

Integrasi Sistem Penyimpan Energi Bergerak pada Rumah Pompa untuk Memaksimalkan Utilitasi Energi Listrik

¹Rizki Wahyu Ismadani, ²Dedet Candra Riawan, ³Soedibyo
^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
²dedet.riawan@ee.its.ac.id

Abstract – Flood pump station in urban areas are aimed to drain the rainfall that have been accommodated in the drainage channels. The channels are connected to the sewers located at higher area where drainage pumps are required. The operation of the drainage pump in the flood pump station is intermittent with periods following the seasons. In the rainy season the amount of electrical energy required is very high because the pump works with high frequency. On the other hand, in the dry season the pump doesn't even work at all. At the flood pump station which is supplied by PLN, the minimum cost of electricity consumption is determined by the a fixed minimum hours. With the intermittent operation, the electricity cost paid is still relatively high even during the dry season. With the development of power electronics converter technology and Energy Storage System (ESS), the potential for integrating electrical energy storage with the electric power supply network can be a way to maximize energy consumption. This paper discusses the topology, sizing, and energy balance analysis on the Mobile Energy Storage System (MESS) which is integrated with the electricity supply network at the pump house.

Keywords - Flood Pump, Mobile Energy Storage System, Power and Energy Balance

Abstrak— Pembangunan rumah pompa pada area perkotaan bertujuan untuk mengalirkan genangan air yang telah ditampung pada saluran drainase menuju saluran pembuangan yang letaknya lebih tinggi melalui pengoperasian pompa drainase. Operasi pompa drainase di rumah pompa bersifat intermittent dengan periode mengikuti musim. Pada musim hujan jumlah energi listrik yang dibutuhkan sangat tinggi karena pompa bekerja dengan frekuensi tinggi. Sebaliknya pada musim kemarau pompa bahkan tidak bekerja sama sekali. Pada rumah pompa yang mendapat suplai dari PLN, biaya minimal pemakaian energi listrik dibatasi oleh jam minimum. Dengan operasi intermittent tersebut maka biaya energi listrik yang dibayar masih relatif tinggi meskipun pada saat musim kemarau. Dengan berkembangnya teknologi konverter elektronika daya dan sistem penyimpanan energi listrik / *Energy Storage System* (ESS), potensi integrasi penyimpanan energi listrik dengan jaringan suplai tenaga listrik bisa menjadi cara untuk memaksimalkan pemakaian energi. Paper ini membahas topologi, sizing, dan analisis energy balance pada *Mobile Energy Storage System* (MESS) yang terintegrasi dengan jaringan suplai listrik pada rumah pompa.

Kata Kunci— Flood Pump, Mobile Energy Storage System, Power and Energy Balance

I. PENDAHULUAN

Terjadinya genangan air, baik disebabkan oleh peningkatan debit atau volume air yang mengalir, tersumbatnya saluran air akibat sampah, hingga pengaruh pasang surut air laut menyebabkan persoalan yang besar, terutama dalam aspek sosial dan ekonomi [1]. Dalam rangka penanganan permasalahan tersebut, banyak pemerintahan kota melakukan pembangunan rumah pompa yang berfungsi untuk mengalirkan genangan air yang telah ditampung pada saluran drainase menuju saluran pembuangan yang letaknya lebih tinggi dimana tidak memungkinkan untuk dilakukan pengaliran secara gravitasi [2]. Penggunaan genset sebagai suplai daya listrik utama pada rumah pompa menjadi solusi praktis dalam mengatasi permasalahan terkait keandalan rumah pompa.

Selain genset, suplai utama rumah pompa juga bisa disediakan dari PLN melalui jaringan distribusi 20 kV. Biaya energi listrik untuk menyuplai daya pompa drainase dirasa belum optimal dan ekonomis, terutama pada saat musim kemarau. Hal ini disebabkan oleh tetap tingginya biaya tagihan listrik yang harus dikeluarkan akibat adanya kontrak biaya minimum selama 40 jam pemakaian meskipun pompa tidak dioperasikan. Selain itu kontinuitas penyaluran daya oleh grid PLN juga masih belum maksimal, terutama pada saat musim hujan. Beberapa rumah pompa memanfaatkan genset sebagai emergency generator atau backup [3].

