



Laporan Penelitian RISPRO KOMERSIL

**Produk Elektronika Daya Inovatif Untuk Sistem Listrik
Hibrid Energi Terbarukan Pada Rumah Mandiri Energi
Masa Depan**

KETUA TIM:

Prof. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman

Universitas Hasanuddin

MAKASSAR 2020

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	1
BAB 1 – PENDAHULUAN	2
1.1 1.1 Latar Belakang	2
1.2 1.2 Tujuan Riset	4
1.3 1.3 Metode Riset	5
1.4 1.4 Anggota Tim Riset	6
BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA DAN KEBARUAN RISET	9
BAB 3 – PELAKSANAAN KEGIATAN RISET	11
1.5 3.1 Analisis Inverter DC-AC Satu Fasa + Filter	14
3.1.1 Simu	15
3.1.2 Iasi Inverter dengan SPWM	15
3.1.3 Analisis THD melalui Simulasi	16
3.1.3 Hasil Simulasi Daya dan Efisiensi Daya	17
3.2 Perancangan dan Pengujian Inverter DC-AC Satu Fasa + Filter	20
3.2.1 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol PWM	20
3.2.2 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SPWM	22
3.3 Perancangan Rangkaian Charger + MPPT	24
BAB 4 – HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	28
4.1 Merek Dagang	29
4.2 Desain Industri	29
4.3 Paten-paten	30
4.4 Prototipe Konverter, Inverter + Filter	30
4.5 Prototipe Modul MPPT dan Charger	30
4.6 Paper pada Jurnal Internasional Terindeks SCOPUS	31
4.7 Paper Seminar Internasional	31
4.8 Dokumen Studi Kelayakan	32
BAB 5 – KONTRIBUSI MITRA	33
BAB 6 – PENUTUP	35
6.1 Persentasi Capaian Indikator Kinerja Tahun I	35
6.2 Kendala-Kendala yang Dihadapi	35

DAFTAR ISI

6.3	Rencana Kegiatan Tahun II	35
6.4	Rencana Kegiatan Tahun III	36
	Lampiran	39

RINGKASAN EKSEKUTIF

Gagasan fundamental dari penelitian ini adalah terciptanya sebuah produk nasional yang diharapkan dapat bersaing dengan produk internasional, berupa peralatan suplai daya listrik berbasis sumber hibrid tenaga surya dan jala-jala AC (*Solar-Grid Electric Controller*) untuk rumahtangga yang bekerja secara adaptif dan otomatis, sehingga suplai listrik rumah-rumah dan/atau kantor-kantor menjadi handal dan efisien. Di era energi terbarukan nanti, produk ini berpotensi menjadi barang kebutuhan utama, mengingat energi listrik telah menjadi kebutuhan dasar manusia dewasa ini. Peningkatan efisiensi produk teknologi solar sel akan menjadi katalisator bagi kebutuhan peralatan suplai daya listrik ini. Produk yang dikembangkan memiliki potensi pangsa pasar yang tinggi. Fitur-fitur yang menjadi nilai tambah produk metode kopling DC dari multi sumber DC dan AC, mekanisme *self-diagnostic* untuk meningkatkan keamanan operasi, *real-time monitoring* melalui komputer dan *smartphone* yang didukung oleh teknologi layanan *Internet-of-Things* (IoT) yang kini sedang berkembang, serta mekanisme *adaptive optimal supply* yang mampu merekonfigurasi konversi/aliran daya menyesuaikan kondisi kapasitas suplai dan kebutuhan listrik. Oleh karena itu, penemuan-penemuan pada penelitian ini bukan saja berpotensi menghasilkan kontribusi-kontribusi ilmiah yang sangat penting dalam bidang manajemen energi skala *micro-grid*, namun juga merupakan hasil implementasi dari paten kami yang telah *granted* (No. Sertifikat: IDP000054426) dan merek dagang terdaftar eliTREN® (No. Permohonan DID2019013099). Selain itu, riset ini akan melahirkan Hak Kekayaan Intelektual (HKI) yang lain, meliputi paten-paten baru khususnya paten internasional, hak-hak cipta, dan desain produk industri. Dukungan mitra industri, serta institusi luar negeri (Jerman), sarana dan prasarana proses manufaktur yang tersedia di laboratorium kami, serta tingkat kesiapan teknologi (TKT) pada level 6 akan sangat membantu keberhasilan kegiatan litbang ini. Kerjasama riset dengan lembaga riset Jerman diharapkan dapat meningkatkan *branding value* dari produk bangsa kita.

