS. Dimana fungsi dari komponen *low voltage disconnected* yang terhubung pada baterai PLTS akan melakukan *cut off* (mematikan *inverter*) ketika tegangan baterai dibawah 11,5Volt. Pengujian dilakukan pada kondisi sore hari hingga malam hari agar mengetahui kapan ATS akan melakukan *switching* beban rumah tangga. Dapat dilihat pada Tabel 2 saat ATS mencapai nilai presentase baterai sebesar 11,4Volt dengan kapasitas baterai sebesar 38%, ATS melakukan *cut off* sumber dari PLTS dan mengalihkan beban pada sumber PLN tanpa jeda. Saat ATS melakukan *switching*, beban yang terpasang masih dalam keadaan tetap menyala.

C. Pengujian Fungsi ATS Mode PLN

Berikutnya merupakan pengujian ATS pada mode PLN. Ketika ATS diberikan beban Lampu dan Kipas, ATS dapat mensuplai beban dengan baik dengan sumber PLN. Ketika pada pengujian berikutnya dilakukan pemindahan beban dari

PLN ke PLTS, beban masih tetap menyala dengan suplai yang baik dapat dilihat pada Tabel 3.

Ketika sumber PLN dinyalakan kembali, ATS akan secara otomatis mengembalikan ke sumber dengan beban lampu dan kipas masih menyala. Berikutnya dilakukan pengujian dengan mematikan sumber PLN dengan menggunakan beban yang sama yaitu lampu, kipas dan heater untuk melihat apakah PLTS mampu memberikan suplai cadangan untuk tetap menyalakan beban tersebut. Dapat dilihat pada Tabel 3, diketahui bahwa PLTS tidak mampu memenuhi suplai daya dari beban tersebut dikarenakan beban tersebut menghasilkan daya yang cukup besar yaitu 340Watt. Ketika sumber dari PLTS tidak mampu memenuhi kebutuhan daya tersebut, beban dalam keadaan mati karena tidak mendapatkan sumber dari PLTS ataupun PLN. Kemudian sumber PLN dinyalakan kembali melalui sistem kontrol dari *website*, beban lampu, kipas dan *heater* menyala kembali. Ketidakmampuan PLTS dalam mensuplai beban yang diterima diakibatkan kurangnya kapasitas PLTS yang hanya disuplai dari panel *photovoltaic* berkapasitas 200Watt-Peak dengan baterai 12Volt 100Ah.

D. Pengujian Monitoring Keluaran PV dengan Metode Moving Average

Pengujian dengan menggunakan Metode *Moving Average* ini bertujuan untuk filtering data hasil keluaran dari *monitoring photovoltaic* yang tidak sesuai dari yang seharusnya didapatkan. Dapat dilihat pada gambar grafik pengukuran tegangan *photovoltaic* didapatkan hasil data minus saat pengukuran dan pada pengukuran arus didapatkan beberapa hasil pengukuran minus, sehingga data ini perlu difilter agar data yang ditampilkan pada *database* benar-benar mendekati data sebenarnya (*real data*). Pengujian ini dilakukan dalam rentang waktu pengambilan data per-1 menit dimulai pada pukul 05:01 – 18:01.

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 dapat dilihat perbandingan nilai yang cukup stabil dalam penggunaan metode *moving average* untuk *smoothing* data pengujian tegangan dan arus *photovoltaic*. Dengan menggunakan metode *moving average* didapatkan nilai rata-rata kesalahan absolut (*mean absolute error*) pada tegangan PV sebesar 1,368V dan pada arus PV sebesar 0,152307087A. Dan untuk rata-rata perbedaan kuadrat (*mean squared error*) antara nilai-nilai yang diramalkan dan nilai yang diamati adalah sebesar 3,389456V pada tegangan *photovoltaic* dan 0,079465A dapat dilihat pada Tabel 4.

E. Pengujian Delay Kontrol Relay Terhadap Tanpa dan Dengan Program Millis Interrupt

Pengujian delay dilakukan untuk mengukur rentang waktu antara alat menuju atau dari *database* dalam satuan detik (s). Pada pengujian delay kontrol *relay* yang pertama menggunakan pemrograman tanpa pemrograman *millis interrupt*. Pengujian dengan metode *network control system pada relay* yaitu relay pada salah satu sumber PLTS/PLN. Pengujian ini menggunakan jaringan koneksi wifi dan secara *localhost* server. Pengujian ini bertujuan untuk mencari rentang waktu delay dari *website* hingga alat bergerak. Pengujian ini mengukur rentang waktu dimulai dari menekan *button* ON/OFF pada *website* hingga indikator relay pada *website* berubah hingga waktu respon relay ON/OFF.

