

Perancangan *Uninterruptible Power Supply (UPS)* untuk Peningkatan Fleksibilitas Penggunaan dan Lebih Ekonomis dengan *Inverter Kendali Pulse Width Modulation (PWM)* Berbasis Mikrokontroler ATmega 328

Rakhmad Syafutra Lubis, Abdul Haris, Tarmizi

Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf, Kampus UNSYIAH Darussalam, Banda Aceh, Indonesia 23111

Abstrak

Seiring peningkatan beban listrik yang tinggi menyebabkan pemadaman listrik dapat terjadi dengan tiba-tiba saat sedang menggunakan elektronik dan tidak jarang akan menyebabkan kerusakan baik perangkat lunak maupun perangkat keras dari beban elektronik tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat menggunakan *Uninterruptible Power Supply (UPS)*, namun *UPS* juga masih memiliki kelemahan yang menjadi dasar pertimbangan penggunaannya belum meluas seperti harganya yang masih mahal dan backup time yang singkat, oleh karena itu dilakukan perancangan suplai daya ac satu fasa dengan pengendali *Inverter Pulse Width Modulation (PWM)* berbasis Mikrokontroler Atmega 328 untuk peningkatan fleksibilitas *UPS* menggunakan pola aliran arus sesuai *bidirectional ac power supply* dan disederhanakan dalam penelitian ini agar lebih ekonomis dengan jumlah diode dan MOSFET yang lebih sedikit. Total harmonic distortion (THD) tegangan 5,24 %, frekuensi keluaran 49,56 Hz, tegangan keluaran dan susut tegangan memenuhi standard dengan perangkat *UPS* terdiri dari satu transformator, adaptor dan inverter dengan frekuensi swtching dan filternya dapat disesuaikan.

Kata kunci: mikrokontroler; *uninterruptible power supply*; rectifier; inverter; pwm

Abstract

[Title : *UPS Design for Increased Flexibility of Use and More Economic with PWM Controlled Inverter Based on ATmega 328 Microcontroller*] As the high electrical load increases, power outages can occur suddenly while using electronics and often will cause damage to both software and hardware from the electronic load. To solve this problem, can use an *UPS*. but *UPS* also still has weaknesses that become the basis for consideration of its use not yet widespread, such as the price is still expensive and the backup time is short, Therefore, the design of a single-phase ac power supply with a *PWM Inverter controller based on the Atmega 328 Microcontroller* was carried out to increase the flexibility of the *UPS* using a current flow pattern according to a *bidirectional ac power supply* and simplified in this study to make it more economical with fewer diodes and MOSFETs. Total harmonic distortion (THD) voltage is 5.24%, output frequency is 49.56 Hz, output voltage and voltage drop meet the standard with the *UPS* device consisting of a transformer, adapter and inverter with adjustable switching frequency and filters.

Keywords: mikrokontroler; *uninterruptible power supply*; rectifier; inverter; pwm

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang pesat menjadi penyebab utama meningkatnya kebutuhan energi listrik khususnya peralatan elektronik. Peningkatan beban

dapat menyebabkan pemutusan suplai daya secara tiba-tiba saat sedang menggunakan perangkat elektronik. Pemutusan listrik yang tiba-tiba tersebut dapat menyebabkan kerusakan baik perangkat lunak maupun perangkat keras dari perangkat elektronik. Ini dapat menyebabkan kerugian, baik kecil maupun besar, tergantung besar perangkat yang sedang digunakan. Salah satu efek dari pemadaman listrik dapat

^{*)}Penulis Korespondensi.

E-mail: rakhmadslubis@unsyiah.ac.id

menghentikan pekerjaan kita. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan alat yang langsung menyalurkan aliran listrik ke beban juga dapat menyimpan daya listrik yang berasal listrik sumber (pembangkit) untuk disalurkan ke peralatan elektronik jika terjadi pemadaman secara tiba-tiba. Alat yang dibutuhkan tersebut sesuai dengan fungsi UPS yaitu suatu perangkat yang dapat menyalurkan daya ke beban kritis pada saat sumber utama terputus, akantetapi UPS juga memiliki kelemahan yang menjadi penyebab penggunaannya belum meluas, diantaranya harganya yang masih mahal, *backup time* yang singkat (10 sampai 20 menit), penggunaannya sebagian besar hanya mampu untuk cadangan listrik sistem komputerisasi, sehingga UPS lebih tepatnya digolongkan sebagai penyedia listrik darurat dibandingkan catu daya listrik (“Pilih Mana: UPS atau Inverter”, 2018).

Penelitian UPS terkait dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Koenig bahwa pada kondisi normal beban menarik daya dari sumber daya ac sampai muncul gangguan. Ketika gangguan terjadi, beban menarik daya dari inverternya. Perangkat penyimpanan energi diisi daya melalui konverter dc-ke-dc dua arah atau melalui inverter yang beroperasi dalam mode penyearah untuk meningkatkan kualitas daya dari sumber listrik ac (Naden & Bax, 2010). Penelitian yang serupa sebelumnya juga dilakukan oleh Hui dkk. (2000) menguji konverter tipe boost berbasis *inverter-thyristor* dengan kemampuan penyaluran daya dua arah dan dapat memperbaiki faktor daya *input*, bentuk gelombang arus *input* mendekati sinusoidal dan mengurangi harmonik pada suplai utama. Fitur aliran daya dua arah memungkinkan energi yang tersimpan dalam beban, seperti motor, untuk diregenerasi kembali ke sumber sehingga dapat terjadi peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan dan mengurangi ukuran kapasitor yang diperlukan. Penelitian lainnya dan berbeda yaitu desain UPS dengan *output* menggunakan pengendali STM32 dan algoritma PID untuk mengoptimalkan strategi pengendalian. Sirkuit tersebut merupakan UPS dilengkapi *boost converter* berbasis STM32 dengan formasi sirkuit hanya satu arah (Zhaowei dkk, 2020).