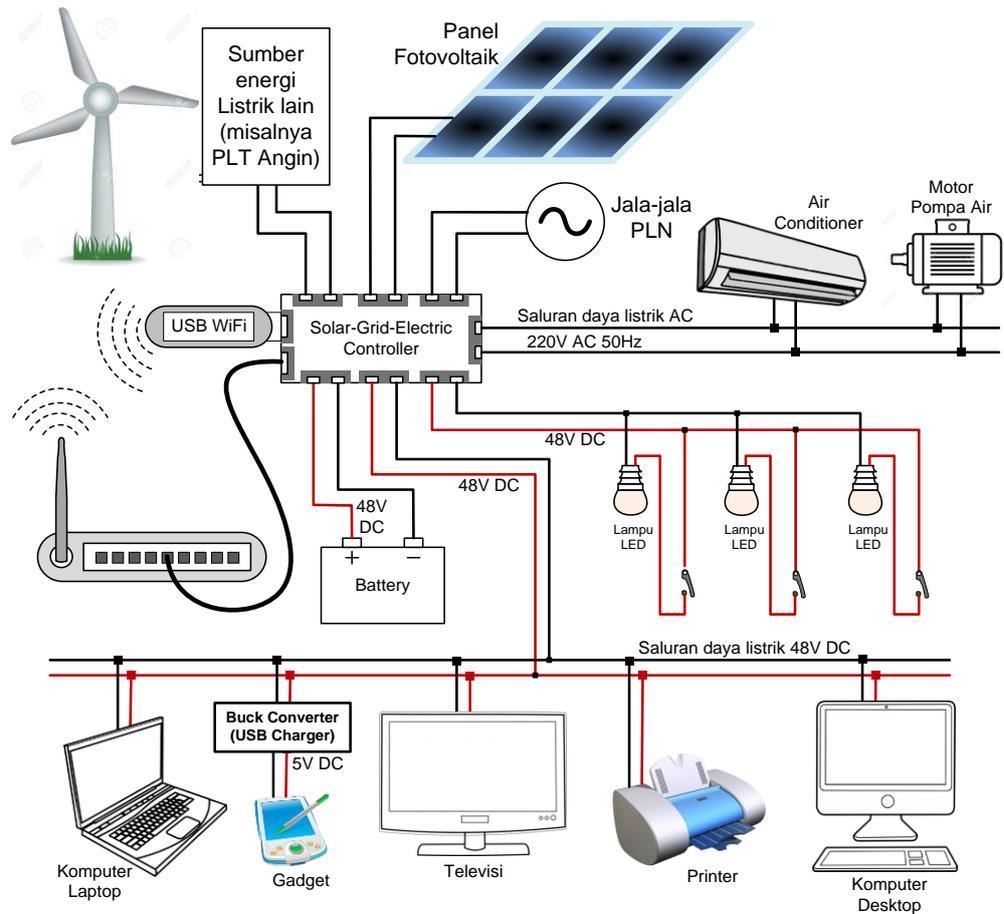
BAB 1 – PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isu mengenai saluran DC di rumah-rumah yang disuplai oleh sumber energi terbarukan sudah ramai dibicarakan di forum-forum internet, dan pada beberapa forum resmi oleh industri dan academia. Dalam forum-forum tersebut, pertanyaan-pertanyaan yang muncul adalah berapa tegangan DC yang terbaik untuk distandarkan, bagaimana tingkat keamanannya dan bagaimana kesiapan seluruh produsen produk-produk elektrik dan elektronika untuk menyediakan terminal suplai DC pada produk mereka. Besar kemungkinan tegangan DC standard yang mesti dibuat dirumah diantaranya 5V (USB *charging* untuk *gadget/ smartphone*), 24V/48V (untuk komputer PC, laptop, TV, radio, lampu LED). **Gambar 1.1** memperlihatkan gambaran sistem instalasi masa depan di rumah. Ada beberapa alasan penting dan sangat logis, yang menjadikan sistem listrik ganda AC dan DC akan sangat dibutuhkan di masa yang akan datang.

