

Analisis Perbandingan Efisiensi Sistem Kelistrikan Arus Bolak-Balik Dan Purwarupa Arus Searah Untuk Beban Residensial

Prisma Sanjaya Putra Sudarmanto¹, Setyawan Wahyu Pratomo²

Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹13524071@students.uii.ac.id

²setyawan.wahyu@uui.ac.id

Abstrak—Penelitian ini membahas perbandingan efisiensi antara sistem kelistrikan arus bolak-balik (AC) dengan arus searah (DC) untuk mencatu daya beban residensial. Analisis terhadap kedua sistem dilakukan dengan membuat sebuah instalasi rumah tangga sederhana yang mampu menyalurkan listrik bertegangan 220 volt AC dan 220 volt DC ke peralatan listrik rumah tangga sebagai beban untuk pengujian sistem. Variabel yang diukur dalam pengujian sistem adalah tegangan, arus beban, $\cos \phi$, resistansi saluran dan daya. Parameter yang digunakan sebagai pembanding adalah besarnya daya, rugi-rugi dan konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh setiap sistem untuk mencatu daya beban residensial. Hasilnya purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal membutuhkan konsumsi energi listrik yang lebih rendah yaitu 3.988,87 kWh pertahun dengan tingkat efisiensi konsumsi energi listrik 93,07 %. Sementara sistem AC 220 volt memerlukan konsumsi energi listrik lebih besar yang mencapai 4.929,992 kWh meskipun dengan tingkat efisiensi lebih tinggi yaitu 93,97 %.

Kata kunci : Sistem DC 220 volt, efisiensi, beban residensial, daya listrik, rugi-rugi, konsumsi energi listrik.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat mengakibatkan permintaan konsumsi energi listrik semakin meningkat. Dimana mayoritas beban listrik adalah jenis beban residensial yang memerlukan catu daya listrik arus searah (DC) untuk peralatan di rumah-rumah seperti laptop, printer, lampu penerangan dengan teknologi LED, TV dan smartphone [1]. Sementara sistem tenaga listrik yang digunakan di Indonesia saat ini mulai dari pembangkit, saluran transmisi dan saluran distribusi hingga ke beban, umumnya menggunakan sistem kelistrikan arus bolak-balik (AC) yang memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut :

1. Pada saluran transmisi, sistem AC membutuhkan tiga buah kawat konduktor untuk menyalurkan daya listrik tiga fasa. Semakin panjang saluran tersebut maka rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi semakin besar [2].
2. Terdapat faktor daya yang nilainya bisa dipengaruhi oleh beban induktif dan beban kapasitif yang terhubung ke sistem. Faktor daya yang rendah akan mengakibatkan naiknya arus beban dan suhu tinggi dalam sistem [3].

3. Perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan memasang kompensator berupa *capasitor bank* dan induktor, namun hal ini tentu membutuhkan biaya pengeluaran lagi.

Sementara listrik DC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem kelistrikan AC [4], yaitu :

1. Pada saluran transmisi, sistem DC hanya membutuhkan satu buah kawat konduktor untuk menyalurkan daya listrik dengan jumlah yang sama seperti sistem AC dari pembangkit hingga ke beban.
2. Perkembangan ilmu dan teknologi di bidang elektronika daya yang semakin maju membuat konversi daya DC bisa dilakukan dengan memanfaatkan bahan semikonduktor sehingga mengalami rugi-rugi yang rendah.
3. Listrik DC bisa disimpan dalam baterai sebagai cadangan sumber energi.
4. Listrik DC mampu terintegrasi lebih baik dalam sistem tenaga listrik yang menggunakan energi baru terbarukan sebagai sumber energinya. Dimana sumber energi baru terbarukan dewasa ini lebih diminati secara global karena ramah terhadap lingkungan dan tersedia di alam secara gratis.

Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan yang ada maka diperlukan suatu penelitian analisis perbandingan efisiensi sistem kelistrikan arus bolak-balik dan purwarupa sistem kelistrikan arus searah untuk beban residensial.

Dalam penelitian [5] membandingkan efisiensi sistem AC 230 volt dan sistem DC 230 volt pada jaringan distribusi untuk beban-beban residensial. Dalam pengujian dengan efisiensi konverter di jaringan distribusi 95 % dan efisiensi konverter 95 % di beban, diperoleh hasil efisiensi sistem AC yaitu 93,42 %. Ini lebih baik jika dibandingkan efisiensi sistem DC yang hanya 91,33 %. Sementara setelah ditambah beban DC, dengan menggunakan *variable speed drive* (VSD) maka diperoleh efisiensi sistem DC 90,92 % sedikit lebih tinggi dibanding sistem AC dengan 90,53 %.

Penulis [6] menganalisis efisiensi jaringan distribusi pada sistem AC, sistem DC dan gabungan antara sistem AC dengan DC. Hasilnya gabungan antara sistem AC dan DC memiliki rugi-rugi daya lebih tinggi 1 % dibandingkan sistem AC. Efisiensi sistem DC juga lebih rendah dibandingkan sistem AC sehingga dalam hal efisiensi, sistem distribusi AC lebih baik. Namun, pada sistem DC kondisi pembebanan peralatan transformator jauh lebih rendah jika dibandingkan sistem AC. Sehingga apabila terjadi kenaikan beban, sistem

tersebut dengan mudah mampu menyesuaikan tanpa membuat transformator mengalami gangguan.

Berdasarkan [7] menjelaskan beberapa beban residensial yang digunakan pada sebuah rumah dengan catu daya listrik AC. Peralatan tersebut di desain ulang agar lebih efisien dan mampu diberikan catu daya listrik DC untuk kebutuhan rumah tangga. Besarnya konsumsi energi listrik oleh beban residensial turut dibandingkan antara AC dan DC. Hasilnya konsumsi energi rumah dengan sistem DC lebih rendah 140 kWh/bulan daripada rumah dengan sistem AC.

Dari [8] membahas topologi sistem distribusi DC, penyulang bus DC, penghubungan jaringan distribusi dari generator, analisis efisiensi dan proteksi sistem serta keselamatan instalasi pentanahan. Beban residensial dengan beberapa topologi distribusi DC diberi catu daya tegangan sebesar 325 V, 230 V dan 20 V. Hasilnya rugi-rugi daya pada saluran di sistem AC sebesar 70 Wh perhari sementara sistem DC hanya 33 Wh perhari. Pada konversi daya, efisiensi transformator di sistem AC mencapai 97 % sementara efisiensi konverter DC-DC pada sistem DC hanya mencapai 50 % saat beban 10 % atau sebagiannya, dan menjadi 95 % saat mencapai beban penuh. Namun listrik DC memiliki kelemahan yaitu sistem proteksi dan pentanahan berbeda dengan sistem AC sehingga lebih sulit instalasinya.

