

Desain Pengisian Optimal Kendaraan Listrik Berdasarkan Kebutuhan Daya *Grid* dan Kondisi *Grid* pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Menggunakan Kontroler Logika *Fuzzy*

Onang Surya Nugroho, Dimas Anton Asfani, dan Daniar Fahmi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: onang.nugroho@gmail.com , anton@ee.its.ac.id , daniarfahmi@ee.its.ac.id

Abstrak— Kendaraan listrik telah menjadi salah satu alternatif dalam menangani isu krisis energi dalam bidang transportasi. Peningkatan jumlah kendaraan listrik yang tidak diiringi oleh sistem manajemen stasiun pengisian yang baik akan memberikan dampak negatif ke sistem distribusi pada jaringan seperti fluktuasi tegangan, drop tegangan, stress tegangan, rendahnya kontinuitas daya sistem, bahkan dapat menyebabkan terjadinya *blackout*. Diperlukan desain manajemen energi untuk kendaraan listrik pada stasiun pengisian sehingga didapatkan model aliran daya yang optimal antara stasiun pengisian dan *grid*. Dalam tugas akhir ini akan dirancang desain dan analisis pengisian optimal dengan mempertimbangkan estimasi aliran daya antara stasiun pengisian dengan *grid* dan kondisi beban pada *grid* (*off-peak / peak*) menggunakan kontroler *fuzzy logic*. Manajemen pengisian ini menggunakan konsep *vehicle to vehicle* (V2V), *vehicle to grid* (V2G), maupun *grid to vehicle* (G2V) yang diatur oleh indeks dan rating pengisian hasil skoring rule *fuzzy*. Dengan dua masukan tersebut di atas, hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem berbasis *fuzzy* dapat meratakan kurva beban puncak kendaraan listrik, mengurangi dampak beban puncak ke *grid*, dan dapat memberikan keuntungan dari segi biaya berupa *saving cost*.

Kata Kunci—Kendaraan Listrik, Pengisian Optimal, *Fuzzy Logic Controller*, *Vehicle to Vehicle*, *Vehicle to Grid*, *Grid to Vehicle*.

I. PENDAHULUAN

PENIPISAN cadangan energi fosil telah memberikan dampak serius di berbagai bidang kehidupan, khususnya dalam sektor transportasi. Berdasarkan data dari *Energy Information Administration (EIA)*, bahwa pada tahun 2035 jumlah konsumsi energi fosil meningkat hingga 54% dan harga energi fosil akan terus naik dalam kurun waktu dua dekade mendatang [1]. Berbagai usaha yang berkaitan dengan pengurangan jumlah konsumsi energi fosil mulai bermunculan. Dalam sektor transportasi, kendaraan listrik telah menjadi solusi yang menjanjikan dalam usaha pengurangan energi fosil dan kendaraan listrik terus berkembang menjadi pasar utama dalam industri otomotif.

Peningkatan jumlah kendaraan listrik yang signifikan dapat memberikan dampak positif maupun negatif ke sistem jaringan distribusi. Kendaraan listrik berpotensi menjadi solusi dalam usaha *peak shaving* dan *valley filling grid* dalam kondisi *peak load* dengan melakukan transfer energi dari baterai kendaraan listrik ke *grid* di bawah konsep layanan

vehicle to grid (V2G) [2]. Di sisi lain, sistem pengisian kendaraan listrik yang acak dan tidak terkontrol dapat menyebabkan dampak yang serius bagi jaringan distribusi seperti fluktuasi tegangan, *stress* pada sistem distribusi, degradasi kontinuitas daya, masalah teknis, degradasi sistem ekonomi, dan dapat menyebabkan *blackout* [3].

Untuk menanggulangi masalah tersebut, beberapa studi terkait manajemen aliran daya antara stasiun pengisian dan *grid* telah dilakukan. Pada referensi [4], dijelaskan studi terkait manajemen aliran daya secara *real time* pada *smart grid* dengan mempertimbangkan efisiensi harga dan rugi – rugi daya. Namun, studi ini tidak melibatkan sumber energi terbarukan pada sistem, padahal penetrasi sumber energi terbarukan merupakan salah satu usaha dalam pengurangan konsumsi energi fosil. Selain itu, strategi kontrol tidak berdasarkan level prioritas kebutuhan, tetapi berdasarkan seberapa banyak *owner* kendaraan dapat membayar dan sistem juga tidak mempertimbangkan SOC (*state of charge*), sehingga efisiensi dari layanan sistem *vehicle to vehicle* (V2V) dan *vehicle to grid* (V2G) sangat rendah. Pada referensi [5], dijelaskan tentang proses manajemen transfer energi antara stasiun pengisian dan *grid* dengan memanfaatkan kendaraan listrik sebagai *energy storage unit* (ESU), di mana baterai kendaraan listrik dapat mentransfer daya ke *grid* atau sebaliknya. Namun, proses aliran daya dan *state of charge* (SOC) tidak dipertimbangkan selama proses ini.