Perancangan UPS lainnya oleh Xu dkk., 2021 menggunakan rangkaian koreksi faktor daya aktif (APFC) berdasarkan struktur *lup* tertutup arus dan tegangan dilengkapi sirkuit *boost* serta inverter dengan kendali algoritma PID dan Fuzzy. Efektivitas metode diverifikasi dengan simulasi dan eksperimen. Faktor daya UPS dapat mencapai lebih dari 0,996 dengan rangkaian koreksi faktor daya APFC, sistem UPS memiliki ketahanan yang kuat dan waktu respon yang lebih singkat, pengaturan tegangan sistem tetap pada 0,083% dan pengaturan beban sekitar 0,056%. Sistem UPS ini dapat menyediakan daya AC 36V dengan toleransi 0.2V (50Hz dengan toleransi 0.2Hz) yang

stabil. Pada penelitian Xu dkk. ini jalur arus dari sumber ke beban cukup panjang, dan terpisah dari transformator.

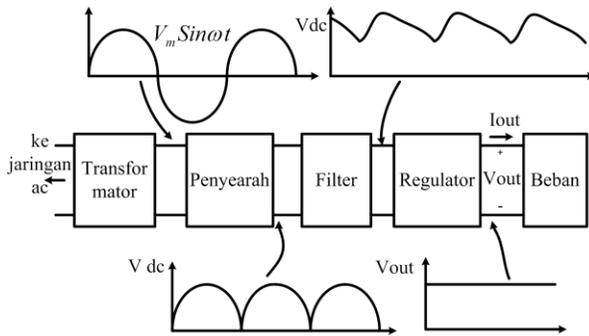
UPS yang ada saat ini cukup bervariasi kapasitas, waktu backup, struktur sirkuit, metode pengendaliannya dan jenis baterai. Waktu operasional UPS tergantung pada jenis dan ukuran baterai, laju pengosongan baterai, dan efisiensi inverter. Di samping itu semakin banyak fitur yang tersedia pada suatu UPS, seperti ragam metode pengendaliannya, maka harganya semakin mahal.

Secara garis besar, berbagai merek dan tipe UPS memiliki fungsi yang sama, yaitu: (1) mensuplai daya listrik sementara ketika terjadi pemadaman atau pemutusan pada listrik utama, (2) memberikan waktu yang cukup untuk menghidupkan generator darurat, (3) memberikan waktu untuk melakukan *back up* data-data penting dan melakukan pemadaman komputer sebagaimana mestinya, (4) mengamankan komputer dari kemungkinan kerusakan *software*, kehilangan data, atau kerusakan *hardware* karena pemadaman tidak normal, dan (5) melakukan stabilisasi tegangan listrik ketika ada perubahan tegangan *input* secara tiba-tiba sehingga tegangan *output* yang digunakan oleh komputer tetap sesuai standar (“Review 10 Rekomendasi Merk UPS”, 2022).

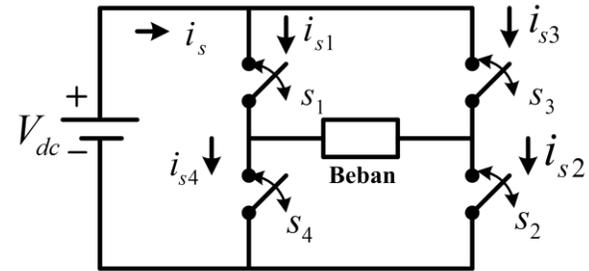
Berbagai merk UPS terbaik memiliki ukuran yang beragam, mulai ukuran yang dirancang hanya untuk satu komputer hingga yang dirancang untuk dapat memberi daya pada seluruh gedung. Dua bentuk paling umum dari UPS adalah bentuk menara dan *rack-mount*. UPS yang berbentuk menara biasanya digunakan untuk komputer desktop. Sedangkan UPS berbentuk *rack-mount* biasanya dipasang untuk server dan jaringan (“Review 10 Rekomendasi Merk UPS”, 2022).

Sumber daya yang digunakan pada UPS tergantung atau berasal dari baterai yang terpasang di dalamnya. Tiga jenis utama baterai yang biasanya terpasang pada berbagai merk UPS terbaik, antara lain *valve regulated lead acid* (VRLA), *flooded cell* (VLA) dan *lithium ion*. Waktu operasional UPS tergantung pada jenis dan ukuran baterai, laju pengosongan baterai, dan efisiensi inverter (“Review 10 Rekomendasi Merk UPS”, 2022).

Merk UPS terbaik terbagi dalam beberapa jenis dengan karakteristik kinerja yang berbeda-beda, antara lain jenis *standby*, *line interactive*, *double conversion on-line*, dan *delta conversion on-line*. Keempat jenis UPS tersebut memiliki fungsi dan struktur rangkaian umum yang sama yaitu jalur arus langsung dari sumber ke beban dan baterai, dalam kondisi normal, dan jalur arus melalui baterai ke inverter lalu ke beban pada kondisi gangguan. Perbedaannya pada kapasitas dan jenis baterai (“Review 10 Rekomendasi Merk UPS”, 2022).



Gambar 1. Blok Diagram Catu Daya DC



Gambar 2. Skema Inverter Jembatan Penuh

Dengan mengacu pada penelitian terdahulu dan metode atau jenis UPS yang ada saat ini dilakukan penelitian mengenai perancangan suplai daya ac tiga fasa dengan inverter terkendali PWM berbasis Mikrokontroler Atmega 328 untuk aplikasi sebagai UPS. Suplai daya ini memiliki kemampuan penanganan catu daya ac dan dc sehingga dapat berfungsi sebagai catu daya elektronik (*emergency power*) bagi beban kritis, dengan prototipenya pada prinsipnya terdiri dari rangkaian adaptor dan inverter. Pada penelitian ini jumlah switch total dan diode yang digunakan relatif lebih sedikit jika dibanding dengan penelitian (Lin dkk, 2020) dan (Xu dkk., 2021). Perbedaannya dengan penelitian sebelumnya dan UPS yang ada saat ini adalah bahwa kerja sistem dikendalikan oleh Arduino (ATmega 328) dengan pola aliran arus sesuai *bidirectional ac power supply* sehingga dapat diatur frekuensi pembawa, jumlah pulsa, dan nilai filter yang dipakai. *Switch* dilakukan oleh relay yaitu saat mode memakai sumber utama atau saat mode memakai sumber penyimpan dengan beban langsung terhubung transformator pada kedua mode tersebut sehingga dapat diperoleh efisiensi rangkaian dan efektifitas prototipe UPS yang dihasilkan. Jumlah diode yang digunakan jauh lebih sedikit dibanding dengan UPS konvensional (Rashid, 2008), demikian juga jumlah switch MOSFET lebih sedikit sehingga pengendaliannya lebih sederhana.