Penulis [9] membandingkan efisiensi sistem dan banyaknya tahap konversi daya listrik pada jaringan distribusi dengan sistem DC dan sistem AC dalam mencatu beberapa beban listrik jenis residensial. Hasilnya sistem AC lebih unggul dengan tingkat efisiensi mencapai 97 % dan tahap konversi daya listrik yang dibutuhkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan sistem DC yang memiliki efisiensi 95 % dengan tahap konversi daya listrik lebih banyak untuk mencatu daya peralatan-peralatan listrik. Namun meskipun sistem AC lebih unggul, sistem DC dengan sel bahan bakar masih lebih baik daripada keduanya dengan tingkat efisiensi yang mencapai 97,3 % dan tahap konversi daya listrik yang terjadi lebih sedikit apabila dibandingkan dengan sistem AC yang memiliki efisiensi 94,5 % dan tahap konversi daya listrik terjadi jauh lebih banyak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Teori

Dalam mencatu daya beban residensial, dibutuhkan sejumlah usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan pada suatu rangkaian listrik dalam periode satu detik yang disebut sebagai daya listrik. Alat untuk mengukur daya adalah *wattmeter*. Terdapat dua jenis daya, yaitu daya listrik DC dan daya listrik AC. Untuk menghitung besarnya daya listrik DC yang diserap oleh suatu beban pada saluran satu fasa maka dapat digunakan persamaan 1 [10].

$$P_{dc} = V_{dc} * I_{dc} \quad (1)$$

Dimana :

P_{dc} = Daya listrik DC (watt)

V_{dc} = Tegangan DC (volt)

I_{dc} = Arus DC yang mengalir ke beban (ampere)

Sementara, untuk menghitung besarnya daya listrik AC pada saluran satu fasa digunakan persamaan 2.

$$P_{ac} = V * I * \cos \phi \quad (2)$$

Dimana :

P_{ac} = Daya listrik AC (watt)

V_{ac} = Tegangan AC (volt)

I_{ac} = Arus AC yang mengalir ke beban (ampere)

$\cos \phi$ = faktor daya

Dari daya yang diserap oleh beban selama beroperasi maka jumlah konsumsi energi listrik beban residensial bisa di hitung. Energi listrik di definisikan sebagai daya listrik terpakai yang dibutuhkan oleh peralatan listrik untuk bekerja dalam satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan kilo watt *hour* (kWh). Besarnya energi listrik yang di konsumsi oleh suatu peralatan listrik dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$W = \frac{(V * I * t)}{1000} \quad (3)$$

Dimana :

W = Energi listrik (kWh/tahun)

V = Tegangan kerja (volt)

I = Arus yang mengalir ke beban (ampere)

t = Waktu operasi beban perjam (*hour*)

Energi listrik diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari untuk menyalakan lampu, merubah suhu ruangan dan menggerakkan peralatan mekanik. Penggunaan listrik yang tidak efisien akan menyebabkan pemborosan energi, kenaikan biaya pemakaian listrik dan dampak negatif lainnya yang berpotensi merugikan berbagai pihak. Oleh karenanya efisiensi penggunaan energi listrik pada suatu sistem sangat penting untuk diketahui.

Efisiensi adalah perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Efisiensi disimbolkan dengan " η " merupakan faktor penting yang menentukan kinerja peralatan, konsumsi energi dan rugi-rugi yang terjadi pada suatu peralatan listrik ataupun sebuah sistem tenaga listrik. Efisiensi bisa dihitung menggunakan persamaan 4 [6].

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) * 100\% \quad (4)$$

Dimana :

η = Efisiensi sistem (%)

P_{out} = Daya keluaran (watt)

P_{in} = Daya masukan (watt)

Peralatan yang membutuhkan daya listrik untuk bisa beroperasi disebut beban listrik. Beban listrik jenis residensial yang digunakan untuk pengujian sistem adalah peralatan listrik rumah tangga yang umum digunakan. Lama waktu kerja beban tersebut terdiri dari waktu operasi dan waktu *standby* dengan durasi berbeda-beda sesuai yang biasa terjadi di rumah-rumah. Beban-beban residensial dalam pengujian sistem ini dapat dikategorikan menjadi 3 jenis menurut sumber catu dayanya [5], yaitu :

1. Beban dengan kategori "A" merupakan beban listrik yang secara fundamental membutuhkan catu daya gelombang listrik AC. Contoh : *Blender*, mesin cuci dan kipas angin.
2. Beban dengan kategori "D" adalah beban yang memerlukan catu daya listrik DC agar mampu beroperasi. Contoh : *Laptop*, *smartphone* dan *LCD Monitor*.

3. Beban dengan kategori “I” yaitu beban yang mampu beroperasi pada satu daya listrik AC ataupun listrik DC. Contoh : Setrika, *rice cooker*, lampu pijar dan *CFL*.

Profil beban-beban listrik residensial yang digunakan untuk pengujian sistem ditampilkan pada Tabel 1.

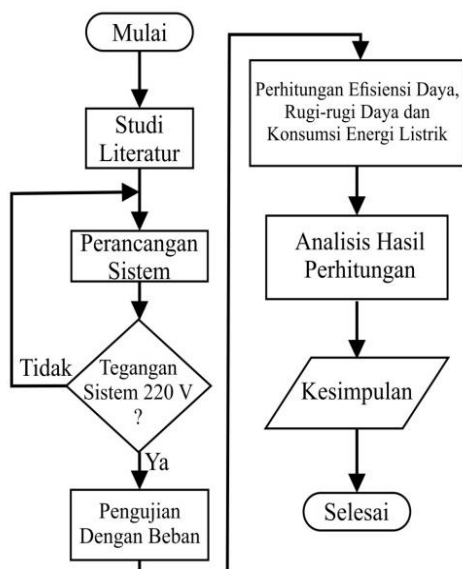
Tabel 1. Profil Beban Listrik Residensial

Nama Beban	Daya Beban (W)	Durasi Operasi Perhari (hour)	Durasi Standby Perhari (hour)	Daya Standby (W)	Panjang Saluran (m)
Smartphone	10	4	2	1,1	50
Lampu Pijar	25	12	0	0	50
Lampu Pijar	40	12	0	0	50
Lampu CFL	25	12	0	0	50
Laptop	65	6	4	4,3	50
Setrika	330	2	0	0	20
Dispenser	420	6	12	4,8	20
Rice Cooker	350	2	14	46,1	20
Kompor Listrik	300	2	0	0	20
Kompor Listrik	600	2	0	0	20
Blender	200	1	0	0	20
LCD Monitor	23	8	4	2,2	50

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian

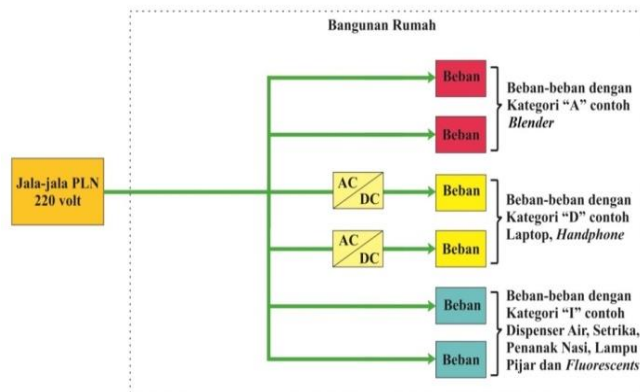
Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa alur kegiatan yang dilaksanakan untuk memperoleh hasil pengujian dan menganalisa perbedaan efisiensi antara sistem AC 220 volt dan sistem DC 220 volt di sisi beban. Alur kegiatan tersebut bisa di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

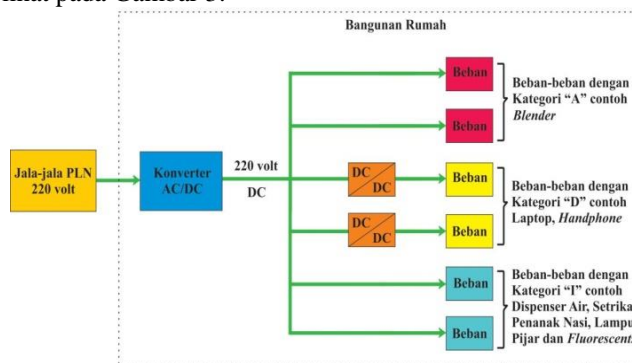
B. Diagram Blok Perancangan Sistem

Pada sistem AC, sumber satu daya untuk beban residensial diperoleh langsung dari tegangan AC 220 volt pada jala-jala PLN. Diagram blok perancangan sistem AC 220 volt ditampilkan pada Gambar 2 [5].