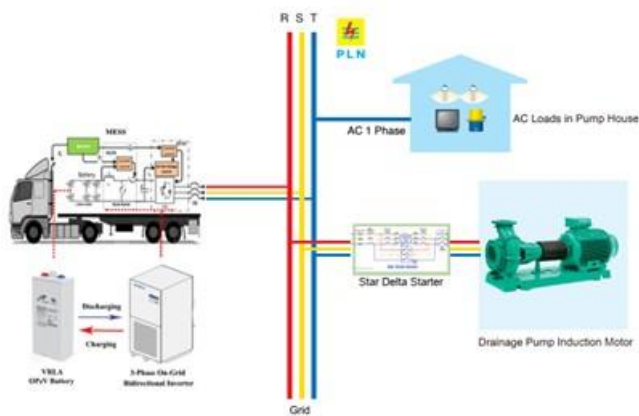
Perkembangan teknologi *Energy Storage System* (ESS) yang mengintegrasikan baterai sebagai media penyimpanan energi dengan perangkat konverter daya berjenis on-grid bidirectional inverter [4,5,6] bisa menjadi alternatif dalam memudahkan manajemen energi pada ESS. Dalam paper ini dibahas pemanfaatan *Mobile-ESS* (MESS) untuk memaksimalkan pemakaian energi listrik pada rumah pompa yang berlangganan suplai tenaga listrik dari PLN. Pembahasan dibatasi pada aspek teknis yang mencakup topologi, sizing, dan pola pengoperasian MESS.

II. TOPOLOGI DAN SIZING SISTEM SUPLAI DAYA PADA RUMAH POMPA DENGAN MESS

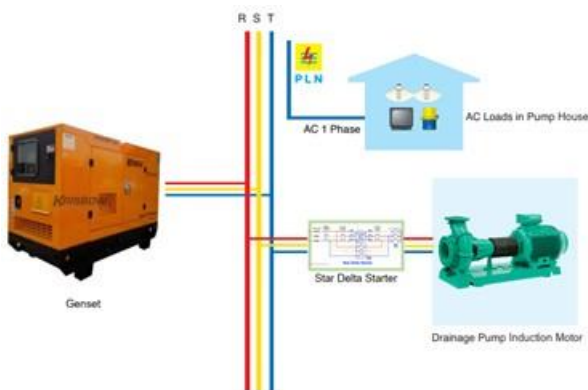
A. Topologi Sistem Bangunan Rumah Pompa

Sistem suplai daya pada rumah pompa pada umumnya berasal dari dari unit Genset atau jaringan PLN. Kedua sistem diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada paper ini,

topologi sistem suplai rumah pompa dari PLN akan diintegrasikan dengan MESS dengan menambahkan on-grid bidirectional inverter dan baterai bank sebagai penyimpan energi. Sebagai fitur *mobile*, digambarkan sebuah sistem trucking untuk mobilisasi inverter dan baterai.



Gambar 1 Topologi sistem suplai rumah pompa berbasis genset.



Gambar 2 Topologi sistem suplai rumah pompa dari PLN dan MESS yang terintegrasi.

Pada operasi normal, pompa drainase serta beban-beban lainnya akan disuplai oleh daya dari PLN. Namun saat frekuensi penggunaan pompa drainase menurun, maka suplai daya akan dialihkan untuk mengisi battery bank pada MESS. Dengan metode manajemen daya yang tepat maka penggunaan suplai daya menjadi lebih efisien. Energi yang tidak digunakan pada saat pompa drainase dalam keadaan long idle (musim kemarau) dapat disimpan pada baterai dan dapat digunakan kembali sebagai *mobile storage*. Selanjutnya energi tersebut dapat dipakai untuk keperluan lain misalnya pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU).