Dengan alat suplai daya hasil perancangan ini penggunaan UPS tidak hanya terbatas pada perangkat komputerisasi akan tetapi dapat ditingkatkan untuk diterapkan mensuplai perangkat elektronik rumah tangga yang lainnya dan juga memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan UPS di pasaran dengan menggunakan satu transformator, adaptor, inverter dan penggunaan jumlah diode dan MOSFET lebih sedikit serta frekuensi swtching dan filternya dapat disesuaikan dengan kondisi beban yang ada.

2. Bahan dan Metode

A. Power Supply

Power supply atau catu daya adalah perangkat yang menyalurkan daya listrik ke beban setelah memprosesnya untuk disesuaikan dengan kebutuhan beban. Proses yang dilakukan pada *power supply* diantaranya yaitu mengubah besar arus maupun tegangan, mengatur frekuensi, mengatur aliran daya, meningkatkan efisiensi, menurunkan gangguan harmonik total, memperbaiki faktor daya dan mengisolasi antara sumber dan beban. Berdasarkan tipe tegangan *output power supply* dapat dikategorikan menjadi *power supply dc* dan *power supply ac*. *Power supply dc* mengubah *output* dari sumber listrik ac ke *output dc* yang stabil. Tegangan ac pertama diperbaiki untuk memberikan dc berdenyut, dan kemudian ditapis untuk menghasilkan tegangan halus. Akhirnya, tegangan diatur untuk menghasilkan tingkat *output* yang konstan terlepas dari variasi pengaruh tegangan ac atau beban. Gambar 1 mengilustrasikan proses perbaikan, penapisan, dan regulasi dalam *power supply dc*. Rangkaian *power supply dc* dapat dibedakan menjadi 2 tipe berdasarkan sistem kerjanya, yaitu *stepdown transformer power supply* dan *switching power supply* (Rashid, 2001). Paper ini menerapkan *stepdown transformer power supply*.

B. Inverter

Inverter adalah *power supply ac* yaitu sirkuit yang mengubah daya dc ke ac. Gambar 2 menunjukkan konverter jembatan gelombang penuh yang dikendalikan dan dapat berfungsi sebagai inverter dalam beberapa kasus, tetapi sumber ac harus sudah ada sebelumnya. Pada paper ini digunakan inverter yang menghasilkan *output ac* dari *input dc* berupa baterai. Inverter digunakan dalam beberapa aplikasi seperti pengatur kecepatan motor ac, peralatan pembalik dc-ke-ac pada catu daya tak terputus (UPS) dan menjalankan peralatan ac dari baterai mobil (Hart, 2011).

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} \quad (1)$$

Persamaan 1 adalah besaran tegangan efektif keluaran tegangan ac inverter jembatan penuh pada Gambar 2. Dimana V_o adalah tegangan *output* inverter, T_o adalah periode awal, dan V_s adalah tegangan sumber.

Operasi pada Gambar 2, Mode 1, S_1 dan S_2 menutup maka tegangan berada pada beban pada periode positif. Mode 2, S_3 dan S_4 menutup maka tegangan berada pada beban pada periode negatif

C. Teknik Modulasi PWM dan Frekuensi Pembawa

Ada dua metode yang digunakan dalam proses pembangkitan *sinusoidal PWM* (SPWM) yaitu secara analog dan digital. Secara analog sinyal SPWM dibangkitkan dengan membangkitkan sinyal sinus sebagai referensi dan sinyal *triangle* (segitiga) sebagai *carrier* (pembawa). Sedangkan dengan cara digital maka dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler. Melalui metode digital ini dimanfaatkan barisan bahasa pemrograman untuk menghasilkan sinyal PWM.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi harmonisa frekuensi rendah dalam gelombang inverter adalah metode modulasi lebar pulsa sinusoidal (SPWM). Dalam metode ini, salinan referensi dari bentuk gelombang sinusoidal yang diinginkan, gelombang modulasi dibandingkan dengan bentuk gelombang segitiga menggunakan frekuensi yang jauh lebih tinggi, ini disebut gelombang pembawa. Sinyal penggerak yang dihasilkan menyebabkan beberapa kali pengaktifan sakelar inverter di setiap setengah siklus dengan lebar pulsa berbeda untuk menghasilkan gelombang tegangan kuasi-sinus. Lebar pulsa meningkat dari lebar yang sangat sempit di awal setiap siklus ke lebar maksimum di tengah setiap siklus. Kemudian lebar pulsa berkurang lagi setelah maksimum hingga lebar minimum pada akhir *periode* setengah siklus. Biasanya dalam pembanding ketika tegangan gelombang sinus melebihi tegangan gelombang segitiga, tegangan beban adalah $+V_{dc}$, dan ketika tegangan gelombang segitiga melebihi tegangan gelombang sinus, tegangan beban adalah $-V_{dc}$ (Pawar dkk., 2015).

$$m_a = \frac{\text{Sine } V_m}{\text{triangular } V_m} \quad (2)$$

Akurasi, atau kedekatan dengan gelombang sinus, dapat

dikendalikan oleh rasio modulasi frekuensi,

$$m_f = \frac{f_{\text{triangular}}}{f_{\text{sine}}} \quad (3)$$

dimana m_a adalah rasio modulasi amplitude dan m_f adalah rasio modulasi frekuensi.