Gambar 2. Perancangan Sistem AC 220 volt

Sementara pada purwarupa sistem DC, tegangan DC 220 volt diperoleh dari keluaran *power supply* yang menggunakan jala-jala PLN sebagai sumber catu dayanya. Diagram blok untuk perancangan purwarupa sistem DC 220 volt bisa di lihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Perancangan Purwarupa Sistem DC 220 volt

Kawat konduktor jenis NYM 2x1,5 mm akan digunakan dalam pembuatan instalasi saluran pada kedua sistem. Panjang saluran 20 meter digunakan untuk beban residensial yang membutuhkan daya kurang dari 200 W, sementara saluran sepanjang 50 meter akan digunakan untuk beban yang membutuhkan daya lebih dari 200 W [11]. Spesifikasi kawat konduktor jenis NYM ditampilkan pada Tabel 2 [12].

Tabel 2. Spesifikasi kawat konduktor jenis NYM

Luas Penampang Inti (mm ²)	Resistansi (ohm/m)	Induktansi (μH/m)	Kapasitas Arus Maks. (A)	Kapasitas Daya pada 240V (kW)
1,0	0,0170	0,6224	14	3,25
1,5	0,0113	0,5767	18	4,25
2,5	0,0068	0,5170	24	5,75
4,0	0,0043	0,4595	32	7,75
6,0	0,0028	0,4070	40	9,75
10	0,0017	0,3354	53	12,9

Pada perancangan purwarupa sistem DC, digunakan *power supply* TH220X03N-220AC sebagai pengganti sistem pembangkit DC. Rangkaian penyearah gelombang penuh yang terdapat di dalam *power supply* ini akan merubah tegangan masukan gelombang *sinusoidal* listrik AC 220 volt dari jala-jala PLN sebagai sumber catu dayanya menjadi keluaran gelombang lurus tegangan listrik DC 220 volt. Spesifikasi *power supply* bisa di lihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *power supply* TH220X03N-220AC

Seri	TH220X03N-220AC
Berat	1 KG
Dimensi (PxLxT)	58mm x 118mm x 187mm
Metode Pendinginan	Kipas udara
Sumber Tegangan AC	220V +15%
Keluaran Tegangan DC	190-260V
Keluaran Arus DC	3A
Efisiensi	> 90%
Akurasi Stabilitas Tegangan	+ 0,5%
Ripple	< + 0,2%
Noise	5%

Pengoperasian *power supply* turut menambah konsumsi daya pada purwarupa sistem DC 220 volt. Daya operasi *power supply* tersebut diketahui berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan beban. Sehingga besarnya daya *power supply* saat beroperasi bisa di hitung menggunakan persamaan 5.

$$P_{power\ supply} = P_{input\ ac} - (P_{output\ dc} + P_{losses}) \quad (5)$$

Dimana :

- $P_{power\ supply}$ = Daya *power supply* saat beroperasi (watt)
- $P_{input\ ac}$ = Daya masukan sistem (watt)
- $P_{output\ dc}$ = Daya keluaran sistem (watt)
- $P_{total\ losses}$ = Jumlah total rugi-rugi (watt)

C. Pengujian Sistem

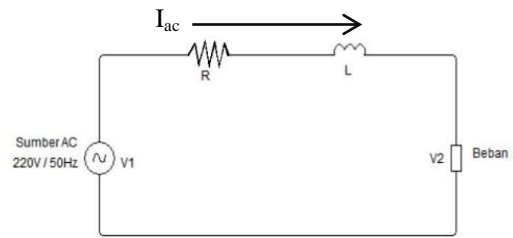
Pengujian sistem dilakukan dengan mengukur besarnya daya, tegangan, *cos phi* dan arus beban pada saat peralatan-peralatan listrik rumah tangga terhubung secara paralel. Daya yang diserap beban pada sistem AC 220 volt di ukur menggunakan *wattmeter*. Sementara tegangan dan arus di ukur menggunakan *multimeter*. Untuk pengujian sistem pada purwarupa sistem DC 220 volt pengukuran tegangan, arus, daya dan tingkat efisiensi sistem dilakukan menggunakan alat ukur EPM5800-E. Hasil pengukuran akan digunakan untuk menghitung parameter pembandingan utamanya yaitu efisiensi daya, rugi-rugi dan konsumsi energi listrik setiap sistem.

Khusus untuk purwarupa sistem DC 220 volt, perhitungan efisiensi akan dibagi menjadi dua kondisi yaitu ideal dan tidak ideal. Kondisi ideal diasumsikan bahwa tidak ada rugi-rugi daya pada proses konversi listrik di *power supply*. Sementara kondisi tidak ideal diasumsikan terdapat rugi-rugi pada rangkaian penyearah di *power supply* sehingga menyebabkan daya tambahan turut diserap sistem untuk mencatu daya beban residensial.

Dalam menghitung efisiensi terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi tingkat efisiensi suatu sistem, yaitu :

1. Rugi-rugi Daya di Saluran

Daya yang hilang dalam proses penyaluran daya listrik dari sumber hingga ke beban akibat tingginya hambatan pada kawat konduktor disebut rugi-rugi daya di saluran atau *feeder losses*. Besarnya rugi-rugi tersebut dipengaruhi oleh nilai resistansi kawat konduktor dan tingginya arus beban dalam sistem. Pada Gambar 4 ditampilkan adanya hambatan pada rangkaian listrik sederhana dengan sumber listrik AC 220 volt yang mencatu daya beban. Untuk menghitung rugi-rugi daya yang terjadi di saluran satu fasa pada sistem AC digunakan persamaan 6 [6].



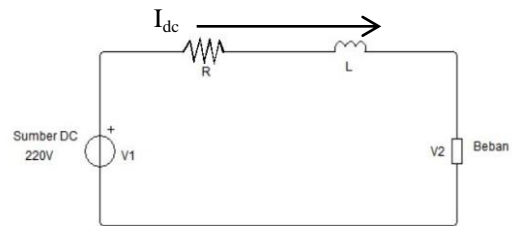
Gambar 4. Rangkaian Listrik AC Sederhana

$$P_{loss\ feeder} = 2 * I_{ac}^2 * r \quad (6)$$

Dimana :

- $P_{loss\ feeder}$ = Rugi-rugi daya (watt)
- I_{ac} = Arus beban sistem AC (ampere)
- R = Resistansi saluran (ohm)

Sementara pada Gambar 5 menampilkan hambatan yang terjadi pada rangkaian listrik sederhana dengan sumber DC 220 volt. Untuk menghitung besarnya rugi-rugi daya di sistem DC pada suatu saluran satu fasa bisa di hitung dengan persamaan 7.



Gambar 5. Rangkaian Listrik DC Sederhana

$$P_{loss\ feeder} = 2 * I_{dc}^2 * R \quad (7)$$

Dimana :

- $P_{loss\ feeder}$ = Rugi-rugi daya (watt)
- I_{dc} = Arus beban sistem DC (ampere)
- R = Resistansi saluran (ohm)

2. Rugi-rugi Daya di Penyearah

Dalam *power supply* dan beban residensial seperti *charger smartphone* dan *charger laptop* terdapat rangkaian penyearah yang menimbulkan rugi-rugi daya. Rugi-rugi tersebut dipengaruhi oleh resistansi dioda, arus beban dan tegangan bias dioda [11]. Tegangan bias maju (V_f) pada setiap jenis dioda berbeda-beda. Sebagai contoh, dioda jenis 1N4007 memiliki rentang nilai tegangan bias maju dari 0,8 volt sampai 1,1 volt [13].

