



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN PENGISIAN OPTIMAL KENDARAAN LISTRIK
BERDASARKAN KEBUTUHAN DAYA GRID DAN
KONDISI GRID PADA STASIUN PENGISIAN
KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN KONTROLER
LOGIKA *FUZZY***

Onang Surya Nugroho
NRP 2212100009

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
Danar Fahmi, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh November
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN OF OPTIMAL CHARGING FOR ELECTRIC
VEHICLE BASED ON GRID POWER NEEDS AND GRID
PROFILE AT CHARGING STATION USING FUZZY
LOGIC CONTROLLER**

Onang Surya Nugroho
NRP 2212100009

Advisor
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
Danar Fahmi, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

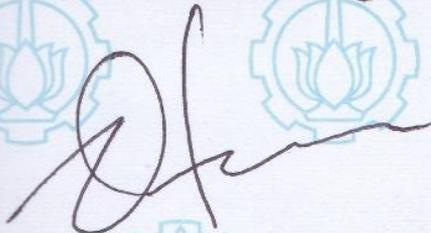
**DESAIN PENGISIAN OPTIMAL KENDARAAN
LISTRIK BERDASARKAN KEBUTUHAN DAYA
GRID DAN KONDISI GRID PADA STASIUN
PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK
MENGUNAKAN KONTROLER LOGIKA FUZZY**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
NIP 19810905 200501 1 002

Dosen Pembimbing II



Daniar Fahmi, S.T., M.T.
NIP 198909252014041002



DESAIN PENGISIAN OPTIMAL KENDARAAN LISTRIK BERDASARKAN KEBUTUHAN DAYA GRID DAN KONDISI GRID PADA STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN KONTROLER LOGIKA *FUZZY*

Onang Surya Nugroho
2212100009

Dosen Pembimbing 1 : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

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 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 indek 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*.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DESIGN OF OPTIMAL CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE BASED ON GRID POWER NEEDS AND GRID PROFILE AT CHARGING STATION USING FUZZY LOGIC CONTROLLER

Onang Surya Nugroho
2212100009

1st Advisor : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
2nd Advisor : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ABSTRACT

Electric vehicles has become one of alternatives in addressing energy crisis in the field of transportation. Increasing the number of electric vehicles that are not accompanied by a proper charging station management would give negative impact either to the distribution system on the network such as voltage fluctuation, voltage drop, voltage stress, lack of continuity of the power system, and even cause the blackout. Energy management design is needed for electric vehicles charging stations to obtain optimal power flow model between charging station and grid.

This research will be designed an analysis and design of optimal charging by considering estimated power flow between charging station with the grid and load conditions on the grid (off-peak / peak) using fuzzy logic controller. This charging management uses the concept vehicle to vehicle (V2V), vehicle to grid (V2G), and the grid to vehicle (G2V) which adjust by charging index and charging rate results from rule fuzzy scoring result.

The simulation results show that the fuzzy-based system can flatten the load curve peak of electric vehicle, reducing the impact of peak load to the grid, and can provide cost advantages in the form of cost saving.

Key Words: Electric Vehicle, Optimal Charging, Vehicle to Vehicle, Vehicle to Grid, Grid to Vehicle.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.5.1 Studi Literatur.....	3
1.5.2 Pengumpulan Data.....	3
1.5.3 Pemodelan Sistem.....	3
1.5.4 Evaluasi Pemodelan Sistem.....	4
1.5.5 Analisa Data.....	4
1.5.6 Penyusunan Buku Tugas Akhir.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi atau Manfaat.....	5
BAB 2 STASIUN PENGISIAN DAN MANAJEMEN ALIRAN DAYA	
2.1 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik.....	7
2.2 Manajemen Aliran Daya pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik.....	10
2.2.1 Manajemen Aliran Daya Berdasarkan Mode Operasi..	10
2.2.2 Manajemen Aliran Daya Berdasarkan Harga Grid (<i>Energy Price</i>).....	12
2.2.3 Manajemen Aliran Daya Berdasarkan <i>Peak Shaving</i> dan <i>Valley Filling</i>	12
2.3 Kendaraan Listrik.....	13

2.3.1	<i>Hybrid Electrical Vehicle</i>	13
2.3.2	<i>Plug-in Hybrid Electrical Vehicle</i>	13
2.3.3	<i>Extended Range Electrical Vehicle</i>	14
2.3.4	<i>Battery Electrical Vehicle</i>	14
2.4	<i>VRLA Battery</i>	14
2.5	<i>Power Flow Regulation pada Sistem Vehicle to Grid (V2G)</i> . 15	
2.5.1	Agregator dan Stasiun Pengisian	15
2.5.2	<i>Study of Driving Patterns</i>	16
2.5.3	Stasiun Pengisian	16
2.6	<i>Fuzzy Logic Controller</i>	17

BAB 3 PERANCANGAN SIMULASI PENGISIAN OPTIMAL STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK

3.1	Spesifikasi Terpasang Stasun Pengisian Kendaraan Listrik ...	19
3.1.1	Panel Surya (<i>Photovoltaic</i>).....	19
3.1.2	Baterai	20
3.1.3	<i>Charge Controller</i> dan MPPT	20
3.1.4	<i>Bidirectional Inverter / Charger</i>	21
3.2	Spesifikasi Kendaraan Listrik (<i>Electric Vehicle</i>)	21
3.3	Perancangan Optimal Pengisian Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik	23
3.3.1	Perancangan Sumber.....	23
3.3.2	Perancangan Beban.....	25
3.3.3	Perancangan Mode Operasi.....	26
3.4	Perancangan <i>Fuzzy Logic Controller</i>	35
3.4.1	Perancangan Fungsi Keanggotaan (<i>Membership Function</i>)	35
3.4.2	Penentuan <i>Rule</i> pada FLC	38

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Penentuan Kondisi	41
4.1.1	Kondisi 1	41
4.1.2	Kondisi 2	42
4.2	Simulasi Kondisi 1	43
4.2.1	Simulasi Kondisi 1 Tanpa Menggunakan FLC	43
4.2.2	Simulasi Kondisi 1 Menggunakan FLC.....	46
4.2.3	Simulasi Kondisi 1 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC	49

4.2.4	<i>Power Balance</i> Simulasi Kondisi 1 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC.....	52
4.3	Simulasi Kondisi 2	53
4.3.1	Simulasi Kondisi 2 Tanpa Menggunakan FLC.....	53
4.3.2	Simulasi Kondisi 2 Menggunakan FLC	56
4.3.3	Simulasi Kondisi 2 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC.....	59
4.3.4	<i>Power Balance</i> Simulasi Kondisi 2 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC.....	62
4.4	Analisis Performansi Biaya	63
4.4.1	Analisis Performansi Biaya Kondisi 1	64
4.4.2	Analisis Performansi Biaya Kondisi 2	66

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	69

DAFTAR PUSTAKA.....71

LAMPIRAN.....71

RIWAYAT HIDUP.....77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Stasiun Pengisian.....	7
Tabel 2.2	Mode Stasiun Pengisian IEC 62196.....	8
Tabel 3.1	Spesifikasi Solar Panel 200 Mono	19
Tabel 3.2	Spesifikasi GFMJ-1500	20
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Charge Controller</i> dan MPPT.....	21
Tabel 3.4	Spesifikasi <i>Bidirectional Inverter/Charger Quattro</i>	21
Tabel 3.5	Spesifikasi kendaraan listrik ITS	21
Tabel 3.6	Beban maksimum kendaraan listrik	26
Tabel 3.7	Mode operasi pengisian kendaraan listrik	30
Tabel 3.8	Rating Pengisian.....	33
Tabel 3.9	Spesifikasi <i>Fuzzy – Mamdani</i>	36
Tabel 3.10	<i>Rule</i> pada <i>fuzzy</i>	38
Tabel 4.1	Klasifikasi beban gardu sukolilo I.....	61
Tabel 4.2	Konstanta perhitungan performansi biaya	63
Tabel 4.3	Performansi biaya sistem kondisi 1 tanpa <i>fuzzy</i>	64
Tabel 4.4	Performansi biaya sistem kondisi 1 menggunakan <i>fuzzy</i> . 65	
Tabel 4.5	Performansi biaya sistem kondisi 2 tanpa <i>fuzzy</i>	66
Tabel 4.6	Performansi biaya sistem kondisi 2 menggunakan <i>fuzzy</i> ..	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema <i>hybrid</i> stasiun pengisian kendaraan listrik ITS	8
Gambar 2.2	<i>Wiring diagram</i> stasiun pengisian kendaraan listrik ITS	9
Gambar 2.3	Mode operasi (a)	10
Gambar 2.4	Mode operasi (b)	11
Gambar 2.5	Mode operasi (c)	11
Gambar 2.6	Mode operasi (d)	11
Gambar 2.7	Grafik <i>peak shaving</i> dan <i>valley filling</i>	13
Gambar 2.8	Agregator pada stasiun pengisian	16
Gambar 2.9	Sistem V2G pada stasiun pengisian	17
Gambar 3.1	Bus Listrik ITS	22
Gambar 3.2	Mobil Listrik Ezzy 1 dan Ezzy 2	22
Gambar 3.3	Model panel surya (<i>photovoltaic</i>)	24
Gambar 3.4	Profil beban harian (<i>daily load</i>) Sukolilo-I	25
Gambar 3.5	Skema <i>sensing</i> SOC dan PD pada <i>torch</i>	26
Gambar 3.6	Diagram aliran daya keseluruhan pengisian optimal kendaraan listrik	29
Gambar 3.7	Blok perhitungan daya yang dibutuhkan kendaraan Listrik	30
Gambar 3.8	Aliran daya mode operasi 1	31
Gambar 3.9	Aliran daya mode operasi 2	32
Gambar 3.10	Aliran daya mode operasi 3	33
Gambar 3.11	Aliran daya mode operasi 4	34
Gambar 3.12	Ilustrasi <i>FIS Editor Matlab</i>	35
Gambar 3.13	<i>Membership Function</i> $P_{gridload}$	36
Gambar 3.14	<i>Membership Function</i> P_{grid}	36
Gambar 3.15	<i>Membership Function Index Charging</i>	37
Gambar 3.15	<i>Surface fuzzy</i>	37
Gambar 3.16	<i>Rule Viewer</i>	38
Gambar 4.1	Skema penentuan kondisi 1	41
Gambar 4.2	Skema penentuan kondisi 2	42
Gambar 4.3	Ilustrasi penentuan kondisi 1	43
Gambar 4.4	Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 1	44
Gambar 4.5	Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 1	44
Gambar 4.6	Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 1	45
Gambar 4.7	Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 1 (<i>fuzzy</i>)	46
Gambar 4.8	Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 1 (<i>fuzzy</i>)	47

Gambar 4.9	Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 1 (<i>fuzzy</i>)	48
Gambar 4.10	Perbandingan total kebutuhan beban kondisi 1	49
Gambar 4.11	Perbandingan SOC mobil A kondisi 1	50
Gambar 4.12	Perbandingan SOC mobil B kondisi 1	50
Gambar 4.13	Perbandingan SOC mobil C kondisi 1	51
Gambar 4.14	Perbandingan kebutuhan daya grid kondisi 1	51
Gambar 4.15	<i>Power balance</i> kondisi 1 tanpa FLC	52
Gambar 4.16	<i>Power balance</i> kondisi 1 dengan FLC.....	53
Gambar 4.17	Ilustrasi penentuan kondisi 2.....	53
Gambar 4.18	Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 2	54
Gambar 4.19	Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 2.....	55
Gambar 4.20	Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 2	55
Gambar 4.21	Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 2 (<i>fuzzy</i>).....	56
Gambar 4.22	Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 2(<i>fuzzy</i>)	57
Gambar 4.23	Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 2(<i>fuzzy</i>)	58
Gambar 4.24	Perbandingan total kebutuhan beban kondisi 2.....	59
Gambar 4.25	Perbandingan SOC mobil A kondisi 2.....	59
Gambar 4.26	Perbandingan SOC mobil B kondisi 2.....	60
Gambar 4.27	Perbandingan SOC bus kondisi 2	60
Gambar 4.28	Perbandingan kebutuhan daya grid kondisi 2	61
Gambar 4.29	<i>Power balance</i> kondisi 2 tanpa FLC	62
Gambar 4.30	<i>Power balance</i> kondisi 2 dengan FLC.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	1	PV Modul dan PV <i>Array</i>	73
Lampiran	2	Blok Kebutuhan Daya.....	74
Lampiran	3	Kontroler	75
Lampiran	4	SOC <i>Update</i> Kendaraan Listrik.....	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 mentransfer 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, stres 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 pada daerah perumahan atau industri yang telah dinormalisasi. 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).

1.2 Permasalahan

Adapun perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah mendesain sistem manajemen energi untuk pengisian optimal kendaraan listrik dengan mempertimbangkan estimasi aliran daya antara stasiun pengisian dan grid dengan melihat kondisi beban pada grid menggunakan kontroler logika *fuzzy*, sehingga didapatkan level prioritas dan rating pengisian yang optimal.

1.3 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan menggunakan Simulink/MATLAB
2. *Losses* pada sistem tidak diperhitungkan.
3. Pemodelan sistem mengacu pada arsitektur stasiun pengisian ITS.
4. Baterai pada kendaraan listrik diasumsikan ideal sehingga proses *charging / discharging* hanya sebatas perpindahan daya dan tidak mempengaruhi *lifetime* baterai.
5. Aliran daya dari sumber DC ke AC dan AC ke AC.
6. Stasiun pengisian kendaraan listrik diasumsikan sebagai area parkir kantor atau institusi yang mengharuskan *owner* kendaraan listrik set *departure time*.

1.4 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang model pengisian optimal kendaraan listrik sehingga didapatkan nilai efisiensi dari proses pengisian kendaraan listrik berupa pemenuhan SOC (*state of charge*) *owner* kendaraan ketika meninggalkan area parkir (*departure time*), pengurangan ketergantungan terhadap grid, dan dapat membantu memperbaiki profil tegangan grid pada kondisi beban puncak (*peak shaving* dan *valley filling*). Selain itu, tugas akhir ini juga bertujuan untuk memberikan pemodelan untuk infrastruktur area parkir kendaraan listrik di *workplace* maupun di rumah.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1.5.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan bukti pendukung dan referensi yang membantu dalam penguatan teori dan pemodelan sistem. Referensi diambil dari jurnal publikasi ilmiah baik skala nasional maupun internasional. Beberapa studi literatur dan referensi yang mendukung tugas akhir ini antara lain, 1) *driving behaviour* berupa karakteristik SOC (*state of charge*) dan waktu parkir kendaraan listrik, 2) Arsitektur stasiun pengisian ITS, 3) Pola estimasi daya antara stasiun pengisian dan grid, 4) Kondisi grid ketika *peak / off-peak*, 5) Sistem aliran daya berupa V2V (*vehicle to vehicle*) atau V2G (*vehicle to grid*), dan 6) Pemenuhan SOC *owner* kendaraan listrik.

1.5.2 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data sebagai bukti pendukung dan sebagai bahan utama dalam proses pengolahan pemodelan sistem. Beberapa data yang akan dikumpulkan pada tahap ini antara lain, 1) Data mengenai kapasitas *photovoltaic* dan stasiun pengisian ITS, serta 2) Data mengenai kondisi beban grid (*peak/off-peak*).

1.5.3 Pemodelan Sistem

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan sistem dengan menggunakan software MATLAB/Simulink. Pemodelan sistem ini dibagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut :

1. Pemodelan *photovoltaic* sesuai dengan arsitektur kapasitas stasiun pengisian ITS.
2. Pemodelan *driving behaviour* berupa random SOC (*state of charge*) dan *parking duration* dari kendaraan listrik.

3. Pemodelan kontroler logika *fuzzy* dengan dua parameter masukan berupa estimasi aliran daya antara stasiun pengisian dengan grid dan kondisi beban pada grid (*peak/off-peak*).
4. Pemodelan sistem *vehicle to vehicle* (V2V), *vehicle to grid* (V2G), dan *grid to vehicle* (G2V).
5. Pemodelan sistem keseluruhan.

1.5.4 Evaluasi Pemodelan Sistem

Evaluasi dapat dilakukan per sub bagian pemodelan maupun evaluasi sistem secara keseluruhan. Dari tahap ini, akan didapatkan keluaran berupa benar atau tidaknya pemodelan sistem yang telah dibangun. Apabila terdapat kesalahan dalam pemodelan dapat dilakukan *rebuild* atau pembuatan dan pengecekan pemodelan simulasi kembali. Apabila pemodelan sistem keseluruhan telah mencapai parameter yang diinginkan maka dapat dilanjutkan dengan tahap analisa data.

1.5.5 Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa data dari sistem secara keseluruhan sehingga didapatkan keluaran yang diinginkan. Beberapa parameter dan tolok ukur dari tahap analisa data antara lain,

1. Didapatkan data berupa pemenuhan SOC (*state of charge*) dari kendaraan listrik sebelum waktu keberangkatan (*departure time*).
2. Didapatkan rating pengisian yang optimal untuk kendaraan listrik sebelum menggunakan kontroler dan sesudah menggunakan kontroler logika *fuzzy*.
3. Didapatkan pola aliran daya yang optimal antara stasiun pengisian dan grid dengan pengaruh konsep V2V (*vehicle to vehicle*) dan V2G (*vehicle to grid*).
4. Didapatkan data berupa karakteristik pengurangan *peak load* pada grid.

1.5.6 Penyusunan Buku Tugas Akhir

Penyusunan Buku Tugas Akhir merupakan tahap terakhir dari penelitian ini. Buku Tugas Akhir ini merupakan laporan ilmiah yang berisi seluruh kegiatan yang telah dilakukan selama proses penelitian dari mulai tahap studi literatur sampai analisa data. Keluaran dari buku tugas akhir ini berupa jurnal publikasi yang bersifat internasional di mana manfaat dari penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini terbagi menjadi 5 bab. Adapun susunan sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

- BAB 1. Pendahuluan
Bab ini berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan serta relevansi atau manfaat laporan tugas akhir.
- BAB 2. Dasar Teori
Bab ini berisi tentang teori – teori penunjang yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini seperti, stasiun pengisian kendaraan listrik, komponen pendukung sistem, dan *fuzzy logic controller*.
- BAB 3. Perancangan dan Pemodelan Sistem
Bab ini berisi tentang perancangan dan pemodelan sistem stasiun kendaraan listrik, rule *fuzzy*, cara kerja kontroler, dan *flowchart* sistem secara keseluruhan.
- BAB 4. Hasil Simulasi dan Analisis
Bab ini berisi tentang hasil simulasi pemodelan stasiun kendaraan listrik yang telah dirancang. Pada bab ini dibahas beberapa kemungkinan – kemungkinan aliran daya yang terjadi pada stasiun pengisian.
- BAB 5. Penutup
Bab ini berisi tentang penutup yang terdiri dari kesimpulan hasil perancangan sistem dan analisis yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi atau Manfaat

Tugas Akhir ini diharapkan dapat diaplikasikan di stasiun pengisian kendaraan listrik ITS dan juga dapat menjadi referensi untuk diaplikasikan di kantor atau perumahan serta dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 2

STASIUN PENGISIAN DAN MANAJEMEN ALIRAN DAYA

2.1 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik

Stasiun pengisian kendaraan listrik merupakan sebuah infrastruktur sumber eksternal untuk pengisian kendaraan listrik. Stasiun pengisian ini mempunyai beberapa komponen pendukung yang berfungsi sebagai pusat energi untuk proses pengisian kendaraan listrik [6]. Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi stasiun pengisian yang telah banyak digunakan.

Tabel 2.1 Klasifikasi Stasiun Pengisian [6]

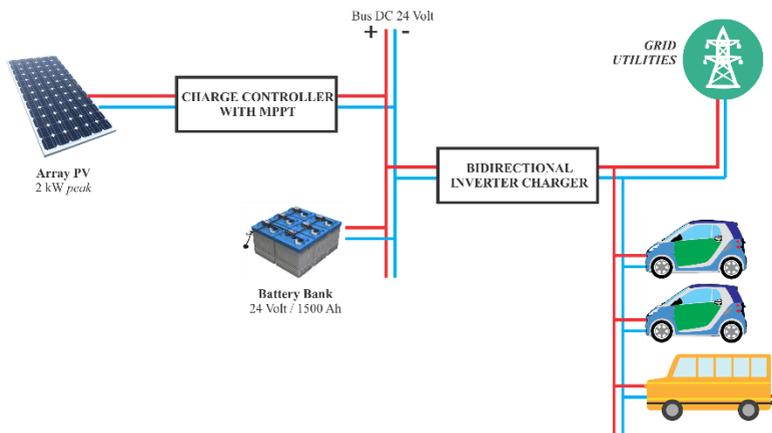
No	Jenis Klasifikasi	Keterangan
1	<i>Residential Charging Station</i>	Jenis stasiun pengisian ini memungkinkan <i>owner</i> mengisi kendaraan ketika berada di rumah. Pada umumnya pengisian terjadi pada malam hari dan merupakan jenis stasiun pengisian yang paling banyak digunakan.
2	<i>Charging While Parked</i>	Merupakan jenis stasiun pengisian yang biasanya digunakan di area umum (<i>public</i>) dan dapat bersifat komersial untuk diperjual belikan. Mode pengisian dapat berupa <i>slow</i> atau <i>fast charging</i> . Jenis stasiun kendaraan ini banyak dijumpai di pusat perbelanjaan dan kantor.
3	<i>Fast Charging</i>	Stasiun pengisian kendaraan jenis ini merupakan jenis <i>public charging station</i> yang memiliki kapasitas > 40kW untuk 100 km dalam waktu (10 – 30 menit). Stasiun kendaraan ini juga dapat dimanfaatkan untuk komuter metropolitan. Beberapa contoh perangkatnya antara lain, <i>CHAdeMO</i> , dan <i>SAE CSS Charger, Tesla Superchargers</i> .
4	<i>Battery Swaps</i>	Merupakan jenis stasiun pengisian di bawah 15 menit. Tipe ini belum memungkinkan untuk pengisian kendaraan listrik, namun

No	Jenis Klasifikasi	Keterangan
		memungkinkan untuk pengisian <i>hydrogen fuel cell vehicles</i> .

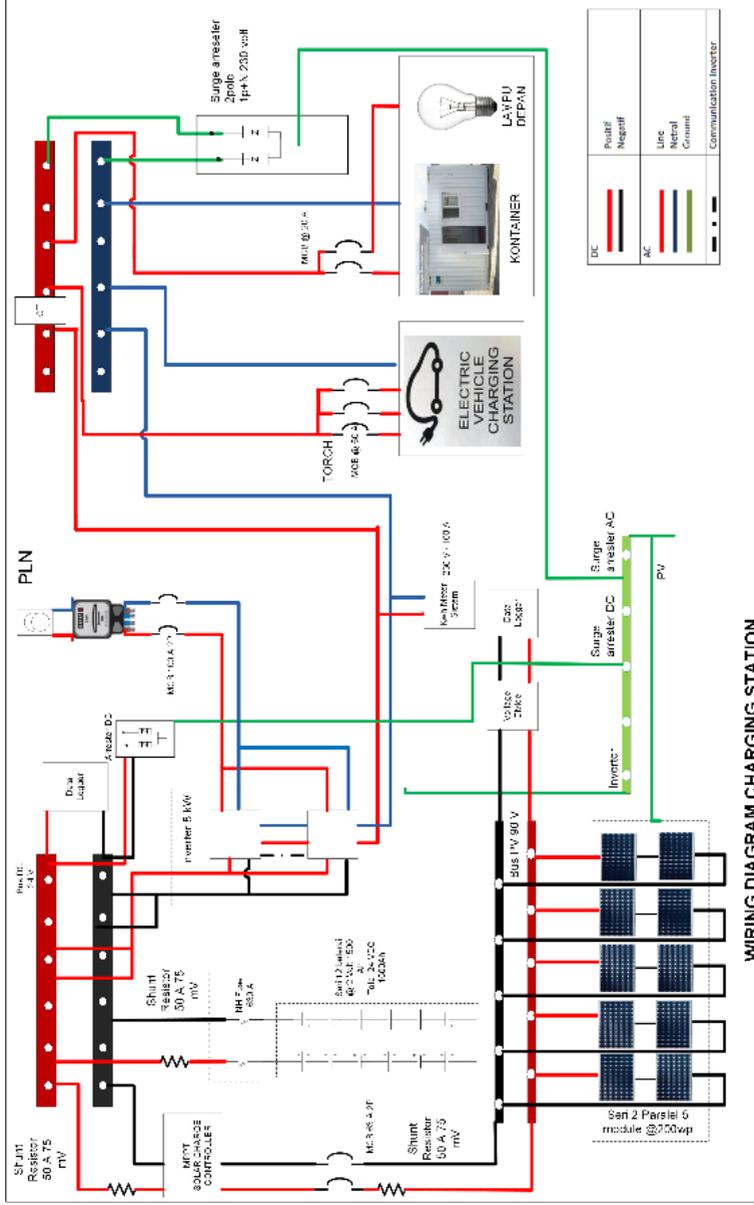
Berdasarkan data yang didapatkan dari IEC 62196 (*International Electrotechnical Commission Modes*) terdapat 4 mode pada stasiun pengisian kendaraan listrik. Tabel 2.2 menunjukkan mode operasi stasiun kendaraan listrik berdasarkan IEC 62196.

Tabel 2.2 Mode Stasiun Pengisian IEC 62196

No	Mode	Keterangan
1	Mode – 1	<i>Slow charging</i> dari reguler soket listrik (<i>single</i> atau <i>three phase</i>)
2	Mode – 2	<i>Slow charging</i> dari reguler soket tetapi telah dilengkapi dengan komponen proteksi untuk kendaraan listrik (sistem PARVE)
3	Mode – 3	<i>Slow</i> atau <i>fast charging</i> menggunakan kendaraan listrik spesifik dengan multi pin soket dilengkapi fungsi kontrol dan proteksi. (SAE J1772 dan IEC 62196)
4	Mode – 4	<i>Fast charging</i> menggunakan beberapa teknologi <i>special charger (CHAdeMO)</i> .