D. Arduino

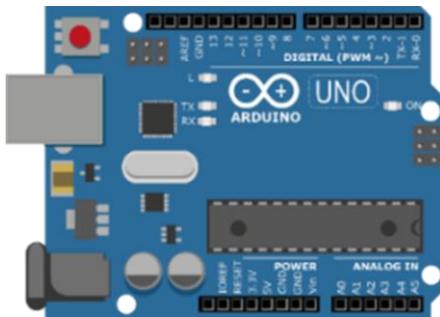
Arduino adalah *platform* elektronik sumber terbuka yang berbasis perangkat keras dan lunak yang mudah digunakan. Papan Arduino dapat membaca *input* cahaya dari sensor, jari pada tombol dan pesan *twitter* kemudian mengubahnya menjadi *output* yang dapat digunakan untuk mengaktifkan motor, menyalakan LED, menerbitkan sesuatu secara *online* dan lain-lain. Pada penerapan lanjut dapat digunakan memberi tahu subjek tentang apa yang harus dilakukan dengan mengirimkan serangkaian instruksi ke mikrokontroler di papan arduino. Untuk melakukannya, fungsi arduino tersebut, subjek menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang tersedia (berdasarkan pengkabelan) dan perangkat lunak Arduino ATmega 328 (IDE) seperti Gambar 3, mengikuti pemrosesan yang diinginkan (Iyuditya & Dayanti, 2011).

E. Uninterruptible Power Supply

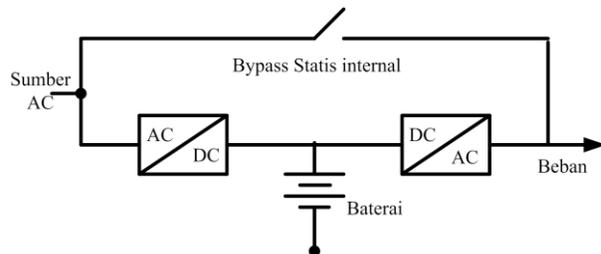
UPS adalah perangkat keras yang berfungsi memberikan suplai listrik ketika sumber utama (pembangkit) tidak berfungsi atau terjadi pemadaman listrik. Di dalam komponen UPS terdapat baterai yang menjadi sumber daya ketika listrik dari sumber utama terputus. Dalam kondisi normal, sumber utama sebagai sumber daya, secara otomatis baterai akan terisi penuh (Eaton, 2015).

Perangkat UPS berperan penting sebagai listrik cadangan sementara dengan *backup time* yang sangat cepat, dan hanya mampu bertahan dalam beberapa menit saja. Dalam waktu yang cukup singkat, bisa dimanfaatkan untuk menyimpan data yang belum sempat tersimpan dan mematikan perangkat-perangkat elektronik secara normal, contohnya, komputer dihubungkan dengan UPS agar tidak mengganggu perangkat keras dan lunak jika sumber utama terputus tiba-tiba (Eaton, 2015).

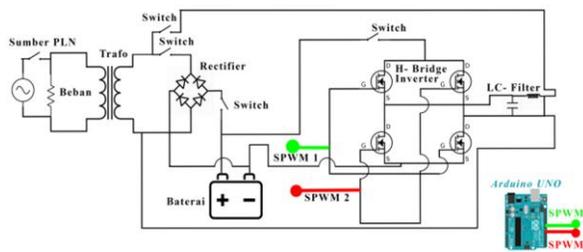
Secara umum ada beberapa topologi UPS yang memberikan tingkat perlindungan yang berbeda-beda,



Gambar 3. Arduino ATmega 328



Gambar 4. Topologi UPS Online



Gambar 5. Desain Rangkaian Prototipe

pemilihannya tergantung pada beberapa faktor seperti tingkat keandalan, ketersediaan, jenis peralatan yang dibebani, dan penerapan atau lingkungannya. Ada 4 jenis topologi yang umum yaitu topologi *online* tergolong yang umum digunakan (Rigoursyah dkk, 2020; Pratama and Sudiarto, 2020), topologi *ferroresonant*, topologi *line interactive* dan topologi *siaga*. Contoh topologi *online* terlihat pada Gambar 4.

F. Perancangan Skema Prototipe

Gambar 5 merupakan rangkaian yang digunakan untuk desain *power supply* ac dengan inverter PWM untuk aplikasi UPS berbasis ATmega 328. Detail komponen rangkaian tersebut terdiri dari *lowpass LC filter*, rasio modulasi amplitudo, rasio modulasi frekuensi dan penentuan frekuensi *carrier* serta pasilitas penulisan *coding* PWM. Aliran arus rangkaian mengikuti pola *bidirectional ac power supply* yang dimodifikasi sedemikian rupa dengan memanfaatkan komponen MOSFET untuk rangkaian inverter dalam satu arah aliran arus, diode untuk rangkaian adaptor (penyearah) dalam satu arah aliran arus, transformator untuk penaik dan penurun tegangan dalam dua arah aliran arus. Arduino sebagai pengendali inverter dengan PWM dan *switch* berupa relay untuk menukar mode penggunaan sumber ac langsung atau sumber baterai UPS. Kekhususan prototipe ini beban tetap berada langsung parallel dengan sumber (pembangkit) maupun transformator. Pada *bidirectional ac power supply* konvensional, penggunaan diode dapat mencapai empat kali lebih banyak dan penggunaan switch MOSFET dua kali lebih banyak. Penggunaan thyristor dalam proses *switching* juga dapat dua kali. Sedangkan pada prototipe ini hanya penggunaan transformator yang dua kali (dua arah) dalam kedua mode, yaitu sebagai penaik atau penurun tegangan.

G. Penentuan Frekuensi Carrier (Pembawa)

Berdasarkan teori maupun prakteknya jika frekuensi *carrier* semakin ditingkatkan (ketepatannya sesuai kapasitas beban yang ada) maka semakin mudah meredam THD jika ada filter yang terhubung ke *output*. Jadi cara yang optimal adalah memilih dengan tepat frekuensi *switching* atau *carrier* sistem sesuai tujuan yang ingin dicapai. Demikian juga filter yang terhubung dapat memiliki nilai yang lebih kecil atau besar (Pawar dkk., 2015). Frekuensi *carrier* yang dipilih pada

penelitian ini adalah 11 kHz dengan mencoba mengambil acuan untuk pengujian berdasar penelitian terdahulu (Pratama and Sudiarto, 2020). Nilai frekuensi tersebut diperoleh dengan mempertimbangkan aspek rugi *switching*, rugi daya, gangguan tegangan dan *noise*.