B. Data Kelistrikan Rumah Pompa

Pada penelitian ini, dipilih dua bangunan rumah pompa yang akan dijadikan sampel penelitian. Pemilihan sampel rumah pompa tersebut didasarkan pada masih digunakannya suplai

daya PLN sebagai penggerak pompa banjir di bangunan tersebut. Data spesifikasi pompa banjir yang digunakan pada masing-masing rumah pompa tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

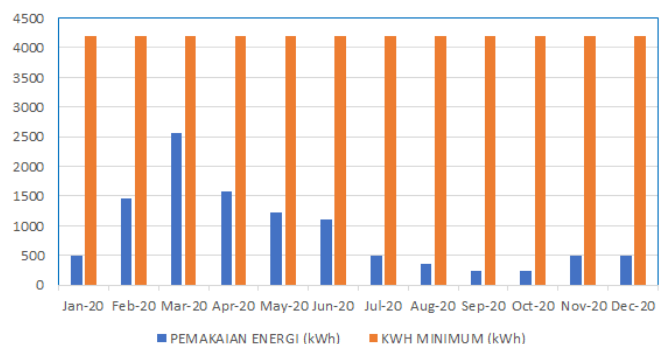
Tabel 1. Spesifikasi Motor Pompa

	Rumah Pompa A	Rumah Pompa B
Merek Pompa	Torishima (2004)	Torishima (2013)
Debit (m ³ /s)	1	1
Daya Motor Pompa (kW)	85	80+45
Daya suplai terpasang (kVA)	105	197

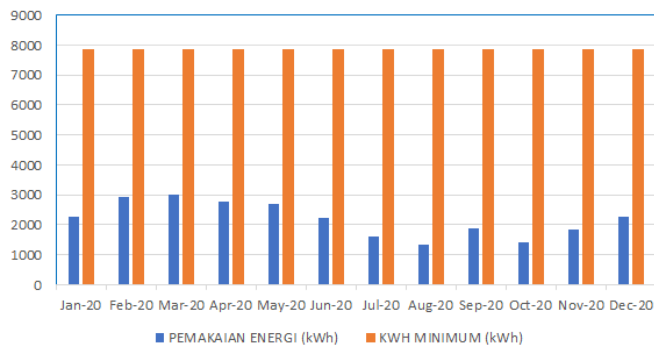
C. Desain dan Sizing Perangkat Penyimpanan Energi pada Mobile Energy Storage System (MESS)

Desain kapasitas penyimpanan energi yang diusulkan didasarkan pada selisih penggunaan energi aktual yang tercatat pada kWh meter setiap rumah pompa dengan nilai penggunaan energi minimum yang ditetapkan oleh PLN. Adapun data selisih penggunaan energi per bulan dengan pemakaian energi minimum pada setiap rumah pompa dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dilihat adanya selisih pemakaian energi aktual bulanan dengan batas pemakaian energi minimum yang signifikan. Hal ini terjadi pada musim kemarau antara bulan Juli s.d. Desember. Pada periode ini penggunaan energi tidak efisien karena biaya tagihan listrik dikenakan sesuai biaya pemakaian minimum. Oleh sebab itu kapasitas penyimpanan energi pada MESS harus didesain sedemikian rupa sehingga pemakaian listrik rumah pompa mencapai pemakaian listrik minimal.



Gambar 1. Data Perbandingan Penggunaan Energi Aktual dengan Rekening Energi Minimum pada Rumah Pompa A.



Gambar 2. Data Perbandingan Penggunaan Energi Aktual dengan Rekening Energi Minimum pada Rumah Pompa B.

Perhitungan kapasitas penyimpanan energi untuk MESS dilakukan dengan menjumlahkan nilai terendah dari selisih penggunaan energi aktual pada rumah pompa setiap hari per bulannya dengan rekening minimum yang ditetapkan oleh PLN, sehingga kapasitas energi tersimpan pada MESS menjadi optimal serta tidak melebihi batas DoD yang ditentukan baik pada saat penggunaan daya tertinggi di musim hujan, ataupun pada musim kemarau disaat terjadi penurunan pengoperasian pompa banjir. Tabel 2 menunjukkan selisih penggunaan energi aktual dengan rekening minimum setiap hari per bulannya pada sampel bangunan rumah pompa. Dari tabel 3 juga dapat dilihat bahwa selisih pemakaian energi aktual terendah untuk rumah pompa A dan rumah pompa B terjadi pada bulan Maret, dimana potensi energi harian minimum yang dapat disimpan adalah 232,79 kWh.