Gambar 2.1 Skema *hybrid* stasiun pengisian kendaraan listrik ITS



WIRING DIAGRAM CHARGING STATION

Gambar 2.2 Wiring diagram stasiun pengisian kendaraan listrik ITS

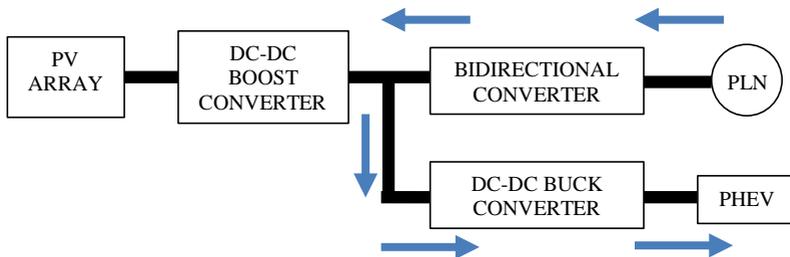
Sumber energi listrik stasiun pengisian kendaraan listrik ITS berasal dari *grid* (PLN) dan panel surya (*photovoltaic*) yang dilengkapi media penyimpanan berupa baterai *charging station*, sehingga ketiga sumber ini disebut *hybrid charging station* (Gambar 2.1). Kedua sumber pengisian beserta baterai *charging station* terintegrasi dalam beberapa mode operasi aliran daya. 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. Adapun *wiring diagram* dari stasiun pengisian kendaraan listrik ITS ditunjukkan pada Gambar 2.2

2.2 Manajemen Aliran Daya pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik

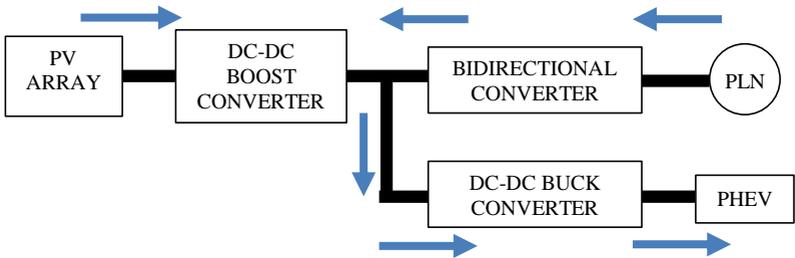
Berikut adalah beberapa penelitian sebelumnya mengenai manajemen aliran daya pada stasiun pengisian kendaraan listrik.

2.2.1 Manajemen Aliran Daya Berdasarkan Mode Operasi

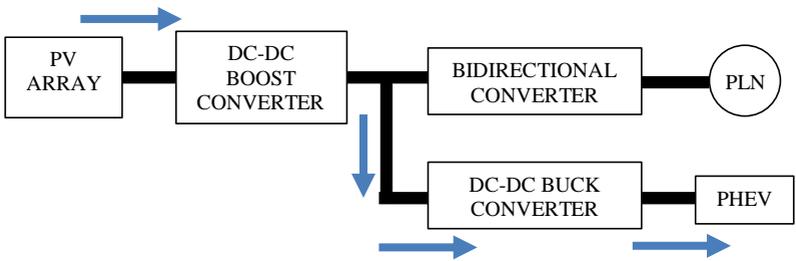
Konsep manajemen aliran daya berdasarkan mode operasi ini didasarkan pada sistem *hybrid* stasiun pengisian, di mana sumber berasal dari panel surya (*photovoltaic*) dan grid PLN. Kontribusi panel surya digunakan pada saat siang hari ketika daya yang dihasilkan pada kondisi maksimum, sehingga stasiun pengisian akan menggunakan daya dari panel surya dan meminimalisir penggunaan dari grid PLN.



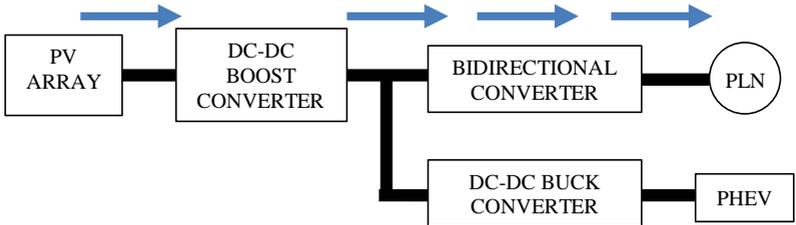
Gambar 2.3 Mode operasi (a)



Gambar 2.4 Mode operasi (b)



Gambar 2.5 Mode operasi (c)



Gambar 2.6 Mode operasi (d)

Mode operasi digunakan untuk menyesuaikan kebutuhan beban dengan ketersediaan sumber pada sistem. Sebagai contoh, ketika pada siang hari daya dari panel surya akan mencapai maksimum, sehingga sistem akan memilih mode operasi untuk memaksimalkan aliran daya dari sumber panel surya ke beban. Aliran daya dari grid PLN akan aktif ketika daya dari panel surya tidak dapat memenuhi kebutuhan dari beban.

Mode operasi (a) pada Gambar 2.3 menunjukkan arah aliran daya dari grid PLN langsung ke beban. Hal ini terjadi ketika malam hari di

mana panel surya tidak dapat berkontribusi untuk mensuplai daya ke beban. Mode operasi (b) pada Gambar 2.4 menunjukkan kebutuhan daya beban disuplai langsung dari dua sumber yaitu panel surya dan grid PLN. Kondisi ini terjadi ketika daya panel surya yang ditransfer ke beban tidak memenuhi permintaan dan akan dipenuhi oleh grid PLN. Mode operasi (c) pada Gambar 2.5 menunjukkan bahwa kebutuhan beban sepenuhnya dapat disuplai oleh daya panel surya. Mode operasi (d) pada Gambar 2.6 menunjukkan bahwa beban tidak membutuhkan daya lagi, sehingga kelebihan daya dari panel surya akan langsung dikirim ke grid.

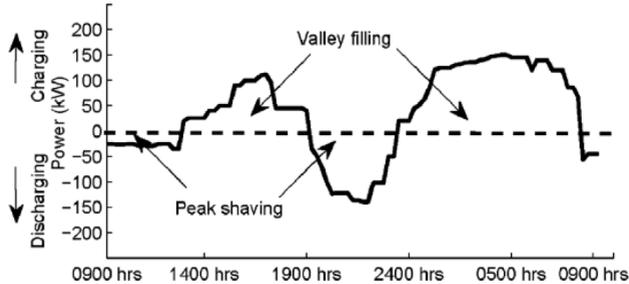
2.2.2 Manajemen Aliran Daya Berdasarkan Harga Grid (*Energy Price*)

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. Keluaran dari *fuzzy logic controller* ini adalah sebuah konstanta indeks pengisian yang memberikan perintah untuk jual-beli daya pada grid. Sebagai contoh, ketika kondisi harga grid murah dan panel surya dalam kondisi tidak memiliki daya untuk kontribusi ke beban (malam hari), maka kontroler ini akan mengatur sistem untuk mengambil daya dari grid untuk memenuhi kebutuhan beban. Sebaliknya, ketika harga grid mahal (siang hari / puncak) maka sistem akan mengatur kontroler agar daya yang dihasilkan panel surya ditransfer ke grid sehingga kebutuhan beban ditunda sampai harga grid murah.

2.2.3 Manajemen Aliran Daya Berdasarkan *Peak Shaving* dan *Valley Filling*

Metode ini merupakan konsep manajemen aliran daya untuk mengurangi kurva beban puncak[2]. Gambar 2.7 menunjukkan kurva *peak shaving* dan *valley filling*. Metode manajemen aliran daya ini digunakan pada *Multi Charging Station (MCS)* yaitu beberapa stasiun pengisian kendaraan listrik yang tergabung dalam satu komponen pengumpul (*MCS Agregator*). *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.



Gambar 2.7 Grafik *peak shaving* dan *valley filling*

2.3 Kendaraan Listrik

Berdasarkan data yang didapatkan dari *Tennessee Valley Authority*, *Ergon Energy* dan *Idaho National Laboratory* [7], secara umum kendaraan listrik terbagi menjadi 4 jenis tipe yaitu *hybrid electric vehicle*, *plug-in hybrid electric vehicle*, *extended-range electric vehicle*, dan *battery electric vehicle*.

2.3.1 Hybrid Electric Vehicle

Energi yang dihasilkan oleh *hybrid electric vehicle* (HEV) disuplai oleh dua sumber utama yaitu petrol (motor bakar internal) dan listrik (motor listrik). Baterai yang dimiliki oleh *hybrid electric vehicle* mempunyai kapasitas penyimpanan yang rendah, hal ini memberikan batas rentang dari kecepatan yang dihasilkan pada saat kendaraan listrik menggunakan motor listrik. Motor listrik mempercepat kendaraan listrik hingga mencapai 40 mph tergantung dari jenis kendaraan listrik yang digunakan, setelah itu motor bakar internal akan mengambil alih untuk mensuplai kendaraan listrik. Energi listrik yang dihasilkan berasal dari pengereman *regenerative* dan digunakan untuk pengisian ulang baterai. Beberapa contoh kendaraan listrik yang menggunakan tipe *hybrid electric vehicle* adalah *Ford Fusion Hybrid*, *Toyota Prius*, dan *Honda CR-Z*.

2.3.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) juga dikenal sebagai *dual-fuel car* di mana motor listrik dan motor bakar internal dapat menggerakkan kendaraan. Disebut sebagai *hybrid* karena PHEV dapat terhubung atau terkoneksi langsung dengan grid untuk pengisian baterai.

Kebanyakan kendaraan listrik tipe ini mempunyai kecepatan hingga 40 mph ketika menggunakan motor listrik dan kecepatan selanjutnya akan beralih menggunakan motor bakar. Baterai PHEV dapat diisi dengan menggunakan *gas engine*, pengereman regeneratif, atau dengan cara *plugging* langsung dari grid. Beberapa contoh kendaraan listrik yang menggunakan tipe ini adalah *Chevrolet Volt*, *Ford C-Max*, *Fusion Energy*, *Cadillac ELR*, dan *Toyota Prius PHEV*.

2.3.3 Extended Range Electric Vehicle

Extended range electric vehicle (EREV) menggunakan motor bakar internal untuk mensuplai daya generator yang berfungsi untuk pengisian baterai secara linier. Berbeda dengan tipe *dual-fuel hybrid* dan *plug-in electric vehicle*, EREV hanya menggunakan motor listrik untuk menggerakkan roda, sedangkan mesin bakar hanya digunakan untuk pengisian baterai. BMW i3 merupakan salah satu contoh kendaraan yang menggunakan tipe ini.

2.3.4 Battery Electric Vehicle

Pada kendaraan listrik tipe ini, tidak ada motor bakar internal yang digunakan untuk pengisian baterai karena baterai harus diisi langsung melalui grid. Beberapa contoh kendaraan listrik yang menggunakan tipe ini adalah *BMW i3*, *Nissan Leaf*, *Mitsubishi i-MieV*, *Tesla Model S*, dan *Kia Soul EV*.

2.4 VRLA Battery

VRLA adalah kepanjangan dari *Valve Regulated Lead Acid* yang memiliki sebutan lain SLA (*Sealed Lead Acid*). Masyarakat umum sering menyebut VRLA sebagai aki / baterai kering / tertutup. Baterai jenis ini bersifat tertutup (*sealed*) sehingga proses evaporasi yang dikeluarkan sangat kecil (rekombinasi) maka tidak memerlukan penambahan cairan *electrolyte* selama masa pemakaian baterai tersebut. Proses evaporasi pada baterai diatur oleh bagian yang disebut *valve* (katup). Penggolongan baterai VRLA berdasarkan teknologinya adalah sebagai berikut [8].

1. Teknologi AGM (*absorbptive glass mate*)

Pada teknologi ini, cairan elektrolit akan diserap oleh lembaran *fiber glass* (serat kaca). DoD (*depth of discharge*) 30% baterai *cycle life* mencapai 1.400 *cycle*.

2. Teknologi Gel

Pada teknologi ini, cairan elektrolit bersifat lebih solid dan kaku (*fixed*). DoD (*depth of discharge*) 30% baterai *cycle life* mencapai 2.000 *cycle*.

Baterai VRLA mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan aki/baterai asam timbal (aki basah dan MF).

1. Baterai dapat dipasang dalam posisi apapun, karena katup hanya beroperasi pada kesalahan *over pressure*.
2. Bebas perawatan mengurangi inspeksi dan pemeliharaan.
3. Lebih aman dikarenakan sistem baterai ini dirancang untuk menjadi rekombinan dan menghilangkan emisi gas/uap pada *over charge*, maka tidak ada uap yang dipancarkan selama operasi normal (uap dapat mengakibatkan korosi dan karat pada logam bila terjadi kebocoran/retak).

Berikut adalah penggolongan baterai VLRA berdasarkan penggunaannya.

1. *Standby Use*

Pada penggolongan tipe ini, baterai VRLA bekerja mengeluarkan arus pada waktu sumber listrik utama tidak bekerja. Beberapa contoh aplikasi peralatan yang menggunakan tipe *standby use* adalah UPS *system* dan lampu *emergency*.

2. *Cycle Use*

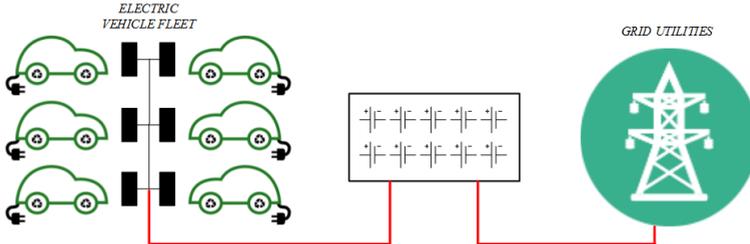
Baterai VRLA bekerja mengeluarkan arus (*discharging*) kemudian melanjutkan proses pengisian, dilanjutkan proses *disharging* dan pengisian kembali, dst. Beberapa contoh aplikasi peralatan yang menggunakan tipe *cycle use* adalah baterai peralatan elektronika, kendaraan bertenaga baterai seperti *forklift* dan *golf mobile*.

2.5 Power Flow Regulation pada Sistem *Vehicle to Grid* (V2G)

2.5.1 Agregator dan Stasiun Pengisian

Agregator dibangun untuk memenuhi regulasi aliran daya pada stasiun pengisian skala besar untuk menyediakan layanan charging / discharging [9]. 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. Terdapat dua cara untuk mendapatkan informasi tersebut yaitu dengan penandatanganan kontrak dengan *owner* kendaraan listrik dan dapat dengan memprediksi perilaku kendaraan listrik. Pada sisi kendaraan listrik, agregator membaca data dari grid dan memberikan sebuah kontrol untuk masing – masing kendaraan listrik maupun secara keseluruhan. Gambar 2.8 menjelaskan tentang hubungan antara kendaraan listrik, agregator,

dan grid. Pada gambar tersebut, baterai memiliki peran sebagai agregator pada stasiun pengisian.



Gambar 2.8 Agregator pada stasiun pengisian

2.5.2 Study of Driving Patterns

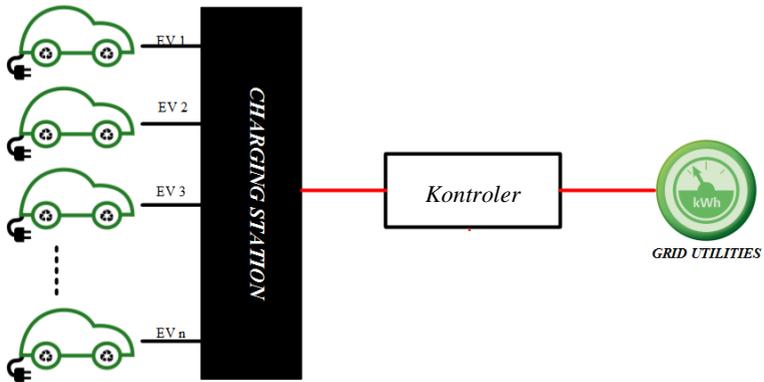
Untuk memprediksi penggunaan energi dari *owner* kendaraan listrik, pembelajaran tentang *driving behaviours* sebaiknya dilakukan untuk mendapatkan pemahaman tentang seberapa banyak energi yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik dan seberapa banyak energi dapat ditransfer ke grid. Oleh karena itu 3 aspek yang perlu dipelajari dalam mengenal *driving behaviours* dari kendaraan listrik yaitu, jarak tempuh kendaraan listrik per hari, konsumsi energi dari kendaraan listrik, dan SOC (*state of charge*) baterai ketika mobil tiba di tujuan.

2.5.3 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.

Terdapat 3 aspek yang harus dimiliki stasiun pengisian, yaitu :

1. Bagaimana untuk mengirim informasi grid ke kendaraan listrik sehingga kendaraan listrik dapat memberikan respon yang tepat sesuai dengan kebutuhan grid.
2. Bagaimana pola pengisian yang tepat untuk kendaraan listrik dan parameter yang bagaimana untuk dapat memenuhi kebutuhan kendaraan listrik.
3. Bagaimana untuk mengontrol proses *charging / discharging* aliran daya sehingga ketidakseimbangan grid dapat diatasi dan baterai kendaraan listrik dapat diproteksi.



Gambar 2.9 Sistem V2G pada stasiun pengisian

2.6 Fuzzy Logic Controller

Konsep logika *fuzzy* dikenalkan pertama kali oleh Professor Lotfi A. Zadeh dari *California Univesity* pada bulan Juni 1965. *Fuzzy* dikenal sebagai kabur / samar-samar. *Fuzzy* merupakan nilai yang dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan [10]. 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. Tidak seperti logika tegas, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 3

PERANCANGAN SIMULASI PENGISIAN OPTIMAL STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK

3.1 Spesifikasi Terpasang Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik

Pada penelitian ini digunakan referensi dari stasiun pengisian kendaraan listrik ITS. Stasiun kendaraan listrik ITS merupakan tipe stasiun pengisian *hybrid*, di mana sistem memiliki suplai daya yang berasal dari dua sumber utama yaitu panel surya (*photovoltaic*) dan grid PLN. Selain itu, terdapat baterai *charging station station* yang berfungsi sebagai media penyimpanan daya dari panel surya (*photovoltaic*) maupun sebagai *back-up* daya ketika daya panel surya (*photovoltaic*) sudah tidak mampu untuk menyuplai beban. *Charge controller* yang dilengkapi dengan MPPT juga digunakan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh panel surya (*photovoltaic*), kemudian daya keluaran akan diturunkan sebesar nilai bus baterai *charging station*. Stasiun pengisian ITS juga dilengkapi dengan dua *bidirectional inverter* yang tersusun paralel untuk mengubah tegangan DC menjadi AC maupun sebaliknya dari AC menjadi DC. Bus AC stasiun pengisian kendaraan listrik terhubung ke beban *torch* dan beban *control room* (3 buah lampu dan *air conditioner*).

3.1.1 Panel Surya (*Photovoltaic*)

Modul panel surya yang digunakan pada sistem adalah *Solar Panel 200 Mono* yang merupakan keluaran dari pabrik *PT. Surya Utama Putra*. Modul panel surya jenis ini memiliki kemampuan untuk mensuplai daya maksimum hingga mencapai 200 *Watt peak* saat intensitas cahaya mencapai kondisi ideal di 1.000 W/m^2 dengan temperatur mencapai 25°C . Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi dari modul panel surya.

Tabel 3.1 Spesifikasi Solar Panel 200 Mono

No	Besaran	Spesifikasi
1	Jumlah Sel (Ns)	72
2	Daya Nominal (W)	180
3	Daya Puncak (Wp)	200
4	Tegangan Nominal (Vmp)	38,16
5	Arus Nominal (Imp)	5,26
6	Tegangan <i>Open Circuit</i> (Voc)	45,29

No	Besaran	Spesifikasi
7	Arus <i>Short Circuit</i> (<i>I_{sc}</i>)	5,66
8	Koefesien Temperatur Daya (%/°C)	-0,37
9	Koefesien Temperature Tegangan (%/°C)	-0,24
10	Koefesien Temperatur Arus (%/°C)	0,033

Spesifikasi modul panel surya tersebut diseri 2 dan diparalel sebanyak 5 untuk memperoleh daya maksimum *array* sebesar 2.000 *Watt peak* (Wp). Sedangkan arus dan daya yang dihasilkan ketika kondisi maksimum sebesar 76,32 Volt dan 26,3 Ampere.

3.1.2 Baterai

Baterai yang digunakan pada sistem adalah jenis baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) dengan tipe GFMJ-1500 yang merupakan keluaran dari pabrik *Shoto*. Tabel 3.2 menunjukkan spesifikasi dari baterai GFMJ-1500.

Tabel 3.2 Spesifikasi GFMJ-1500

No	Spesifikasi	2V/1500 Ah
1	Kapasitas (Ah)	1500
2	Tegangan Nominal (V)	2
3	Arus Pengisian Max (A)	200
4	Arus Pelepasan Max (A)	185
5	Berat (kg)	115
6	Dimensi l*w*h (mm)	340*210*677
7	Resistansi Internal (mΩ)	0,24

Sistem menggunakan 12 baterai yang seluruhnya disusun secara seri, sehingga didapat tegangan total baterai adalah 24 Volt.

3.1.3 *Charge Controller* dan MPPT

Charge controller difungsikan sebagai *charger* baterai yang dayanya berasal dari panel surya (*photovoltaic*). Pada sistem stasiun pengisian kendaraan listrik, digunakan *charge controller* tipe *Apollo Solar T-80 Turbo Charger*. *Charge controller* tersebut memiliki kapasitas arus 80 Ampere dan dapat menahan daya keluaran panel surya (*photovoltaic*) hingga 5.120 Watt pada sistem baterai mencapai 48 Volt. Tabel 3.3 menunjukkan spesifikasi *charge controller* dan MPPT yang digunakan.

Tabel 3.3 Spesifikasi *Charge Controller* dan MPPT

No	Besaran	Spesifikasi
1	Arus Keluaran Maksimum (A)	80 A
2	Tegangan Baterai (VDC)	12, 24, 36, atau 48 VDC
3	Arus Masukan PV Maksimal (A)	70 A
4	Maksimum Voc PV (VDC)	140 VDC
5	Minimum Vmp PV (VDC)	112 VDC

3.1.4 *Bidirectional Inverter/Charger*

Sistem menggunakan dua buah *bidirectional inverter/charger* tipe *Quattro Inverter/Charger 24/8.000* yang tersusun secara paralel dan merupakan keluaran dari pabrik *Victron Energy*. Tabel 3.4 menunjukkan spesifikasi dari *bidirectional inverter/charger Quattro*.

Tabel 3.4 Spesifikasi *Bidirectional Inverter/Charger Quattro*

Rating tegangan input (Vac)		187 – 265
Rating tegangan input (Vdc)		19 – 33
Rating tegangan output (Vac)		230
Rating tegangan output (Vdc)	<i>Absorption</i>	28,8
	<i>Float</i>	27,6
	<i>Storage Mode</i>	26,4
Rating daya (VA)		8000

Dari spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.4. dapat diketahui bahwa *bidirectional inverter/charger* memiliki dua mode kerja, yaitu *DC to AC* (aktif ketika sumber DC yang berasal dari panel surya dan baterai melakukan pengisian terhadap beban). *AC to DC* (aktif ketika grid melakukan pengisian terhadap beban).

3.2 Spesifikasi Kendaraan Listrik (*Electric Vehicle*)

Pada perancangan pengisian optimal stasiun kendaraan listrik ini, digunakan spesifikasi kendaraan listrik ITS (mobil dan bus) sebagai objek penelitian. Tabel 3.5 menunjukkan spesifikasi kendaraan listrik ITS.

Tabel 3.5 Spesifikasi kendaraan listrik ITS

Besaran	Bus Listrik	Mobil Listrik (<i>Ezzy 1 dan Ezzy 2</i>)
<i>Distance</i>	150 km	160 km

Besaran	Bus Listrik	Mobil Listrik (<i>Ezzy 1 dan Ezzy 2</i>)
<i>Battery Capacity</i>	36 kWh	20 kWh
<i>Energy Consumption</i>	3,9 km/kWh	8 km/kWh
<i>Charging Time</i>	18 jam	10 jam

Baterai yang digunakan pada kendaraan listrik adalah jenis $LiFePO_4$ (*Lithium Ferrophospat*), di mana baterai tipe ini memungkinkan kondisi untuk melakukan *charge* dan *discharge* beberapa kali.



Gambar 3.1 Bus Listrik ITS



Gambar 3.2 Mobil Listrik Ezzy 1 dan Ezzy 2
(sumber : www.solopos.com)

3.3 Perancangan Optimal Pengisian Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik

Perancangan pemodelan optimal pengisian pada stasiun pengisian kendaraan listrik ini diasumsikan sebagai infrastruktur area parkir dari perkantoran atau tempat perbelanjaan (*mall*) yang mana proses aliran daya yang menjadi fokus penelitian ini dipengaruhi oleh sumber yang berasal dari panel surya (*photovoltaic*), baterai *charging station*, dan grid PLN. Selain itu perancangan beban PLN juga diperlukan untuk mengetahui kondisi beban *peak* dan *off-peak*. Mode operasi digunakan untuk mengetahui kemungkinan proses aliran daya yang terjadi selama proses pengisian di stasiun pengisian kendaraan listrik.

3.3.1 Perancangan Sumber

Perancangan sumber pada penelitian ini menggunakan tiga buah sumber. Pertama, sumber berasal dari panel surya (*photovoltaic*) dengan kapasitas total pada kondisi *irradiance* maksimum adalah 2.000 *Watt peak*. 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. Pada penelitian ini, perancangan panel surya (*photovoltaic*) dimodelkan berdasarkan persamaan matematis sebagai berikut [11]:

$$I_{sc} - I_d - I_p - I = 0 \quad (3.1)$$

$$I_{sc} - I_d - I_p = I \quad (3.2)$$

$$I_d = I_o \left(e^{qV - kT} - 1 \right) \quad (3.3)$$

$$I_p = \frac{V_d}{R_s} \quad (3.4)$$

Dari persamaan di atas, substitusi (3.2), (3.3), dan (3.4) sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$I = I_{sc} - I_o \left(e^{q \left(\frac{V + I.R_s}{kT} \right)} \right) - \left(\frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \right) \quad (3.5)$$

dengan perhitungan parameter – parameter yang tidak diketahui sebagai berikut,

$$I_{sc} = \left(I_{sc,nom} + K_t \cdot \Delta T \right) \frac{G}{G_{nom}} \quad (3.6)$$

$$I_o = \frac{I_{sc,nom} + K_i \cdot \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{oc} + K_v \cdot \Delta T}{A \cdot V_t}\right) - 1} \quad (3.7)$$

$$V_t = \frac{N_s \cdot K \cdot T}{q} \quad (3.8)$$

Keterangan:

I_{sc} = arus *short circuit* / arus *photon*

I_d = arus dioda

I_p = arus *R shunt*

q = konstanta elektron

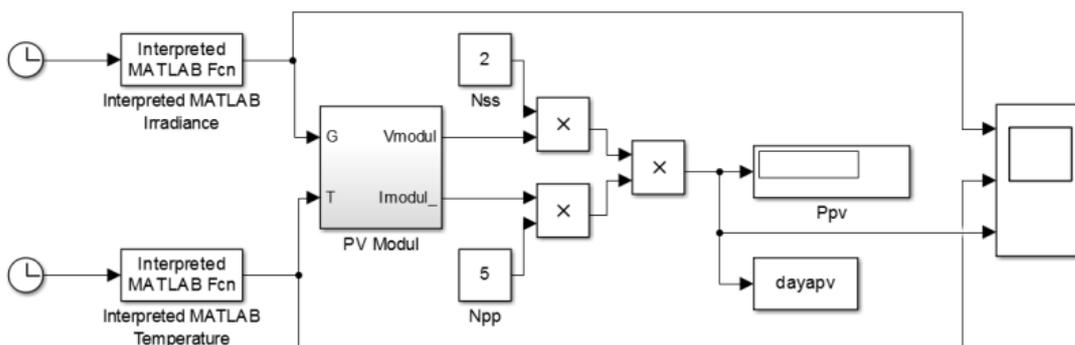
K = konstanta boltzman

T = suhu dalam kelvin

A = faktor dioda

N_s = banyaknya sel tersusun seri dalam satu modul

Pada perancangan pemodelan sumber panel surya ini tidak memperhitungkan efek dari adanya perubahan cuaca ataupun kondisi yang menghalangi cahaya matahari sampai ke modul surya (*shading effect*), dikarenakan R_{sh} cukup besar, maka nilai diabaikan sehingga pemodelan merupakan model panel surya tanpa R_{sh} . Gambar 3.3 menunjukkan hasil pemodelan panel surya tanpa R_{sh} pada *software* Matlab/Simulink.