H. Penentuan Rasio modulasi Frekuensi dan Amplitudo

Dalam proses teknik modulasi SPWM yang akan diterapkan atau diaplikasikan maka dilakukan penulisan programnya untuk menjadi program (*source code*), dimana terlebih dulu dilakukan penentuan rasio modulasi amplitudo dan rasio modulasi frekuensi. Didapatkan m_a adalah 0,5 dan m_f adalah 220.

I. Perancangan Filter Low-Pass

Rangkaian LC Filter berfungsi sebagai penapis harmonisa tegangan dan arus *output* dari inverter. Rangkaian ini terdiri dari sebuah induktor 1 mH dan sebuah kapasitor non polaritas 209,34 nF yang tersusun secara paralel. Kemudian hasil keluaran filter ini akan dihubungkan dengan sebuah beban resistif hingga 100W untuk kelengkapan saat melakukan pengujian beban. Untuk memperhalus sinyal agar mendekati sinus murni maka filter disesuaikan dengan Chebyshev LC-Filter dengan nilai L_1 sebesar 0,014 H; C_1 sebesar 9103,55 pF dan 9103,55 pF untuk C_2 .

J. Pembuatan Simulasi Prototipe

Simulasi prototipe dilakukan pada perangkat lunak Proteus 8.6. Pada Gambar 6 dapat dilihat rangkaian simulasi prototipe dengan menerapkan PWM Arduino pada pengontrolan sinyal pulsa *gate* MOSFET.

K. Penulisan Coding PWM Menggunakan Arduino

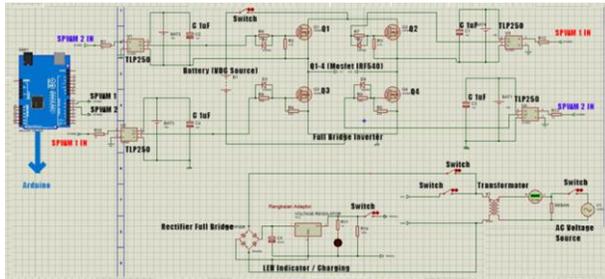
Pembangkitan sinyal pulsa PWM menggunakan proses digital yaitu dengan mengerjakan penulisan *coding* pembuatan bentuk sinyal melalui *software* Arduino sebelum di-*compile* pada mikrokontroler ATmega 328 seperti diperlihatkan pada Gambar 7.

L. Pengujian Simulasi Prototipe

Setelah semua perancangan simulasi selesai, selanjutnya adalah pengujian simulasi menggunakan perangkat lunak Proteus 8.6. Simulasi ini untuk menguji bentuk gelombang keluaran *rectifier*, gelombang PWM, gelombang keluaran inverter, dan gelombang keluaran inverter setelah penambahan filter.

M. Pengujian dan Analisis Hasil Prototipe

Setelah semua tahap selesai (perancangan perangkat lunak dan perangkat keras), selanjutnya adalah pengujian prototipe. Pada tahap ini, pengujian untuk memperoleh bentuk gelombang yang diharapkan, tegangan serta frekuensi keluaran inverter, dan THD tegangan. Kemudian dalam tahapan analisis dilakukan pengukuran seberapa jauh *error* antara simulasi dengan hasil perancangan, bagaimana pengaruh penambahan filter dan berapa kemampuan daya yang dihasilkan serta analisis pengujian variasi beban pada inverter.



Gambar 6. Skema Simulasi Prototipe

```

TestBaru
int i=0;
int w=0;
int O=0;
int sinPWM[]={1,13,26,38,51,64,76,89,101,113,124,135,146,156,166,176,185,193,201,209,216,222,227,232,237,
241,244,246,249,249,249,249,248,
246,244,241,237,
232,227,222,216,209,201,193,186,176,166,156,146,135,124,113,
101,89,76,64,51,38,26,13,1};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

int i(); // stop interrupts
TCRB0=0;//reset the value
TCR0B=0;//reset the value
TCR1=0;//reset the value
//to allow me to write bits in binary
TCRA=0b10100001;//phase correct pwm mode
TCRB=0b00000001; //no prescaler
TCR1B=0;//reset the value
TCR1B=0;//reset the value
TCR1=0;//reset the value
OCR1A=509;// compare match value
TCR1B=0b00001001; //write bit as 1 and no prescaler

TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
    
```

Gambar 7. Penulisan Coding Arduino Untuk PulsaPWM

3. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan beberapa data yaitu Gambar 8 sampai Gambar 11. Pada Gambar 8 dapat dilihat keluaran dari rangkaian penyearah atau *rectifier*. Gelombang kuning menunjukkan tegangan sumber dan gelombang merah menunjukkan tegangan keluaran. Selanjutnya pada Gambar 9 dapat dilihat hasil gelombang PWM yang digenerate menggunakan coding pada Arduino dalam perangkat lunak PROTEUS. Gelombang biru untuk siklus pertama dan gelombang kuning untuk siklus kedua. Pada Gambar 10 merupakan keluaran dari inverter sebelum dilakukan filter menggunakan *low pass LC filter*. Gelombang keluaran belum merupakan ac murni dan masih dipengaruhi bentuk PWM. Gambar 11 menunjukkan gelombang keluaran inverter setelah dilakukan penyaringan ripple menggunakan *low pass LC filter*. Meskipun masih memiliki *ripple* namun gelombang keluaran sudah semakin mendekati bentuk tegangan ac.