Setelah mendapatkan nilai energi harian minimum yang dapat disimpan, selanjutnya akan diperhitungkan efisiensi dari perangkat *bidirectional inverter*, efisiensi pengisian dan pengosongan baterai (*energy efficiency*), serta batas DoD dari baterai yang digunakan. Dalam hal ini nilai DoD ditentukan sebesar 70%, sedangkan efisiensi perangkat *bidirectional inverter* dan baterai berturut-turut adalah 95% dan 75% [7], sehingga perhitungan kapasitas penyimpanan energi yang diperlukan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 4.

$$Battery\ Capacity\ (Ah) = \frac{Min\ Daily\ Energy\ Potential}{System\ Voltage \times DoD \times Inverter\ Eff \times Energy\ Eff} \quad (4)$$

Dengan 720 unit baterai berkapasitas 350 Ah dalam konfigurasi 2 seri dan 6 paralel, maka spesifikasi penyimpan energi keseluruhan yang tersedia pada MESS ditunjukkan pada Tabel 3. Pada penelitian ini, jenis perangkat penyimpan energi yang digunakan adalah baterai berjenis Valve-Regulated Lead Acid (VRLA) Deep Cycle. Jenis baterai lain tentunya bisa digunakan dengan nilai depth of discharge (DoD) sesuai dengan karakteristik masing-masing baterai[8].

Tabel 2. Selisih Pemakaian Energi Aktual dengan Rekening Minimum Setiap Hiranya pada Sampel Rumah Pompa.

Rumah Pompa A		Rumah Pompa B	
BULAN	SELISIH PEMAKAIAN PER HARI (KWH)	BULAN	SELISIH PEMAKAIAN PER HARI (KWH)
Jan-20	132,57	Jan-20	200,00
Feb-20	97,71	Feb-20	176,43
Mar-20	58,50	Mar-20	174,29
Apr-20	93,36	Apr-20	182,86
Mei-20	106,43	Mei-20	185,00
Jun-20	110,79	Jun-20	202,14
Jul-20	132,57	Jul-20	223,57
Agu-20	136,93	Agu-20	233,29
Sep-20	141,29	Sep-20	214,21
Okt-20	141,29	Okt-20	230,77
Nov-20	132,57	Nov-20	215,09
Des-20	132,57	Des-20	199,61
Rata-Rata	118,05	Rata-Rata	203,10

Tabel 3. Parameter MESS

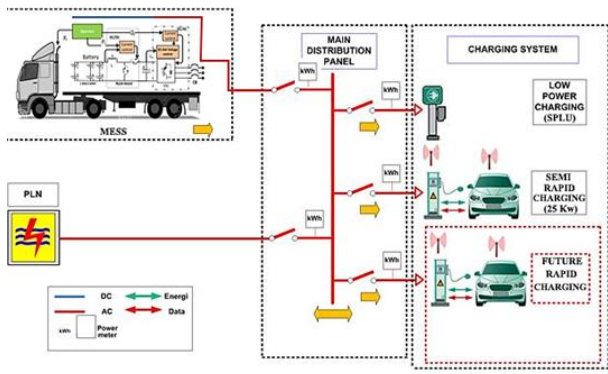
Parameter :	Nilai
Total Energy Storage (unit)	720
Total Capacity (Ah)	2100
System Voltage (V)	240
Total Energy (kWh)	504

III. POLA OPERASI MESS

Dalam implementasinya, MESS akan melakukan pengisian daya pada rumah pompa A dan rumah pompa B secara berurutan pada saat luar waktu beban puncak (LWBP) yang terjadi pada pukul 22.00-17.00, dimana dalam penelitian ini proses pengisian dilakukan selama 10 jam hingga pukul 10.00. Sedangkan proses pengosongan (*discharging*) MESS akan dilakukan pada SPKLU pada pukul 11.00 hingga pukul 21.00.