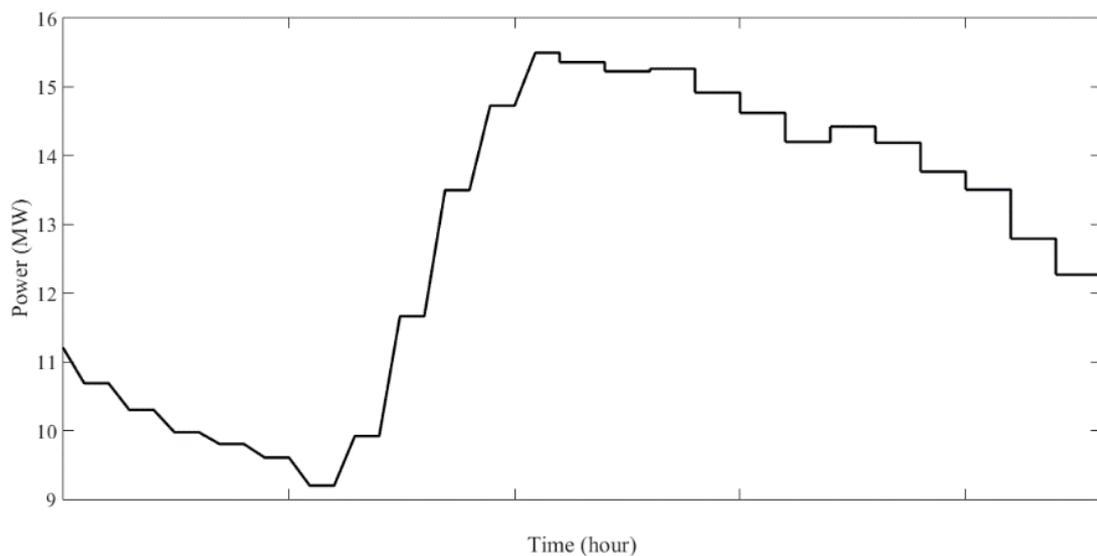


Gambar 3.3 Model panel surya (*photovoltaic*)

Sedangkan untuk sumber yang berasal dari baterai *charging station*, pemodelan dianggap baterai ideal di mana baterai diasumsikan dapat melakukan proses *charging* dan *discharging* berupa transfer daya

dan mengabaikan kurva karakteristik ideal *charging* dan *discharging* baterai. Penelitian ini memiliki fokus pada proses aliran daya yang terjadi di dalam stasiun pengisian kendaraan listrik, sehingga pada baterai *charging station* hanya dilihat proses perpindahan dayanya tanpa memperhitungkan arus dan tegangan yang masuk maupun keluar dari baterai *charging station*.

Untuk pemodelan sumber yang berasal dari grid, digunakan data pembanding yang berasal dari PT. PLN Persero unit Surabaya (Gambar 3.4). Data beban harian yang didapatkan tersebut diambil dari Gardu Induk Sukolilo yang mempunyai tipikal beban perumahan. Data tersebut akan menjadi nilai pembanding ketika sistem membutuhkan daya dari grid maupun sebaliknya ketika sistem ingin menyuplai daya ke grid dengan melihat kondisi beban *peak* maupun beban *off-peak*. Sehingga, dari sisi grid dapat dilihat efek penambahan daya dari stasiun pengisian berupa *peak shaving* dan *valley filling* maupun efek penambahan beban karena stasiun pengisian membutuhkan bantuan daya dari grid untuk memenuhi kebutuhan beban dikarenakan sumber di stasiun pengisian tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan beban.



Gambar 3.4 Profil beban harian (*daily load*) Sukolilo-I

3.3.2 Perancangan Beban

Pada penelitian ini, perancangan beban dimodelkan dengan menggunakan referensi spesifikasi dari bus listrik ITS, mobil ezzy 1, dan mobil ezzy 2. Di mana, data yang digunakan adalah kapasitas daya yang dibutuhkan mobil dan bus. Pemodelan beban adalah sesuai dengan

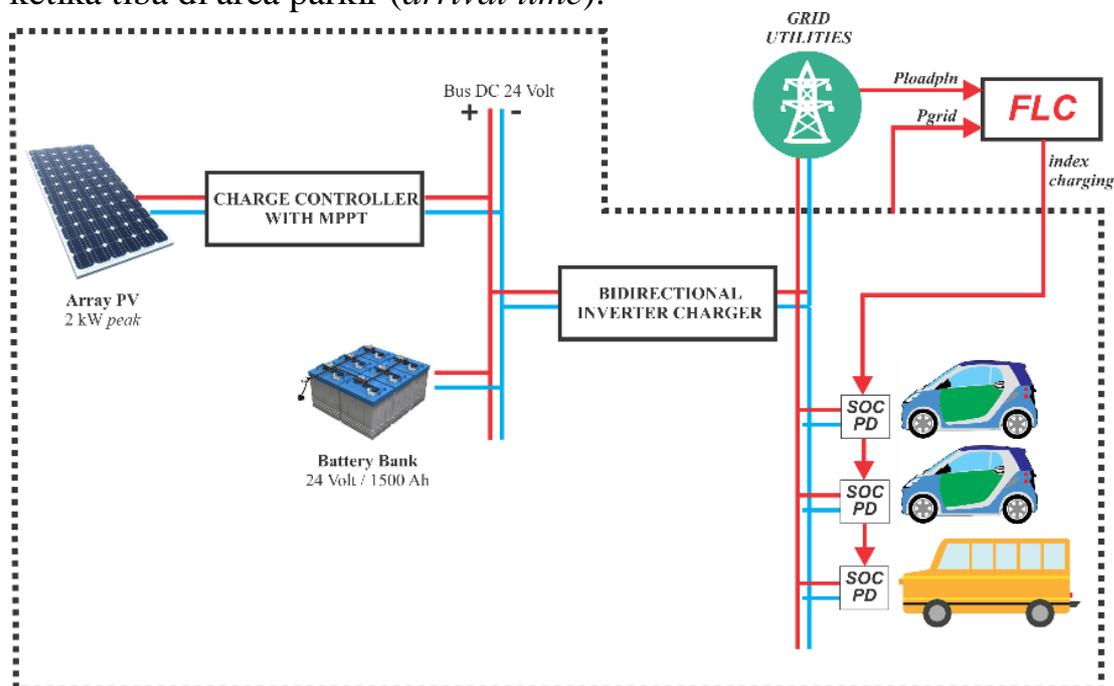
keadaan riil di mana mobil terparkir ke stasiun pengisian secara tidak tentu (random) tergantung dengan kebutuhan dalam kurun waktu 24 jam. Tabel 3.6 menunjukkan beban maksimum kendaraan listrik yang digunakan dalam perancangan simulasi.

Tabel 3.6 Beban maksimum kendaraan listrik

No	Beban	Kebutuhan
1	Bus Listrik	36 kW
2	Mobil Ezzy 1	20 kW
3	Mobil Ezzy 2	20 kW

3.3.3 Perancangan Mode Operasi

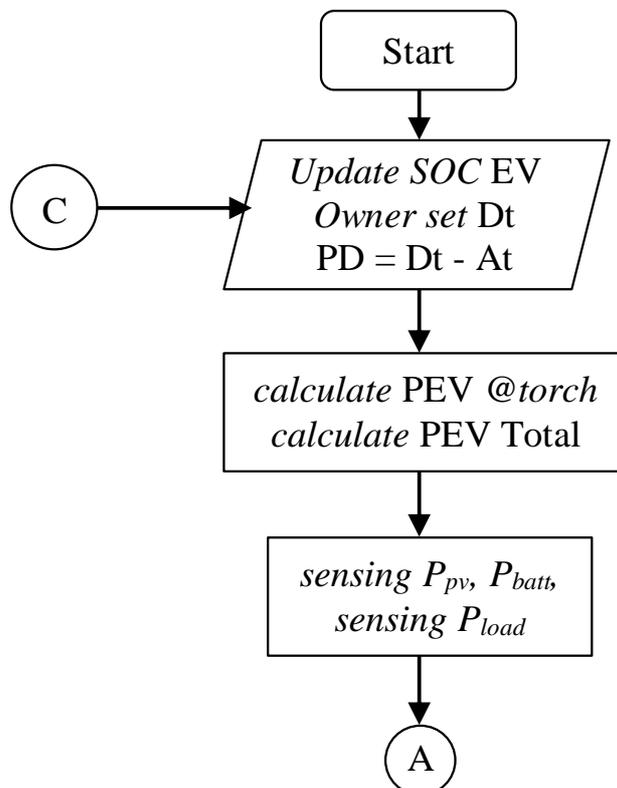
Dalam perancangan optimal pengisian stasiun kendaraan listrik, diperlukan analisis mengenai kemungkinan aliran daya yang terjadi selama proses pengisian dari sumber ke beban. Untuk mengetahui kebutuhan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik yang terparkir perlu dilakukan *sensing* untuk mengambil nilai SOC (*state of charge*) dari kendaraan listrik dan durasi parkir yang diset oleh *owner* kendaraan listrik ketika tiba di area parkir (*arrival time*).

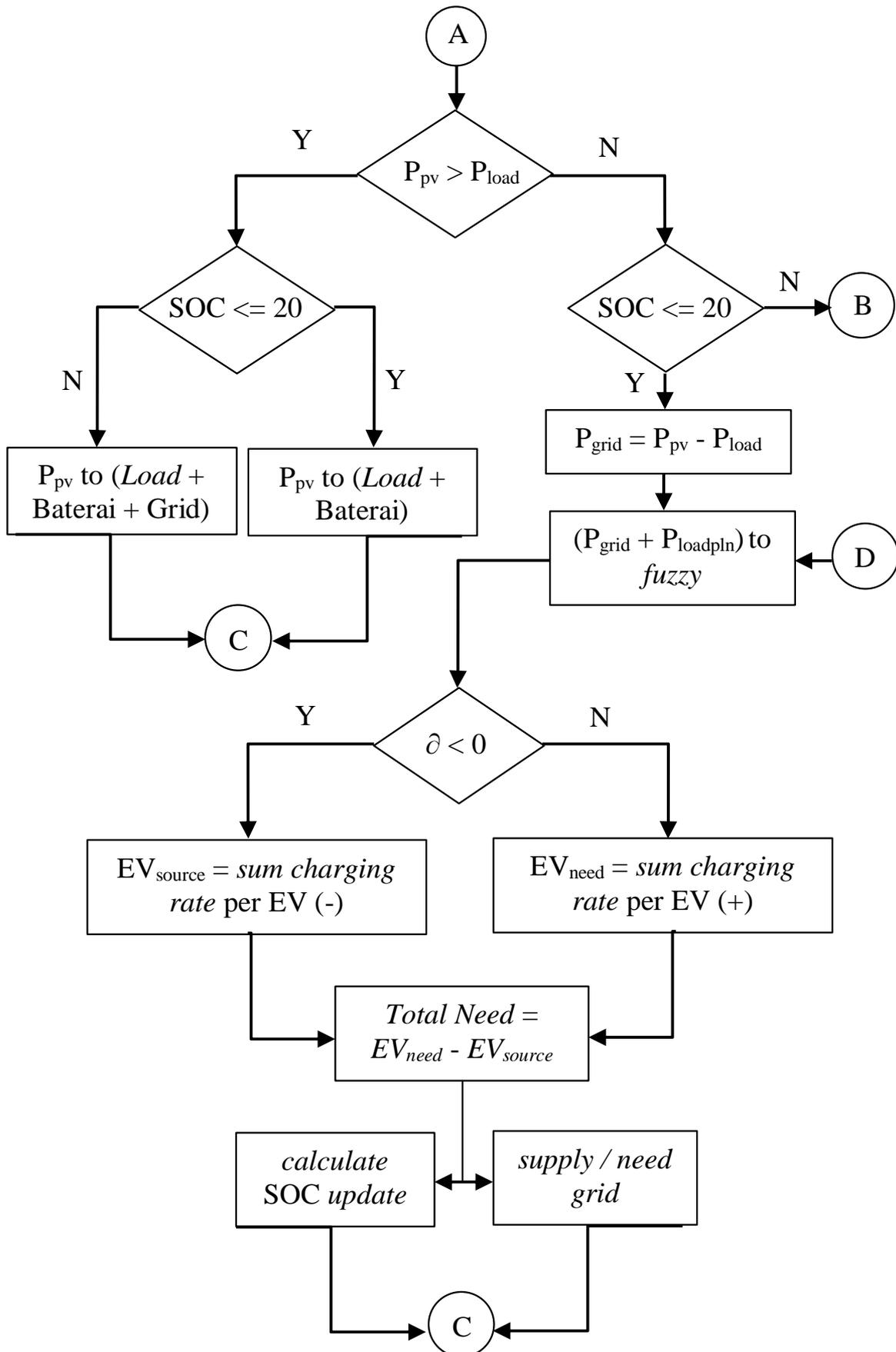


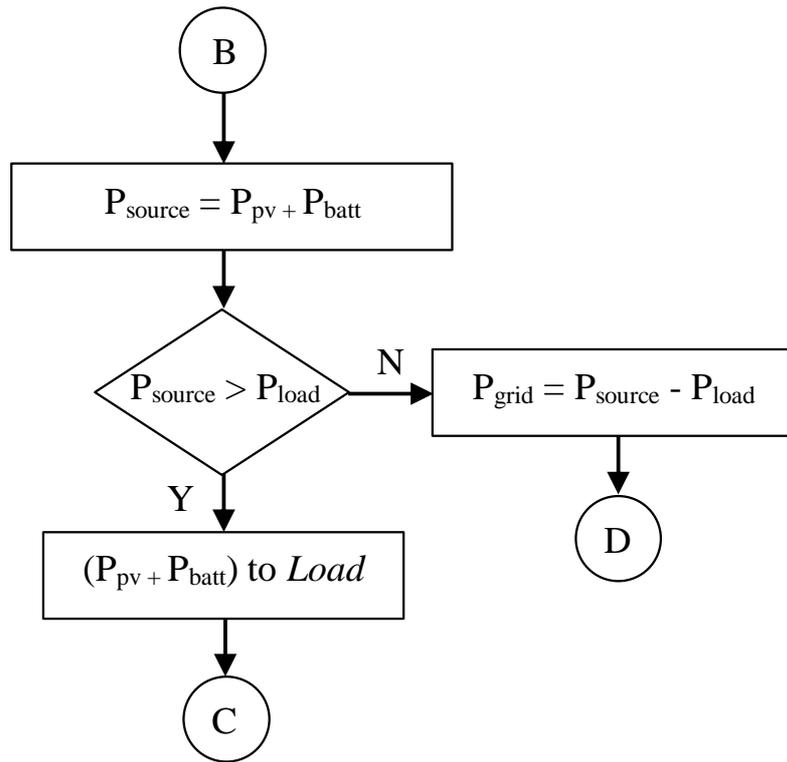
Gambar 3.5 Skema *sensing* SOC dan PD pada *torch*

SOC merupakan kapasitas baterai kendaraan listrik dalam bentuk persen, sedangkan durasi parkir (*parking duration*-PD) adalah waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik untuk proses pengisian sehingga ketika

kendaraan listrik akan pergi dari area parkir (mencapai *departure time*), SOC kendaraan listrik sudah mencapai titik yang diinginkan. Gambar 3.5 menunjukkan skema *sensing* SOC dan *parking duration* (PD) secara sederhana dari masing – masing *torch charging station*. Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa *torch* berperan untuk mengetahui nilai SOC dan PD dari kendaraan listrik sehingga dapat dihitung nilai dari kebutuhan daya masing-masing kendaraan listrik (*PEV_Need_1*, *PEV_Need_2*, dan *PEV_Need_3*) dan total kebutuhan daya beban (*PEV_Need_Total*). Setelah proses *sensing* dan perhitungan daya yang dibutuhkan kendaraan listrik selesai, maka sistem akan masuk ke mode operasi yang memungkinkan aliran daya terjadi pada stasiun pengisian kendaraan listrik. Ketika PV sudah tidak dapat mensuplai kebutuhan beban kendaraan listrik, *fuzzy logic controller* akan aktif dan bersamaan dengan melihat kondisi beban grid akan menghasilkan sebuah indek pengisian. Indek pengisian negatif (-) memungkinkan sistem *charging station* melakukan proses *discharging* dengan aktifnya mode *vehicle to vehicle* (V2V), *vehicle to grid* (V2G), maupun *grid to vehicle* (G2V). Indek pengisian positif (+) memungkinkan sistem *charging station* melakukan proses *charging* berupa aktifnya mode *vehicle to vehicle* (V2V), *vehicle to grid* (V2G), maupun *grid to vehicle* (G2V). Gambar 3.6 menunjukkan diagram aliran daya secara keseluruhan pada pengisian optimal stasiun kendaraan listrik.







Gambar 3.6 Diagram aliran daya keseluruhan pengisian optimal kendaraan listrik

Dari Gambar 3.6 di atas, dapat diketahui bahwa proses perancangan aliran daya untuk pengisian optimal kendaraan listrik adalah sebagai berikut:

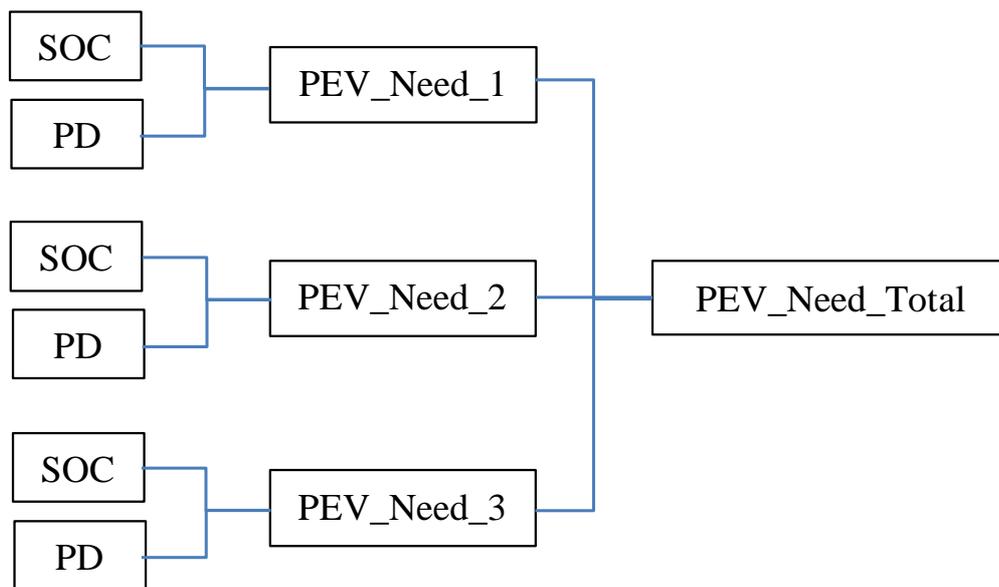
1. Ketika kendaraan listrik memasuki area parkir, masing – masing *torch* akan menghitung waktu kedatangan (*arrival time – A_t*), *sensing* SOC dari kendaraan, dan *owner* akan set waktu kepergian (*departure time - D_t*), sehingga *torch* akan menghitung lama parkir (*parking duration – PD*) yang dibutuhkan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

$$PD = D_t - A_t \quad (3.9)$$

2. Perhitungan daya dilakukan pada masing – masing *torch* sehingga didapatkan kebutuhan dari masing – masing kendaraan listrik. Setelah itu akan dihitung kebutuhan daya total atau kebutuhan beban. Perhitungan daya yang dibutuhkan masing – masing mobil dijelaskan pada persamaan (3.10)

$$PEV_{Need} = \frac{100 - SOC}{100} \times \frac{BC}{PD} \quad (3.10)$$

BC = *battery capacity*, untuk bus listrik 36.000 Watt, sedangkan untuk mobil ezzy 1 dan ezzy 2 adalah 20.000 Watt. Dari persamaan (3.10) akan didapatkan daya yang dibutuhkan oleh masing – masing kendaraan listrik (PEV_Need_1 , PEV_Need_2 , PEV_Need_3), sehingga akan didapatkan nilai kebutuhan total kendaraan listrik atau kebutuhan beban (PEV_Need_Total). Gambar 3.7 menunjukkan skema sederhana dari blok fungsi perhitungan perhitungan daya yang dibutuhkan.



Gambar 3.7 Blok perhitungan daya yang dibutuhkan kendaraan listrik

3. Dengan melakukan *sensing* P_{pv} (daya panel surya), P_{Batt} (daya baterai *charging station*), dan PEV_Need_Total (beban keseluruhan mobil), maka akan didapatkan kemungkinan – kemungkinan mode operasi aliran daya pada *charging station*. Tabel 3.7 menunjukkan mode operasi sistem.

Tabel 3.7 Mode operasi pengisian kendaraan listrik

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

Mode Operasi	Aliran Daya	Kondisi
	<i>Vehicle to Grid</i>	
Mode Operasi 4	<i>(P_{pv} + Baterai) to Load</i> <i>Vehicle to Vehicle</i> <i>Grid to Vehicle</i> <i>Vehicle to Grid</i>	$P_{pv} < P_{load}$ && $SOC > 20\%$

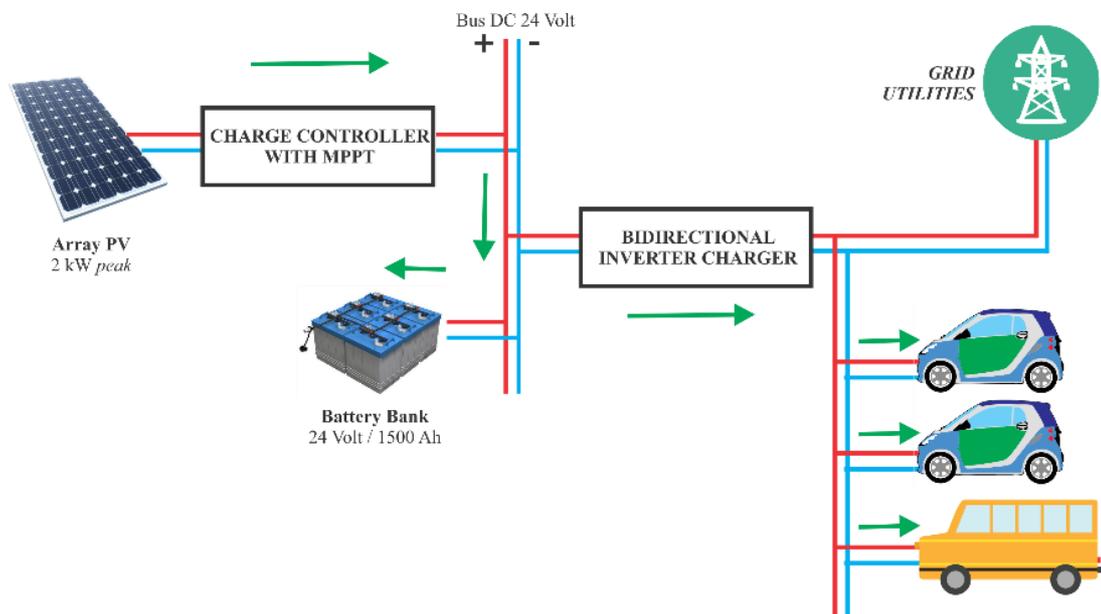
Berikut adalah skema dan penjelasan aliran daya dari mode operasi pada Tabel 3.7

1) Mode Operasi 1

Mode operasi 1 akan bekerja pada kondisi:

$$P_{pv} > P_{load} \ \&\& \ SOC \leq 20\% \quad (3.11)$$

Pada kondisi ini, daya PV melebihi daya yang dibutuhkan oleh beban yang artinya PV dapat mensuplai daya langsung ke beban. Daya sisa hasil pengurangan daya PV dengan beban akan digunakan untuk mensuplai baterai *charging station* sehingga baterai *charging station* melebihi batas kondisi kritis ($SOC = 20\%$). Gambar 3.8 menunjukkan aliran daya mode operasi 1.



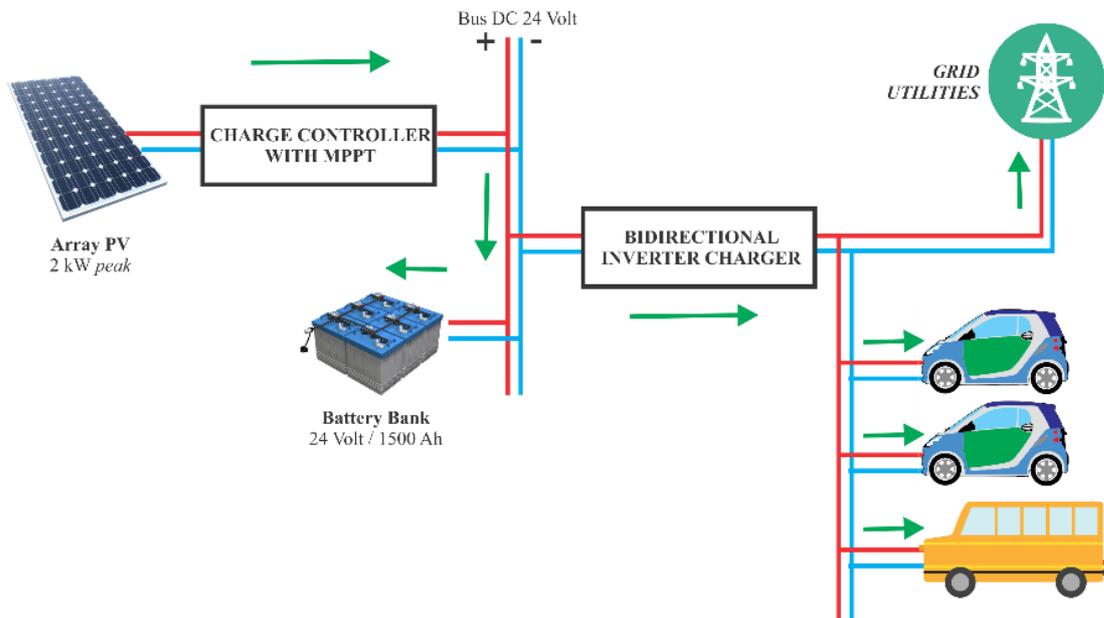
Gambar 3.8 Aliran daya mode operasi 1

2) Mode Operasi 2

Mode operasi 2 akan bekerja pada kondisi:

$$P_{pv} > P_{load} \ \&\& \ SOC > 20\% \quad (3.12)$$

Pada kondisi ini, daya PV melebihi daya yang dibutuhkan oleh beban yang artinya PV dapat mensuplai daya langsung ke beban. Sedangkan kondisi baterai *charging station* dalam kondisi yang tidak kritis, namun baterai tidak ikut berkontribusi untuk mentransfer daya ke beban dikarenakan PV mampu untuk menanggung kebutuhan beban. Daya sisa hasil pengurangan daya PV dengan beban akan digunakan untuk mensuplai baterai *charging station* dan apabila ternyata telah melebihi dari batas atas pengisian baterai (SOC = 90%), maka daya akan ditransfer ke grid. Gambar 3.9 menunjukkan aliran daya mode operasi 2.