Dapat dilihat pada Tabel 5 didapatkan nilai respon *website* berkisar antara 0,18 hingga 0,20 *second* dan rata-rata nilai delay pada relay sebesar 61,3259*second*. Sehingga didapatkan grafik *network control system* seperti dibawah ini.

Pada Sistem Kontrol Relay pada Monitoring ATS terdapat gangguan paket data (*Packed Disorder*) dapat dilihat pada Gambar 10. Pada grafik NCS terdapat sumbu x dan sumbu y. Pada sumbu x terdapat TW(k) dan TP(k), sedangkan pada sumbu y terdapat *Command Center Web, Controller, dan Plant* ATS. Pada grafik didapatkan TW(k) merupakan waktu perhitungan *website* ke mikrokontroler didapatkan rentang waktu yaitu 0,18s, 0,19s, dan 0,20s. Pada pemrograman *controller relay* atau TC(k) diberikan waktu *set point* dari program telah diberikan perintah waktu sebesar 1000*milisecond* atau 1 detik dan diperoleh nilai TP(k) dalam rentang waktu perhitungan dari mikrokontroler ke *plant* sebesar 60,269*second*-62,368*second*.

Dapat dilihat pada Tabel 6 didapatkan nilai respon *website* berkisar antara 0,20 hingga 0,22*second* dan rata-rata nilai delay pada relay sebesar 1,2908*second*. Sehingga didapatkan grafik *network control system* seperti dibawah ini.

Pada Sistem Kontrol Relay pada Monitoring ATS terdapat gangguan paket data (*Packed Disorder*) dapat dilihat pada Gambar 11. Pada grafik NCS terdapat sumbu x dan sumbu y. Pada sumbu x terdapat TW(k) dan TP(k), sedangkan pada sumbu y terdapat *Command Center Web, Controller, dan Plant* ATS. TW(k) merupakan waktu perhitungan *website* ke mikrokontroler didapatkan rentang waktu yaitu 0,20s, 0,21s, dan 0,22s. Pemrograman *monitoring relay* atau TC(k) telah diberikan perintah delay sebesar 1000*milisecond* atau 1 detik dan Dan diperoleh TP(k) dalam rentang waktu perhitungan dari mikrokontroler ke *plant* sebesar 0,964s-1,672s. Pengujian ini menggunakan perintah pemrograman *millis interrupt* sehingga didapatkan hasil delay yang sama dengan *set point* yang telah ditentukan. Hal tersebut tentunya sangat efektif dalam penggunaan pemrograman relay karena seharusnya relay dapat bergerak cepat tanpa pengaruh dari pemrograman lainnya dan membuktikan bahwa pengiriman paket data yang seharusnya tersampaikan dalam rentang delay 1*second* masih terjadi sedikit gangguan yang mengakibatkan telatnya paket pengiriman data dari mikrokontroler ke *plant* ATS sehingga relay ON/OFF lebih lama. Berdasarkan data, didapatkan nilai rata-rata delay relay yaitu 61.40*second* dengan threshold 60*second*.

Gambar 12 merupakan grafik hasil perbandingan pengujian delay dengan threshold yang telah ditentukan yaitu sebesar 60000*milisecond* atau 60s masih terdapat delay yang signifikan. Delay terbesar yang didapatkan yaitu sebesar 65s atau 1 menit 5 detik. Delay tersebut juga dipengaruhi oleh kecepatan konektivitas dari jaringan yang digunakan. Pada gambar 7 didapatkan delay terbesar yaitu. Delay tersebut juga dipengaruhi oleh kecepatan konektivitas dari jaringan yang digunakan. Sehingga hal tersebut akan mempengaruhi kinerja dari kontrol relay dalam mengaktifkan ataupun mematikan relay pada *monitoring* ATS.