Mengingat fitur mobile MESS yang didesain, pemilihan lokasi nantinya harus mempertimbangkan tersedianya lahan khusus sebagai tempat pengisian daya kendaraan listrik, piranti dispenser daya, power metering, dan dua jenis konektor daya untuk melakukan pengisian daya pada kendaraan listrik, sehingga diharapkan mampu untuk mendukung percepatan implementasi teknologi MESS. Gambar 5 menunjukkan konektivitas MESS dengan sistem *charging station* pada SPKLU.

Dengan mempertimbangkan lama waktu pengisian daya MESS dan kapasitas dispenser daya terpasang pada SPKLU adalah sebesar 25 kW, serta potensi selisih daya maksimal dari kedua rumah pompa yang terjadi pada bulan Oktober, maka dipilih kapasitas inverter sebesar 45 kVA.



Gambar 3. Skema MESS di SPKLU.

IV. HASIL SIMULASI ENERGY BALANCE SISTEM MESS

Analisis *power balance* di rumah pompa menunjukkan proses perjalanan energi beserta hilang daya yang terjadi antara sumber energi pada rumah pompa, energi tersimpan pada perangkat MESS, dan energi yang disuplai ke *charging station*. Gambar 6 menunjukkan skema keseluruhan operasi MESS di rumah pompa.

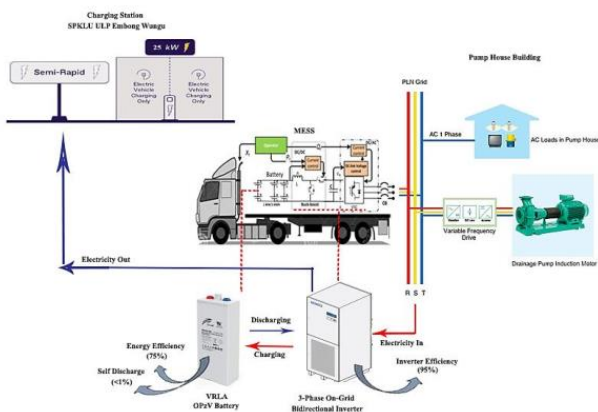
Dengan analisa masukan dan luaran energi listrik pada perangkat kontrol yang tersedia pada MESS, *power balance* dari sistem dapat dimodelkan dengan persamaan 5 dan 6.

$$P_{mess2g} = P_{G2mess} - P_{RTL} - (P_{InverterLosses} + P_{BC Losses}) \quad (5)$$

$$P_{RTL} = P_{Inverter Losses} + P_{BC Losses} + P_{Self Discharge Battery} \quad (6)$$

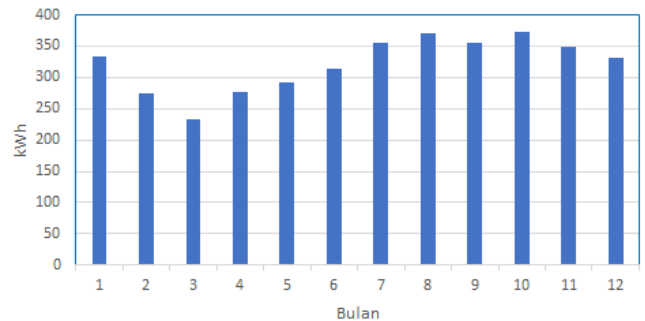
Dimana :

- P_{mess2g} Daya Terjual ke *Charging Station*
- P_{G2mess} Daya Tersimpan Pada MESS dari Rumah Pompa
- P_{RTL} *Losses* Proses *Charging* Baterai oleh *Inverter* dan Efisiensi Baterai
- $P_{BC Losses}$ *Losses* Daya Konversi Baterai saat Proses *Discharging*



Gambar 4. Skema *Power Balance* di rumah pompa.