Dalam menghitung rugi-rugi di rangkaian penyearah, proses pensaklaran diasumsikan tidak memiliki rugi-rugi (nol) dan nilai tegangan bias maju dioda untuk beban DC adalah 0,9 volt [11]. Sementara di dalam *power supply* diketahui terdapat rangkaian penyearah jembatan penuh dengan jenis dioda GBJ15005 yang memiliki nilai tegangan bias maju 1,05 volt [14]. Sehingga besarnya rugi-rugi pada rangkaian penyearah untuk beban DC dan *power supply* di hitung dengan menggunakan persamaan 8 [11].

$$P_{loss\ rectifier} = 2 * V_f * I_{rms} \quad (8)$$

Dimana :

- $P_{loss\ rectifier}$ = Rugi-rugi penyearah (watt)
- V_f = Tegangan bias maju dioda (volt)
- I_{rms} = Arus beban (ampere)

3. Konsumsi Energi Listrik

Besarnya konsumsi energi listrik pada suatu rumah selama satu tahun bisa diperoleh dengan menjumlahkan pemakaian energi listrik dari penggunaan seluruh peralatan dalam periode satu tahun. Konsumsi tersebut terdiri dari penggunaan ketika beban sedang beroperasi dan beban dalam kondisi *standby* [11]. Konsumsi energi listrik total selama satu tahun dihitung menggunakan persamaan 9.

$$W_{\text{listrik total}} = W_{\text{operasi}} + W_{\text{standby}} + W_{\text{losses}} \quad (9)$$

Dimana :

- $W_{\text{listrik total}}$ = Konsumsi energi listrik total (kWh/tahun)
- W_{operasi} = Konsumsi beban beroperasi (kWh/tahun)
- W_{standby} = Konsumsi beban *standby* (kWh/tahun)
- W_{losses} = Konsumsi akibat rugi-rugi (kWh/tahun)

Untuk menghitung besarnya konsumsi energi listrik yang terjadi saat beban beroperasi selama satu tahun bisa dihitung menggunakan persamaan 10.

$$W_{\text{operasi}} = \frac{P_{\text{operasi}} \times \text{Jam aktif perhari} \times 365 \text{ hari}}{1000} \text{ kWh/tahun} \quad (10)$$

Dimana :

- W_{operasi} = Konsumsi beban beroperasi (kWh/tahun)
- P_{operasi} = Daya diserap beban saat beroperasi (watt)
- Jam aktif perhari = Durasi beban digunakan (*hour*)

Sementara konsumsi energi listrik saat beban *standby* selama satu tahun di hitung menggunakan persamaan 11.

$$W_{\text{standby}} = \frac{P_{\text{standby}} \times \text{Jam aktif perhari} \times 365 \text{ hari}}{1000} \text{ kWh/tahun} \quad (11)$$

Dimana :

- W_{standby} = Konsumsi ketika beban *standby* (kWh/tahun)
- P_{standby} = Daya diserap beban saat *standby* (watt)
- Jam aktif perhari = Durasi beban digunakan (*hour*)

Konsumsi energi listrik juga bisa terjadi karena disebabkan oleh rugi-rugi daya selama proses penyaluran daya listrik ke beban. Besarnya konsumsi tersebut selama satu tahun bisa di hitung menggunakan persamaan 12.

$$W_{\text{losses}} = \frac{(P_{\text{loss feeder}} + P_{\text{loss rectifier}}) \times \text{Jam aktif} \times 365 \text{ hari}}{1000} \text{ kWh/tahun} \quad (12)$$

Dimana :

- W_{losses} = Konsumsi energi akibat rugi-rugi (kWh/tahun)
- $P_{\text{loss feeder}}$ = Rugi-rugi daya di saluran (watt)
- $P_{\text{loss rectifier}}$ = Rugi-rugi daya di rangkaian penyearah (watt)
- Jam aktif = Durasi beban digunakan perhari (*hour*)

4. Tegangan Jatuh

Selisih antara tegangan pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerima disebut tegangan jatuh [7]. Tegangan jatuh dapat disebabkan oleh besarnya resistansi dan reaktansi saluran, arus beban serta perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan (untuk sistem AC). Tegangan jatuh pada sistem dapat di hitung menggunakan persamaan 13 [11].

$$\Delta V = \frac{V1 - V2}{V1} \times 100\% \quad (13)$$

Dimana :

- ΔV = Tegangan jatuh (%)
- $V1$ = Tegangan di titik sumber (volt)
- $V2$ = Tegangan di titik beban (volt)

5. Daya Input Sistem

Daya *input* atau daya masukan adalah jumlah total daya yang masuk ke suatu sistem dari sumber tegangan untuk mencatu daya beban sebelum mengalami rugi-rugi. Daya masukan dapat di hitung menggunakan persamaan 14.

$$P_{in} = P_{out} + P_{\text{loss feeder}} + P_{\text{loss rectifier}} \quad (14)$$

Dimana :

- P_{in} = Daya masukan (watt)
- P_{out} = Daya keluaran (watt)
- $P_{\text{loss feeder}}$ = Rugi-rugi daya di saluran (watt)
- $P_{\text{loss rectifier}}$ = Rugi-rugi daya di penyearah (watt)

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Sistem AC 220 volt

Setelah melakukan pengujian pada sistem AC 220 volt maka diperoleh data-data hasil pengukuran yang bisa di lihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Pengukuran daya dan resistansi saluran sistem AC

Nama Beban	Daya Beban (W)	P_{standby} (W)	P_{input} (W)	P_{output} (W)	Panjang Saluran (meter)	R_{saluran} (ohm)
Smartphone	10	1,1	9,6	9,43	50	0,565
Lampu Pijar	50	0	52,9	52,83	50	0,565
Lampu Pijar	100	0	105,3	105,04	50	0,565
Lampu Pijar	130	0	123,8	123,41	50	0,565
Lampu CFL	50	0	45,6	44,96	50	0,565
Lampu CFL	100	0	91,4	89,93	3,7) 50	0,565
Laptop	65	4,3	57,6	56,63	50	0,565
Setrika	330	0	298,6	297,77	20	0,226
Dispenser	420	4,8	350,9	349,75	20	0,226
Rice Cooker	350	46,1	347,4	346,27	20	0,226
Kompore	300	0	283,5	282,77	20	0,226
Kompore	600	0	561,1	558,18	20	0,226
Blender	200	0	107,3	107,19	20	0,226
LCD Monitor	23	2,2	15,8	15,58	50	0,565

Tabel 5. Pengukuran tegangan, arus dan *cos phi* sistem AC

Nama Beban	V_{sumber} (V)	V_{beban} (V)	Arus (A)	<i>Cos Phi</i>
Smartphone	220,6	220,3	0,088	0,5 lead
Lampu Pijar	220,2	219,6	0,239	1
Lampu Pijar	220,3	219,2	0,478	1
Lampu Pijar	220,8	219,4	0,589	0,93 lag
Lampu CFL	220,3	219,7	0,298	0,7 lag
Lampu CFL	220,5	219,6	0,596	0,68 lag
Laptop	221,1	220,5	0,425	0,61 lead
Setrika	220,3	219,2	1,355	1
Dispenser	220,4	218,9	1,594	1
Rice Cooker	220,7	219,2	1,58	1
Kompore	220,3	219,3	1,271	1
Kompore	220,4	218,2	2,541	1
Blender	220,5	220,1	0,482	0,97 lag
LCD Monitor	220,8	220,5	0,116	0,61 lead

Berdasarkan data-data hasil pengukuran pada Tabel 5 maka rugi-rugi di saluran, rugi-rugi di penyearah dan tegangan jatuh pada sistem AC 220 volt secara berurutan bisa

di hitung dengan menggunakan persamaan (7), (8) dan (13) yang ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan pada sistem AC 220 volt

Nama Beban	ΔV (%)	η_{sistem} (%)	$P_{loss\ feeder}$ (W)	$P_{loss\ rectifier}$ (W)	$P_{standby}$ (W)
Smartphone	0,136	96,33	0,009	0,158	1,1
Lampu Pijar	0,181	99,43	0,066	0	0
Lampu Pijar	0,364	99,14	0,258	0	0
Lampu Pijar	0,456	98,14	0,392	0	0
Lampu CFL	0,181	98,4	0,1	0,536	0
Lampu CFL	0,272	98,3	0,401	1,073	0
Laptop	0,227	97,83	0,204	0,765	4,3
Setrika	0,824	99,43	0,83	0	0
Dispenser	0,409	99,34	1,148	0	4,8
Rice Cooker	0,364	99,37	1,128	0	46,1
Kompore	0,318	99,51	0,73	0	0
Kompore	0,594	99,36	2,918	0	0
Blender	0,227	98,88	0,105	0	0
LCD Monitor	0,136	97,45	0,015	0,209	2,2
Total			8,304	2,741	58,5