Gambar 3.9 Aliran daya mode operasi 2

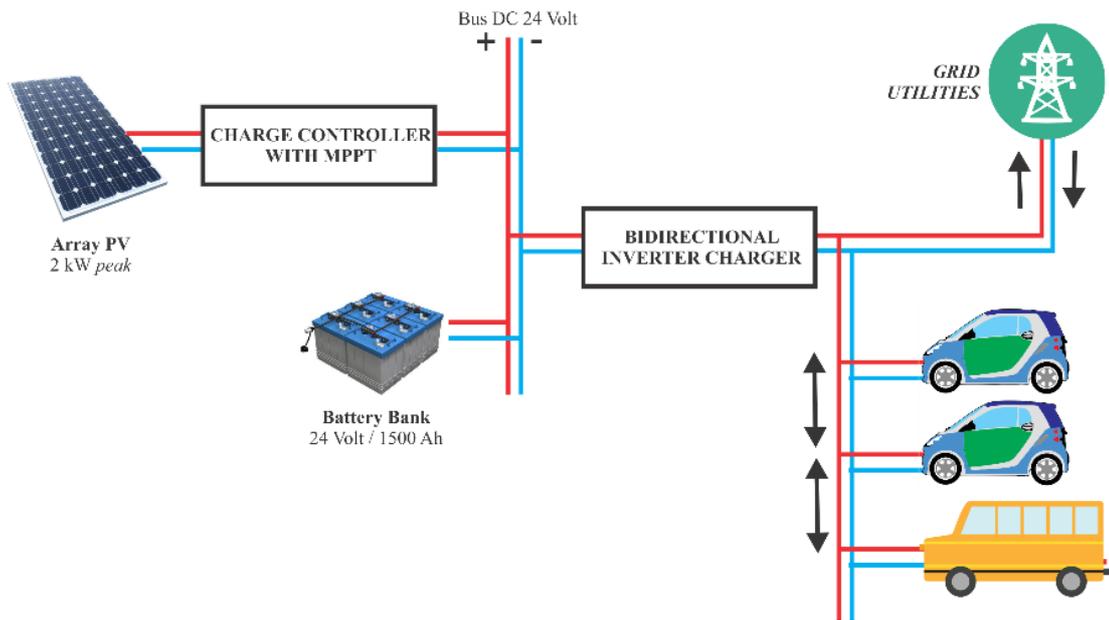
3) Mode Operasi 3

Mode operasi 3 akan bekerja pada kondisi:

$$P_{pv} < P_{load} \ \&\& \ SOC \leq 20\% \quad (3.13)$$

Pada kondisi ini, daya PV dalam keadaan kritis atau kebutuhan beban tidak dapat ditanggung oleh PV dan baterai *charging station* juga dalam kondisi kritis yang artinya baterai *charging station* tidak dapat berkontribusi untuk mensuplai daya ke beban. Gambar 3.10 menunjukkan aliran daya mode operasi 3. Pada mode ini akan dihitung kebutuhan daya yang dibutuhkan dari grid untuk mensuplai daya ke beban sesuai persamaan 3.14

$$P_{grid} = P_{pv} - P_{load} \quad (3.14)$$



Gambar 3.10 Aliran daya mode operasi 3

Daya yang dibutuhkan dari grid (P_{grid}) bersama dengan kondisi beban grid PLN ($P_{loadpln}$) pada waktu tersebut akan digunakan sebagai inputan *fuzzy logic controller*. *Fuzzy logic controller* ini berfungsi sebagai kontrol untuk mengatur besar indek pengisian yang dibutuhkan oleh sistem. Indek pengisian yang dihasilkan dari *fuzzy logic controller* selanjutnya akan menghasilkan rating pengisian yang disesuaikan dengan kebutuhan dari masing - masing kendaraan listrik sesuai dengan Tabel 3.8

Tabel 3.8 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	$PEV_Need < 2 \text{ kW}$	$-3 \text{ kW} + 5 \text{ kW} * index$

Rating pengisian bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa baterai kendaraan listrik dapat melakukan proses *discharging*, sehingga daya dapat di transfer ke kendaraan lain (*vehicle to vehicle*) maupun ke grid (*vehicle to grid*). Sedangkan rating pengisian bernilai (+) menunjukkan bahwa baterai kendaraan listrik melakukan proses *charging*, di mana kebutuhan daya dapat diambil dari kendaraan lain (*vehicle to vehicle*) maupun langsung dari grid (*grid to vehicle*). Level C dan D dari rating

pengisian pada Tabel 3.8 memungkinkan kendaraan listrik untuk melakukan proses *discharging* dikarenakan *power requirement* dari kendaraan tergolong rendah, sedangkan Level A dan B rating pengisian menunjukkan bahwa kendaraan listrik harus melakukan proses *charging* dikarenakan *power requirement* tergolong tinggi.

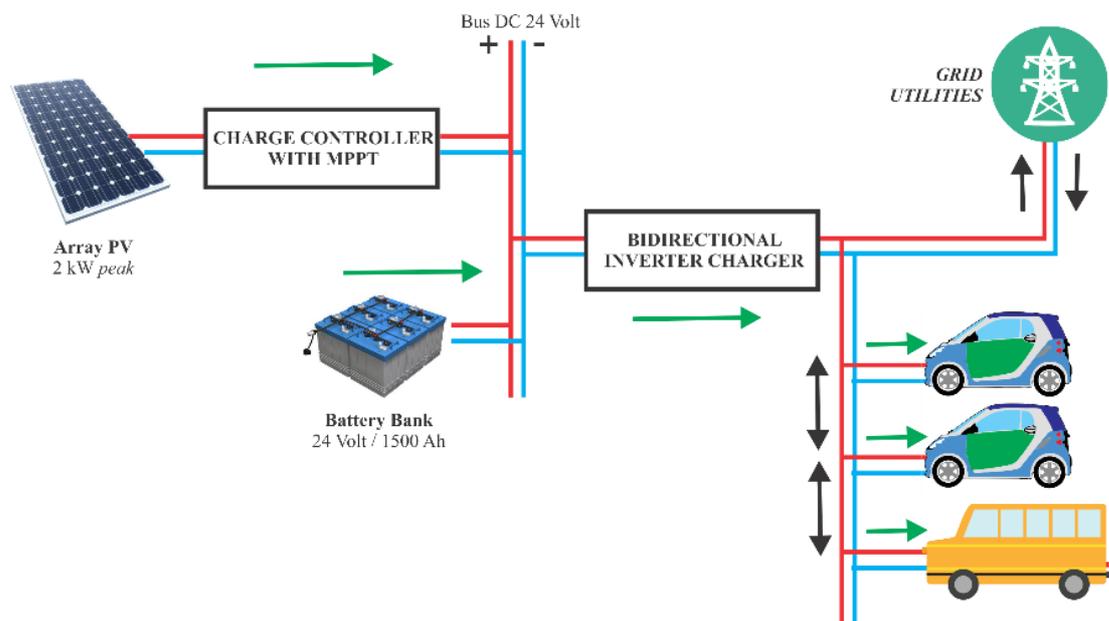
4) Mode Operasi 4

Mode operasi 4 akan bekerja pada kondisi:

$$P_{pv} < P_{load} \ \&\& \ SOC > 20\% \quad (3.15)$$

Pada kondisi ini, daya PV dalam keadaan kritis yang artinya daya PV tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan daya kendaraan listrik. Sedangkan kondisi baterai *charging station* dalam kondisi memungkinkan untuk berkontribusi dalam transfer daya ke beban. Gambar 3.11 menunjukkan diagram aliran daya mode operasi 4. Pada mode operasi ini akan dihitung nilai dari daya sumber (daya PV dan daya baterai *charging station*) sesuai persamaan 3.16

$$P_{source} = P_{pv} + P_{batt} \quad (3.16)$$



Gambar 3.11 Aliran daya mode operasi 4

Setelah daya sumber (P_{source}) didapatkan, nilai tersebut akan dibandingkan dengan beban kendaraan listrik (P_{load}). Jika daya sumber lebih besar dibandingkan daya beban kendaraan listrik, maka daya PV bersama dengan daya baterai *charging station* akan ditransfer ke beban. Dalam proses *discharging* baterai *charging station*, diberi konstrain

bahwa baterai hanya dapat transfer daya sampai kondisi batas kritis (SOC = 20). Hal ini dikarenakan untuk menjaga baterai dari kemungkinan kerusakan. Namun, sebaliknya apabila daya sumber (P_{source}) lebih kecil dari daya beban (P_{load}), maka sistem akan menghitung besar daya yang dibutuhkan dari grid untuk memenuhi kekurangan daya dari sumber sesuai kebutuhan beban kendaraan listrik (persamaan 3.17).

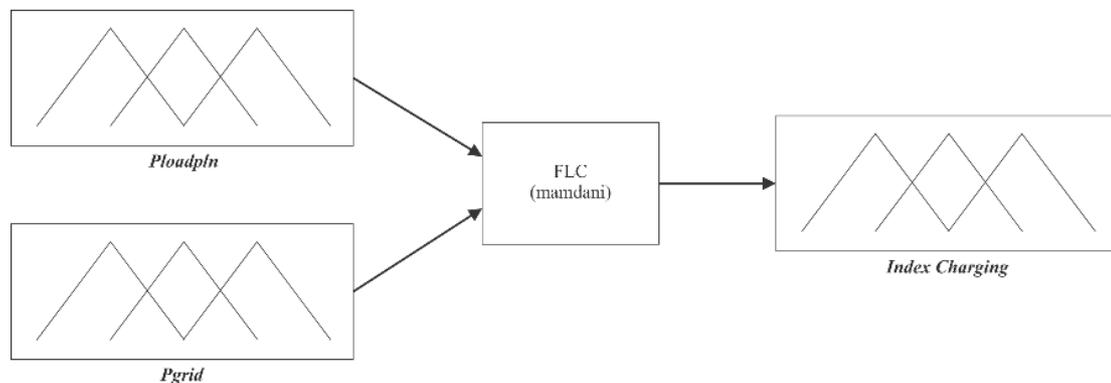
$$P_{grid} = P_{source} - P_{load} \quad (3.17)$$

3.4 Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Untuk mendapatkan hasil keluaran sistem yang optimal, diperlukan perancangan kontroler logika *fuzzy* berupa perancangan fungsi keanggotaan (*membership function*), aturan (*rule base*), dan verifikasi rule base (*rule base verification*).

3.4.1 Perancangan Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Dalam penelitian ini, 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*.



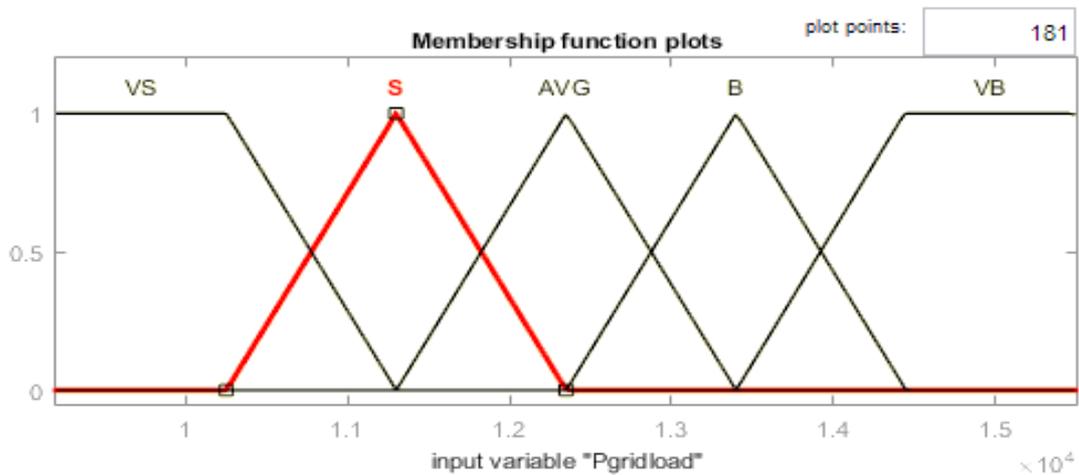
Gambar 3.12 Ilustrasi *FIS Editor Matlab*

FIS Editor dari software Matlab digunakan untuk memproses dua masukan berupa P_{grid} (daya yang dibutuhkan stasiun pengisian dari grid) dan $P_{loadpln}$ (*kondisi beban grid PLN*). Sedangkan keluaran *fuzzy* berupa indek pengisian (*index*) yang digunakan untuk menentukan sistem melakukan proses *charging* atau *discharging*. Gambar 3.12 menunjukkan ilustrasi dari *FIS Editor Matlab*.

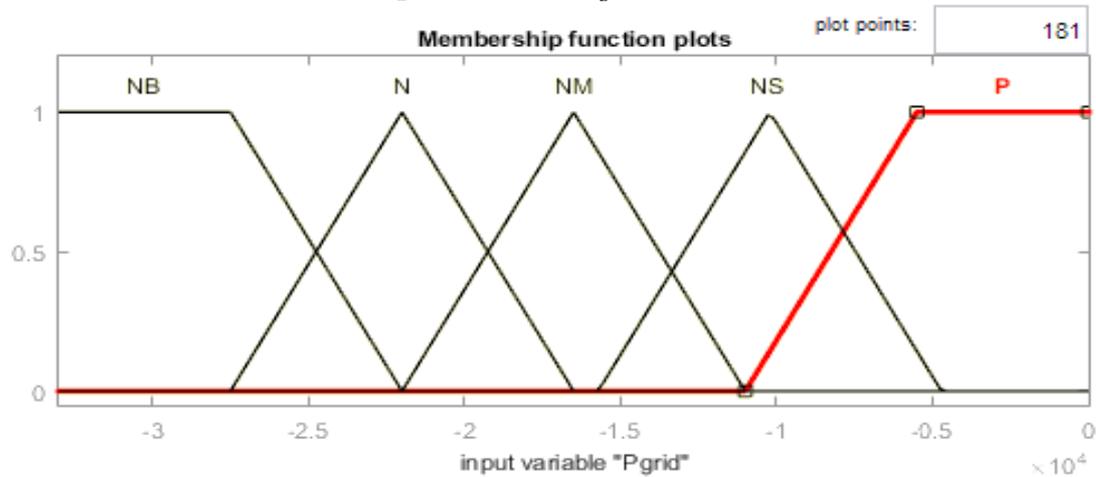
Tabel 3.9 Spesifikasi *Fuzzy - Mamdani*

No	Spesifikasi	Kategori
1	<i>FIS Name</i>	<i>FLC</i>
2	<i>FIS Type</i>	<i>Mamdani</i>
3	<i>And Method</i>	<i>Min</i>
4	<i>Or Method</i>	<i>Max</i>
5	<i>Implication</i>	<i>Min</i>
6	<i>Aggregation</i>	<i>Max</i>
7	<i>Defuzzification</i>	<i>Centroid</i>

Masing – masing dari masukan dan keluaran *fuzzy* memiliki himpunan keanggotaan untuk mengklasifikasi nilai yang masuk dan keluar. Gambar 3.13 menunjukkan himpunan keanggotaan dari $P_{loadpln}$ dengan *range* [9198 1.55e+04].

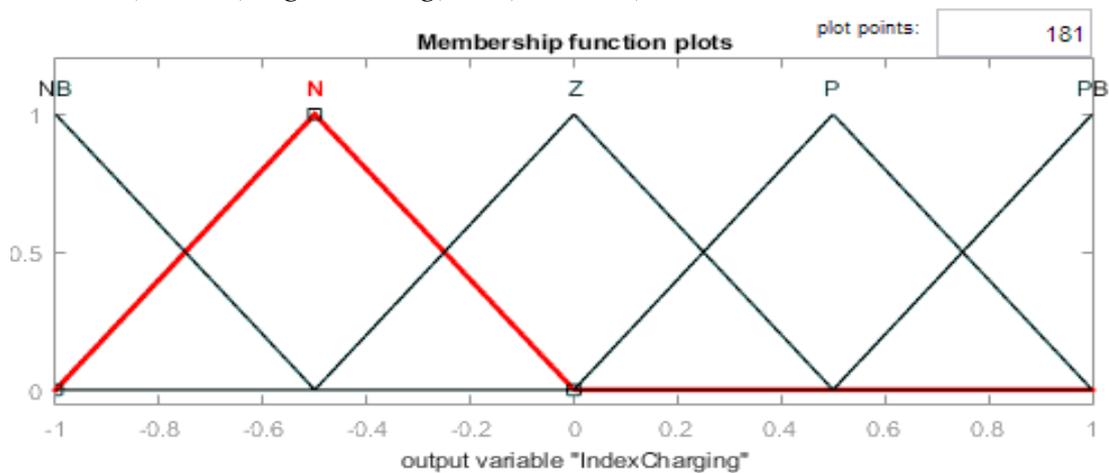


Gambar 3.13 Membership Function $P_{gridload}$

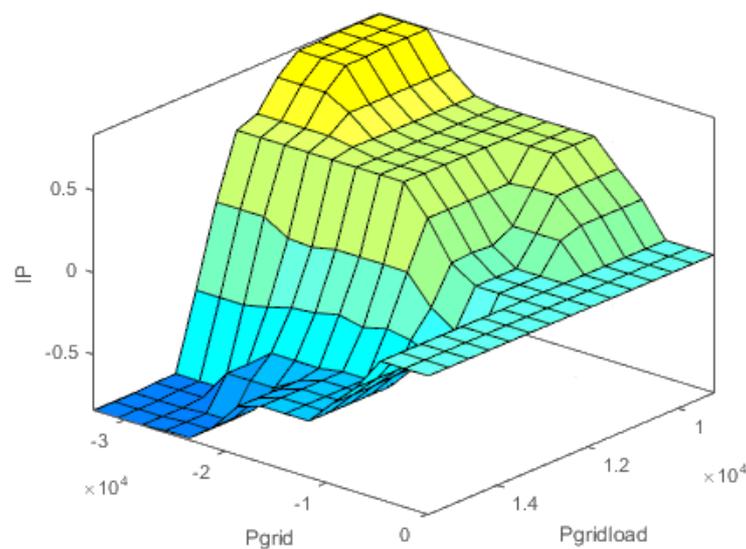


Gambar 3.14 Membership Function P_{grid}

Range tersebut diperoleh dari data beban PLN harian unit Sukolilo 1 dengan rentang nilai beban terendah (*off-peak*) hingga beban tertinggi (*peak*). $P_{loadpln}$ memiliki *membership function* yang terdiri dari VS (*very small*), S (*small*), AVG (*average*), B (*big*), dan VB (*very big*). *Membership function* tersebut berbentuk *triangle* karena nilai yang dihitung pada *fuzzy* mengacu pada nilai puncak segitiga. Gambar 3.14 menunjukkan himpunan keanggotaan P_{grid} yang memiliki range $[-3.3e+04 \ 0]$. Range tersebut diperoleh dari kemungkinan beban kendaraan listrik ketika berada di stasiun pengisian, di ambil dari pola ketika sumber kritis dan tidak ada kendaraan listrik yang terparkir. hingga ketika sumber surplus dan kendaraan listrik terparkir semua. P_{grid} memiliki *membership function* yang terdiri dari NB (*Negative Big*), N (*Negative*), NM (*Negative Medium*), NB (*Negative Big*), P (*Positive*).



Gambar 3.15 *Membership Function Index Charging*



Gambar 3.16 *Surface fuzzy*

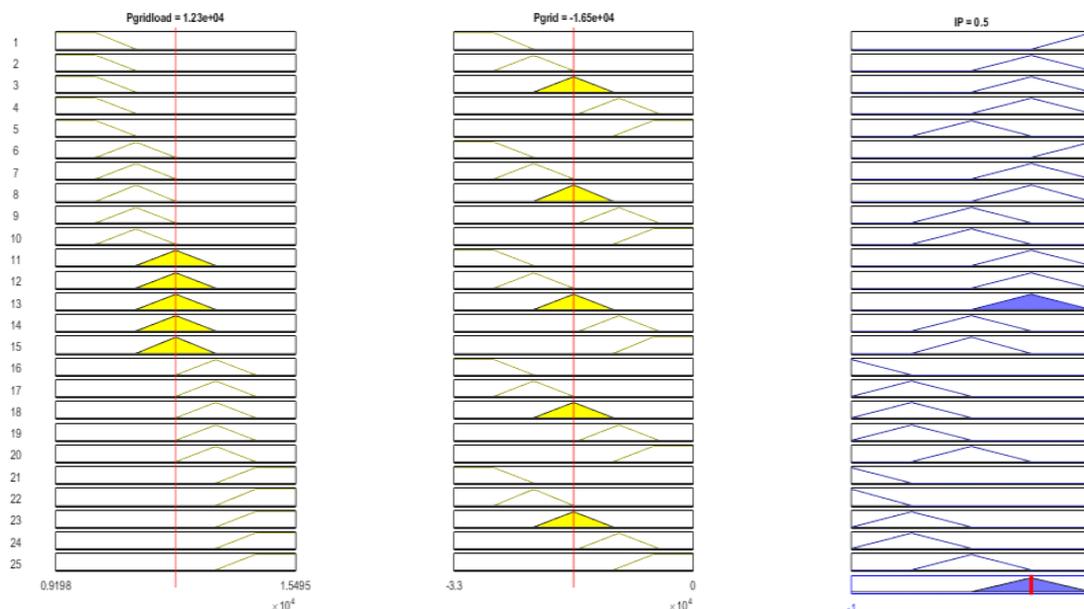
Surface fuzzy pada Gambar 3.16 menunjukkan karakteristik *rule* yang akan bekerja dalam menentukan keluaran berupa indek pengisian yang akan digunakan sebagai faktor pengali pada rating pengisian, sehingga akan didapatkan sebuah kondisi *charge* atau *discharging*.

3.4.2 Penentuan *Rule* pada FLC

Berikut merupakan *rule* pada *fuzzy logic controller*, terdapat 25 *rule* seperti diringkas pada tabel 3.10 berikut :

Tabel 3.10 *Rule* pada *fuzzy*

<i>Pgrid</i> <i>Pgridload</i>	<i>Negative Big</i>	<i>Negative</i>	<i>Negative Medium</i>	<i>Negative Small</i>	<i>Positive</i>
<i>Very Small</i>	PB	P	P	P	Z
<i>Small</i>	PB	P	P	Z	Z
<i>Average</i>	P	P	P	Z	Z
<i>Big</i>	NB	N	N	N	Z
<i>Very Big</i>	NB	NB	N	N	Z



Gambar 3.16 *Rule Viewer*

Gambar 3.16 berikut merupakan tampilan *rule viewer* pada Matlab, sebagai contoh saat $Pgridload = 1.23e+04$ dan $Pgrid = -1.65e+04$

maka index charging = 0.5 sehingga kendaraan listrik harus di charge yang banyaknya daya charge ditentukan oleh charging rate pada tabel 3.8

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

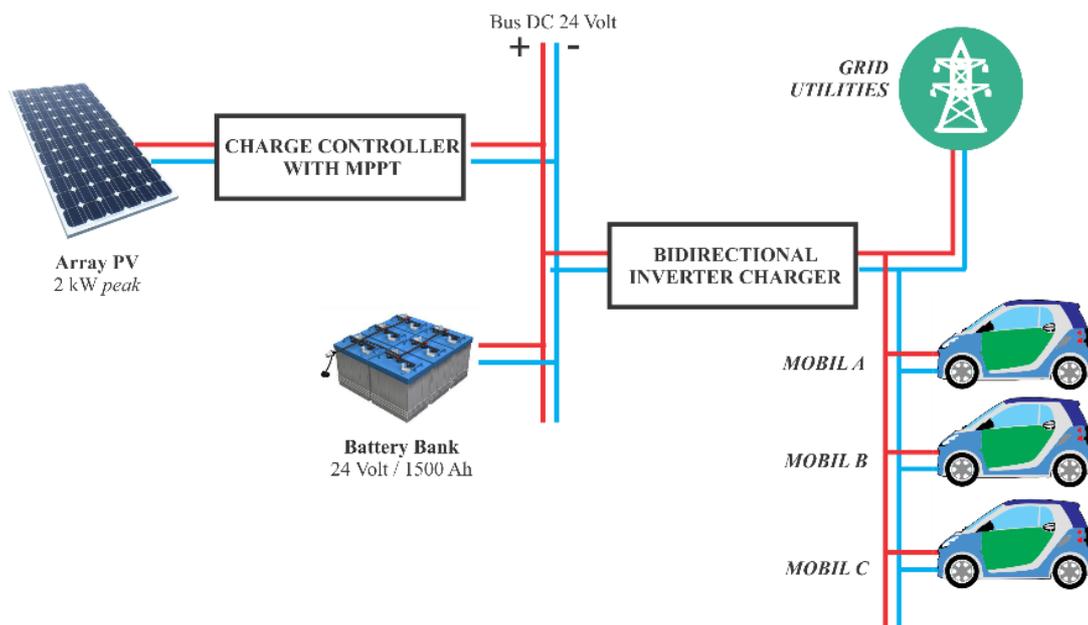
Pada Bab 4 akan dijelaskan tentang hasil analisis dan pembahasan dari penggunaan *fuzzy logic controller* pada studi kasus yang telah ditentukan.

4.1 Penentuan Kondisi

Pada simulasi pengisian optimal untuk kendaraan listrik, proteksi baterai yang mengalami *charge-discharge* hanya diperhitungkan pada proses aliran perpindahan daya, sedangkan karakteristik ideal *charge-discharge* tidak diperhitungkan, begitu pula dengan faktor *aging* yang mempengaruhi *lifetime* dari baterai. Sistem pengisian optimal ini mengalami *update* perhitungan setiap 0,5 jam, sehingga memungkinkan terjadinya pergantian level prioritas pengisian dan indek pengisian untuk memenuhi layanan *vehicle-to-vehicle*, *vehicle-to-grid*, maupun *grid-to-vehicle*. Berikut merupakan penentuan kondisi dalam simulasi ini.

4.1.1 Kondisi 1

Penentuan kondisi 1 pada Gambar 4.1 menunjukkan sistem dibebani dengan 3 buah mobil yang mempunyai kapasitas baterai sesuai dengan mobil listrik ezzy ITS 20 kWh. Selanjutnya mobil didefinisikan sebagai mobil A, mobil B, dan mobil C.