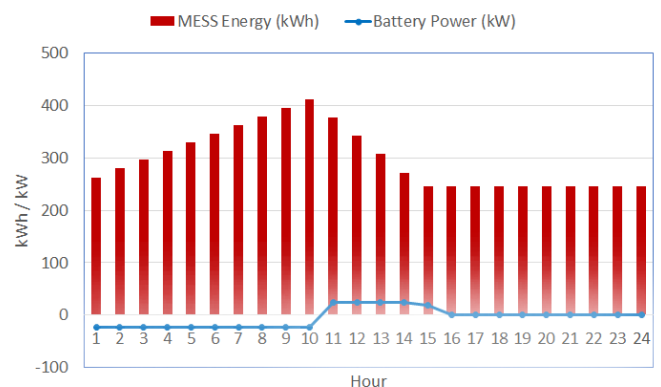
Dari persamaan 5 dan 6 tersebut, data potensi daya tersimpan dari sampel bangunan rumah pompa setiap bulannya dapat dihitung untuk mendapatkan profil selama satu tahun. Gambar 7 menunjukkan potensi daya tersimpan dari kedua rumah pompa dalam satu bulan.



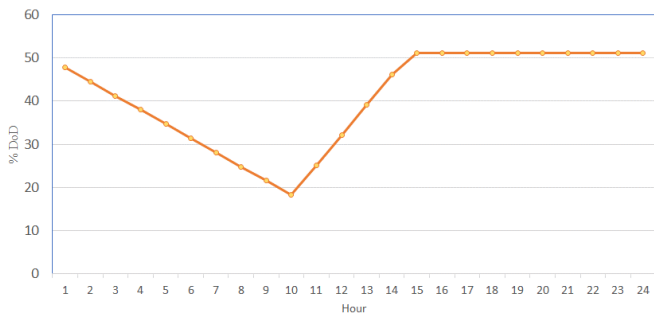
Gambar 5. Potensi energi diserap MESS dari rumah pompa.

Dari data potensi daya tersimpan setiap hari selama satu bulan, dapat dilakukan simulasi pengisian dan pengosongan MESS harian. Pada simulasi ini *initial State of Charge* (SoC) baterai diasumsikan sebesar 50%, sedangkan nilai *self discharge* baterai sebesar 1% setiap bulan. Sebagai contoh, hasil simulasi *energy balance* selama 24 jam diperlihatkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

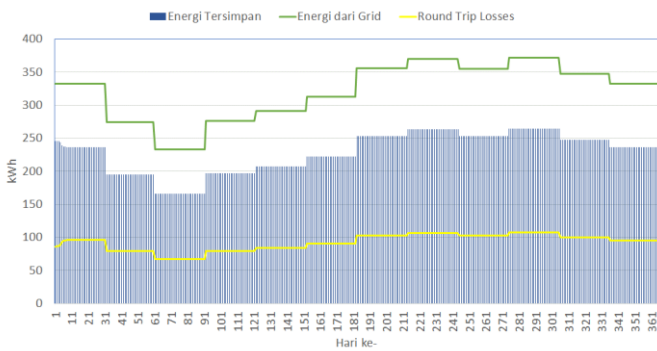
Dari gambar 8 dan 9 dapat diketahui bahwa proses pengisian daya MESS pada rumah pompa berlangsung pada pukul 01.00 dini hari sampai pukul 10.00, yang ditandai dengan notasi minus pada variabel *Net Load for Battery Discharge*. Daya pengisian tersebut selanjutnya akan dikompensasi dengan *round trip losses* yang disebabkan oleh faktor efisiensi dari perangkat konversi daya maupun perangkat penyimpanan energi. Sedangkan proses *discharging* MESS akan berlangsung mulai pukul 11.00 siang hingga pukul 21.00 atau hingga MESS mencapai batas daya pengosongan maksimal per hari nya.



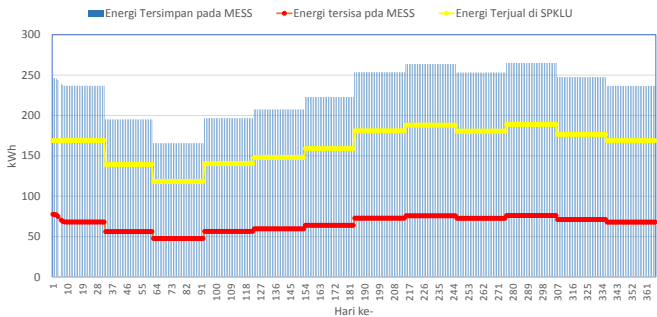
Gambar 6. *Energy balance* MESS dalam 24 jam (contoh: 15 Maret 2020), SoC awal=50%.