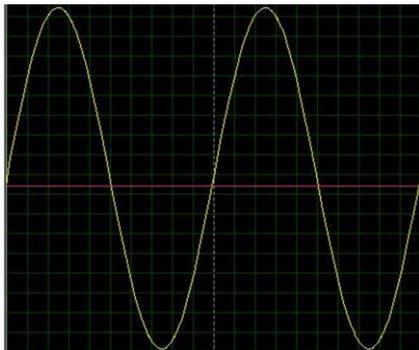
B. Pengujian Prototipe

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan beberapa data yaitu Gambar 12 sampai Gambar 17 dan Tabel 1 sampai dengan Tabel 3. Pengujian *dc converter / rectifier* dilakukan dengan mengujikan bentuk gelombang *input* dan *output* serta pengukuran nominal

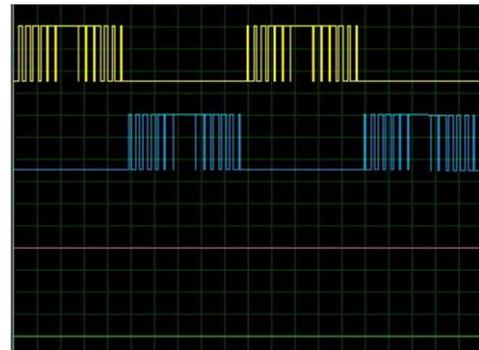
tegangan *input* dan *output* yang dihasilkan oleh *rectifier*. Gambar 2 adalah bentuk gelombang *input* dan *output* dc converter. Pengukuran menunjukkan bahwa tegangan sumber 222,4V berhasil diturunkan menjadi 16,56V dan disearahkan menjadi tegangan dc sebesar 16,19V.

Pada Gambar 14 dinunjukkan keluaran dari inverter tanpa beban dan belum dihubungkan filter *low-pass*, sehingga gelombang tegangan keluaran masih belum berbentuk sinusoidal murni atau mendekati sinus murni, namun sudah bersifat sinusoidal. Dengan bentuk seperti ini beban yang dapat dilayani hanya resistif, sedang induktif dan kapasitif belum dapat diterapkan. Sedangkan pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penyaringan atau filter *low pass* terhadap tegangan keluaran inverter didapatkan gelombang atau sinyal tegangan yang semakin mendekati sinusoidal murni atau ac murni dengan sedikit *ripple*.

Pengujian frekuensi *carrier* yang dilakukan mendapatkan data seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Tabel 1. hasil pengujian frekuensi *carrier* untuk PWM inverter menunjukkan bahwa percobaan dalam merubah nilai dari frekuensi *carrier* memberikan dampak yang besar dalam hasil yang didapatkan, terutama pada tegangan jatuh, distorsi *harmonic*, daya keluaran dan besaran filter yang dipakai. Percobaan 1 memiliki nilai frekuensi pembawa yang jauh lebih tinggi dari



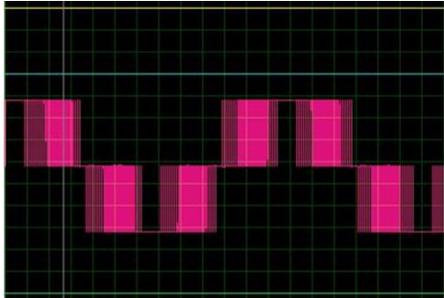
Gambar 8. Gelombang Output Rectifier Pada Simulasi



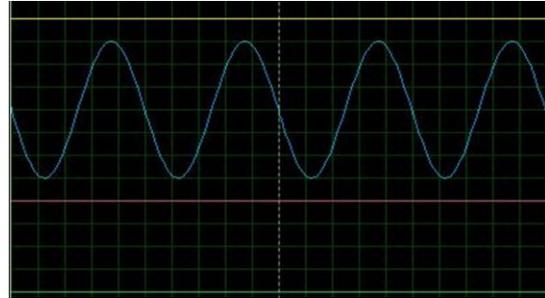
Gambar 9. Gelombang pwm pada Simulasi

percobaan 2 dan 3. Percobaan 1 memiliki frekuensi yang juga jauh dari ketetapan standar frekuensi pembawa yang bernilai 6 kHz hingga 20 kHz (Iyuditya & Dayanti, 2013) dan juga mempertimbangkan berdasarkan efeknya

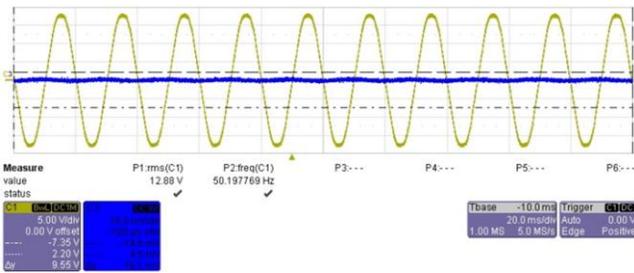
terhadap tegangan (Pratama & Sudiarto, 2020). Percobaan dilakukan untuk melihat komparasi efek yang timbul saat perubahan frekuensi diterapkan. Perubahan nilai frekuensi pembawa diatur dengan merubah jumlah



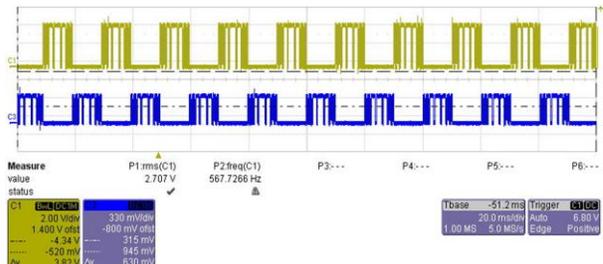
Gambar 10. Gelombang Inverter Tanpa Filter (Simulasi)



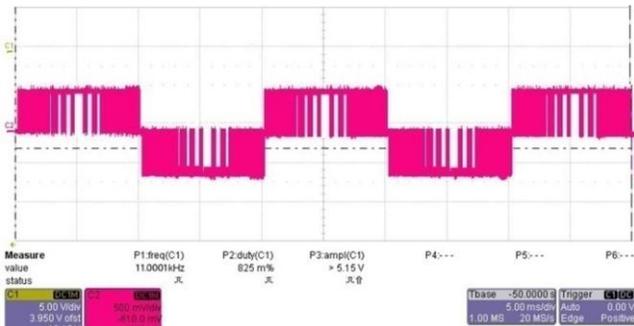
Gambar 11. Gelombang Inverter Setelah Filter Pada Hasil Simulasi