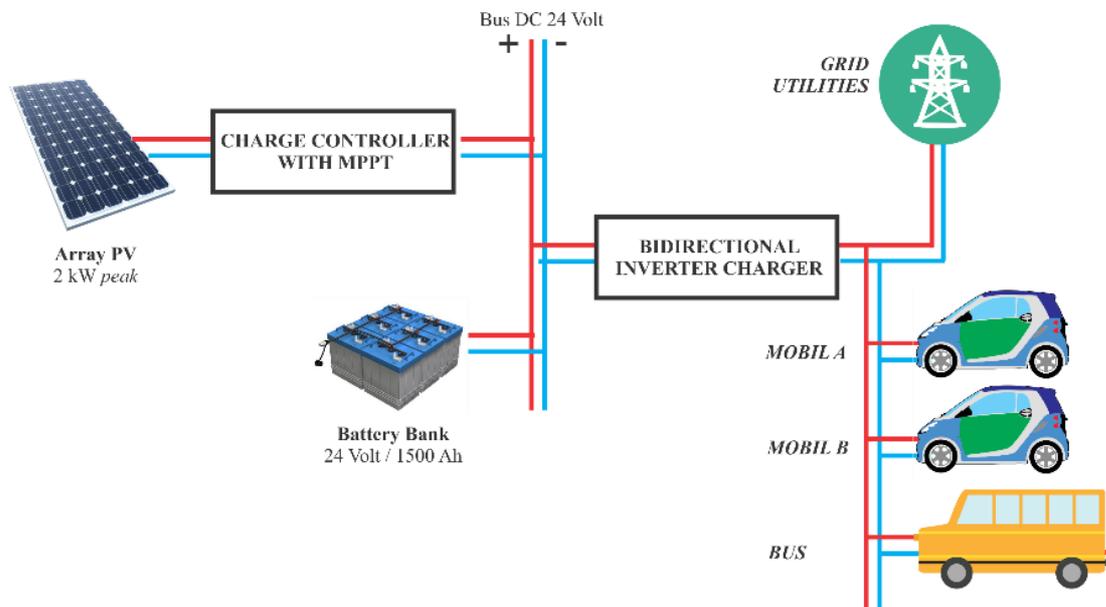


Gambar 4.1 Skema penentuan kondisi 1

- a) Keadaan awal mobil A adalah memiliki SOC (*State of Charge*) sebesar 0% dengan lama parkir (*Parking Duration*) sebesar 1 jam. Artinya, *owner* kendaraan menginginkan mobil pergi dari area *charging station* setelah 1 jam proses pengisian.
- b) Keadaan awal mobil B adalah memiliki SOC (*State of Charge*) sebesar 20% dengan lama parkir (*Parking Duration*) sebesar 3 jam. Artinya, *owner* kendaraan menginginkan mobil pergi dari area *charging station* setelah 3 jam proses pengisian.
- c) Keadaan awal mobil C adalah memiliki SOC (*State of Charge*) sebesar 80% dengan lama parkir (*Parking Duration*) sebesar 5 jam. Artinya, *owner* kendaraan menginginkan mobil pergi dari area *charging station* setelah 5 jam proses pengisian.

4.1.2 Kondisi 2

Penentuan kondisi 2 pada Gambar 4.2 menunjukkan sistem dibebani dengan 2 buah mobil dan 1 bus listrik yang mempunyai kapasitas baterai sesuai dengan mobil listrik ezzy ITS 20 kWh dan bus ITS 36 kWh. Selanjutnya mobil didefinisikan sebagai mobil A, mobil B, dan bus.



Gambar 4.2 Skema penentuan kondisi 2

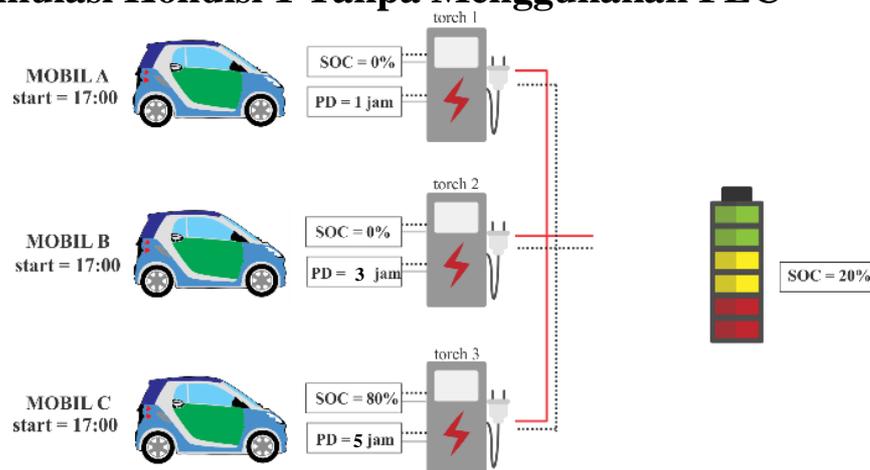
- a) Keadaan awal mobil A adalah memiliki SOC (*State of Charge*) sebesar 0% dengan lama parkir (*Parking Duration*) sebesar 1 jam. Artinya, *owner* kendaraan menginginkan mobil pergi dari area *charging station* setelah 1 jam proses pengisian.

- b) Keadaan awal mobil B adalah memiliki SOC (*State of Charge*) sebesar 0% dengan lama parkir (*Parking Duration*) sebesar 1.5 jam. Artinya, *owner* kendaraan menginginkan mobil pergi dari area *charging station* setelah 1,5 jam proses pengisian.
- c) Keadaan awal bus adalah memiliki SOC (*State of Charge*) sebesar 90% dengan lama parkir (*Parking Duration*) sebesar 6 jam. Artinya, *owner* kendaraan menginginkan mobil pergi dari area *charging station* setelah 6 jam proses pengisian.

4.2 Simulasi Kondisi I

Pada simulasi kondisi I ini akan dibahas performa perbandingan antara sistem menggunakan FLC (*fuzzy logic controller*) maupun tanpa menggunakan FLC yang meliputi : kebutuhan daya mobil, karakteristik SOC (*State of Charge*) mobil, kebutuhan daya grid, dan analisis performansi biaya.

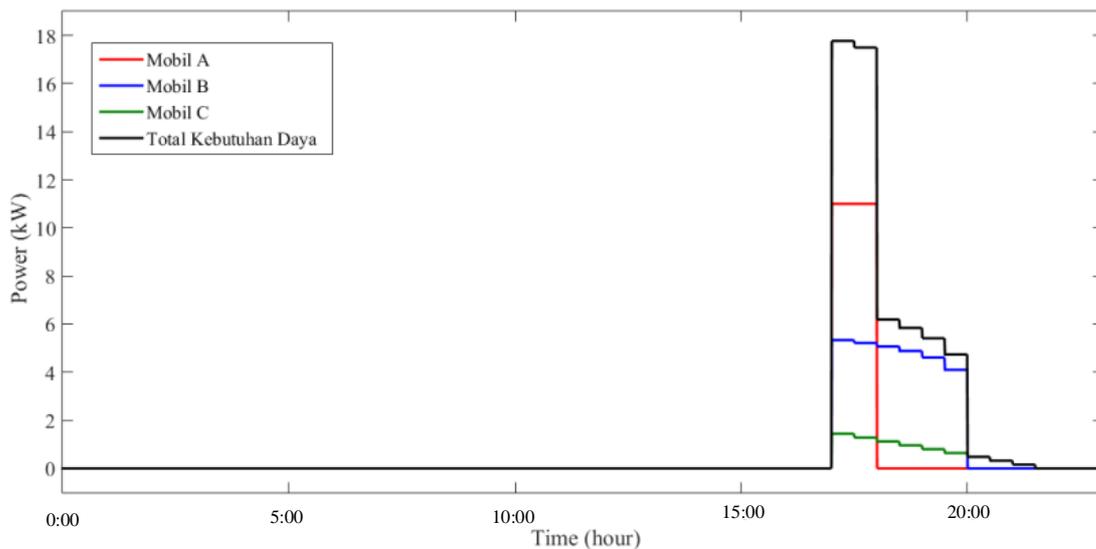
4.2.1 Simulasi Kondisi 1 Tanpa Menggunakan FLC



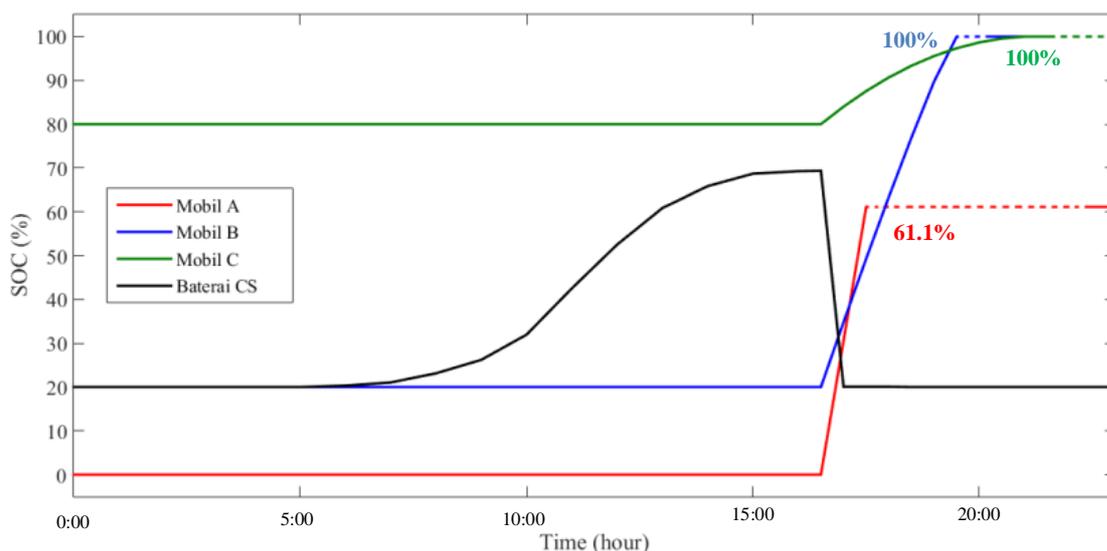
Gambar 4.3 Ilustrasi penentuan kondisi 1

Gambar 4.3 menunjukkan ilustrasi dari penentuan kondisi 1 di mana kebutuhan daya dari ke tiga mobil akan selalu terpenuhi oleh sumber baik dari grid (*grid-to-vehicle*), panel surya, maupun *sharing* daya dari mobil lain (*vehicle-to-vehicle*). Sedangkan Gambar 4.4 menunjukkan karakteristik kebutuhan daya dari masing - masing mobil dan keseluruhan kebutuhan daya dari ke tiga mobil. Mobil A membutuhkan daya terbesar (11 kW) dikarenakan waktu *departure* mobil A lebih cepat dibandingkan mobil lainnya yaitu 1 jam pengisian. Mobil C menyerap daya terendah dari sistem dikarenakan SOC mobil C telah mencapai 80% dan memiliki waktu pengisian paling lama (5 jam). Dapat diketahui bahwa pada

setengah jam pertama (17:00 – 17:30) dan setengah jam ke dua (17.30 - 18.00) sistem mengalami beban puncak sebesar 17,73 kW dan 17.49 kW. Mobil A mengalami *departure time* pada jam 18:00 dan mobil tidak lagi menyerap daya dari sistem pada jam 18:00 – 22:00. Mobil B mengalami *departure time* pada jam 20:00 dan mobil tidak lagi menyerap daya dari sistem pada jam 20:00 – 22:00. Sedangkan mobil C mengalami *departure time* pada jam 22.00

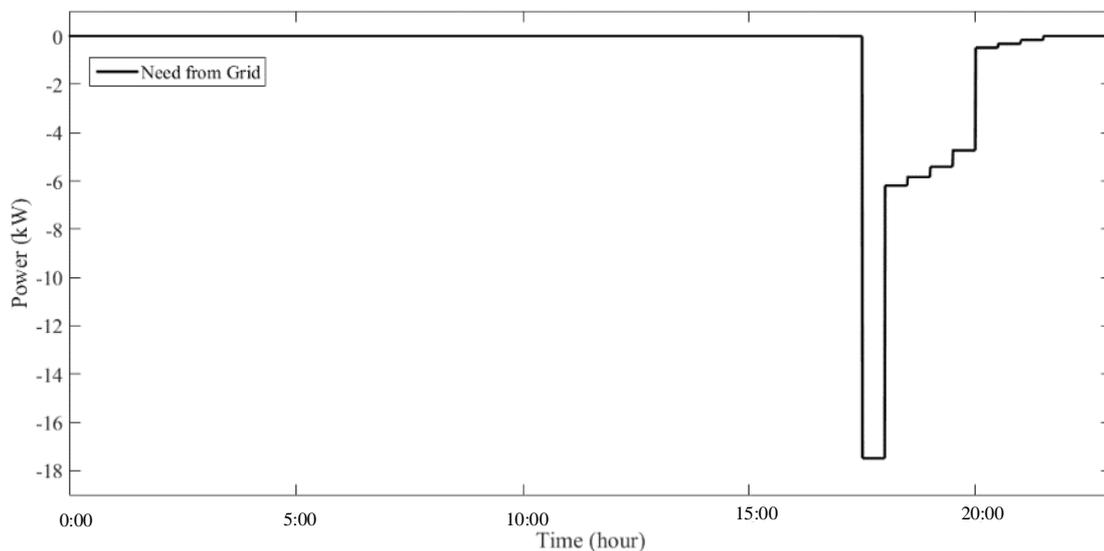


Gambar 4.4 Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 1



Gambar 4.5 Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 1

Keadaan SOC (*state of charge*) dari masing – masing mobil dapat dilihat pada Gambar 4.5. SOC mobil A mengalami kenaikan linier dari SOC awal 0% menjadi 61,11% dalam satu jam proses pengisian. Mobil B membutuhkan waktu 3 jam untuk mencapai SOC maksimal 100% dari SOC awal 20%. Sedangkan mobil C mengalami kenaikan SOC 20% dengan mengambil daya dari sistem. Dari grafik karakteristik SOC, dapat dilihat bahwa baterai *charging station* mengalami proses *discharging* untuk memenuhi permintaan daya dari mobil. Proses *discharging* baterai *charging station* memiliki konstrain 20% yang artinya baterai hanya bisa *discharge* pada batas minimal SOC 20% dari kapasitas total, sehingga kekurangan daya yang dibutuhkan oleh beban akan langsung diambil dari grid.

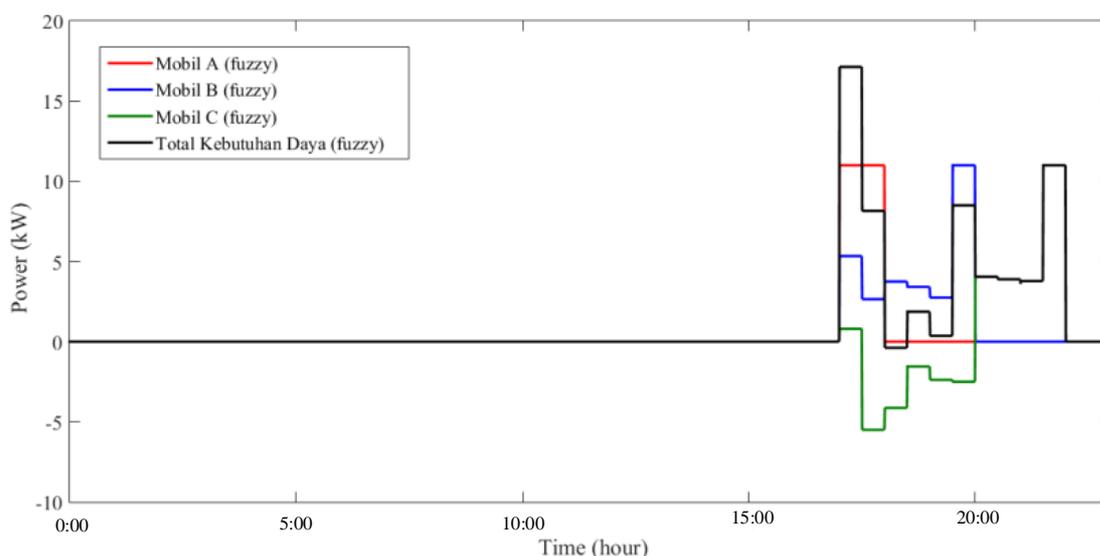


Gambar 4.6 Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 1

Grafik pada Gambar 4.6 menunjukkan karakteristik kebutuhan daya dari grid. Ketika sumber panel surya dan baterai *charging station* tidak mampu memenuhi kebutuhan beban, kekurangan daya akan di ambil dari grid. Dari grafik dapat diketahui bahwa pada jam 17:00 – 17:30 kebutuhan daya grid bernilai 0 kW yang artinya pada setengah jam pertama kebutuhan beban dipenuhi oleh sumber dari baterai *charging station* dan panel surya. Sedangkan pada jam 17:30 – 20:00, baterai *charging station* dan panel surya sudah tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan beban sehingga sistem mengambil daya dari grid. Beban puncak grid terjadi pada setengah jam kedua (17:30 – 18:00) sebesar -17,49 kW.

4.2.2 Simulasi Kondisi 1 Menggunakan FLC

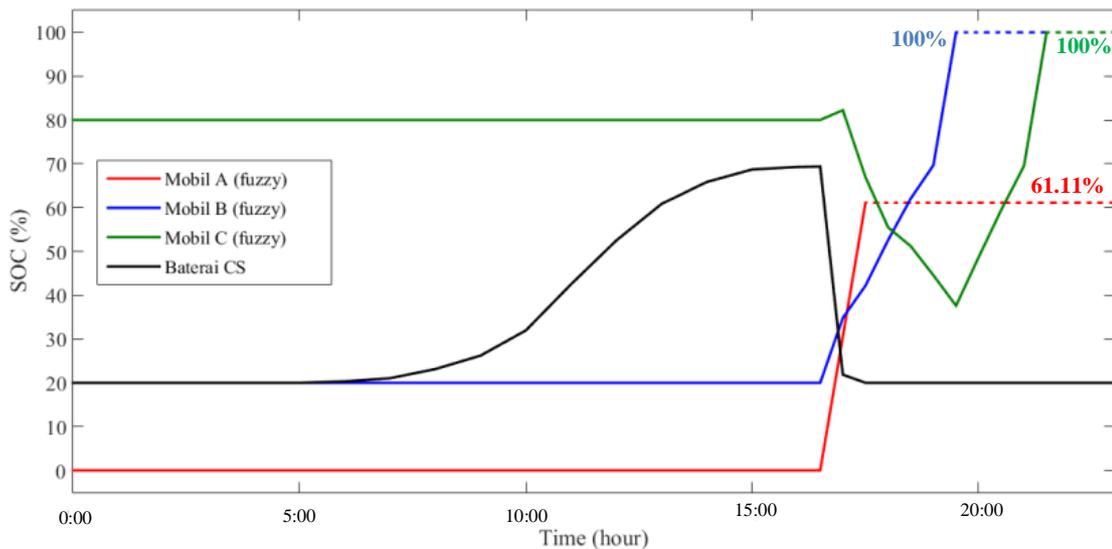
Berikut merupakan penjelasan simulasi kondisi 1 ketika sistem menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC). FLC memungkinkan terjadinya layanan *vehicle-to-vehicle* (V2V), *vehicle-to-grid* (V2G), maupun *grid-to-vehicle* (G2V). Gambar 4.7 merupakan grafik kebutuhan daya dari ke tiga mobil ketika menggunakan FLC. Untuk mobil A, pada setengah jam pertama (17:00 – 17:30) membutuhkan daya sebesar 11 kW, sedangkan pada setengah jam berikutnya (17:30 – 18:00) mobil masih membutuhkan daya sebesar 11 kW. Seluruh beban bernilai positif yang artinya selama 1 jam proses pengisian, mobil A selalu mengalami proses pengisian (*charge*).



Gambar 4.7 Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 1 (*fuzzy*)

Karakteristik beban untuk mobil B pada setengah jam pertama (17:00 – 17:30) membutuhkan daya 5,3 kW. Pada setengah jam berikutnya mobil B membutuhkan daya sebesar 2,65 kW. Selama proses pengisian dari jam 17:00 – 20:00, mobil B terus mengalami proses *charge*, namun permintaan daya dari sistem disesuaikan dengan kondisi grid. Dapat dilihat bahwa permintaan daya terbesar dari mobil B terjadi pada setengah jam terakhir ketika mobil akan mencapai *departure time* (19.30 – 20.00) sebesar 11 kW. Kontroler FLC memilih jam tersebut dikarenakan selama 3 jam pengisian, kondisi grid pada setengah jam terakhir tergolong lebih rendah dibandingkan pada jam awal pengisian, sehingga permintaan daya pada jam awal pengisian rendah dan permintaan daya pada jam akhir tinggi. Kondisi ini bertujuan untuk

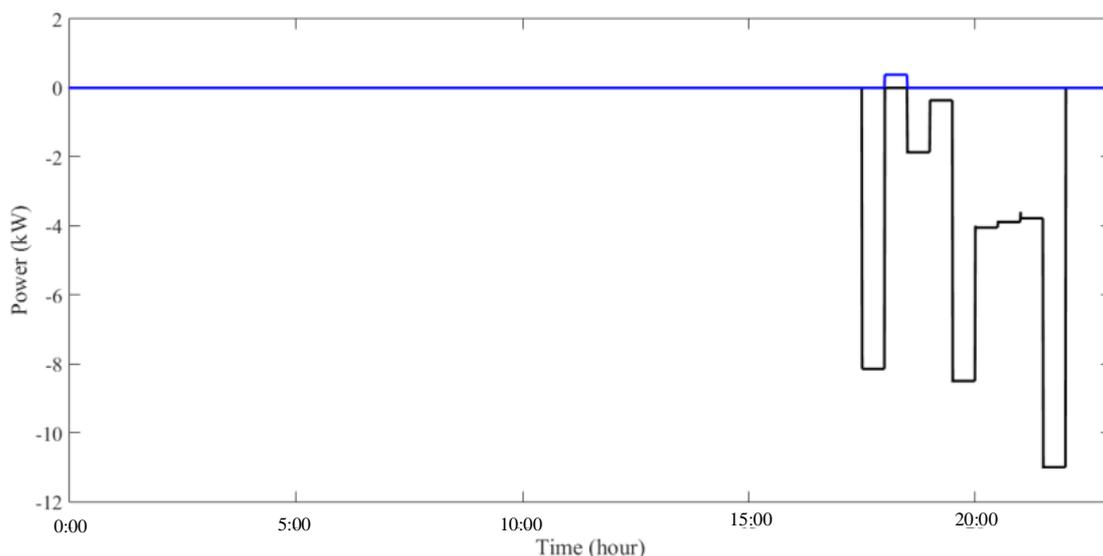
memenuhi *peak shaving* grid pada jam awal pengisian dan *valley filling* pada jam akhir pengisian. Sedangkan karakteristik beban mobil C selama 5 jam proses pengisian mengalami kondisi *charge* maupun *discharging*. Pada setengah jam pertama (17:00 – 17:30) mobil C mengalami proses *charge* dikarenakan membutuhkan daya sebesar 0,8 kW. Pada setengah jam berikutnya (17:30 – 18:00) mobil C membutuhkan daya sebesar -5,5 kW, di mana kondisi ini mengindikasikan bahwa mobil C mengalami proses *discharging*. Mobil C terus mengalami proses *discharging* dari jam 17:30 – 20:00 dengan nilai *discharging* terbesar adalah -5,5 kW. Pada jam 20:00 – 22:00 mobil C mengalami proses *charging* dengan nilai terbesar 11 kW pada setengah jam terakhir. Kondisi *charge* dan *discharging* pada mobil C terjadi untuk memenuhi kondisi *peak shaving* dan *valley filling* dikarenakan pada jam awal pengisian, kondisi grid tergolong tinggi sedangkan pada jam akhir pengisian kondisi grid tergolong rendah, sehingga FLC akan mengontrol mobil C untuk mengambil daya terbesar pada jam akhir pengisian.



Gambar 4.8 Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 1 (*fuzzy*)

Dari grafik karakteristik SOC mobil pada Gambar 4.8 dapat terlihat proses kenaikan maupun penurunan SOC. Mobil A mengalami kenaikan SOC sebesar 30,55% dari SOC awal 0% pada setengah jam pertama proses pengisian. Kemudian pada setengah jam terakhir sebelum mencapai *departure time*, mobil B mengalami proses *charge* sebesar 30,55% sehingga didapatkan SOC akhir sebesar 61,11%. Mobil B selalu mengalami proses *charge* selama 3 jam proses pengisian. Pada setengah

jam pertama terjadi penambahan SOC sebesar 14,81% dan kemudian akan terus mengalami proses pengisian hingga penambahan SOC 30,34% pada setengah jam terakhir untuk mencapai SOC akhir 100% pada *departure time*. Sedangkan untuk mobil C, selama 5 jam proses pengisian terjadi penambahan dan pengurangan SOC. Pada setengah jam pertama (17:00 – 17:30) mengalami penambahan SOC sebesar 2,2% dilanjutkan dengan penurunan SOC sebesar 15,28% pada setengah jam berikutnya. Mobil C terus mengalami *discharging* hingga jam 20:00. Mobil mulai mengalami kenaikan SOC pada jam (20:00 – 20:30) sebesar 11,1% dan pada setengah jam terakhir proses pengisian mengalami penambahan SOC sebesar 30,52% sehingga didapatkan SOC akhir 100% pada *departure time*.

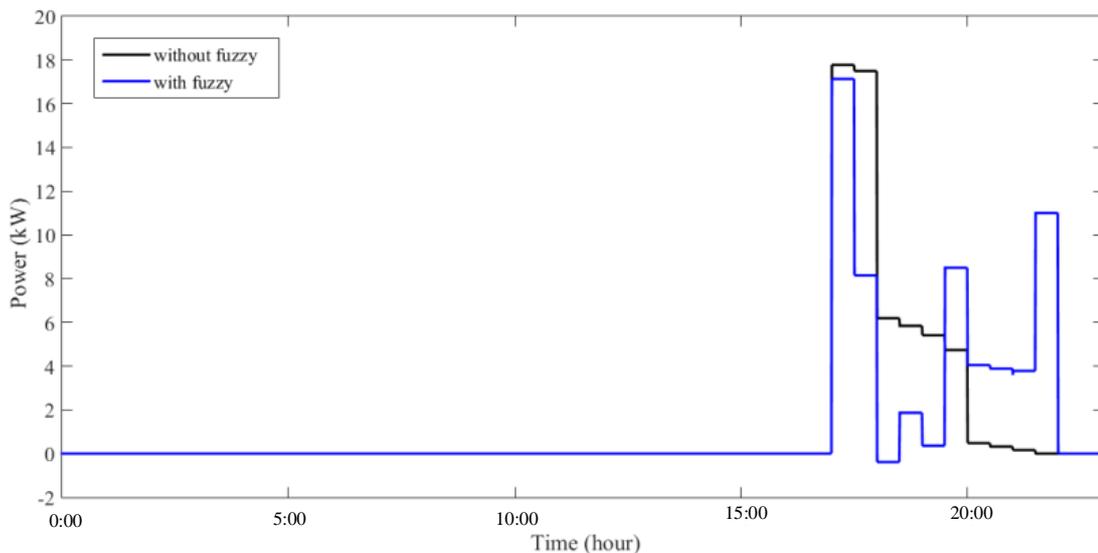


Gambar 4.9 Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 1 (*fuzzy*)

Grafik pada Gambar 4.9 menunjukkan karakteristik kebutuhan daya dari grid dengan menggunakan kontroler FLC. Kontroler FLC memungkinkan *charging station* mengalami proses *vehicle-to-grid* (V2V) maupun *grid-to-vehicle* (G2V). Dari grafik dapat terlihat bahwa sistem membutuhkan daya dari grid (*grid-to-vehicle*) pada setengah jam ke dua (17:30 – 18:00) sebesar -8,15 kW sedangkan pada setengah jam selanjutnya (18:00 – 18:30) sistem memberikan daya ke grid (*vehicle-to-grid*) sebesar 0,383 kW. Permintaan daya dari grid terbesar terjadi pada setengah jam terakhir sebesar -11 kW. Kontroler FLC berfungsi untuk memenuhi kondisi *peak shaving* ketika grid dalam kondisi puncak dan *valley filling* ketika grid pada kondisi normal. Dari grafik tersebut dapat

terlihat bahwa permintaan terbesar terjadi pada setengah jam terakhir dikarenakan grid dalam kondisi normal. Sedangkan pada jam awal pengisian, kontroler FLC cenderung mengontrol supaya sistem meminimalisir pengambilan daya dari grid bahkan jika memungkinkan sistem dapat memberi daya ke grid seperti pada jam 18:00 – 18:30.