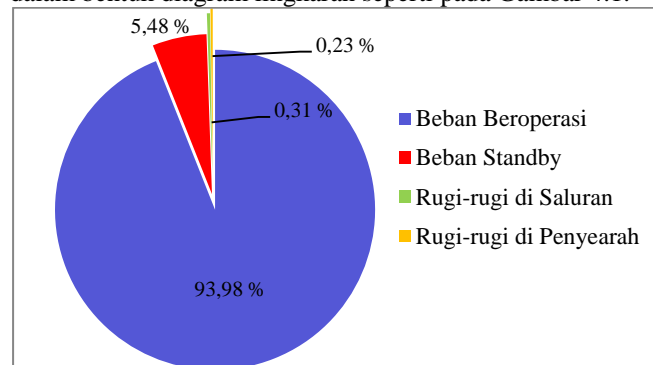
Dari data-data pada Tabel 6 yang telah diperoleh dari hasil perhitungan, maka besarnya konsumsi energi listrik selama satu tahun yang terjadi pada sistem AC 220 volt bisa di hitung menggunakan persamaan (9), (10), (11) dan (12). Hasil perhitungan tersebut bisa di lihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Konsumsi energi listrik sistem AC 220 volt

Nama Beban	Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh/tahun)				
	Operasi Beban	Beban Standby	Rugi-rugi Saluran	Rugi-rugi Penyearah	Jumlah
Smartphone	13,768	0,803	0,013	0,231	14,815
Lampu Pijar	231,395	0	0,289	0	231,684
Lampu Pijar	460,075	0	1,13	0	461,205
Lampu Pijar	540,536	0	1,717	0	542,253
Lampu CFL	196,925	0	0,438	2,348	199,711
Lampu CFL	393,893	0	1,756	4,7	400,349
Laptop	248,039	9,417	0,894	3,351	261,701
Setrika	217,372	0	0,606	0	217,978
Dispenser	765,952	21,024	2,514	0	789,49
Rice Cooker	252,777	235,571	0,823	0	489,171
Kompore	412,844	0	1,066	0	413,91
Kompore	814,943	0	4,26	0	819,203
Blender	39,124	0	0,038	0	39,162
LCD Monitor	45,494	3,212	0,044	0,61	49,36
Total	4.633,137	270,027	15,588	11,24	4.929,992

Berdasarkan data hasil perhitungan konsumsi energi listrik pada Tabel 7, dalam kondisi beban *standby* sistem AC 220 volt ternyata masih mengkonsumsi energi listrik yaitu 270,027 kWh pertahun. Konsumsi saat kondisi *standby* tersebut bisa digolongkan sebagai rugi-rugi karena beban-beban residensial sedang tidak digunakan. Konsumsi energi listrik lainnya yang disebabkan rugi-rugi adalah akibat adanya rugi-rugi di saluran sebesar 15,588 kWh pertahun dan rugi-rugi di penyearah sejumlah 11,24 kWh pertahun. Sehingga total konsumsi energi listrik yang disebabkan oleh rugi-rugi adalah 296,855 kWh pertahun.

Sementara besarnya konsumsi sistem AC 220 volt untuk mencatu daya beban beroperasi mencapai 4.633,137 kWh pertahun. Sehingga jumlah total konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh sistem AC 220 volt untuk mencatu daya seluruh beban adalah 4.929,992 kWh pertahun. Persentase konsumsi energi di sistem AC 220 volt tersebut ditampilkan dalam bentuk diagram lingkaran seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 6. Persentase Konsumsi Energi Listrik Sistem AC

Jumlah total konsumsi energi listrik selama satu tahun yang masuk ke sistem AC 220 volt mencapai 4.929,992 kWh. Sementara jumlah total rugi-rugi adalah 296,855 kWh pertahun. Sehingga energi listrik yang keluar sampai ke beban hanya 4.633,137 kWh pertahun. Efisiensi konsumsi energi listrik sistem dapat di hitung menggunakan persamaan (3.0) sebagai berikut :

$$\eta_{ac} = \left(\frac{4.633,137 \text{ kWh}}{4.929,992 \text{ kWh}} \right) \times 100\%$$

$$\eta_{ac} = 93,97 \%$$

B. Purwarupa Sistem DC 220 volt

Berdasarkan pengujian pada purwarupa sistem DC yang telah dilakukan, data-data hasil pengukuran daya dan nilai resistansi saluran yang diperoleh bisa di lihat dalam Tabel 8. Sementara data-data hasil pengukuran tegangan, arus beban dan *cos phi* di titik sumber AC serta tingkat efisiensi sistem DC ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 8. Pengukuran daya dan resistansi saluran purwarupa sistem DC 220 volt

Nama Beban	Daya Beban (W)	$P_{standby\ ideal}$ (W)	$P_{standby\ tidak\ ideal}$ (W)	$P_{input\ ideal}$ (W)	$P_{input\ tidak\ ideal}$ (W)	Panjang Saluran (meter)	$R_{saluran}$ (ohm)
Smartphone	10	0	0	7,84	19,04	50	0,565
Lampu Pijar	50	0	0	51,96	65,97	50	0,565
Lampu Pijar	100	0	0	104	121,8	50	0,565
Lampu Pijar	130	0	0	126,8	144,8	50	0,565
Lampu CFL	50	0	0	38,83	53,4	50	0,565
Lampu CFL	100	0	0	79,33	95,45	50	0,565
Laptop	65	0	0	30,31	42,93	50	0,565
Setrika	330	0	0	295,2	322,4	20	0,226
Dispenser	420	4,67	11,61	347,6	375,3	20	0,226
Rice Cooker	350	45,61	59,14	344,4	372,2	20	0,226
Kompore	300	0	0	277,5	302,1	20	0,226
Kompore	600	0	0	522,2	593,1	20	0,226
Blender	200	0	0	102,8	120,4	20	0,226
LCD Monitor	23	0	0	10,32	21,93	50	0,565

Tabel 9. Pengukuran tegangan, arus dan cos phi purwarupa sistem DC 220 volt

Nama Beban	V _{ac} input (V)	V _{dc} output (V)	I _{ac} input (V)	I _{dc} output (V)	Cos Phi	Efisiensi tidak ideal
Smartphone	220,2	219,4	0,168	0,037	0,51	41,5
Lampu Pijar	220,7	219,4	0,484	0,237	0,62	78,7
Lampu Pijar	219,4	219,5	0,838	0,474	0,66	85,4
Lampu Pijar	219,7	219,4	1,012	0,578	0,65	87,6
Lampu CFL	220,7	219,4	0,415	0,177	0,58	74,9
Lampu CFL	219,7	219,3	0,689	0,361	0,62	82,3
Laptop	220,1	219,2	0,342	0,137	0,57	72,3
Setrika	220,2	219,4	2,326	1,346	0,62	91,9
Dispenser	219,5	219,3	2,823	1,585	0,61	92,6
Rice Cooker	219,9	219,4	2,796	1,57	0,61	92,6
Kompore	219,5	219,3	2,184	1,265	0,63	91,9
Kompore	219,3	219,2	4,668	2,518	0,58	93,1
Blender	219,9	219,4	0,849	0,466	0,65	85,4
LCD Monitor	219,5	219,4	0,188	0,047	0,53	47,2

Dari data hasil pengukuran pada Tabel 8 dan Tabel 9 maka persentase tegangan jatuh sistem, rugi-rugi daya di saluran dan rugi-rugi daya di rangkaian penyearah (untuk beban DC serta *power supply*) secara berurutan bisa di hitung menggunakan persamaan (13), (7) dan (8). Seluruh hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 10 untuk purwarupa sistem DC dengan kondisi ideal.