Pertama, Teknologi energi baru dan terbarukan seperti fotovoltaiik (sel surya) [VDI-Reporter, 2013], sel bakar (*fuel cell*), thermoelectric generator (TEG), yang terus mengalami perkembangan akan mencapai masa-masa puncaknya. Ditambah lagi bila seandainya efisiensi sel-sel surya telah mencapai angka di atas 80% atau bahkan kurang sedikit dari angka itu, maka dapat diprediksi bahwa atap-atap rumah dan perkantoran akan dihiasi oleh panel surya sebagai sumber tenaga listrik gratis dan sangat efisien. Isu ini akan semakin meluas dengan sangat cepat, bila didukung oleh kebijakan pemerintah.

Kedua, beberapa perangkat elektronika, yang dapat terhubung ke *Solar-Grid Electric Controller* seperti *printer*, perangkat radio/audio, televisi plasma/LED, monitor komputer, komputer *desktop*, *handphone*, *smartphone*, lampu LED, dan lain-lain, membutuhkan sumber listrik DC. Lampu LED DC 12V/48V kini sudah diproduksi massal dan sudah ditemukan di pasaran. Bahkan AC-inverter, produk mutakhir *Air Conditioner* saat ini, pada dasarnya juga membutuhkan sumber listrik DC. Dalam AC-inverter, sumber listrik AC diubah terlebih dahulu ke DC, kemudian memanfaatkannya sebagai sumber daya untuk *variable-frequency driver* yang mengatur kecepatan putaran motor AC-nya. Lemari pendingin pun, pada dasarnya dapat memanfaatkan motor DC menggantikan motor AC yang sangat labil menghadapi situasi *spike*, yaitu listrik pada jala-jala yang terputus lalu tersambung kembali dalam waktu yang amat singkat. Sementara itu, hampir semua sumber energi baru dan terbarukan memberikan hasil konversi energi dalam bentuk listrik DC. Jadi, adalah sangat logis dan efisien, bila suplai daya listrik DC juga tersedia pada rumah-rumah mandiri energi modern di masa depan.



Gambar 1.1 Diagram aplikasi dari produk *Adaptive Solar-Grid Electric Controller*.

Ketiga, biasanya sebuah UPS (*Uninterruptible Power Supply*) memanfaatkan sumber listrik AC dari jala-jala instalasi listrik rumah atau perkantoran, lalu, mengkonversikan listrik AC tadi menjadi listrik DC, agar dapat disimpan ke dalam komponen penyimpanan energi listrik seperti baterai atau superkapasitor. Selanjutnya, inverter DC/AC digunakan untuk mengubah tegangan DC dari komponen penyimpanan energi listrik kembali menjadi tegangan AC. Selanjutnya, perangkat elektronik yang biasanya menggunakan UPS misalnya komputer desktop dan monitor komputer pada dasarnya membutuhkan sumber listrik DC. Oleh karena itu, perangkat komputer memiliki rangkaian penyearah (*rectifier*) yang mengubah lagi sumber listrik AC dari UPS menjadi listrik DC. Dengan demikian, langkah konversi yang berlebihan terjadi pada UPS yang ada di pasaran saat ini, yaitu dari jala-jala AC hingga luaran DC untuk *mainboard* komputer. Proses konversi berlebih ini memberi kontribusi terhadap ekstra rugi-rugi daya listrik yang sangat signifikan.