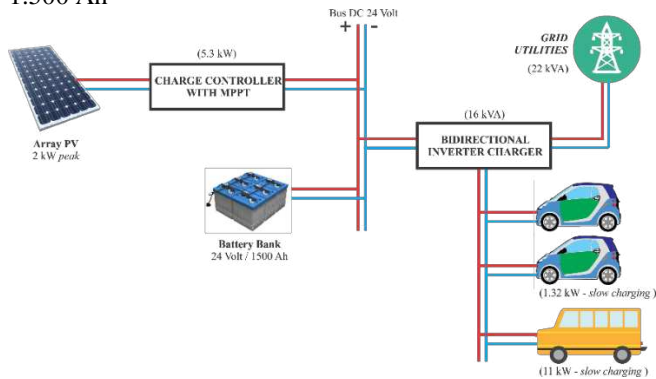
Dalam Tugas Akhir ini, didesain sebuah sistem manajemen energi dengan mempertimbangkan estimasi aliran daya antara stasiun pengisian dan *grid*. Pada *grid*, diperhatikan kondisi *peak* atau *off peak* dari profil beban harian gardu induk. Kontroler logika *fuzzy* digunakan untuk memutuskan level prioritas dan rating pengisian yang diperlukan oleh kendaraan listrik yang terparkir sesuai dengan SOC (*state of charge*) dan lama parkir (*parking duration*). Sistem kontroler ini juga dapat memutuskan mode yang paling efisien untuk memaksimalkan penggunaan energi *photovoltaic*, meminimalisir penggunaan *grid*, dan pemenuhan SOC kendaraan listrik dengan mengaktifkan mode *vehicle to vehicle* (V2V), *vehicle to grid* (V2G), atau *grid to vehicle* (G2V).

II. DASAR TEORI

A. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik

Stasiun pengisian kendaraan listrik merupakan sebuah infrastruktur sumber eksternal untuk pengisian kendaraan listrik [6]. Beberapa klasifikasi stasiun pengisian yang telah banyak digunakan diantaranya *residential charging station, charging while parked, fast charging, dan battery swaps*.

Sumber energi listrik stasiun pengisian kendaraan listrik ITS berasal dari *grid* (PLN) dan panel surya (*photovoltaic*) yang dilengkapi media penyimpanan berupa baterai *charging station*, sehingga ketiga sumber ini disebut *hybrid charging station*. Terdapat tiga slot untuk pengisian kendaraan listrik yaitu dua untuk mobil listrik (*ezzy 1 dan ezzy 2*) dan satu untuk bus listrik. Panel surya (*photovoltaic*) sebagai energi terbarukan terdiri dari 10 modul dengan kapasitas keluaran 2.000 Watt peak (5 paralel dan 2 seri). Sedangkan baterai *charging station* sebagai media penyimpanan terdiri dari 12 baterai (VRLA) 2 Volt dengan rating kapasitas total sebesar 1.500 Ah



Gambar 1. Skema hybrid stasiun pengisian ITS

B. Manajemen Aliran Daya pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik

1. Manajemen Aliran Daya Berdasarkan Mode Operasi

Didasarkan pada sistem *hybrid* stasiun pengisian, di mana sumber berasal dari panel surya dan *grid* PLN. Mode operasi ini digunakan untuk menyesuaikan kebutuhan beban dengan ketersediaan sumber pada sistem.

2. Manajemen Aliran Daya Berdasarkan Harga Grid

Manajemen aliran daya ini menggunakan pertimbangan kondisi harga *grid*, di mana harga *grid* diasumsikan berbeda-beda setiap waktu (harga lebih mahal ketika kondisi *grid* puncak). Selanjutnya harga *grid* ini akan menjadi masukan *fuzzy logic controller* bersama dengan daya pada bus yang juga terdiri dari dua sumber yakni *grid* dan panel surya.

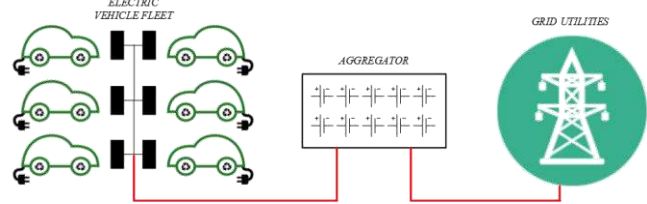
3. Manajemen Berdasarkan Peak Shaving dan Valley Filling

Merupakan konsep manajemen aliran daya untuk mengurangi kurva beban puncak. Peak shaving merupakan pemotongan kurva beban puncak dengan memberikan daya pada *grid*, di mana sistem pada stasiun pengisian kendaraan listrik mengalami proses *discharging*, sehingga daya dialokasikan ke *grid* untuk mengurangi kurva beban puncak. Sedangkan untuk *valley filling* merupakan kebalikan dari sistem *peak shaving* dengan cara sistem pada stasiun pengisian kendaraan listrik mengalami proses *charging* untuk membuat kurva beban pada kondisi yang diinginkan.

C. Power Flow Regulation pada Sistem V2G

1. Agregator dan Stasiun Pengisian

Agregator dibangun untuk memenuhi regulasi aliran daya pada stasiun pengisian skala besar untuk menyediakan layanan *charging / discharging* [7]. Untuk memenuhi tujuan tersebut, agregator diharuskan memperoleh informasi tentang kapasitas daya dari masing – masing kendaraan listrik yang terparkir dan kemudian menentukan besar daya yang harus disediakan oleh *grid* untuk ditransfer ke kendaraan listrik.