Tabel 10. Hasil perhitungan purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal

Nama Beban	P _{beban} (W)	ΔV (%)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	P _{loss feeder} (W)	P _{loss rectifier} (W)
Smartphone	10	0,363	7,84	7,536	0,002	0,302
Lampu Pijar	50	0,589	51,96	51,897	0,063	0
Lampu Pijar	100	0,091	104	103,746	0,254	0
Lampu Pijar	130	0,136	126,8	126,422	0,378	0
Lampu CFL	50	0,589	38,83	38,048	0,035	0,747
Lampu CFL	100	0,182	79,33	77,943	0,147	1,24
Laptop	65	0,409	30,31	29,674	0,021	0,615
Setrika	330	0,363	295,2	293,153	2,047	0
Dispenser	420	0,091	347,6	346,464	1,136	0
	4,67	0,091	4,67	4,6698	0,0002	0
Rice Cooker	350	0,227	344,4	343,286	1,114	0
	45,61	0,408	45,61	45,59	0,02	0
Kompore	300	0,091	277,5	276,777	0,723	0
Kompore	600	0,045	552,2	549,334	2,866	0
Blender	200	0,227	102,8	102,555	0,245	0
LCD Monitor	23	0,045	10,32	9,98	0,002	0,338
Total			2.419,37	2.407,07	9,0532	3,242

Sementara untuk purwarupa sistem DC kondisi tidak ideal, data-data dari Tabel 8 dan Tabel 9 juga turut digunakan untuk menghitung beberapa parameter. Parameter-parameter tersebut antara lain persentase tegangan jatuh sistem, daya *power supply* saat beroperasi, rugi-rugi daya di saluran dan rugi-rugi daya di rangkaian penyearah (untuk beban DC serta *power supply*) yang secara berurutan bisa di hitung menggunakan persamaan (13), (5), (8) dan (13). Hasil perhitungan untuk purwarupa sistem DC kondisi tidak ideal bisa di lihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil perhitungan purwarupa sistem DC 220 volt kondisi tidak ideal

Nama Beban	P _{beban} (W)	ΔV (%)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	P _{power supply} (W)	P _{loss feeder} (W)	P _{loss rectifier} (W)
Smartphone	10	0,046	19,04	8,436	10,3	0,002	0,302
Lampu Pijar	50	0,091	65,97	52,727	13,18	0,063	0
Lampu Pijar	100	0,137	121,8	105,105	16,441	0,254	0
Lampu Pijar	130	0,273	144,8	128,145	16,277	0,378	0
Lampu CFL	50	0,046	53,4	39,555	13,063	0,035	0,747
Lampu CFL	100	0,091	95,45	80,285	13,778	0,147	1,24
Laptop	65	0,046	42,93	30,987	11,307	0,021	0,615
Setrika	330	0,228	322,4	295,925	24,528	2,047	0
	420	0,319	375,3	350,293	23,871	1,136	0
Dispenser	11,61	0,046	11,61	4,6698	6,94	0,0002	0
	350	0,273	372,2	347,046	24,04	1,114	0
Rice Cooker	59,14	0,046	59,14	45,61	13,51	0,02	0
	300	0,228	302,1	279,159	22,218	0,723	0
Kompore	600	0,502	593,1	559,41	30,824	2,866	0
Blender	200	0,046	120,4	103,107	17,048	0,245	0
LCD Monitor	23	0,137	21,93	10,924	10,666	0,002	0,338
Total			2.721,57	2.441,2838	267,991	9,0532	3,242

Berdasarkan hasil pengujian purwarupa sistem DC 220 volt, hasil pengukuran daya beban DC seperti *smartphone*, *laptop* dan *LCD monitor* saat kondisi *standby* sangat kecil nilainya sehingga bisa diabaikan dalam perhitungan konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh setiap sistem. Hal ini dipengaruhi oleh penurunan daya yang diserap oleh beban selama kondisi *standby* cukup signifikan sehingga rugi-rugi di rangkaian penyearah beban DC sangat kecil.

Konsumsi energi listrik pada purwarupa sistem DC 220 volt baik pada kondisi *power supply* ideal dan tidak ideal di hitung menggunakan persamaan (9), (10), (11) dan (12). Dalam menghitung konsumsi energi pada *power supply*, besarnya rugi-rugi pada rangkaian penyearah di dalam *power supply* tidak dicantumkan karena telah di hitung bersama dengan konsumsi *power supply* saat beroperasi.

Hasil perhitungan untuk purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi ideal ditampilkan pada Tabel 12, sementara hasil perhitungan untuk purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi tidak ideal ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 12. Konsumsi energi listrik pada purwarupa sistem DC kondisi ideal

Nama Beban	Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh/tahun)					
	Operasi Beban	Beban Standby	Rugi-rugi Saluran	Rugi-rugi Penyearah	Jumlah	
Smartphone	11,003	0	0,003	0,441	11,447	
Lampu Pijar	227,309	0	0,276	0	227,585	
Lampu Pijar	454,407	0	1,116	0	455,523	
Lampu Pijar	553,728	0	1,656	0	555,384	
Lampu CFL	166,65	0	0,153	3,272	170,075	
Lampu CFL	341,39	0	0,644	5,431	347,465	
Laptop	64,986	0	0,046	1,347	66,379	
Setrika	214,002	0	1,494	0	215,496	
Dispenser	758,756	20,455	2,488	0	781,699	
Rice Cooker	250,599	233,067	0,813	0	484,479	
Kompore	202,047	0	0,528	0	202,575	
Kompore	401,014	0	2,092	0	403,106	
Blender	37,433	0	0,089	0	37,522	
LCD Monitor	29,142	0	0,006	0,987	30,135	
Total		3.712,466	253,522	11,404	11,478	3.988,87

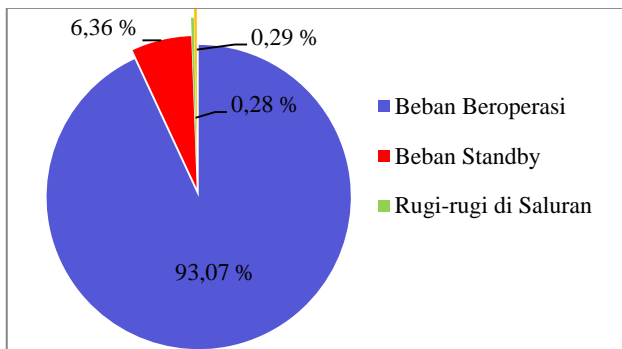
Tabel 12. Konsumsi energi listrik pada purwarupa sistem DC kondisi ideal

Nama Beban	Konsumsi Energi Listrik Pertahun (kWh/tahun)					
	Operasi Beban	Beban Standby	Operasi Power Supply	Rugi-rugi Saluran	Rugi-rugi Penyearah	Jumlah
Smartphone	12,317	0	15,038	0,003	0,441	27,799
Lampu Pijar	230,944	0	57,728	0,276	0	288,948
Lampu Pijar	460,359	0	72,012	1,116	0	533,487
Lampu Pijar	561,275	0	71,293	1,656	0	634,224
Lampu CFL	173,251	0	57,216	0,153	3,272	233,892
Lampu CFL	351,648	0	60,348	0,644	5,431	418,071
Laptop	67,862	0	24,762	0,046	1,347	94,017
Setrika	215,915	0	17,905	1,494	0	235,314
Dispenser	767,142	50,852	52,278	2,488	0	872,76
Rice Cooker	253,344	302,205	17,549	0,813	0	573,911
Kompas	203,786	0	16,219	0,528	0	220,533
Kompas	408,369	0	22,502	2,092	0	432,963
Blender	37,634	0	6,223	0,089	0	43,946
LCD Monitor	31,898	0	31,145	0,006	0,987	64,036
Total	3.775,744	353,057	522,218	11,404	11,478	4.673,9

1. Kondisi Power Supply Ideal

Berdasarkan Tabel 11, purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi *power supply* ideal membutuhkan energi listrik untuk beban beroperasi yaitu 3.712,466 kWh pertahun dan juga terdapat konsumsi ketika beban *standby* sebesar 253,522 kWh pertahun.