Gambar 7. Depth of Discharge dalam 24 jam (contoh: 15 Maret 2020), SoC awal=50%.



Gambar 8. Hasil simulasi energy balance di rumah pompa selama satu tahun.



Gambar 9. Hasil simulasi energy balance di SPKLU selama satu tahun.

Adapun total potensi daya tersimpan pada hasil simulasi tersebut adalah sebesar 232,79 kWh, sedangkan jumlah energi yang dapat tersimpan pada baterai MESS setelah dikompensasi oleh losses round trip serta jumlah energi yang dapat dijual pada charging station berturut-turut adalah sebesar 165,79 kWh, dan 118,18 kWh. Mengacu kapasitas baterai untuk mobil listrik dari suatu pabrikan sebesar 39,2 kWh, maka diperlukan waktu pengisian sekitar 1,5 jam saja untuk mencapai State of Charge baterai sebesar 80%, dan MESS akan sudah mencapai batas daya maksimal yang dapat dijual pada SPKLU hanya dalam waktu 5 jam. Disisi lain DoD baterai pada simulasi masih berada diatas nilai yang diinginkan yakni sebesar 70%. Hasil perhitungan energi harian

selama satu tahun dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11. Ringkasan kinerja MESS pada sistem suplai ruma pompa diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Kinerja MESS selama 1 Tahun

Parameter	Nilai
Kapasitas energi maksimum pada MESS	503,93 kWh
DoD Maksimum	60,76 %
Daya charging maksimum MESS	37,21 kW
Daya discharging maksimum pada SPKLU	25 kW
Daya output maksimum baterai	35,09 kW
Kapasitas energi minimum pada MESS	197,76 kWh

V. KESIMPULAN

Dari data pemakaian energi listrik rumah pompa menunjukkan operasi intermitten pompa banjir mengakibatkan pemakaian energi kurang dari batas pemakaian minimum yang ditetapkan penyedia listrik. Pengintegrasian MESS pada rumah pompa dan pengaturan charging/discharging yang tepat dapat memaksimalkan utilitas energi listrik sehingga pelanggan dapat memanfaatkan energi sesuai dengan biaya energi yang dibayarkan. Pengaturan charging dan discharging dikontrol melalui bidirectional inverter on-grid. Untuk memperoleh ukuran MESS yang lebih kecil perlu dilakukan optimasi yang mana diluar bahasan paper ini. Optimasi akan menjadi penelitian lanjutan dengan memasukkan aspek ekonomi sehingga kelayakan integrasi MESS pada rumah pompa yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Hendrasarie, "Evaluasi Banjir pada Area Drainase Kali Kepiting dan Kali Kenjeran Surabaya Timur," *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, vol. 2, no. 1, p. 2, 2005.
- [2] Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya, "Draft Laporan Akhir Surabaya Drainage Master Plan Tahun 2018-2038," Badan Pengembangan dan Pengelola Usaha Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Tata Cara Perencanaan, Pelaksanaan, Operasi dan Pemeliharaan Sistem Pompa, Jakarta: Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan Permukiman, 2013.
- [4] H. Abdeltawab and Y. A.-R. I. Mohamed, "Mobile Energy Storage Sizing and Allocation for Multi-Service in Power Distribution Systems," *IEEE Acces*, vol. 7, pp. 176613-176623, 2019.
- [5] M. S. Whittingham, "History, Evolution, and Future

Status of Energy Storage," *Proceedings of IEEE*, vol. 100, pp. 1518-1534, 2012.

- [6] S. S. Hosseini, A. Badri dan M. Parvania, "A survey on mobile energy storage systems (MESS) : Applications, challenges and solutions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, no. Elsevier, pp. 161-170, 2014
- [7] M. Rashid, "Power Electronics Handbook-Second Edition", Academic Press, 2007.
- [8] M. T. Afif dan I. A. P. Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid, dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik-Review," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95-99, 201