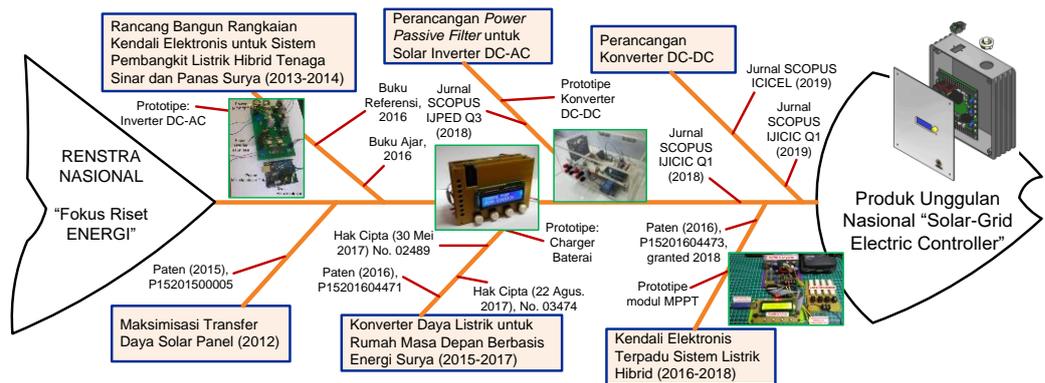
1.2 Tujuan Riset

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menciptakan beberapa invensi (temuan) yang berpotensi melahirkan Kekayaan Intelektual (HaKI). Tujuan dan sasaran penelitian ini adalah:

1. Menciptakan produk nasional yang dapat bersaing dengan produk-produk import berupa peralatan sistem suplai listrik rumah tangga modern (*Solar-Grid Electric Controller*) untuk skala 1200W hingga 5000W yang memiliki fitur inovatif berupa saluran majemuk masukan-keluaran listrik AC dan DC, dimana saluran DC ini merupakan salah satu fitur instalasi listrik masa depan berbasis energi baru dan terbarukan, yang pada umumnya merupakan sumber listrik DC;
2. Menghasilkan temuan inovatif dan kontribusi-kontribusi novel yang dapat memberikan nilai tambah pada produk sehingga mampu meningkatkan *positioning* produk di mata konsumen;
3. Membentuk peta jalan teknologi dan *Center of Excellence* bidang pengembangan *Solar Electric Controller* yang berorientasi pada kebutuhan pasar;
4. Meningkatkan kepercayaan diri bangsa, sebagai masyarakat yang melek teknologi dan mampu menguasai penciptaan teknologi tinggi;
5. Membangun jejaring kemitraan dengan lembaga riset luar negeri (dalam hal ini University of Applied Sciences, Frankfurt dan Ruhr University of Bochum), dalam rangka membangun *branding value* produk yang lebih kuat.

Menciptakan persaingan dengan perusahaan terkemuka, yang telah lama berkutat dalam bisnis produk ini, tentu tidaklah mudah. Kemungkinan untuk merangkak agar dapat bersaing dengan kompetitor tersebut diperlukan strategi bisnis atau strategi *branding* produk yang tepat. *Branding* produk akan dilakukan dengan menggandeng lembaga riset dan produsen terkemuka di Jerman untuk bekerjasama dalam mengembangkan produk ini. Pemanfaatan pihak ketiga, misalnya DAAD (Lembaga Pertukaran Akademik Jerman) untuk mempermudah proses penciptaan jalinan kerjasama tersebut. Citra atas produk nasional yang dikembangkan melalui kerjasama riset tersebut akan dapat mengangkat nilai jual dan *positioning* produk.