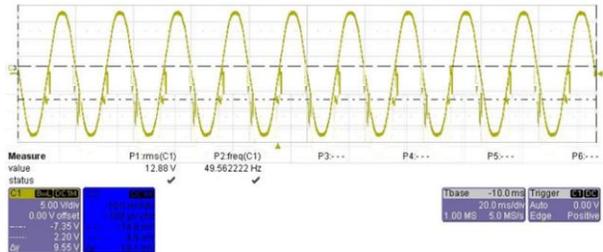
Gambar 12. Keluaran Osiloskop dc Converter



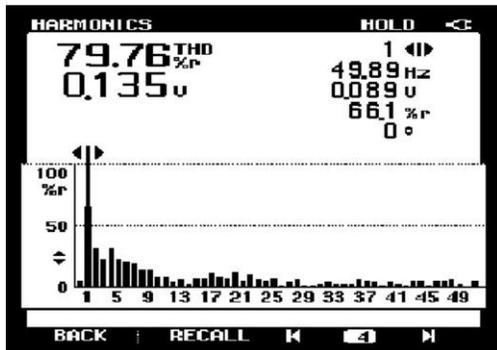
Gambar 13. Keluaran Osiloskop PWM



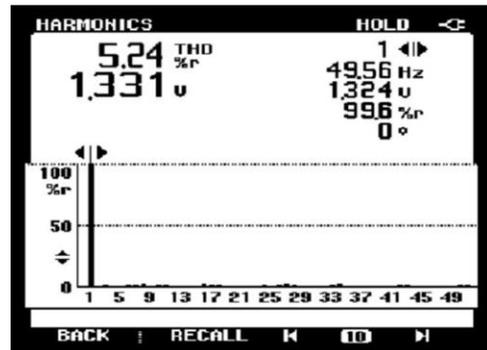
Gambar 14 Keluaran Osiloskop Inverter Tanpa Filter



Gambar 15. Keluaran Osiloskop Inverter Setelah di Filter



Gambar 16 THD tegangan sebelum difilter



Gambar 17 THD tegangan setelah difilter

Tabel 1. Pengujian Frekuensi *Carrier* (pembawa) untuk PWM Inverter

Parameter Komparasi	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Frekuensi Pembawa	31000 Hz	6000 Hz	11000 Hz
Jumlah Pulsa	310 Pulsa	60 Pulsa	110 Pulsa
Perioda Frek. Pembawa	31,8 μ s	166,6 μ s	90,9 μ s
Filter	2,2 mH;4,61 mF	1 mH;703,62 nF	0,014 H; 9103,55 pF dan 9103,55 pF
Daya Output	5 ~ 6 Watt	Hingga 100 Watt	Hingga 100 Watt
Frekuensi Output	49,68 Hz	49,51 Hz	49,56 Hz
Drop Voltage	50 Volt	5 Volt	8 Volt
Harmonisa sebelum filter	71,36 %	86,96 %	79,76 %

Tabel 2. Data Proses Pengisian Baterai

No.	Arus Pegecasan	Tegangan Baterai Terukur	Kondisi	Saklar
1	0,30 A	11,90 Volt	Charging	Menutup
2	0,29 A	12,15 Volt	Charging	Menutup
3	0,27 A	12,35 Volt	Charging	Menutup
4	0,22 A	12,68 Volt	Charging	Menutup
5	0,17 A	12,90 Volt	Charging	Menutup
6	0,12 A	13,37 Volt	Charging	Menutup
7	0,07 A	13,80 Volt	Full Charge	Membuka

Tabel 3. Data Pengukuran Menggunakan Beban Resistif

Sumber dc	Nilai Output				Jenis Beban
	Tegangan	Arus	Daya	Frekuensi	
\pm 12V	235,0 V	0,042A	10 Watt	49,56 Hz	Lampu Pijar
\pm 12V	230,9 V	0,064A	15 Watt	49,56 Hz	Lampu Pijar
\pm 12V	228,7 V	0,109A	25 Watt	49,56 Hz	Lampu Pijar
\pm 12V	225,2 V	0,177A	40 Watt	49,56 Hz	Lampu Pijar
\pm 12V	221,8 V	0,450A	100 Watt	49,56 Hz	Lampu Pijar
\pm 12V	235,0 V	0,042A	10 Watt	49,56 Hz	Lampu Pijar

pulsa dan perioda frekuensi pembawa seperti terlihat pada Tabel.1

Pada pengujian frekuensi keluaran dan THD yang dihasilkan didapatkan data seperti terlihat pada Gambar 16 dan Gambar 17. Meskipun penerapan filter dapat menyebabkan penurunan frekuensi dalam rentang yang kecil dari 49,89 Hz menjadi 49,56 Hz, namun penerapan filter sangat penting dilakukan karena pengaruhnya kecil saat pembebanan UPS dilakukan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3, dengan frekuensi tetap berada pada nilai 49,56 Hz. Setelah filter diterapkan spektrum harmonik hampir tidak terlihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17 dibanding pada Gambar 16.

Persentase THD yang dihasilkan oleh prototipe UPS pada keluaran inverter menunjukkan angka 79,76% sebelum filter diterapkan dan menurun menjadi 5,24% setelah filter diterapkan. Berdasarkan ketentuan THD menurut standar (IEEE : 519-2014) yang menentukan nilai sebesar 5% untuk tegangan rendah, sehingga THD yang didapatkan prototipe sudah mendekati ketentuan standar yang menjadi acuan tersebut (Cheng, 2014).