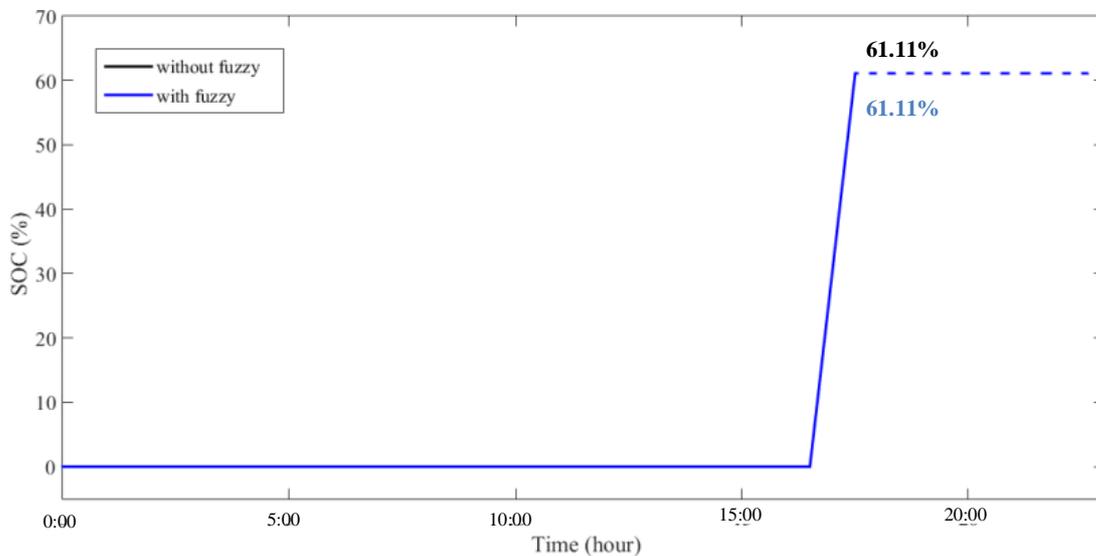
4.2.3 Simulasi Kondisi 1 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC



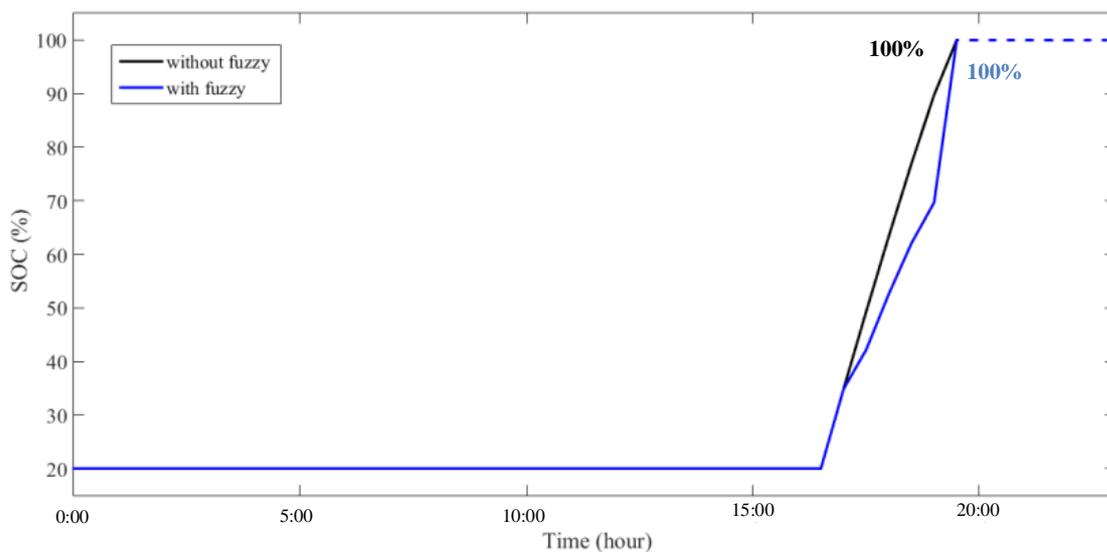
Gambar 4.10 Perbandingan total kebutuhan beban kondisi 1

Grafik perbandingan total kebutuhan beban pada Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan kebutuhan baik ketika sistem tidak menggunakan *fuzzy* maupun ketika sistem menggunakan *fuzzy*. 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. 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.



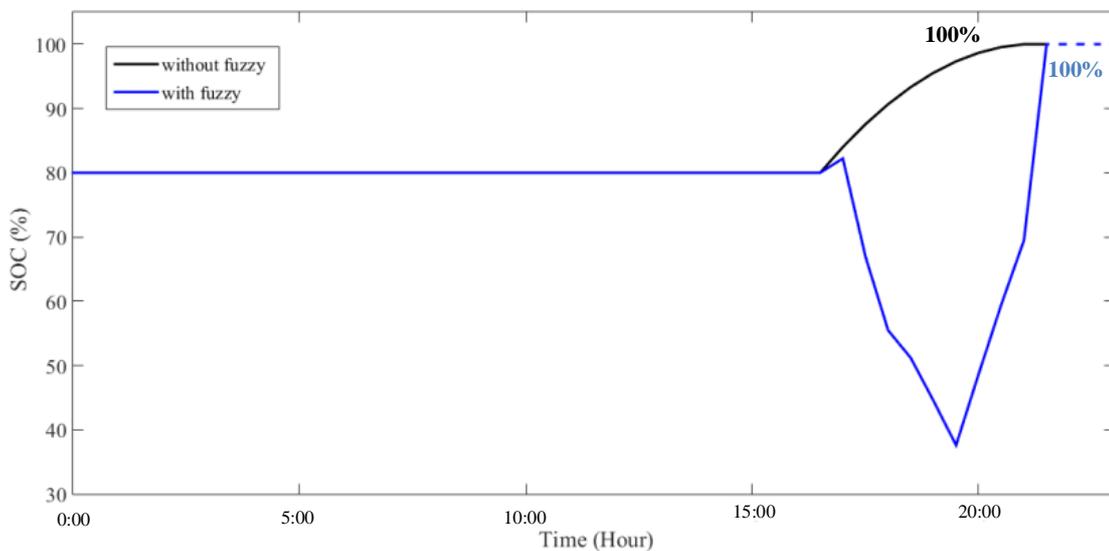
Gambar 4.11 Perbandingan SOC mobil A kondisi 1



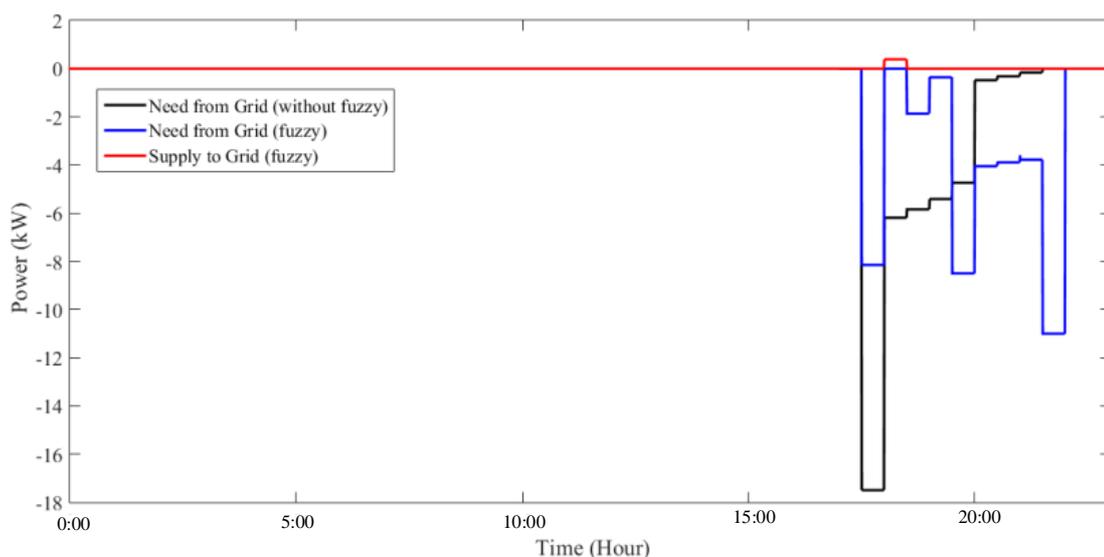
Gambar 4.12 Perbandingan SOC mobil B kondisi 1

Gambar 4.11 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 4.12. 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 4.13 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*.



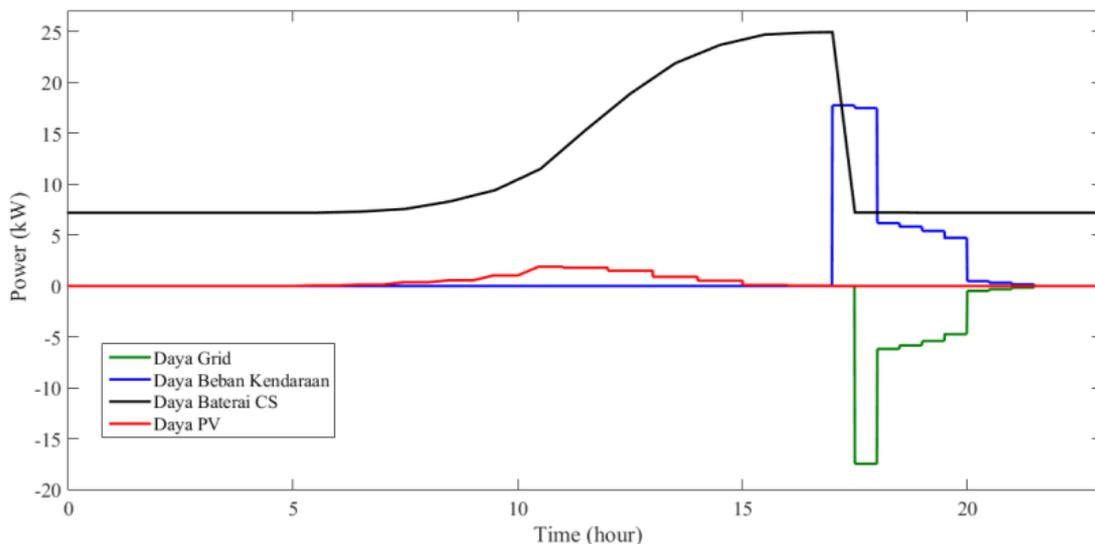
Gambar 4.13 Perbandingan SOC mobil C kondisi 1



Gambar 4.14 Perbandingan kebutuhan daya grid kondisi 1

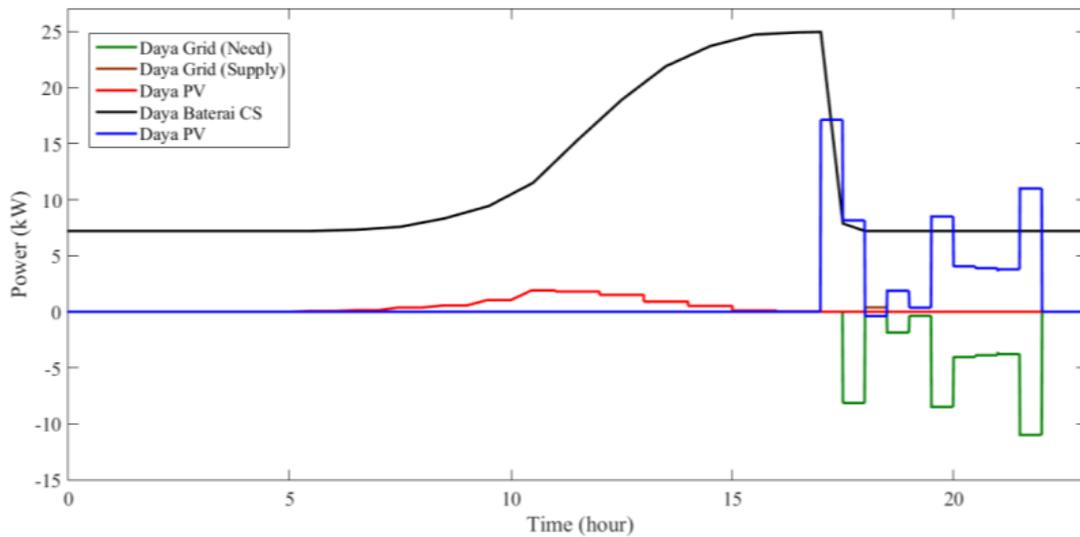
Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan kebutuhan daya grid dari keseluruhan beban mobil. Dari grafik dapat terlihat bahwa sistem menggunakan *fuzzy* dapat mengurangi permintaan daya dari grid sebesar 9.34 kW pada setengah jam ke dua (17:30 – 18:00) dan terus berlanjut sampai 19:30. Selain itu, sistem menggunakan *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.

4.2.4 Power Balance Simulasi Kondisi 1 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC



Gambar 4.15 Power balance kondisi 1 tanpa FLC

Grafik *power balance* pada Gambar 4.15 menunjukkan aliran daya dari sumber PV, baterai CS, kebutuhan grid, dan kebutuhan beban kendaraan listrik. Dari grafik dapat terlihat bahwa baterai mengalami *discharging* untuk suplai daya ke beban dan kekurangan daya dipenuhi oleh grid. Jika dibandingkan dengan *power balance* sistem menggunakan *fuzzy* pada Gambar 4.16, sistem berbasis *fuzzy* dapat melakukan proses *vehicle-to-grid* untuk suplai daya ke grid ketika kondisi grid dalam keadaan puncak, namun kebutuhan beban tidak begitu signifikan. Hal ini terjadi karena sistem mengaktifkan layanan *peak shaving* dan *valley filling* sehingga kondisi puncak pada grid dapat diturunkan dan kondisi tidak puncak pada grid dapat diberi tambahan daya.

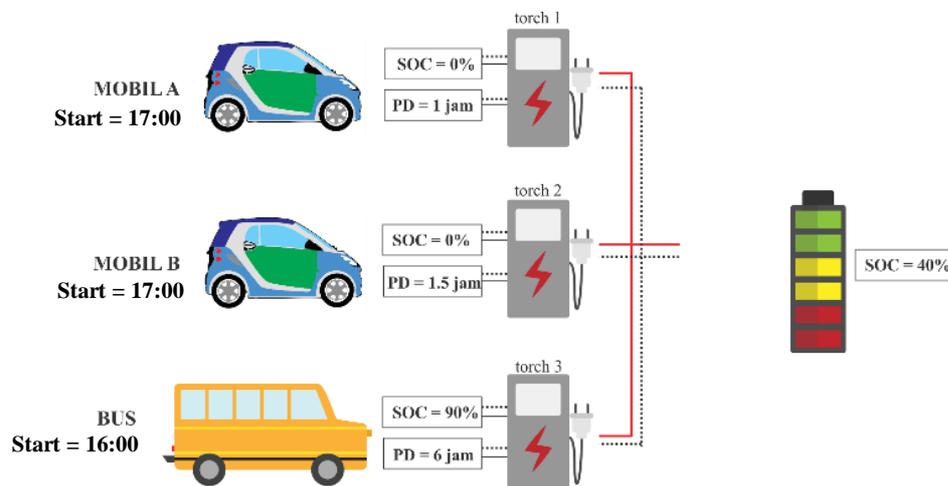


Gambar 4.16 Power balance kondisi 1 dengan FLC

4.3 Simulasi Kondisi 2

Pada simulasi kondisi 2 ini akan dibahas performa perbandingan antara sistem menggunakan FLC (*fuzzy logic controller*) maupun tanpa menggunakan FLC yang meliputi : kebutuhan daya mobil, karakteristik SOC (*State of Charge*) mobil, dan kebutuhan daya grid.

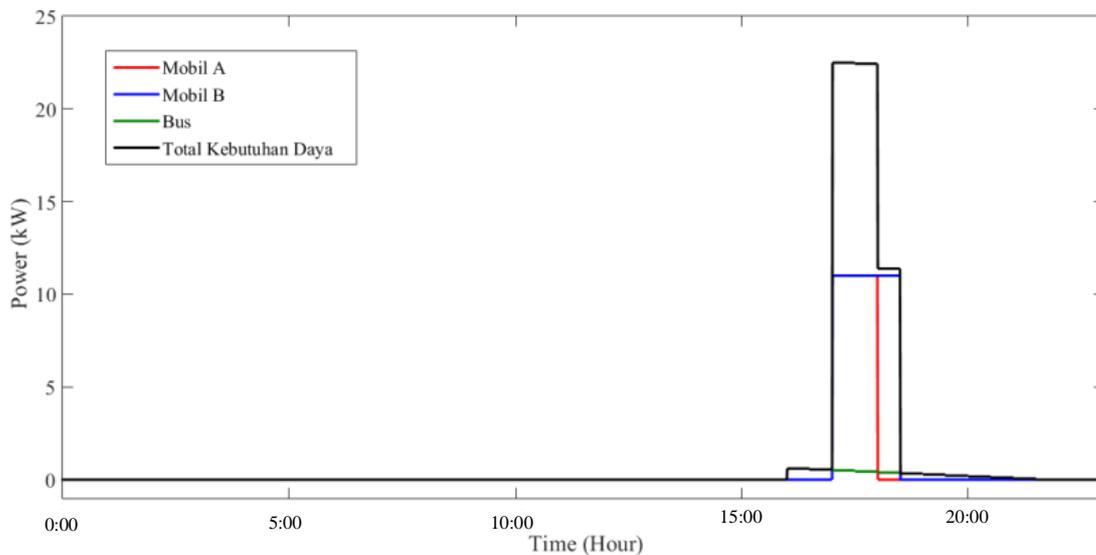
4.3.1 Simulasi Kondisi 2 Tanpa Menggunakan FLC



Gambar 4.17 Ilustrasi penentuan kondisi 2

Gambar 4.17 menunjukkan ilustrasi dari penentuan kondisi 2 di mana kebutuhan daya dari mobil dan bus akan selalu terpenuhi oleh sumber baik dari grid (*grid-to-vehicle*), panel surya, maupun *sharing* daya

dari mobil/bus lain (*vehicle-to-vehicle*). Sedangkan Gambar 4.18 menunjukkan karakteristik kebutuhan daya dari masing - masing mobil dan bus serta keseluruhan kebutuhan daya dari ke tiga kendaraan listrik. Mobil A membutuhkan daya sebesar 11 kW selama 1 jam proses pengisian. Mobil B juga membutuhkan daya sebesar 11 kW untuk proses pengisian selama 1,5 jam. Sedangkan kebutuhan daya bus adalah yang terkecil dikarenakan SOC awal dari bus sudah mencapai 90%, sehingga bus hanya memerlukan daya sebesar 10% dari total kapasitas baterai untuk mencapai SOC 100%.

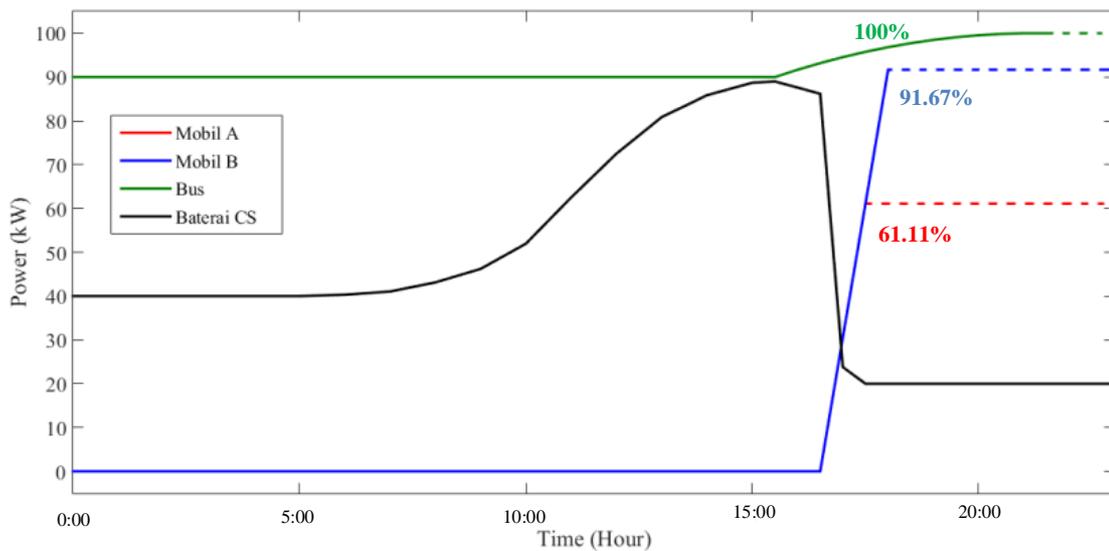


Gambar 4.18 Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 2

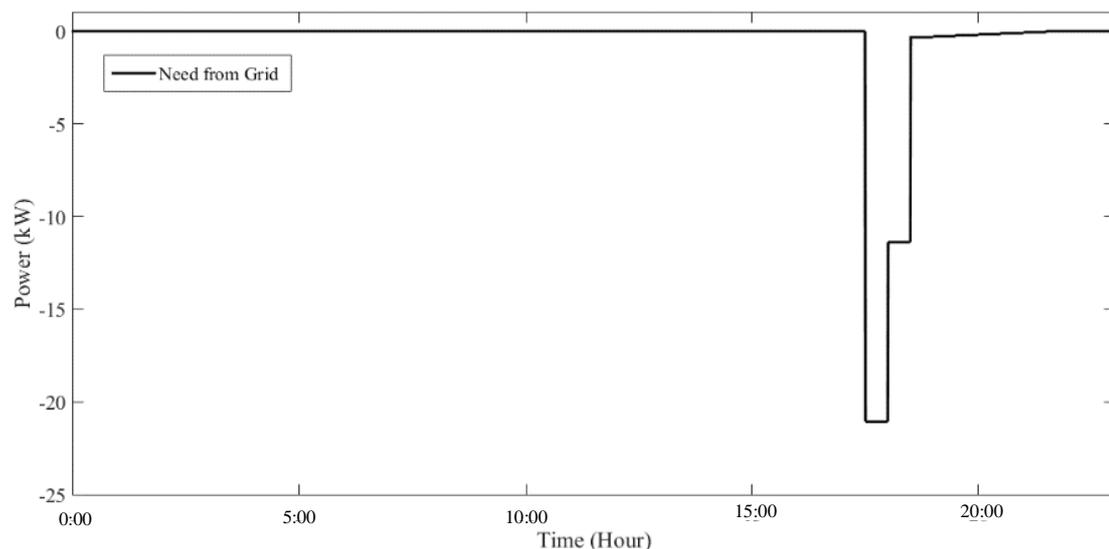
Pada jam (16:00 – 17:00), kendaraan listrik membutuhkan daya sebesar 0,6 kW pada setengah jam pertama dan 0,545 kW pada setengah jam ke dua. Pada satu jam pertama ini merupakan total kebutuhan dari bus, dikarenakan mobil A dan mobil B belum memasuki area *charging station*. Ketika jam 17:00, mobil A dan mobil B mulai memasuki area *charging station* dan beban puncak terjadi selama satu jam. Beban puncak pada jam 17:00 – 17:30 mencapai 22,49 kW dan 22,436 kW pada jam 17:30 – 18:00. Sistem masih mengalami beban puncak hingga jam 18:30 sebesar 11,38 kW. Kebutuhan daya mobil A pada jam 18:00 – 22:00 sebesar 0 kW dikarenakan mobil A sudah pergi dari area *charging station* pada jam 18:00. Sedangkan mobil B pergi dari area *charging station* pada jam 18:30.

Keadaan SOC (*state of charge*) dari masing – masing kendaraan listrik dapat dilihat pada Gambar 4.19. SOC mobil A mengalami kenaikan

linier dari SOC awal 0% menjadi 61,11% dalam satu jam proses pengisian. Mobil B membutuhkan waktu 1,5 jam untuk mencapai SOC maksimal 91,67% dari SOC awal 0%. Sedangkan bus mengalami kenaikan SOC 10% dengan mengambil daya dari sistem. Dari grafik karakteristik SOC, dapat dilihat bahwa baterai *charging station* mengalami proses *discharging* pada jam 16:00 untuk memenuhi kebutuhan bus. Baterai mengalami proses *discharging* terbesar pada jam 17:00 dikarenakan penetrasi dari mobil A dan mobil B.



Gambar 4.19 Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 2

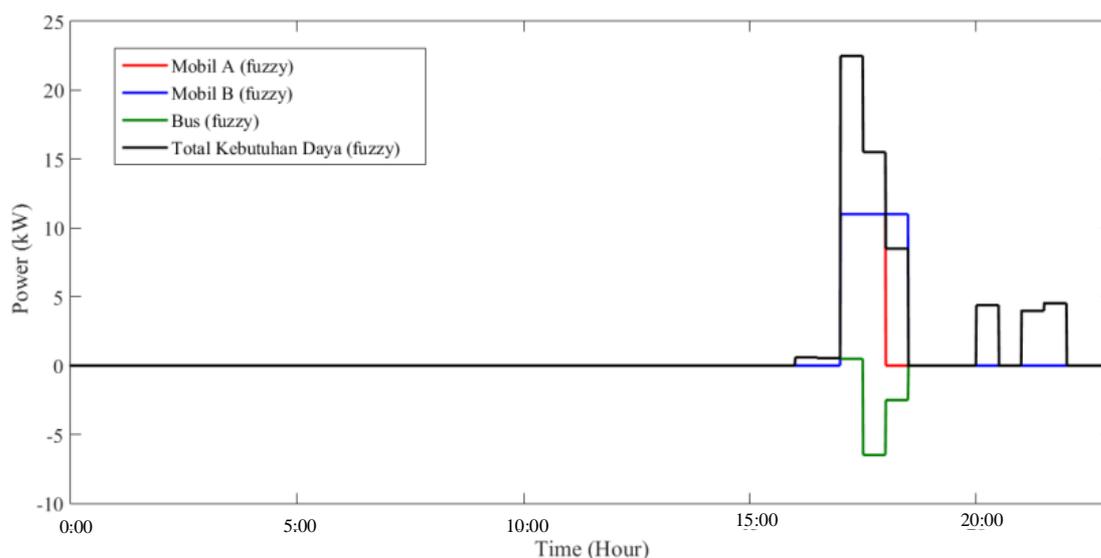


Gambar 4.20 Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 2

Grafik pada Gambar 4.20 menunjukkan karakteristik kebutuhan daya dari grid. Dari grafik dapat diketahui bahwa pada jam 16:00 – 17:30 kebutuhan daya grid bernilai 0 kW yang artinya pada satu setengah jam pertama kebutuhan beban dipenuhi oleh sumber dari baterai *charging station* dan panel surya. Beban puncak grid terjadi pada jam 17:30 – 18:00 sebesar -21,07 kW dan jam 18:00 – 18:30 sebesar -11,38 kW.