Sementara konsumsi akibat rugi-rugi di saluran adalah 11,404 kWh pertahun dan konsumsi akibat rugi-rugi di rangkaian penyearah pada beban DC 11,478 kWh pertahun. Total rugi-rugi yang terjadi pada sistem adalah sebesar 276,404 kWh pertahun. Persentase konsumsi energi listrik sistem ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Persentase konsumsi energi pada purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal

Karena *power supply* diasumsikan ideal maka energi listrik yang dibutuhkan untuk beroperasi dan rugi-rugi rangkaian penyearah di dalamnya tidak di hitung. Jumlah total konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi *power supply* ideal untuk mencatu daya beban residensial selama satu tahun adalah 3.988,87 kWh. Sementara energi listrik yang keluar hingga ke beban hanya mencapai 3.712,466 kWh pertahun.

Sehingga efisiensi sistem dapat dihitung menggunakan persamaan (4). Berikut ini adalah perhitungan efisiensi pada purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi *power supply* ideal :

$$\eta_{dc\ ideal} = \left(\frac{3.712,466}{3.988,87} \right) \times 100\%$$

$$\eta_{dc\ ideal} = 93,07\%$$

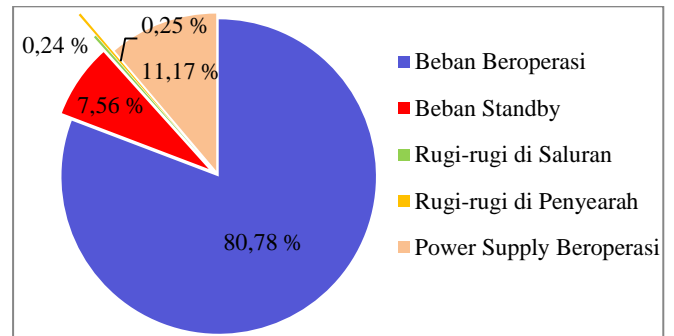
2. Kondisi Power Supply Tidak Ideal

Dari Tabel 12, jumlah total konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi *power supply* tidak ideal untuk mencatu daya beban residensial selama satu tahun mencapai 4.673,9 kWh dengan jumlah total rugi-rugi dalam pengujian sistem ini adalah 898,157 kWh. Energi listrik yang keluar hingga ke beban hanya mencapai 3.775,744 kWh pertahun. Sehingga efisiensi sistem ini bisa dihitung menggunakan persamaan (4). Berikut adalah perhitungan efisiensi purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi tidak ideal :

$$\eta_{dc\ tidak\ ideal} = \left(\frac{3.775,744}{4.673,9} \right) \times 100\%$$

$$\eta_{dc\ tidak\ ideal} = 80,07\%$$

Pemakaian energi listrik dalam sistem ini terdiri dari konsumsi untuk beban beroperasi sebesar 3.775,744 kWh pertahun dan konsumsi ketika beban *standby* yaitu 353,057 kWh pertahun. Kemudian konsumsi juga terjadi akibat rugi-rugi di saluran 11,404 kWh pertahun dan rugi-rugi di rangkaian penyearah beban DC sejumlah 11,478 kWh pertahun. Konsumsi saat *power supply* beroperasi turut dihitung sebagai rugi-rugi yaitu sebesar 522,218 kWh pertahun. Persentase konsumsi energi listrik pada purwarupa sistem DC 220 volt dengan kondisi *power supply* tidak ideal ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Persentase energi pada purwarupa sistem DC kondisi tidak ideal

C. Analisis Perbandingan Sistem AC 220 volt dan Purwarupa Sistem DC 220 volt

1. Efisiensi Daya

Dengan menggunakan data-data dari hasil pengukuran yaitu daya *input* dan daya *output* pada masing-masing sistem, maka tingkat efisiensi setiap sistem bisa dihitung menggunakan persamaan (2.4). Efisiensi daya ketiga sistem tersebut dianalisis perbedaannya berdasarkan karakteristik masing-masing sistem dalam mencatu daya beban listrik yang terhubung secara paralel. Dari hasil pengujian sistem ternyata jenis listrik AC dan DC sebagai catu daya beban listrik turut mempengaruhi besarnya daya yang diserap oleh beban untuk bekerja. Hasil perhitungan efisiensi daya dari masing-masing sistem ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Efisiensi daya setiap sistem

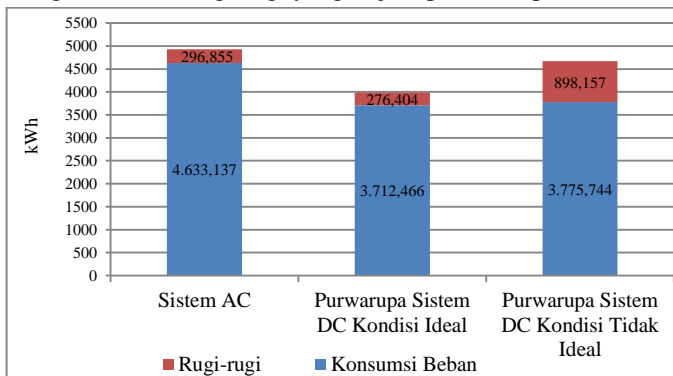
Nama Beban	Daya Beban (W)	Sistem AC 220 volt (%)	Purwarupa Sistem DC 220 volt Kondisi Ideal (%)	Purwarupa Sistem DC 220 volt Kondisi Tidak Ideal (%)
Smartphone	10	98,23	96,12	44,31
Lampu Pijar	50	99,87	99,88	79,93
Lampu Pijar	100	99,75	99,76	86,29
Lampu Pijar	130	99,68	99,70	88,50
Lampu CFL	50	98,60	97,99	74,07
Lampu CFL	100	98,39	98,25	84,11
Laptop	65	98,32	97,90	72,18
Setrika	330	99,72	99,30	91,76
Dispenser	420	99,67	99,67	93,34
Rice Cooker	350	99,67	99,68	93,24
Kompore	300	99,74	99,74	92,41
Kompore	600	99,48	99,48	94,32
Blender	200	99,90	99,76	85,64
LCD Monitor	23	98,61	96,71	49,81
Rata-rata		99,26	98,85	80,71

Berdasarkan Tabel 13, efisiensi setiap sistem saat mencatu daya suatu jenis beban residensial memiliki hasil berbeda-beda. Tingkat efisiensi rata-rata sistem AC 220 volt sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi rata-rata purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal dengan keunggulan hanya 0,41 %. Sementara apabila kedua sistem tersebut dibandingkan dengan efisiensi rata-rata pada purwarupa sistem DC 220 volt kondisi tidak ideal maka sistem AC 220 volt dan purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal jauh lebih unggul hingga 18 %.

Pada purwarupa sistem DC 220 volt kondisi tidak ideal, perubahan efisiensi yang terjadi cukup signifikan ketika mencatu daya beban residensial yang berbeda-beda. Kenaikan ataupun penurunan nilai efisiensi yang cukup jauh tersebut dipengaruhi oleh besarnya daya *power supply* yang beroperasi secara terus menerus dan rugi-rugi daya yang turut berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan arus beban di sistem.