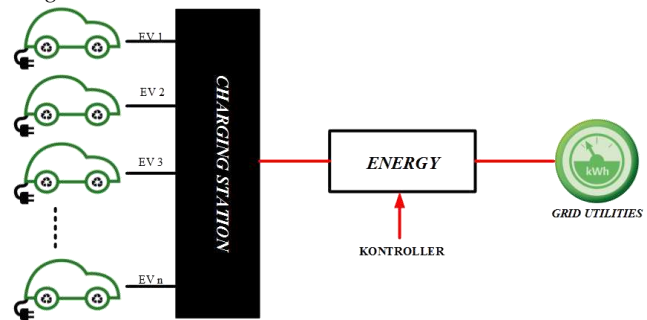
Gambar 2. Agregator pada stasiun pengisian

2. Study of Driving Patterns

Untuk memprediksi penggunaan energi dari *owner* kendaraan listrik, pembelajaran tentang driving behaviours sebaiknya dilakukan untuk mendapatkan pemahaman tentang seberapa banyak energi yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik dan seberapa banyak energi dapat ditransfer ke *grid* meliputi jarak tempuh kendaraan listrik per hari, konsumsi energi dari kendaraan listrik, dan SOC (*state of charge*) baterai ketika mobil tiba di tujuan.

3. Stasiun Pengisian

Berfungsi sebagai penghubung antara kendaraan listrik dan *grid*, stasiun pengisian mempunyai peran yang sangat penting dalam hal komunikasi. Stasiun pengisian juga menjadi pusat kontrol dalam mengatur aliran daya di antara kendaraan listrik dan *grid*.



Gambar 3. Sistem V2G pada stasiun pengisian

D. Fuzzy Logic Controller

Fuzzy dikenal sebagai kabur / samar-samar. *Fuzzy* merupakan nilai yang dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan [8]. Namun seberapa besar kebenaran dan kesalahannya tergantung pada derajat keanggotaannya (rentang 0 – 1). Logika *fuzzy* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (linguistik), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat. logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah.

III. PERANCANGAN SIMULASI PENGISIAN OPTIMAL STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK

A. Perancangan Sumber

Perancangan sumber pada penelitian ini menggunakan tiga buah sumber yaitu, panel surya dengan kapasitas total pada kondisi irradiance maksimum adalah 2.000 Watt peak, *grid*, dan baterai *charging station*. Untuk mendapatkan hasil pengisian optimal pada stasiun pengisian kendaraan listrik dibutuhkan penetrasi dari sumber energi terbarukan, sehingga kecenderungan sistem untuk mengambil daya dari *grid* akan berkurang karena adanya penetrasi sumber energi terbarukan.

B. Perancangan Beban

Perancangan beban dimodelkan dengan menggunakan referensi spesifikasi dari bus listrik ITS, mobil *ezzy 1*, dan mobil *ezzy 2* sesuai Tabel 1.

Tabel 1.
Beban maksimum kendaraan listrik

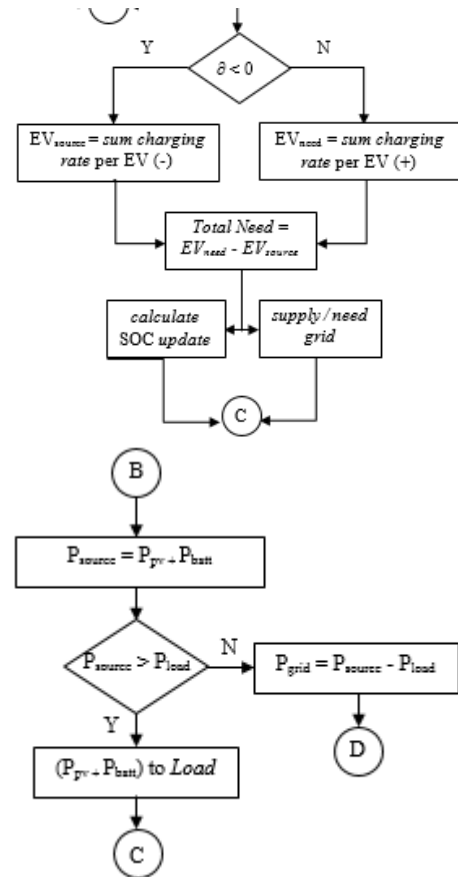
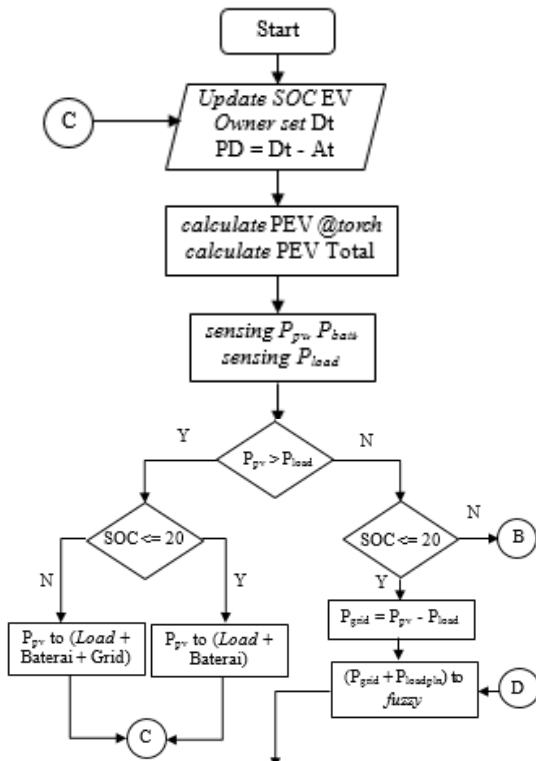
No	Beban	Kebutuhan
1	Bus Listrik	36 kW
2	Mobil <i>Ezzy 1</i>	20 kW
3	Mobil <i>Ezzy 2</i>	20 kW