4.3.2 Simulasi Kondisi 2 Menggunakan FLC

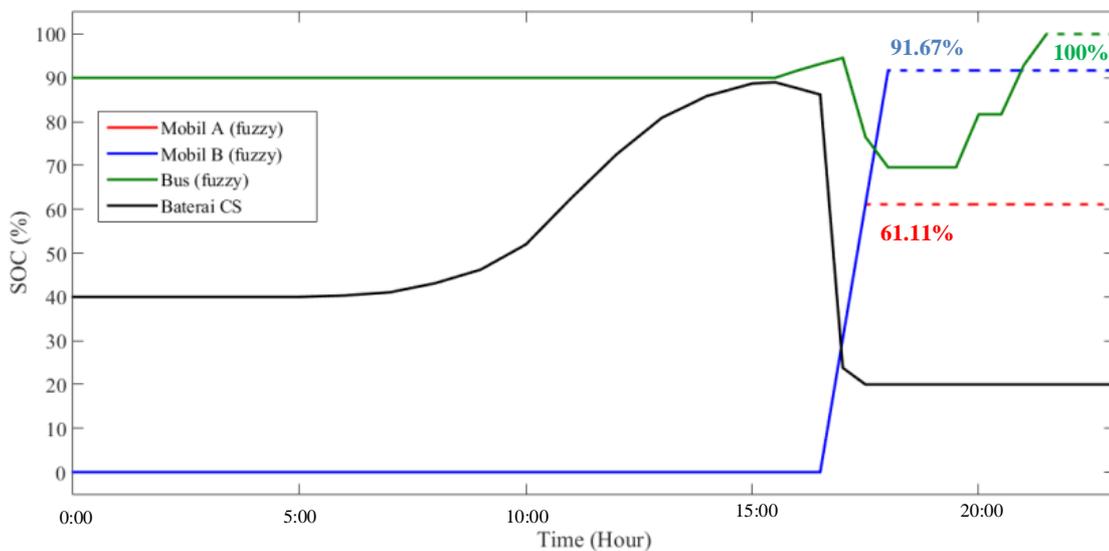
Berikut merupakan penjelasan simulasi kondisi 2 ketika sistem menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC). Gambar 4.21 merupakan grafik kebutuhan daya dari ke tiga kendaraan listrik ketika menggunakan FLC. Untuk mobil A, pada setengah jam pertama (17:00 – 17:30) membutuhkan daya sebesar 11 kW, sedangkan pada setengah jam berikutnya (17:30 – 18:00) mobil masih membutuhkan daya sebesar 11 kW. Seluruh beban bernilai positif yang artinya selama 1 jam proses pengisian, mobil A selalu mengalami proses pengisian (*charge*).



Gambar 4.21 Kebutuhan daya kendaraan listrik kondisi 2 (*fuzzy*)

Hal tersebut juga terjadi pada mobil B, dikarenakan proses pengisian hanya berlangsung 1,5 jam, sehingga dari setengah jam pertama hingga setengah jam terakhir, mobil membutuhkan daya sebesar 11 kW. Sedangkan bus mengalami proses *charge* maupun *discharging* dikarenakan SOC bus yang tergolong tinggi dan waktu pengisian yang relatif lama. Pada jam 16:00 – 17:00, bus membutuhkan daya sebesar 0,6 kW pada setengah jam pertama dan dilanjutkan dengan permintaan daya

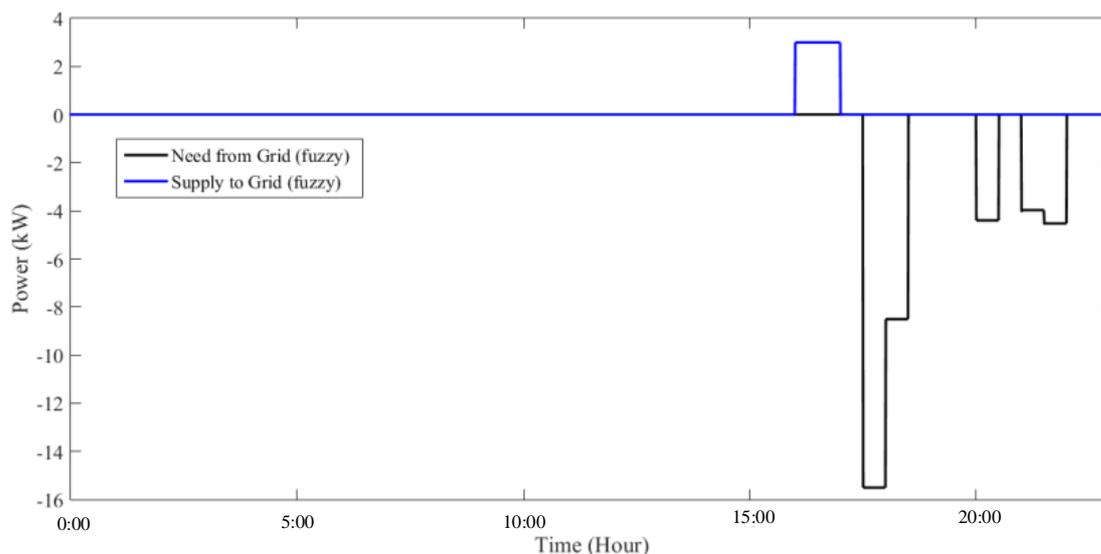
sebesar 0,545 kW. Bus mengalami *discharge* pada jam 17:30 – 18:30 sebesar -6,49 kW pada setengah jam pertama dan -2,5 kW pada setengah jam selanjutnya. Sedangkan proses *charge* bus terjadi pada jam 20:00 – 20:30 sebesar 4,398 kW dan jam 21:00 – 22:00 sebesar 3,97 kW pada setengah jam pertama dan 4,525 kW pada setengah jam terakhir. Kondisi *charge* dan *disharging* pada bus terjadi untuk memenuhi kondisi *peak shaving* dan *valley filling* dikarenakan pada 17:00 – 18:00, kondisi grid tergolong tinggi sedangkan pada jam akhir pengisian kondisi grid tergolong rendah, sehingga FLC akan mengontrol bus untuk mengambil daya terbesar pada jam akhir pengisian.



Gambar 4.22 Karakteristik SOC kendaraan listrik kondisi 2 (*fuzzy*)

Dari grafik karakteristik SOC kendaraan listrik pada Gambar 4.22 dapat terlihat proses kenaikan maupun penurunan SOC. Mobil A mengalami kenaikan SOC sebesar 30,55% dari SOC awal 0% pada setengah jam pertama proses pengisian (17:00 – 17:30). Kemudian pada setengah jam terakhir sebelum mencapai *departure time* (18:00), mobil A mengalami proses *charge* sebesar 30,55% sehingga didapatkan SOC akhir sebesar 61,11%. Mobil B selalu mengalami proses *charge* selama 1,5 jam proses pengisian. Pada setengah jam pertama terjadi penambahan SOC sebesar 30,55% dan kemudian akan terus mengalami proses pengisian hingga penambahan SOC 30,55% pada setengah jam terakhir untuk mencapai SOC akhir 91,67% pada *departure time*. Sedangkan untuk bus, selama 6 jam proses pengisian terjadi penambahan dan pengurangan SOC. Pada setengah jam pertama (16:00 – 16:30)

mengalami penambahan SOC sebesar 1,67% dilanjutkan dengan penambahan SOC sebesar 1,51% pada setengah jam berikutnya. Bus mengalami *discharging* untuk transfer daya ke mobil lain pada jam 17:30 – 18:30, dimana pada jam 17:30 – 18:00 mengalami penurunan SOC sebesar -18,04% dan dilanjutkan sebesar -6,94% pada setengah jam berikutnya. Bus mengalami proses penambahan SOC mulai jam 20:00 – 22:00, sehingga didapatkan SOC akhir 100% pada *departure time*.

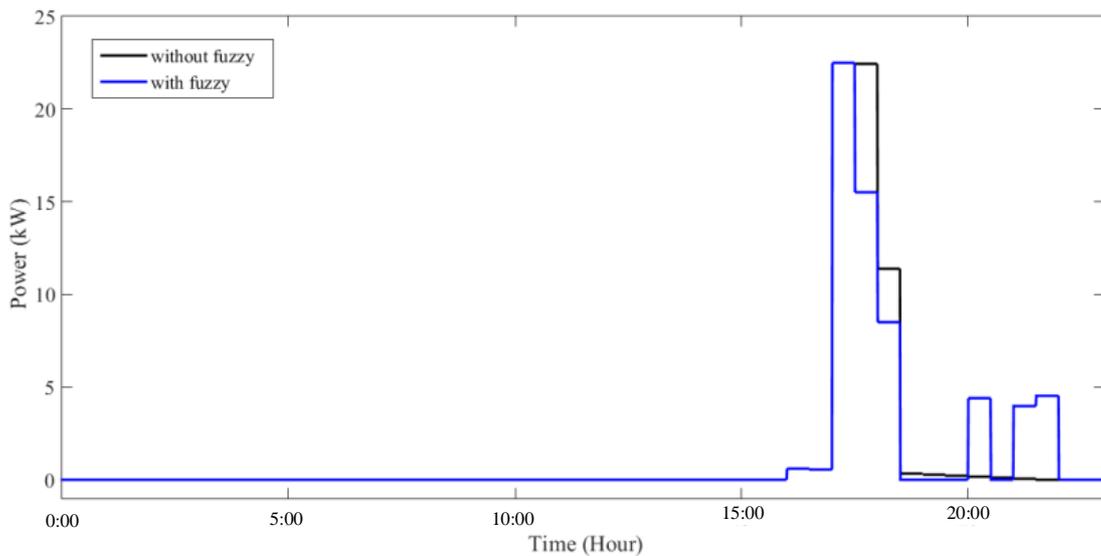


Gambar 4.23 Karakteristik kebutuhan daya grid kondisi 2 (*fuzzy*)

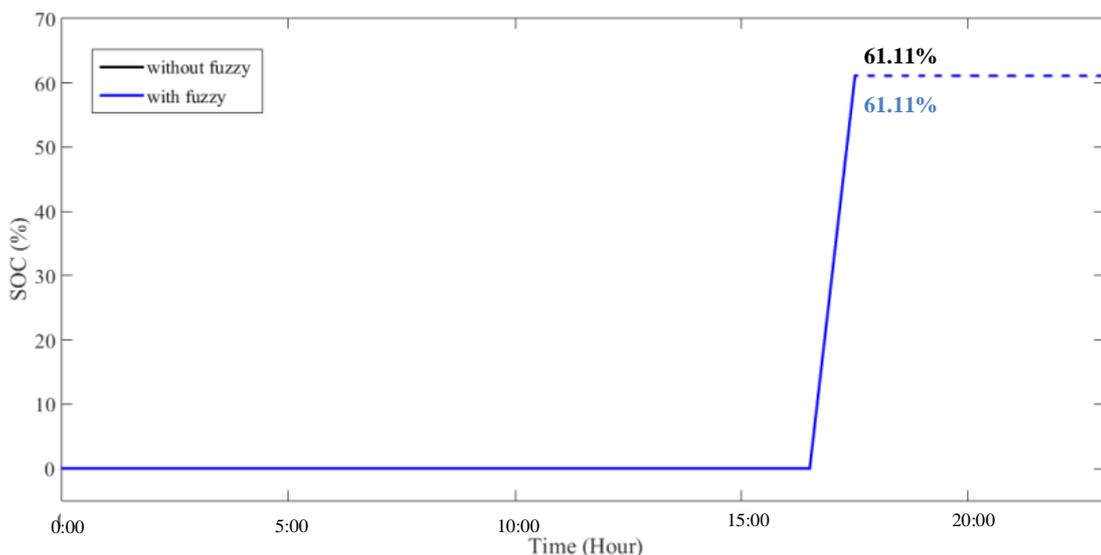
Grafik pada Gambar 4.23 menunjukkan karakteristik kebutuhan daya dari grid dengan menggunakan kontroler FLC. Pada satu jam pertama proses pengisian (16:00 – 17:00), sistem mengalami layanan *vehicle-to-grid* (V2G) sebesar 3 kW. Hal ini terjadi karena pada jam tersebut kondisi grid tergolong puncak dan kondisi SOC bus tergolong tinggi sehingga bus mengalami proses *discharge* untuk transfer daya ke grid. Pada jam (17:30 – 18:30), (20:00 – 20:30), dan (21:00 – 22:00) sistem membutuhkan daya dari grid dikarenakan daya dari panel surya dan baterai *charging station* tidak mampu memenuhi kebutuhan beban sehingga layanan *grid-to-vehicle* (G2V) aktif. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa bus mengalami proses pengisian pada jam akhir sebelum *departure time*, dikarenakan kondisi grid pada jam tersebut tergolong normal sehingga *valley filling* dapat terpenuhi. Sedangkan kondisi *peak shaving* terpenuhi pada satu jam pertama dengan adanya kontribusi V2G dari sistem.

4.3.3 Simulasi Kondisi 2 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC

Grafik perbandingan total kebutuhan beban pada Gambar 4.24 menunjukkan perbandingan kebutuhan baik ketika sistem tidak menggunakan *fuzzy* maupun ketika sistem menggunakan *fuzzy*. 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. 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.

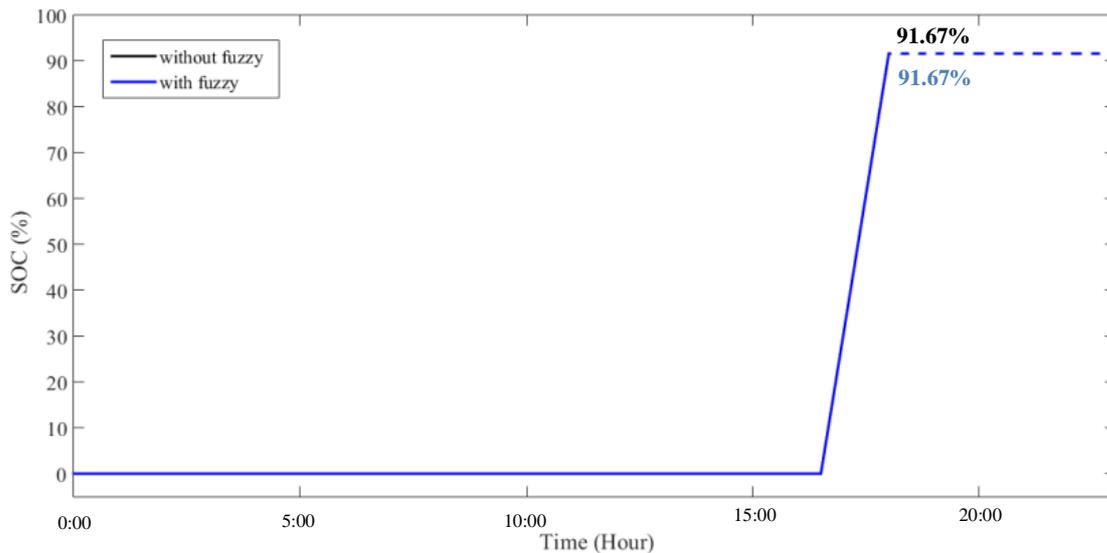


Gambar 4.24 Perbandingan total kebutuhan beban kondisi 2

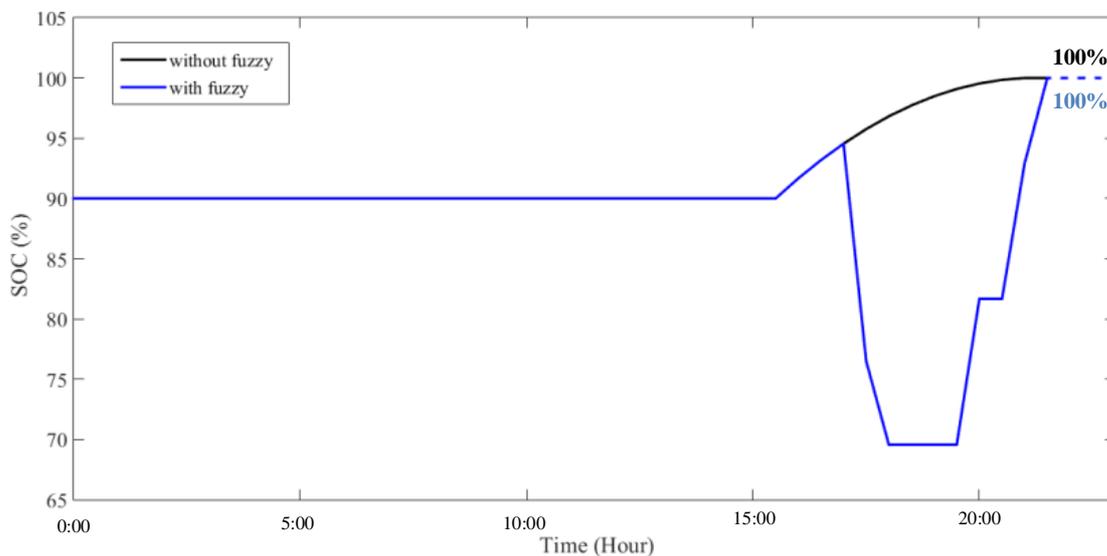


Gambar 4.25 Perbandingan SOC mobil A kondisi 2

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.



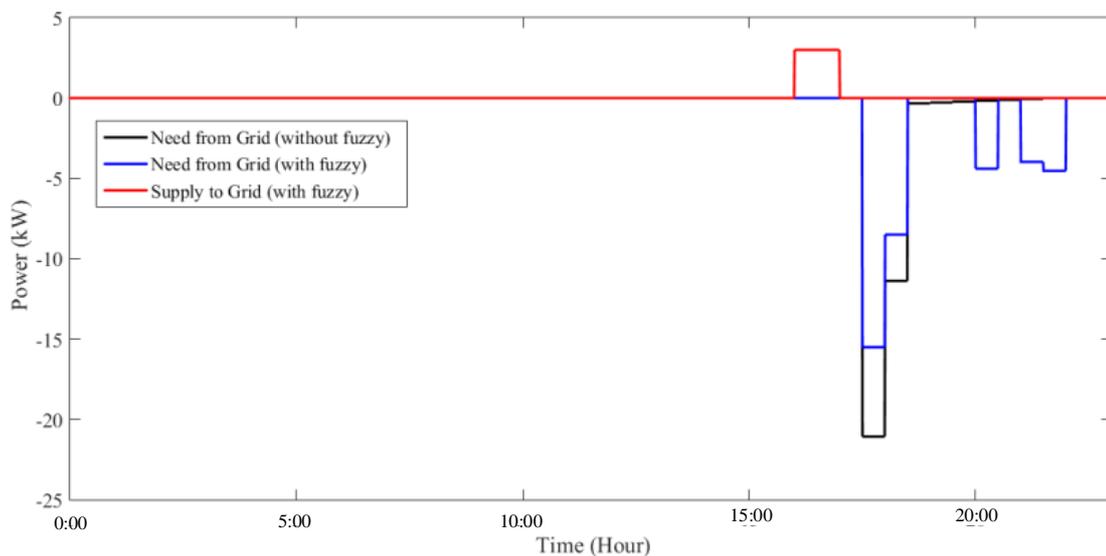
Gambar 4.26 Perbandingan SOC mobil B kondisi 2



Gambar 4.27 Perbandingan SOC bus

Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan SOC dari mobil A. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa baik sistem menggunakan *fuzzy*

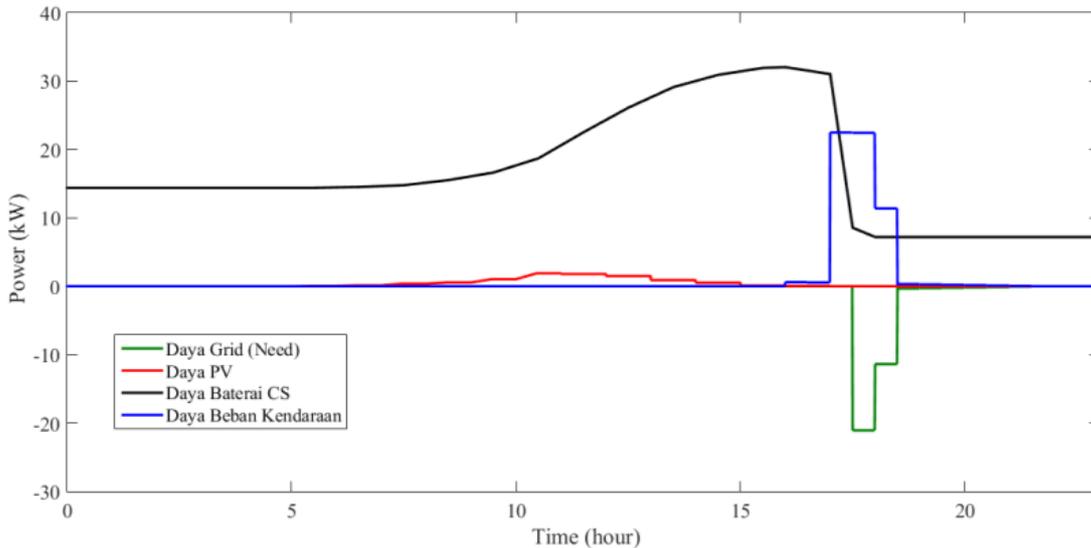
maupun tidak menggunakan *fuzzy* sama-sama menghasilkan SOC akhir sebesar 61,11% dan kedua grafik identik sama. Perbandingan SOC dari mobil B dapat dilihat pada Gambar 4.26. Sistem menggunakan *fuzzy* maupun tidak, menghasilkan SOC akhir yang sama sebesar 91,67% dan grafik keduanya identik sama. Gambar 4.27 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*.



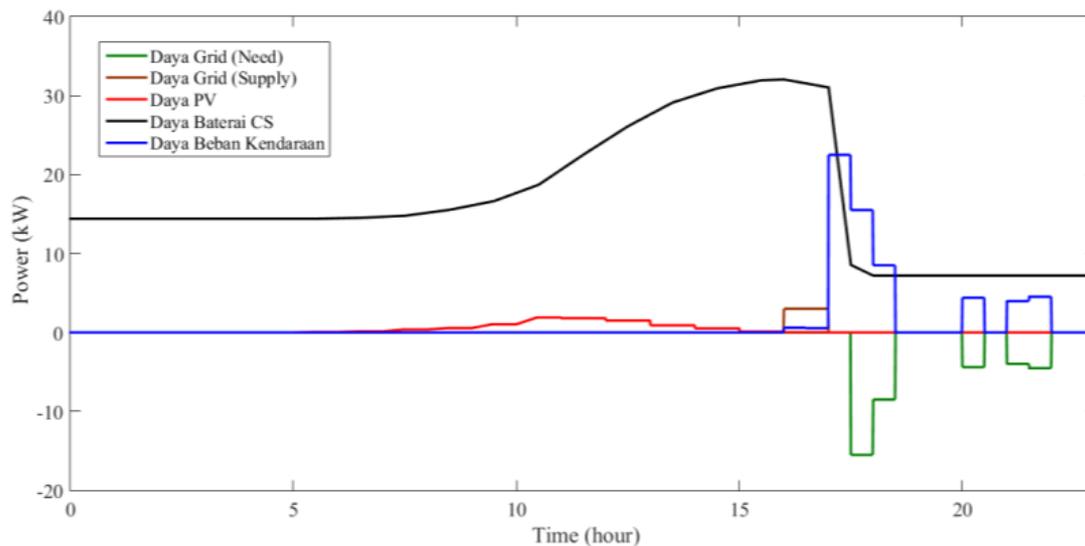
Gambar 4.28 Perbandingan kebutuhan daya grid kondisi 2

Gambar 4.28 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.

4.3.4 Power Balance Simulasi Kondisi 2 dengan dan Tanpa Menggunakan FLC



Gambar 4.29 Power balance kondisi 2 tanpa FLC



Gambar 4.30 Power balance kondisi 2 dengan FLC

Dari Gambar 4.29 dan 4.30 dapat terlihat proses aliran daya dari grid, baterai CS, PV, dan kebutuhan beban kendaraan listrik. Sistem menggunakan *fuzzy* memungkinkan sistem memberikan daya ke grid ketika kondisi puncak (*peak shaving*) untuk memotong beban puncak sehingga tidak berdampak negatif pada jaringan distribusi. Selain itu, sistem berbasis *fuzzy* juga memungkinkan layanan *valley filling*, karena dapat terlihat, sistem berbasis *fuzzy* mengambil daya grid di jam akhir

pengisian, dikarenakan pada jam akhir pengisian kondisi grid lebih rendah atau dalam kondisi *off peak*.

4.4 Analisis Performansi Biaya

Berikut akan dijelaskan mengenai analisis performansi biaya dari hasil simulasi kondisi 1 dan kondisi 2. Dalam menganalisis performansi biaya diperlukan grafik perbandingan kebutuhan daya grid dari kondisi 1 dan kondisi 2 (Gambar 4.14 dan 4.26), 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 Gambar 3.4 yang dibagi menjadi 5 klasifikasi beban (*very small, small, average, big, dan very big*) seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Klasifikasi beban gardu sukolilo I

Klasifikasi	Beban (kW)
VS	9198 – 10457,4
S	10457,4 – 11716,8
AVG	11716,8 – 12976,2
B	12976,2 – 14235,6
VB	14235,6 - 15495

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. Tabel 4.2 menunjukkan konstanta perhitungan untuk peformansi biaya dengan kondisi waktu beban puncak memiliki faktor K = 2 untuk VB dan K = 1.4 untuk B dan waktu di luar beban puncak memiliki faktor K = 1 untuk VS, S, dan AVG.

Tabel 4.2 Konstanta perhitungan performansi biaya

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

4.4.1 Analisis Performansi Biaya Kondisi 1

Dari grafik perbandingan kebutuhan daya grid pada Gambar 4.14 antara sistem menggunakan *fuzzy* maupun tidak dapat dicari perbandingan biaya sehingga dapat dilihat efisiensi dan keunggulan sistem ketika menggunakan *fuzzy* dibanding dengan ketika sistem tidak menggunakan *fuzzy*. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan analisis performansi biaya kondisi 1.