2. Efisiensi Konsumsi Energi Listrik

Gambar 9 menampilkan perbandingan antara konsumsi energi listrik dan rugi-rugi yang terjadi pada setiap sistem.



Gambar 9. Perbandingan konsumsi energi listrik setiap sistem

Berdasarkan Gambar 9, jumlah total konsumsi energi listrik paling besar adalah pada sistem AC yaitu 4.929,992 kWh pertahun. Sementara jumlah total konsumsi pada purwarupa sistem DC lebih rendah, untuk kondisi ideal sebesar 3.988,87 kWh pertahun dan kondisi tidak ideal sebesar 4.673,9 kWh pertahun. Selisih antara sistem AC dengan purwarupa sistem DC kondisi ideal dan tidak ideal adalah 941,122 kWh pertahun dan 256,092 kWh pertahun.

Konsumsi energi listrik khusus untuk beban beroperasi pada sistem AC 220 volt adalah 4.633,137 kWh pertahun dimana jumlah tersebut lebih tinggi 920,671 kWh daripada konsumsi purwarupa sistem DC kondisi ideal yaitu hanya 3.712,466 kWh pertahun. Berdasarkan pada perbandingan tersebut, sistem AC ternyata membutuhkan konsumsi energi listrik yang lebih besar untuk mencatu daya beban residensial dengan kapasitas yang sama. Sehingga jika dibandingkan dengan purwarupa sistem DC, potensi penghematan energi listrik di sisi beban yang bisa dihasilkan oleh purwarupa sistem DC tersebut cukup besar. Karena dengan berkurangnya konsumsi energi listrik oleh beban maka akan berdampak pada menurunnya arus beban dalam sistem. Selain itu, keadaan tersebut mampu menunda kebutuhan untuk membangun unit pembangkit yang baru apabila terjadi kenaikan permintaan konsumsi energi listrik. Besarnya persentase konsumsi energi listrik dan rugi-rugi yang terjadi pada setiap sistem bisa ditampilkan dalam Tabel 14.

Tabel 14. Perbandingan efisiensi energi setiap sistem

Nama Sistem	Efisiensi (%)
Sistem AC	93,97
Purwarupa Sistem DC Kondisi Ideal	93,07
Purwarupa Sistem DC Kondisi Tidak Ideal	80,07

Berdasarkan Tabel 14, tingkat efisiensi konsumsi energi listrik sistem AC sedikit lebih unggul dari purwarupa sistem DC kondisi ideal. Meskipun selisih kedua sistem tersebut tidak terlampaui jauh yaitu hanya 0,9 %. Sementara efisiensi purwarupa sistem DC kondisi tidak ideal adalah yang paling rendah apabila dibandingkan dengan kedua sistem lainnya. Konversi daya dari listrik AC menjadi DC pada *power supply* yang selalu beroperasi menyebabkan adanya daya yang hilang selama proses penyaluran energi listrik ke beban. Sehingga hal ini bisa menjadi bahan pertimbangan terlebih dahulu untuk memprediksi besarnya potensi energi listrik yang akan hilang akibat rugi-rugi sebelum membuat suatu sistem yang menggunakan listrik DC sebagai catu daya utama beban-beban listrik di rumah tangga.

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan instalasi sistem AC 220 volt dan purwarupa sistem DC 220 volt. Kemudian dilakukan pengujian sistem menggunakan peralatan-peralatan listrik sebagai beban jenis residensial yang dihubungkan ke sistem secara paralel untuk diukur dan diambil beberapa variabel data yang dibutuhkan. Data-data hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan metode perhitungan dengan cara membandingkan tingkat efisiensi setiap sistem. Berikut adalah beberapa kesimpulan yang diperoleh :

DAFTAR PUSTAKA

1. Daya yang diserap oleh beban residensial kategori "I" ketika kondisi *standby* pada sistem AC 220 volt lebih besar jika dibandingkan dengan purwarupa sistem DC kondisi ideal. Selain itu, beban DC dalam kondisi *standby* hanya membutuhkan daya yang sangat kecil sekali apabila dicatu daya oleh listrik DC. Sehingga daya *standby* beban DC tersebut bisa di abaikan dalam perhitungan konsumsi energi listrik pada purwarupa sistem DC.
 2. Efisiensi daya rata-rata sistem AC 220 volt sedikit lebih unggul dibandingkan efisiensi daya rata-rata purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal dengan perbedaan hanya 0,41 %. Namun hal ini menunjukkan bahwa tingkat efisiensi purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal hampir sama efektifnya dengan sistem AC dalam mencatu daya beban residensial.
 3. Jumlah total konsumsi energi listrik yang dibutuhkan sistem AC untuk mencatu daya beban residensial selama satu tahun adalah 4.929,992 kWh pertahun. Sementara jumlah konsumsi pada purwarupa sistem DC untuk kondisi ideal yaitu 3.988,87 kWh pertahun dan kondisi tidak ideal sebesar 4.673,9 kWh pertahun.
 4. Konsumsi energi listrik pada purwarupa sistem DC lebih rendah daripada sistem AC. Selisih antara sistem AC 220 volt dan purwarupa sistem DC 220 volt mencapai 941,122 kWh pertahun untuk kondisi ideal dan 256,092 kWh pertahun untuk kondisi tidak ideal. Konsumsi energi listrik yang lebih rendah tersebut akan berdampak pada penurunan arus beban dalam sistem dan mampu menunda kebutuhan untuk membangun unit pembangkit yang baru apabila terjadi kenaikan permintaan konsumsi energi listrik.
 5. Total konsumsi energi listrik akibat rugi-rugi yang terjadi pada sistem AC 220 volt lebih besar jika dibandingkan purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal dengan selisih 20,451 kWh.
 6. Efisiensi konsumsi energi listrik sistem AC 220 volt sedikit lebih unggul dari purwarupa sistem DC 220 volt kondisi ideal dengan selisih hanya 0,9 %.
- [1] K. Techakittiroj and V. Wongpaibool, "Co-existence between AC-distribution and DC-distribution : in the view of appliances," in *International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE)*, 2009, pp. 421–425.
 - [2] S. Ramadoni, *Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Univeritas Muhammadiyah Yogyakarta, 2016.
 - [3] M. Wijaya, *Dasar-dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan, 2001.
 - [4] A. T. Elsayed, A. A. Mohamed, and O. A. Mohammed, "DC microgrids and distribution systems: An overview," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 119, pp. 407–417, 2015.
 - [5] F. Dastgeer and H. E. Gelani, "A Comparative analysis of system efficiency for AC and DC residential power distribution paradigms," *Energy Build.*, vol. 138, pp. 648–654, 2017.
 - [6] D. Nilsson and A. Sannino, "Efficiency analysis of low-and medium-voltage DC distribution systems," *Power Eng. Soc. Gen. ...*, pp. 1–7, 2004.
 - [7] M. A. Rodriaguez-Otero and E. O'Neill-Carrillo, "Efficient home appliances for a future DC residence," *2008 IEEE Energy 2030 Conf. ENERGY 2008*, 2008.
 - [8] K. Engelen *et al.*, "Small-scale residential DC distribution systems," *IEEE Benelux Young Res. Symp. Electr. Power Eng.*, no. 14, pp. 1–7, 2006.
 - [9] D. J. Hammerstrom, "AC versus DC distribution systems-did we get it right?," *2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, pp. 1–5, 2007.
 - [10] K. Hery, "Alat Ukur Listrik AC (Arus, Tegangan, Daya) dengan Port Paralel," *Tugas Akhir*, p. 17, 2010.
 - [11] Y. Arafat and M. Amin, "Feasibility study of low voltage DC house and compatible home appliance design," pp. 1–76, 2011.
 - [12] <http://kmiwire.com/en/products/lv-power-cables/copper-cables/1032.html>
 - [13] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/1/N/4/0/1N4007.shtml
 - [14] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/G/B/J/1/GBJ15005.shtml