C. Perancangan Mode Operasi

Dari Gambar 4, dapat diketahui bahwa proses perancangan aliran daya untuk pengisian optimal kendaraan listrik adalah sebagai berikut:

1. Ketika kendaraan listrik memasuki area parkir, masing – masing *torch* akan menghitung waktu kedatangan (*arrival time – At*), *sensing* SOC dari kendaraan, dan *owner* akan set waktu kepergian (*departure time - Dt*), sehingga *torch* akan menghitung lama parkir (*parking duration – PD*) yang dibutuhkan oleh masing – masing kendaraan listrik.

$$PD = D_t - A_t \tag{9}$$



Gambar 4. Flowchart pengisian optimal

2. Perhitungan daya dilakukan pada masing – masing *torch* sehingga didapatkan kebutuhan dari masing – masing kendaraan listrik (persamaan 10). Setelah itu akan dihitung kebutuhan daya total atau kebutuhan beban.

$$PEV_{need} = \frac{100 - SOC}{100} \times \frac{BC}{PD} \tag{10}$$

3. Dengan melakukan *sensing* P_{pv} , P_{Batt} (daya baterai *charging station*), dan PEV_{Need_Total} (beban keseluruhan mobil), maka akan didapatkan kemungkinan mode operasi aliran daya pada charging station.

Untuk mode operasi dari aliran daya yang mungkin terjadi selama proses pengisian optimal kendaraan listrik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.

Mode operasi pengisian kendaraan listrik		
Mode Operasi	Aliran Daya	Kondisi
Mode Operasi 1	P_{pv} to (Load + Baterai)	$P_{pv} > P_{load}$ && SOC $\leq 20\%$
Mode Operasi 2	P_{pv} to (Load + Baterai + Grid)	$P_{pv} > P_{load}$ && SOC $> 20\%$
Mode Operasi 3	Vehicle to Vehicle Grid to Vehicle Vehicle to Grid	$P_{pv} < P_{load}$ && SOC $\leq 20\%$
Mode Operasi 4	(P_{pv} + Baterai) to Load Vehicle to Vehicle Grid to Vehicle Vehicle to Grid	$P_{pv} < P_{load}$ && SOC $> 20\%$

Mode operasi 3 dan 4 memungkinkan terjadinya layanan V2V, V2G, dan G2V dengan menggunakan rating pengisian pada Tabel 3.

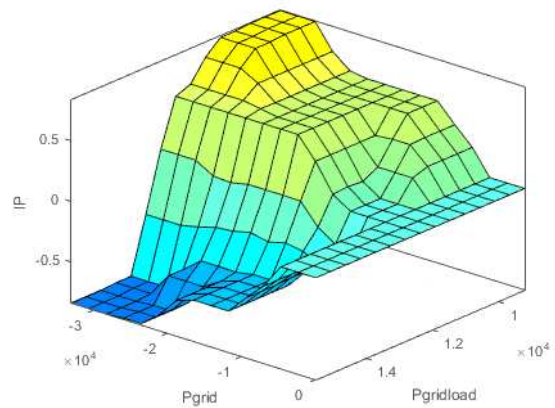
Tabel 3.
Rating pengisian

Level	Power Requirement	Charging / Discharging Rate
A	$10 \text{ kW} \leq PEV_Need < 15 \text{ kW}$	11 kW
B	$5 \text{ kW} \leq PEV_Need < 10 \text{ kW}$	$4.75 \text{ kW} + 4 \text{ kW} * index$
C	$2 \text{ kW} \leq PEV_Need < 5 \text{ kW}$	$5 \text{ kW} * index$
D	$PEV_Need < 2 \text{ kW}$	$-3 \text{ kW} + 5 \text{ kW} * index$

D. Perancangan Fuzzy Logic Controller

Kontroler logika fuzzy digunakan untuk mengatur transfer daya yang terjadi antara stasiun pengisian dan grid baik berupa *vehicle to vehicle*, *vehicle to grid*, maupun *grid to vehicle* untuk mendapatkan nilai optimal dengan tujuan mengurangi beban grid ketika terjadi penetrasi kendaraan listrik dalam jumlah banyak. Kontroler logika fuzzy yang digunakan adalah tipe *fuzzy-mamdani*.

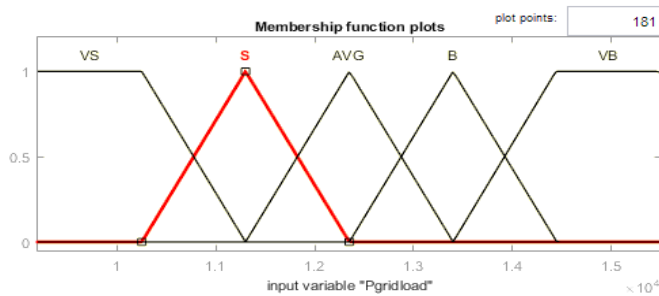
Gambar 5 menunjukkan *membership function* dari $P_{gridtotal}$ dengan range [9198 1.55e+04]. Gambar 6 menunjukkan *membership function* P_{grid} dengan range [-3.3e+04 0], dan *membership function* *index charging* ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan tampilan untuk *surface fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 8. Penentuan *rule fuzzy* menggunakan 25 *rule* yang terbagi menjadi tabel 5 x 5 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.