Tabel 4.3 Performansi biaya sistem kondisi 1 tanpa *fuzzy*

Jam	Klasifikasi Beban	Harga/kWh	Beban (kW)	Harga Total (Rp)
17:00 – 17:30	VB	Rp. 959,84	-0.004	-Rp. 4,025
17:30 – 18:00	VB	Rp. 959.84	-17.495	-Rp. 16.791,99
18:00 – 18:30	B	Rp. 671,88	-6.189	-Rp. 4.158,74
18:30 – 19:00	B	Rp. 671,88	-5.842	-Rp. 3.925,25
19:00 – 19:30	B	Rp. 671,88	-5.411	-Rp. 3.635,51
19:30 – 20:00	B	Rp. 671,88	-4.739	-Rp. 3.183,76
20:00 – 20:30	B	Rp. 671,88	-0.479	-Rp. 322,48
20:30 – 21:00	B	Rp. 671,88	-0.319	-Rp. 214,98
21:00 – 21:30	AVG	Rp. 479,92	-0.159	-Rp. 76,77
21:30 – 22:00	AVG	Rp. 479,92	0	0
Total Biaya (<i>without fuzzy</i>)				-Rp. 32.313,509

Tabel 4.4 Performansi biaya sistem kondisi 1 menggunakan *fuzzy*

Jam	Klasifikasi Beban	Harga/kWh	Beban (kW)	Harga Total (Rp)
17:00 – 17:30	VB	Rp. 959,84	0	0
17:30 – 18:00	VB	Rp. 959,84	-8.15	-Rp. 7.822,70
18:00 – 18:30	B	Rp. 671,88	0.384	Rp. 257,87
18:30 – 19:00	B	Rp. 671,88	-1.866	-Rp. 1.253,97
19:00 – 19:30	B	Rp. 671,88	-0.360	-Rp. 242,07
19:30 – 20:00	B	Rp. 671,88	-8.5	-Rp. 5.710,98
20:00 – 20:30	B	Rp. 671,88	-4.049	-Rp. 2.721,06
20:30 – 21:00	B	Rp. 671,88	-3.888	-Rp. 2.612,83
21:00 – 21:30	AVG	Rp. 479,92	-3.780	-Rp. 1.814,24
21:30 – 22:00	AVG	Rp. 479,92	-11	-Rp. 5.279,12
Total Biaya (<i>with fuzzy</i>)				-Rp. 27.199,11

Dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 dapat terlihat perbandingan biaya antara sebelum menggunakan *fuzzy* dan setelah menggunakan *fuzzy*. Sistem menggunakan *fuzzy* dapat menghemat biaya sebesar Rp. 5.114,399,-.

4.4.2 Analisis Performansi Biaya Kondisi 2

Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan analisis performansi biaya kondisi 2.

Tabel 4.5 Performansi biaya sistem kondisi 2 tanpa *fuzzy*

Jam	Klasifikasi Beban	Harga/kWh	Beban (kW)	Harga Total (Rp)
16:00 – 16:30	VB	Rp. 959,84	0	0
16:30 – 17:00	VB	Rp. 959,84	0	0
17:00 – 17:30	VB	Rp. 959,84	0	0
17:30 – 18:00	VB	Rp. 959,84	-21.07	-Rp. 20.225,26
18:00 – 18:30	B	Rp. 671,88	-11.38	-Rp. 7.647,05
18:30 – 19:00	B	Rp. 671,88	-0.33	-Rp. 219,88
19:00 – 19:30	B	Rp. 671,88	-0.27	-Rp. 183,24
19:30 – 20:00	B	Rp. 671,88	-0.22	-Rp. 146,57
20:00 – 20:30	B	Rp. 671,88	-0.16	-Rp. 109,92
20:30 – 21:00	B	Rp. 671,88	-0.11	-Rp. 73,28
21:00 – 21:30	AVG	Rp. 479,92	-0.05	-Rp. 26,16
21:30 – 22:00	AVG	Rp. 479,92	0	0
Total Biaya (<i>without fuzzy</i>)				-Rp. 28.631,36

Tabel 4.6 Performansi biaya sistem kondisi 2 menggunakan *fuzzy*

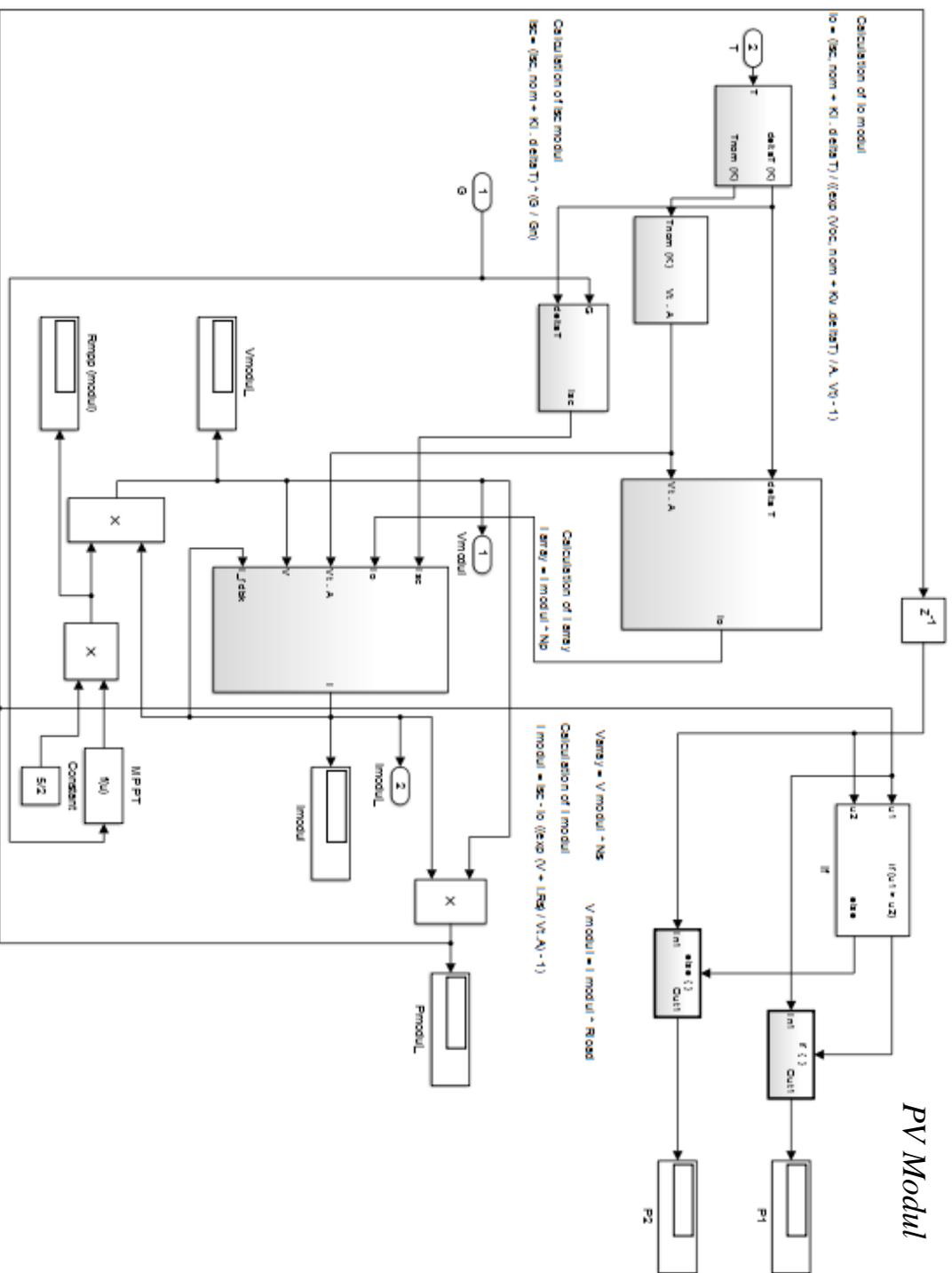
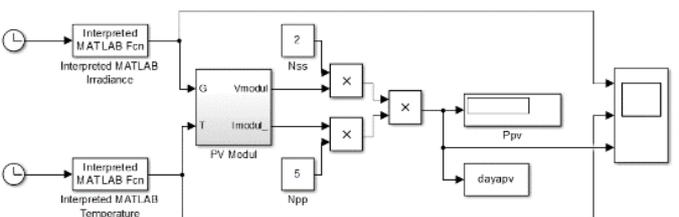
Jam	Klasifikasi Beban	Harga/kWh	Beban (kW)	Harga Total (Rp)
16:00 – 16:30	VB	Rp. 959,84	3	Rp. 2.879,52

Jam	Klasifikasi Beban	Harga/kWh	Beban (kW)	Harga Total (Rp)
16:30 – 17:00	VB	Rp. 959,84	3	Rp. 2.879,52
17:00 – 17:30	VB	Rp. 959,84	0	0
17:30 – 18:00	VB	Rp. 959,84	-15.51	-Rp. 14.884,06
18:00 – 18:30	B	Rp. 671,88	-8.5	-Rp. 5.710,98
18:30 – 19:00	B	Rp. 671,88	-6.64e-17	-Rp. 4.46e-14
19:00 – 19:30	B	Rp. 671,88	-7.11e-17	-Rp. 4.783-14
19:30 – 20:00	B	Rp. 671,88	-7.11e-17	-Rp. 4.783-14
20:00 – 20:30	B	Rp. 671,88	-4.39	-Rp. 2.955,11
20:30 – 21:00	B	Rp. 671,88	-6.31e-17	-Rp. 4.24e-17
21:00 – 21:30	AVG	Rp. 479,92	-3.97	-Rp. 1.905,42
21:30 – 22:00	AVG	Rp. 479,92	-4.53	-Rp. 2.171,92
Total Biaya (fuzzy)				-Rp. 21.868,5

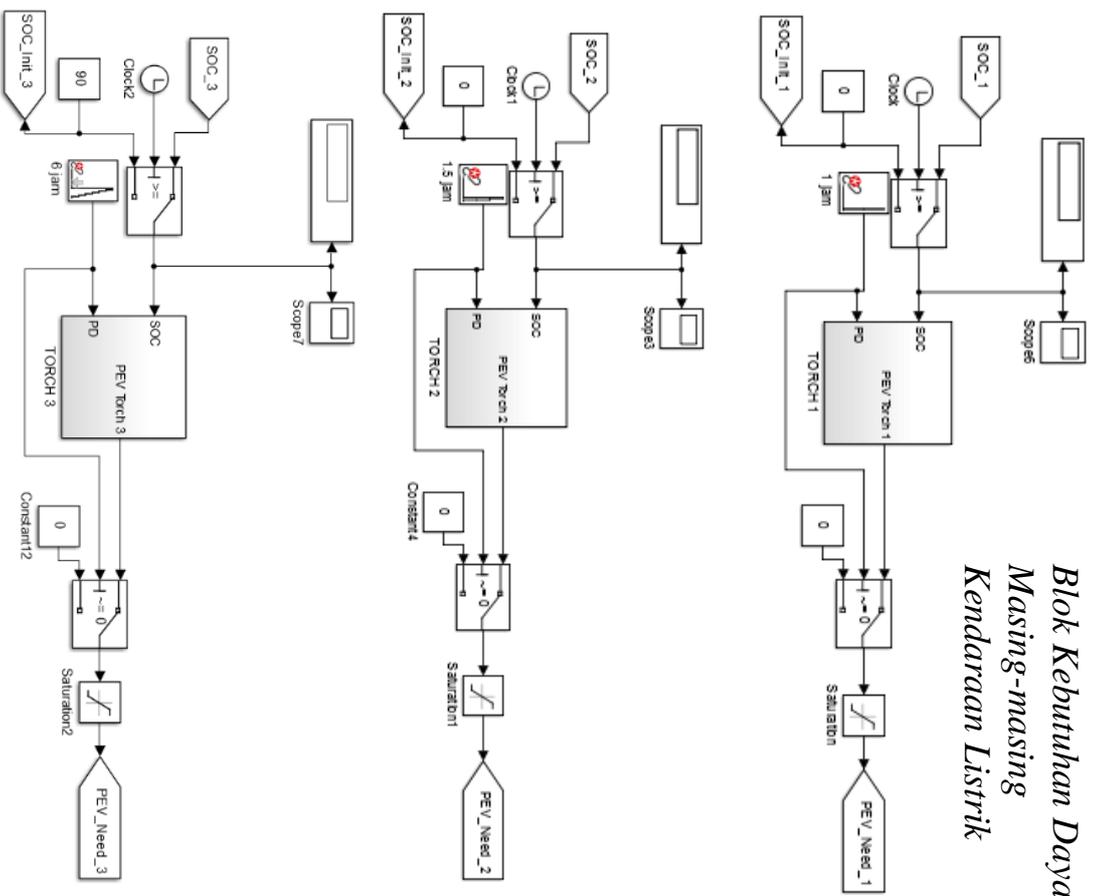
Dari Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 dapat terlihat perbandingan biaya antara sebelum menggunakan *fuzzy* dan setelah menggunakan *fuzzy*. Sistem menggunakan *fuzzy* dapat menghemat biaya sebesar Rp. 6.762,86,-

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

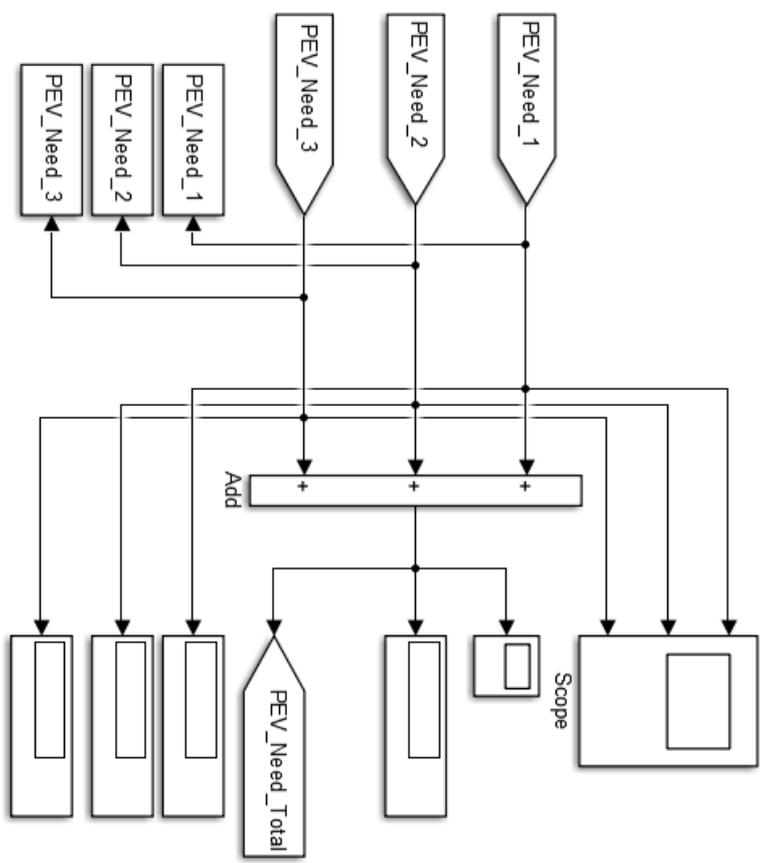
PV Array

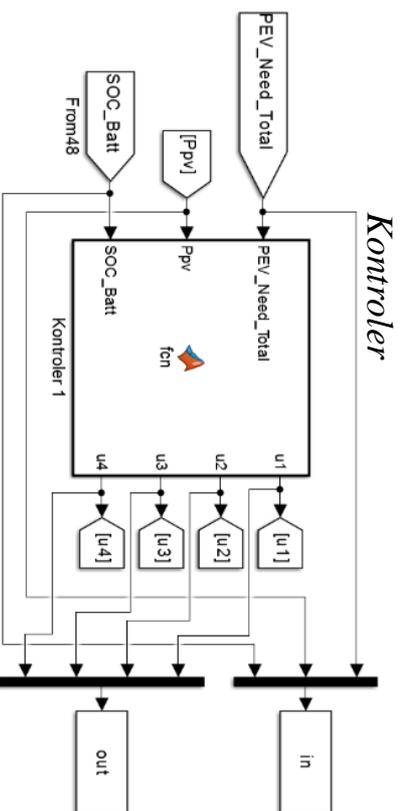


*Blok Kebutuhan Daya
Masing-masing
Kendaraan Listrik*

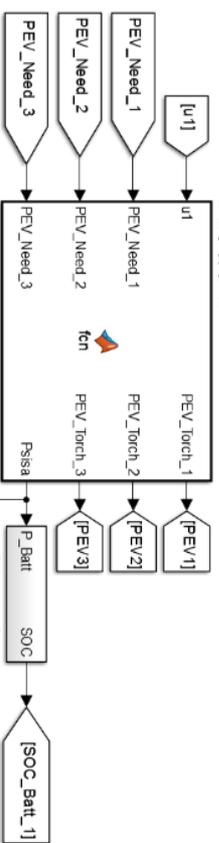


*Blok Kebutuhan
Daya Total
Kendaraan Listrik*

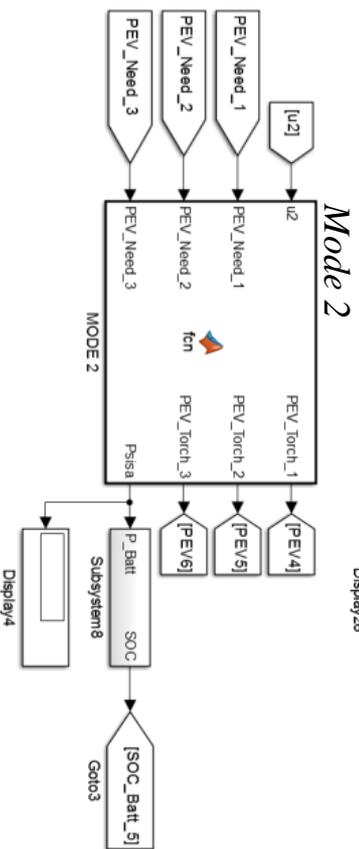




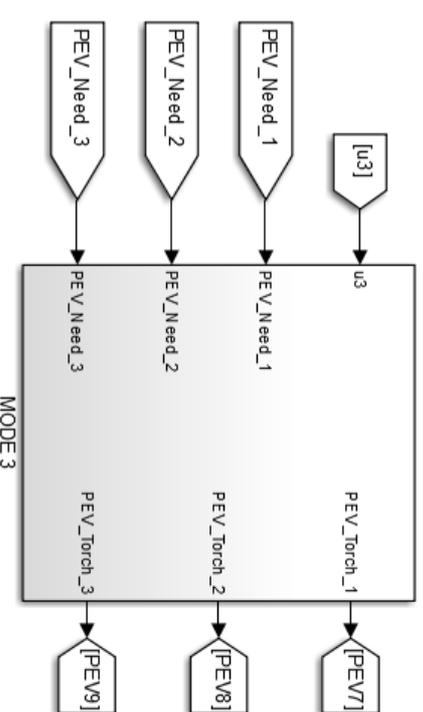
Mode 1



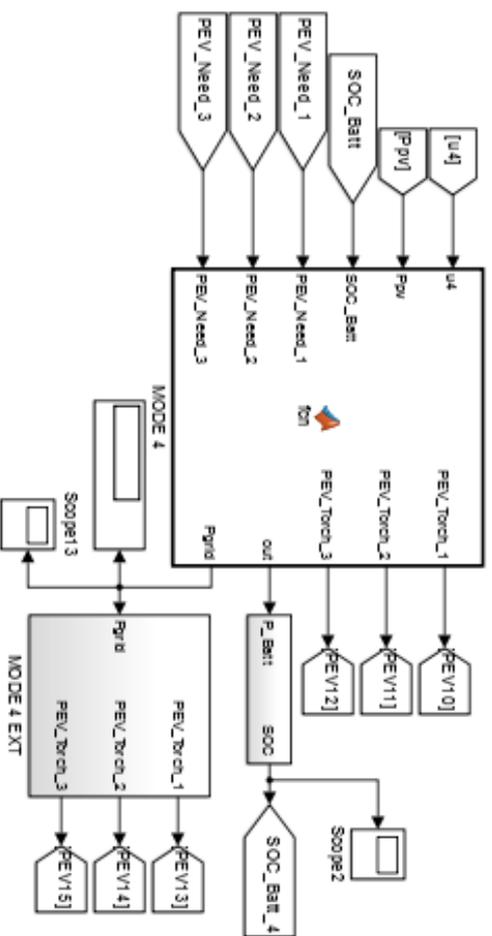
Mode 2



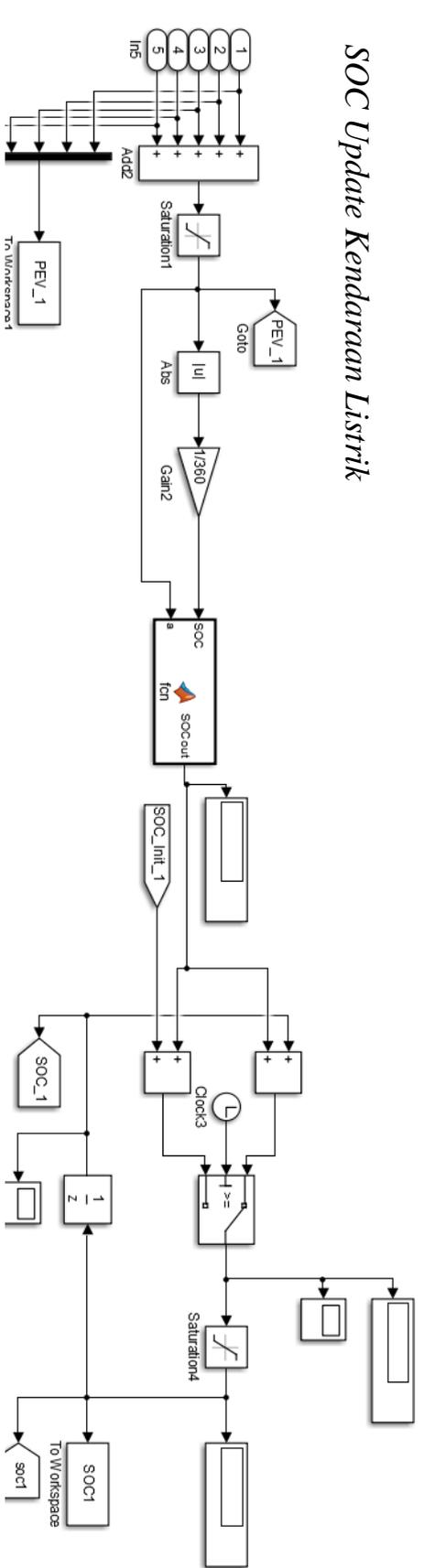
Mode 3



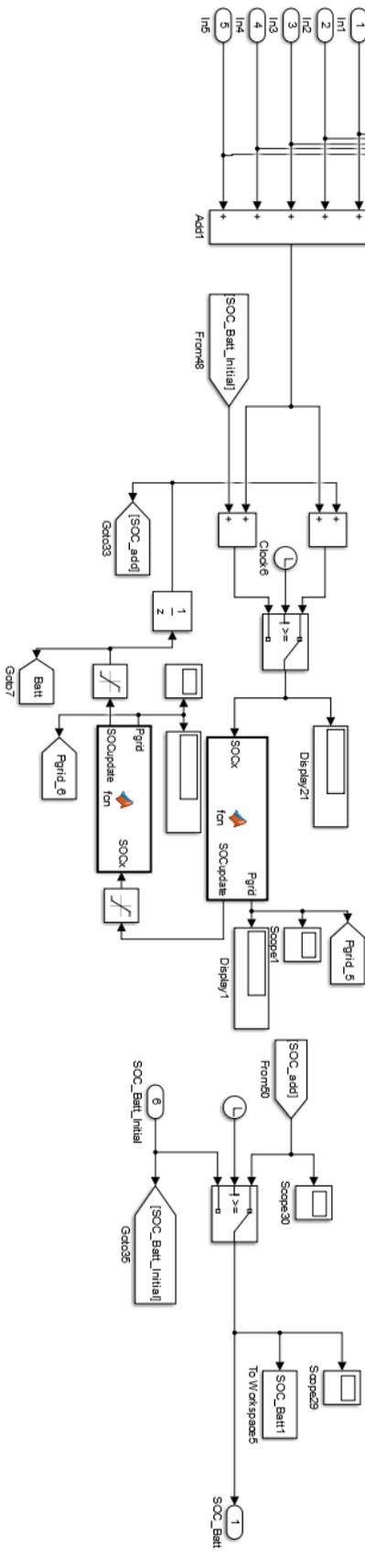
Mode 4



SOC Update Kendaraan Listrik



SOC Update Baterai Charging Station



BAB 5

PENUTUP

Berikut akan dijelaskan kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi serta saran yang berguna untuk kelengkapan dan perbaikan penelitian selanjutnya.

1.1 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%.

1.2 Saran

Saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya dari hasil analisis penelitian tugas akhir ini antara lain, proses penentuan *rule fuzzy* perlu diperbaiki dan diakurasi sehingga didapatkan indeks pengisian yang paling optimal dikarenakan indeks berpengaruh pada besar daya yang ditransfer. Perlu diperhitungkan proteksi dan proses *charging* maupun *discharge* ideal baterai *charging station* sehingga didapatkan aliran daya yang sesuai kondisi riil dan perlu dikembangkan sebuah model pengisian optimal kendaraan listrik untuk kendaraan yang berjumlah banyak pada area perkantoran maupun pusat perbelanjaan (*mall*).

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

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 Vehiclees 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] www.ergon.com diakses pada April 2016
- [8] www.solarsuryaindonesia.com/info/vrla-baterai diakses pada April 2016
- [9] Juan Jesús Alonso Ayuso, “*Real-Time Modeling of Vehicle to Grid System*”. Student Report. Ingenieria Industrial (ICAI). Aalborg University. Pontoppidanstræde. 2012-2013
- [10] Martin Hellmann, “*Fuzzy Logic Introduction*”, March, 2001
- [11] Gilbert M., “*Renewable and Efficient Electric Power Systems*”, Wiley-Interscience, Canada, 2004

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

RIWAYAT HIDUP



Onang Surya Nugroho, lahir di Purworejo 28 Mei 1994. Menamatkan pendidikan dasar di SD Negeri 1 Kutoarjo pada tahun 2006, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 3 Purworejo pada tahun 2009, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Purworejo pada tahun 2012. Saat ini telah menempuh kuliah di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan mengambil bidang studi *Power System Engineering* sebagai bidang spesialisasi. Selama kuliah penulis aktif diberbagai bidang baik akademik maupun non akademik. Penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS departemen Riset dan Teknologi serta sebagai asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik. Penulis juga merupakan *Ambassador* dari *Schneider Electric Company*. Penulis dapat dihubungi melalui email: onang.nugroho@gmail.com maupun lewat LinkedIn : Onang Surya Nugroho.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-