Pengujian selanjutnya ini dilakukan selama satu menit dengan menggunakan *timestamp*. Berdasarkan data yang didapatkan nilai rata-rata delay relay sebesar 1,034s, hasilnya jauh lebih baik pengujian sebelumnya. Hasil nilai yang keluar

tidak jauh dari nilai setpoint delay yang ditentukan sebesar 1000 *millisecond*. Dapat dilihat pada grafik Gambar 13.

Dari Gambar 13 grafik diketahui bahwa masih terdapat nilai delay yang cukup tinggi sebesar 1,065*second*. Hal tersebut dikarenakan bertepatan dengan pengiriman datasensor ke *database*. Dari data yang didapatkan menunjukkan bahwa delay yang didapatkan sudah tidak terlalu tinggi dan nilainya tidak jauh dari set point yang ditentukan. Sehingga kinerja dari kontrol relay dalam cukup baik ketika mengaktifkan ataupun mematikan relay pada *monitoring* ATS. Dapat dibandingkan dengan pengujian 1 dan pengujian 2 antara penggunaan pemrograman *millis interrupt* dengan program yang tidak menggunakan *millis interrupt* terdapat beda yang sangat signifikan. Hal tersebut dapat mempengaruhi kinerja relay yang membutuhkan aksi kontrol cepat.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian alat yang telah dilakukan, maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut: (1) Sistem *Automatic Transfer Switch* dapat melakukan *switching* atau perpindahan beban dari sumber utama ke sumber cadangan berdasarkan kondisi presentase dari baterai saat mencapai nilai sebesar 11,4 Volt dengan kapasitas baterai berkisar antara 36%-38%. Sehingga ATS melakukan *cut off* sumber dari PLTS dan mengalihkan beban pada sumber PLN tanpa jeda. (2) Dari hasil pengujian menggunakan Metode *Moving Average* sebagai *filter* hasil *data* yang tidak sesuai pada pengukuran *monitoring* keluaran *Photovoltaic*, didapatkan grafik *monitoring* tegangan dan arus *photovoltaic* yang lebih stabil. Dengan MAE tegangan PV = 1,368 V, MAE arus PV = 0,152 A dan MSE tegangan PV = 3,389 V, MSE arus PV = 0,079 A. (3) Hasil Metode

Network Control System dengan penggunaan pemrograman *millis interrupt* pada kontrol *relay* didapatkan rata-rata nilai delay relay 1 dan relay 2 sebesar 1,034*second* jauh lebih baik daripada penggunaan pemrograman tanpa *millis interrupt* yaitu sebesar 61*second*. Hal tersebut tentunya berpengaruh pada keefektifan kerja dari *relay* kontrol *monitoring* ATS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Principe and W. Takeuchi, "Supply and demand assessment of solar PV as off-grid option in asia pacific region with remotely sensed data," *Remote Sens.*, vol. 11, no. 19, p. 2255, Sep. 2019, doi: 10.3390/rs11192255.
- [2] A. Manur, M. Marathe, A. Manur, A. Ramachandra, S. Subbarao, and G. Venkataramanan, "Smart Solar Home System with Solar Forecasting," in *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020)*, Cochin, India, Jan. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/PESGRE45664.2020.9070340.
- [3] F. K. Jean-Rostand, M. M. Mustapha, I. Adabara, and A. S. Hassan, "Design of an automatic transfer switch for households solar PV system," *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. 6., p. 13, 2019.
- [4] M. Jailia, A. Kumar, M. Agarwal, and I. Sinha, "Behavior of MVC (Model View Controller) Based Web Application Developed in PHP and .NET Framework," in *2016 International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG)*, Indore, India, 2016, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICTBIG.2016.7892651.
- [5] Muliadi, M. Y. Fahrezi, I. S. Areni, E. Palantei, and A. Achmad, "A Smart Home Energy Consumption Monitoring System Integrated with Internet Connection," in *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, Batam, Indonesia, Dec. 2020, pp. 75–80. doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9328960.
- [6] R. Rachman, "Penerapan metode moving average dan exponential smoothing pada peramalan produksi industri garment," *J. Inform.*, vol. 5, pp. 211–220, Sep. 2018.
- [7] Y.-B. Zhao, X.-M. Sun, J. Zhang, and P. Shi, "Networked control systems: the communication basics and control methodologies," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2015, pp. 1–9, 2015, doi: 10.1155/2015/639793.