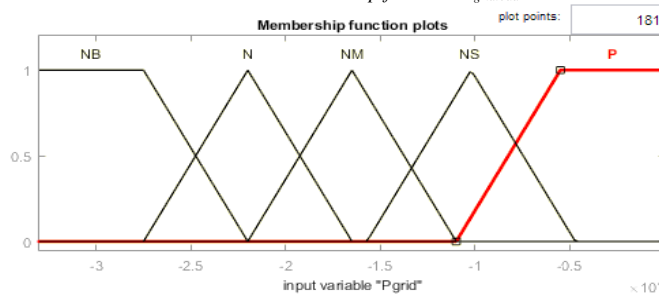
Gambar 8. Surface fuzzy

Tabel 4.
Rule pada fuzzy

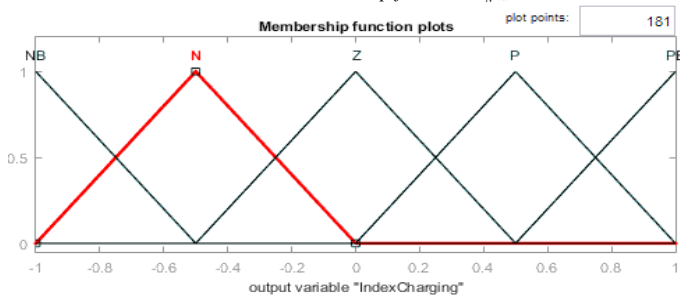
Pgrid	Negative Big	Negative	Negative Medium	Negative Small	Positive
Very Small	PB	P	P	P	Z
Small	PB	P	P	Z	Z
Average	P	P	P	Z	Z
Big	NB	N	N	N	Z
Very Big	NB	NB	N	N	Z



Gambar 5. Membership function $P_{gridload}$



Gambar 6. Membership function P_{grid}

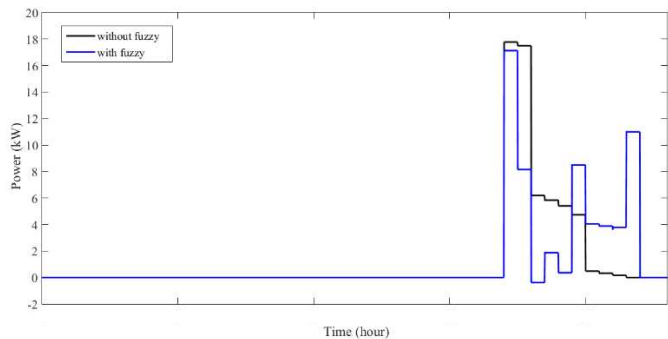


Gambar 7. Membership function Index Charging

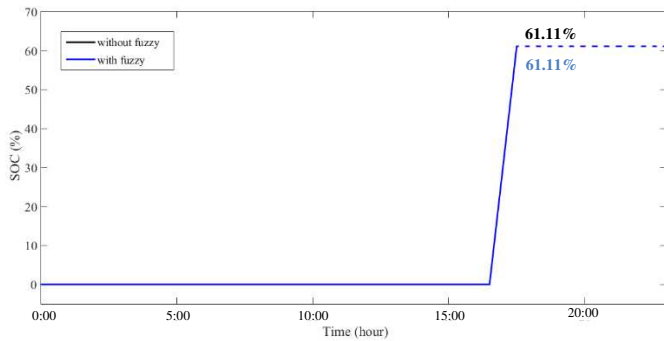
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Kondisi

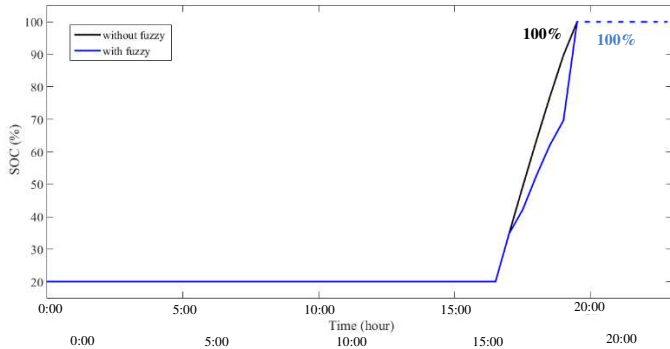
Simulasi dilakukan pada dua jenis kondisi yakni kondisi 1 sistem dibebani dengan 3 buah mobil dengan kapasitas baterai sesuai dengan mobil *ezzy* ITS 20 kWh. Mobil A dengan SOC 0 % dengan *parking duration* 1 jam, mobil B dengan SOC 20 % dengan *parking duration* 3 jam, mobil C dengan SOC 80 % dengan *parking duration* 5 jam. Sedangkan kondisi 2 sistem dibebani dengan 3 buah kendaraan listrik yang terdiri dari sebuah bus dan dua buah mobil. Bus memiliki SOC 90 % dengan *parking duration* 6 jam, mobil A memiliki SOC 0% dengan *parking duration* 1 jam, dan mobil B memiliki SOC 0 % dengan *parking duration* 1.5 jam. Simulasi dilakukan pada sistem menggunakan *fuzzy* dan tanpa menggunakan *fuzzy*. Grafik perbandingan total kebutuhan beban pada Gambar 9 menunjukkan perbandingan kebutuhan baik ketika sistem tidak menggunakan *fuzzy* maupun ketika sistem menggunakan *fuzzy*.