C. Pengujian Charging dan Uji Beban

Kondisi pengecasan baterai dapat dilihat pada Tabel 2. Pengecasan baterai dilakukan dari kondisi sisa tenaga baterai sesaat sebelum diuji, hingga kondisi *full-charge*, dapat disesuaikan dengan standar (Federal Register, 2020). Kemudian dilakukan pengujian menggunakan beban jenis resistif bervariasi berupa beban penenerangan. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa tegangan keluaran masih berada dalam rentang tegangan yang memenuhi standar yang ditetapkan oleh PLN dengan variasi -10% dan +5%, Hal ini dinyatakan dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 1: 1995). Untuk pengujian tegangan dengan beban yang ditetapkan juga tidak mengalami susut tegangan (*drop voltage*). Susut tegangan yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000 dan tahun 2011 yaitu untuk penerangan sebesar 2 % (Badan Standarisasi Nasional, 2000) dan (Badan Standarisasi Nasional, 2011). Frekuensi pada perubahan pembebanan ac dapat dipertahankan pada nilai 49,56 Hz yaitu

mendekati rujukan standar 50Hz ($\pm 5\%$) berdasarkan pada (Socomec Group, 2021)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil penelitian dan analisis yang telah diuraikan menunjukkan bahwa prototipe suplai daya ac satu fasa (untuk aplikasi UPS) dengan inverter kendali PWM berbasis mikrokontroler ATmega 328, berhasil dilaksanakan. UPS mampu beroperasi mencapai 100 watt dengan tegangan *output* standar (sesuai hasil pada Tabel 3). Frekuensi *carrier* yang dipilih berdasarkan perhitungan rasio indeks modulasi dengan pertimbangan *losses* daya, dan tegangan susut dengan derau atau *noise* yang lebih minimum adalah 11kHz (sesuai hasil pada Tabel 1). Sesuai Tabel 3 tegangan keluaran dapat memenuhi Standar SPLN 1: 1995, juga tegangan susut yang terjadi memenuhi standar PUIL 2000 dan 2011. Kemudian besaran persentase THD tegangan rendah sudah mendekati standar yang diterapkan (IEEE : 519-2014) dan frekuensi keluaran 49,56 Hz, sesuai Tabel 3, juga mendekati rujukan standar 50Hz ($\pm 5\%$) berdasarkan *General Catalogue UPS and Critical Power Solution*. Penggunaan jumlah diode jauh lebih sedikit dibanding *bidirectional ac power supply* konvensional dan switch MOSFET setengahnya diganti dengan switch berupa relay tetapi dapat menjalankan fungsi yang sama serta fungsi pengendalian yang lebih sederhana sehingga lebih ekonomis.

Ucapan Terima Kasih

Pembuatan UPS dengan kendali PWM ini telah dapat diselesaikan dengan peran serta yang sangat penting dari Laboratorium Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro dan Komputer (JTE&K) USK, terima kasih kami kepada Laboran dan Ketua Jurusan.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta *Patent SNI 04-0225-2000*.
- Badan Standarisasi Nasional (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). SNI 0225:2011.
- Cheng, D. J. (2014). IEEE Standard 519-2014 : Compliances, Updates, Solutions. *France: Schneider Electricity*.
- Eaton Powering Bussiness. (2015). The Eaton UPS and Power Management Fundamental Handbook, *New York: EATON Powering Bussiness*.
- Federal Register. (2020). Departement of Energy, 10 CFR Part 430 [Docket Number EERE-2016-BT-STD-0022] RIN 1904-AD69. Energy Conservation Program: Energy Conservation Standards for Uninterruptible Power Supplies. *Federal Register /Vol. 85, No. 7 / Friday, January 10, 2020 /Rules and Regulations*, pp.1447-1503.
- Hart, D. W. (2011). Power Electronics. *Valparaiso, Indiana: The McGraw-Hill Company*.
- Hui, S. R., Chung, H. S. H. and Yip, S. C. (2000). A Bidirectional ac–dc Power Converter with Power Factor Correction. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 15(5), 942-949.
- Iyuditya and Dayanti E. (2013). Sistem Pengendali Lampu Ruangan Secara Otomatis Menggunakan PC Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO. *Jurnal Online ICT STMIK IKMI*, 10, 1-7.
- Lin, Q., Cai, F., Wang, W., Chen, S., Zhang, Z. and You, S. (2020). A High Performance Online Uninterruptible Power Supply UPS System Based on Multitask Decomposition. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(6), 7575 – 7585.
- Naden, M. and Bax, R. (2010). Generator with dc boost and split bus bidirectional dc-to-dc converter for uninterruptible power supply system or for enhanced load pickup. *United States Of America Patent US 7,786,616 B2*, 31 August.
- Pawar, S., Kulkarni A. and Jambulkar, C. (2015). Effect of Carrier Frequency on the Performance of Three Phase SPWM Inverter, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 4(9), 3019-323.
- Perusahaan Listrik Negara. (1995). Tegangan-Tegangan Standard. *Indonesia Patent O63.WO594/DIR/1995*, 25 August.
- Pilih Mana : UPS atau Inverter. (2018, 30 November) Diakses dari <https://www.selera.id/pilih-manaps-atau-inverter/>
- Pratama, R. L., and Sudiarto, B. (2020). Karakteristik Disturbansi di Rentang Frekuensi 9 kHz - 150 kHz pada Sistem UPS. *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*, 17(2), 217 – 228.
- Rashid, M. H. (2001). *Power Electronic Handbook*. Pensacola, Florida: Academic Press.
- Rashid, M. H. (2008). *Power Electronics, Circuit, Devices and Appliocation*. Purdue University, Third Edition, Prenticehall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Review 10 Rekomendasi Merk UPS Terbaik (Terbaru 2022). (2022, 9 April) Diakses dari <https://ceklis.id/21522/merk-ups-terbaik/>.
- Rigoursyah, M. A. F., Kurniawan, E., and Yuwono, S., (2020). Perancangan UPS Berbasis Sumber Energi Listrik Terbarukan dan Termonitor Perangkat IOT. *Prodi S1 Teknik Elektro*,

- Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, e-
Proceeding of Engineering*, 7(3), 8730-8740.
- Socomec Group. (2021). UPS and Critical Power Solutions, General Catalogue, Socomec Innovative Power Solution, R.C.S. Strasbourg B 548 500 149.
- Xu, S., Li, C., and Li, B. (2021). A Low Voltage Single Phase Online Uninterruptible Power Supply System Based on APFC and Fuzzy PID Algorithm. *Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2021.3132659, IEEE Access*, 9, 162389-162400.
- Zhaowei, L., Jiapeng, L., and Guorong, Z. (2020). Design and Implementation of Online Uninterruptible Power Supply System Based on STM32. *ICAESSE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 647 (2021) 012009*, Wuhan University of Technology, Hubei