Gambar 9. Perbandingan total kebutuhan beban kondisi 1

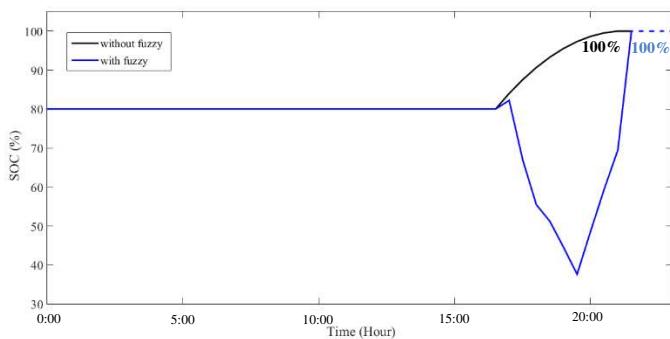


Gambar 10. Perbandingan SOC mobil A kondisi 1

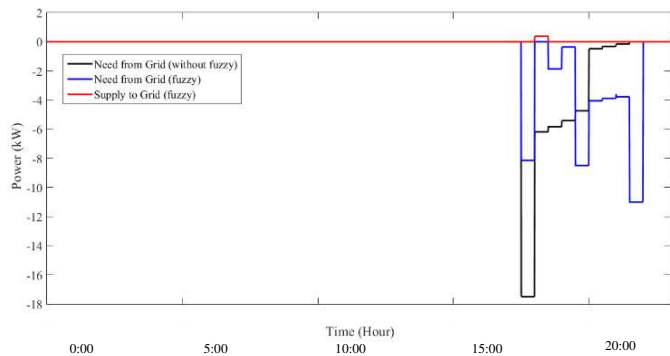


Gambar 11. Perbandingan SOC mobil B kondisi 1

Pada setengah jam pertama (17:00 – 17:30) dapat diketahui bahwa sistem berbasis *fuzzy* dapat menurunkan daya sebesar 0,64 kW dari 17,77 kW ke 17,13 kW. Sedangkan pada setengah jam berikutnya (17:30 – 18:00), sistem berbasis *fuzzy* dapat menurunkan daya sebesar 9,34 kW dari 17,49 kW ke 8,15 kW.



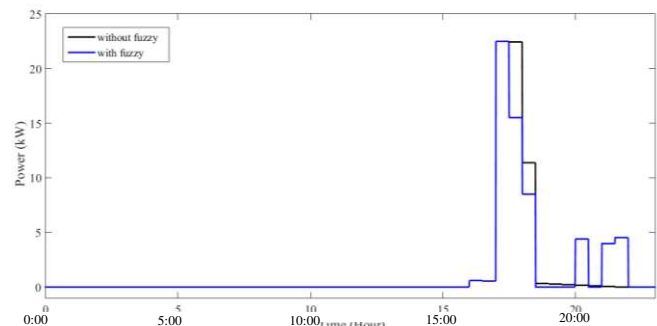
Gambar 11. Perbandingan SOC mobil C kondisi 1



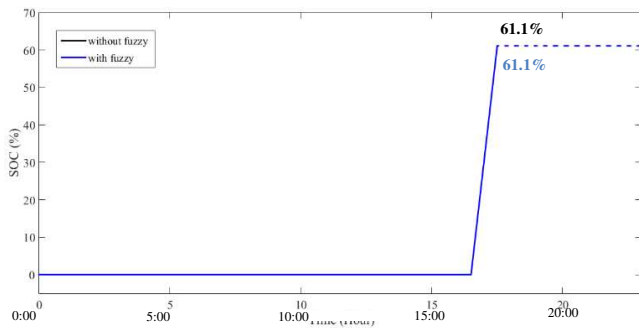
Gambar 12. Perbandingan kebutuhan daya *grid* kondisi 1

Hal ini terjadi karena ada kontribusi transfer daya (*vehicle-to-vehicle*) dari mobil C ke mobil lainnya, sehingga kebutuhan daya dari *grid* dapat ditekan seminimal mungkin. Pemotongan permintaan beban juga terus terjadi pada jam 18:00 – 20:00 karena kontribusi transfer daya dari mobil C. Beban puncak pada sistem menggunakan *fuzzy* terjadi pada setengah jam terakhir ketika mobil C akan mencapai *departure time*. Meskipun permintaan beban dari mobil C tergolong besar namun beban puncak tersebut tidak berdampak pada *grid* dikarenakan *grid* pada kondisi normal. Gambar 10 menunjukkan perbandingan SOC dari mobil A. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa baik sistem menggunakan *fuzzy* maupun tidak menggunakan *fuzzy* sama-sama menghasilkan SOC akhir sebesar 61,11% dan kedua grafik identik sama. Sedangkan perbandingan SOC dari mobil B dapat dilihat pada Gambar 11. Sistem menggunakan *fuzzy* maupun tidak, menghasilkan SOC akhir yang sama sebesar 100%. Perbedaannya bahwa ketika sistem menggunakan *fuzzy*, grafik terlihat lebih landai. Hal tersebut terjadi karena kontroler FLC mengatur permintaan beban sesuai dengan kondisi *grid* sehingga dapat mengurangi dampak berlebihan ke *grid*. Gambar 11 menunjukkan perbandingan SOC dari mobil C. Sistem baik menggunakan *fuzzy* maupun tidak, menghasilkan SOC akhir sebesar 100%. Perbedaan terletak pada karakteristik sistem menggunakan *fuzzy*, di mana pada jam 17:30 sistem berbasis *fuzzy* mengontrol mobil C untuk melakukan *discharge* dan transfer daya ke mobil lain (*vehicle-to-vehicle*), sedangkan sistem tidak menggunakan *fuzzy* tidak mempunyai kemampuan untuk *vehicle-to-vehicle*. Gambar 12 menunjukkan perbandingan kebutuhan daya *grid* dari keseluruhan beban mobil. Dari grafik dapat terlihat bahwa sistem menggunakan *fuzzy* dapat mengurangi permintaan daya dari *grid* sebesar 9.34 kW pada setengah jam ke dua (17:30 – 18:00) dan terus berlanjut sampai 19:30. Selain itu, sistem menggunakan *fuzzy* mempunyai kemampuan untuk melakukan layanan *vehicle-to-grid* (V2G) dan dari grafik terlihat bahwa V2G terjadi pada jam 18:00 – 18:30. Sistem berbasis *fuzzy* akan meratakan permintaan beban puncak sesuai dengan kondisi *grid*.

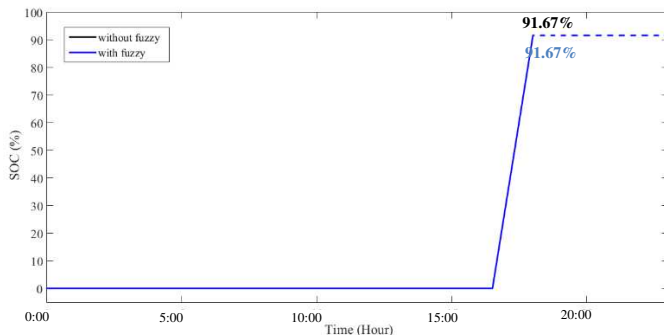
Grafik perbandingan total kebutuhan beban pada Gambar 13 menunjukkan perbandingan kebutuhan baik ketika sistem tidak menggunakan *fuzzy* maupun ketika sistem menggunakan *fuzzy* kondisi 2. Pada jam 17:30 – 18:00 dapat diketahui bahwa sistem berbasis *fuzzy* dapat menurunkan daya sebesar 6,98 kW dari 22,44 kW ke 15,51 kW.



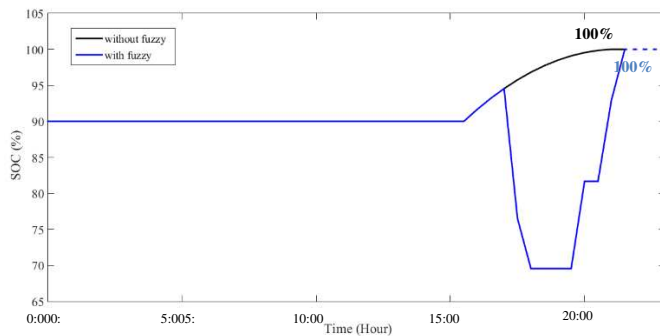
Gambar 13. Perbandingan kebutuhan daya *grid* kondisi 2



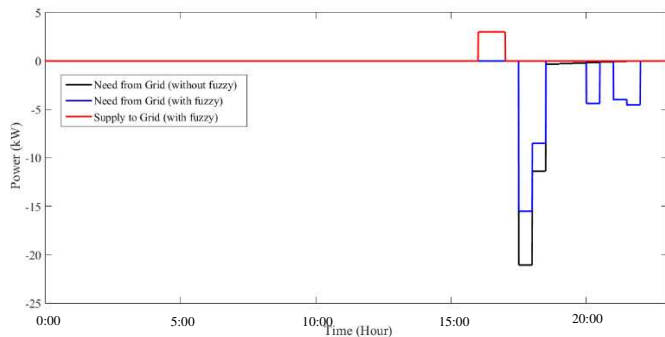
Gambar 14. Perbandingan SOC mobil A kondisi 2



Gambar 15. Perbandingan SOC mobil B kondisi 2



Gambar 16. Perbandingan SOC Bus



Gambar 17. Perbandingan kebutuhan daya grid kondisi 2

Sedangkan pada setengah jam berikutnya (18:00 – 18:30), sistem berbasis *fuzzy* dapat menurunkan daya sebesar 2,88 kW dari 11,38 kW ke 8,5 kW. Hal ini terjadi karena ada kontribusi transfer daya (*vehicle-to-vehicle*) dari bus ke mobil lainnya, sehingga kebutuhan daya dari *grid* dapat ditekan seminimal mungkin. Beban puncak pada sistem menggunakan *fuzzy* terjadi pada sekitar dua jam terakhir ketika bus akan mencapai *departure time*. Meskipun permintaan beban dari bus tergolong besar namun beban puncak tersebut tidak berdampak pada *grid* dikarenakan *grid* pada kondisi normal.

Gambar 14 menunjukkan perbandingan SOC dari mobil A. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa baik sistem menggunakan *fuzzy* maupun tidak menggunakan *fuzzy* sama-sama menghasilkan SOC akhir sebesar 61,11% dan kedua grafik identik sama. Perbandingan SOC dari mobil B dapat dilihat pada Gambar 15. Sistem menggunakan *fuzzy* maupun tidak, menghasilkan SOC akhir yang sama sebesar 91,67% dan grafik keduanya identik sama. Gambar 16 menunjukkan perbandingan SOC dari bus. Sistem baik menggunakan *fuzzy* maupun tidak, menghasilkan SOC akhir sebesar 100%. Perbedaan terletak pada karakteristik sistem menggunakan *fuzzy*, di mana pada jam 16:00 sistem berbasis *fuzzy* mengontrol bus untuk melakukan *discharge* dan transfer daya ke *grid* (*vehicle-to-grid*) dan pada jam 17:30 – 18.30 transfer daya mobil lain (*vehicle-to-vehicle*), sedangkan sistem tidak menggunakan *fuzzy* tidak mempunyai kemampuan untuk melakukan layanan *vehicle-to-vehicle*. Gambar 17 menunjukkan perbandingan kebutuhan daya *grid* dari keseluruhan beban kendaraan listrik. Dari grafik dapat terlihat bahwa sistem menggunakan *fuzzy* dapat mengurangi permintaan daya dari *grid* sebesar 5,56 kW pada jam 17:30 – 18:00 dan terus berlanjut sampai 18:30 dengan besar daya 2,88 kW. Selain itu, sistem menggunakan *fuzzy* mempunyai kemampuan untuk melakukan layanan *vehicle-to-grid* (V2G) dan dari grafik terlihat bahwa V2G terjadi pada jam 16:00 – 17:00 sebesar 3 kW. Sistem berbasis *fuzzy* akan meratakan permintaan beban puncak sesuai dengan kondisi *grid*.

B. Analisis Performansi Biaya

Dalam menganalisis performansi biaya diperlukan grafik perbandingan kebutuhan daya *grid* dari kondisi 1 dan kondisi 2, harga jual per kWh dari PLN, harga beli per kWh dari PLN, dan karakteristik kondisi *grid*. Untuk kondisi *grid* digunakan data dari gardu Sukolilo I pada yang dibagi menjadi 5 klasifikasi beban (*very small, small, average, big, dan very big*) seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi beban dan Faktor K

Klasifikasi	Beban (kW)	Faktor K
VS	9198 - 10457.4	1
S	10457.4 - 11716.8	1
AVG	11716.8 - 12976.2	1
B	12976.2 - 14235.6	1.4
VB	14235.6 - 15495	2

Sedangkan untuk harga jual per kWh dari PLN digunakan data *tariff adjustment* dari PT PLN Persero untuk kelas tegangan menengah dengan harga (K x Rp. 959.84,- per kWh) ketika kondisi waktu beban puncak dan Rp. 959.84 ketika kondisi luar waktu beban puncak. Untuk harga beli per kWh dari PLN diasumsikan sama dengan harga beli dari PLN (K x Rp. 959.84,- per kWh) ketika kondisi waktu beban puncak dan Rp. 959.84,- ketika waktu di luar beban puncak. Analisis performansi biaya menunjukkan untuk kondisi 1 sistem sebelum menggunakan *fuzzy* menghabiskan biaya sejumlah Rp 32.313,509,- dan setelah menggunakan sejumlah Rp. 27.199,11 sehingga sistem berbasis *fuzzy* dapat *saving* sebesar Rp. 5.114,399,-. Untuk biaya kondisi 2 sebelum menggunakan *fuzzy* sejumlah Rp. 28.631,36,- dan setelah menggunakan *fuzzy* sejumlah Rp. 21.868,5 sehingga dapat *saving* Rp. 6.752,86,-.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dari pengisian optimal kendaraan listrik berdasarkan estimasi aliran daya dan kondisi beban *grid* menggunakan kontroler logika *fuzzy*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut sesuai hasil analisis kondisi 1 dan kondisi 2. Sistem berbasis *fuzzy* dapat memenuhi kebutuhan SOC dari kendaraan listrik saat *departure time* hingga mencapai maksimal 100% tergantung dari berapa lama waktu pengisian, sistem berbasis *fuzzy* dapat menurunkan beban puncak kendaraan listrik, sistem berbasis *fuzzy* dapat mengurangi dampak ke *grid* dengan adanya *peak shaving* dan *valley filling* berdasarkan kondisi *grid*, dan sistem berbasis *fuzzy* dapat menghemat pengeluaran biaya jika dibandingkan dengan sistem tidak menggunakan *fuzzy* seperti pada kondisi 1 dapat *saving* 15,8% dan kondisi 2 dapat *saving* 23,6%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] www.eia.gov diakses pada Maret 2016
- [2] Mukesh Singh, Student Member, IEEE, Praveen Kumar, Member, IEEE, and Indriani Kar, Member IEEE, "A Multi Charging Station for Electric Vehicles and Its Utilization for Load Management and the Grid Support", IEEE Transaction on Smart Grid., Vol. 4, no. 2, June 2013
- [3] Tan Ma, Osama A . Mohammed, Fellow, IEEE, "Optimal Charging of Plug-in Electric Vehicles for a Car-Park Infrastructure", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 50, No. 4, July/August 2014.
- [4] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, and M. A. S. Masoum, "Realtime Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, no. 3, pp. 456–467, Sep. 2011.
- [5] Preetham Goli, Student member, IEEE, and Wajiha Shireen, Senior member, IEEE, "Photovoltaic Charging Station for Plug-In Hybrid Electrical Vehclees in a Smart Grid Environment". IEEE Transaction on Smart Grid., 978-1-4577-2159-5.
- [6] www.wikipedia.org/Charging_Station diakses pada Maret 2016
- [7] Juan Jesús Alonso Ayuso, "Real-Time Modeling of Vehicle to Grid System". Student Report. Ingenieria Industrial (ICAI). Aalborg University. Pontoppidanstræde. 2012-2013
- [8] Martin Hellmann, "Fuzzy Logic Introduction", March, 2001