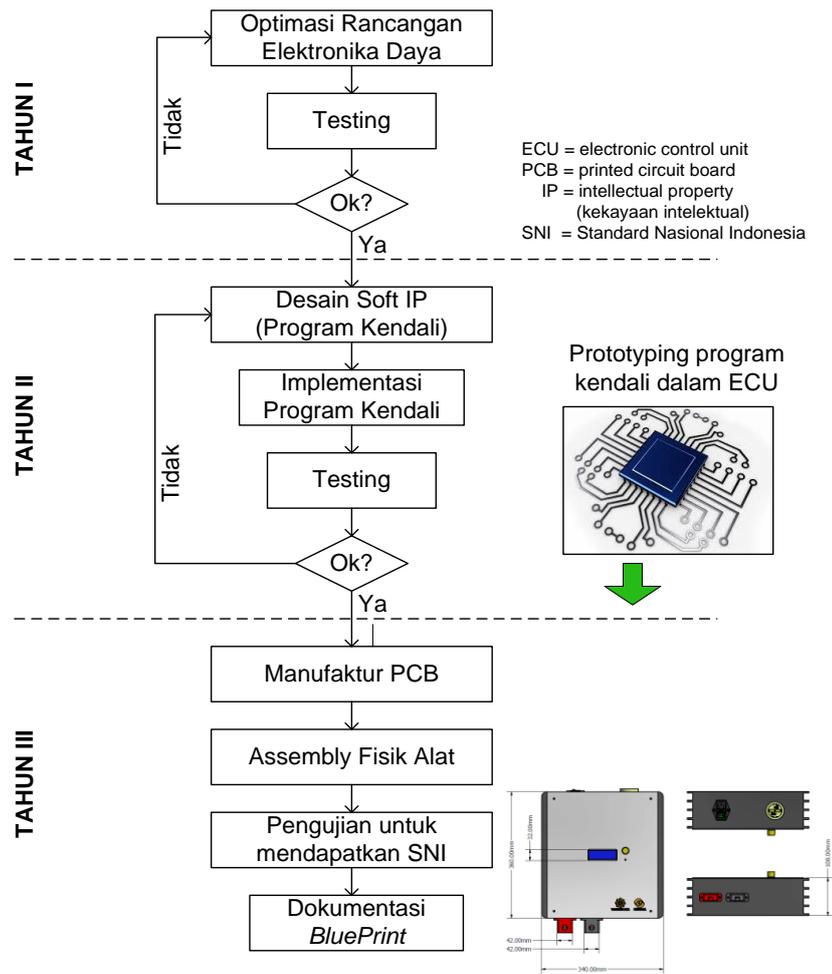
Penelitian ini dibangun sesuai dengan rencana strategi nasional, yaitu di bidang pengelolaan sumber daya energi khususnya bidang energi terbarukan. **Gambar 1.2** memperlihatkan diagram fishbone penelitian, sesuai renstra nasional mencapai hilir riset berupa produk unggulan nasional “*Solar-Grid Electric Controller*”.



Gambar 1.2. Diagram Fishbone kegiatan riset hingga Produk Hilir.

1.3 Metode Riset

Penelitian ini akan dikerjakan selama tiga tahun, yang diuraikan dalam bentuk skripsi sarjana (S1), tesis magister (S2) dan disertasi doktor (S3). Saat ini beberapa topik-topik skripsi dan tesis telah dan sedang dikerjakan oleh mahasiswa-mahasiswa kami, sehingga beberapa prototipe akan segera jadi tidak lama lagi. Oleh karena itu, di Tahun I penelitian (2019) riset ini akan langsung masuk ke tahap optimasi rancangan seperti terlihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Diagram Umum Alur penelitian selama 3 Tahun

1.4 Anggota Tim Riset

Kami memiliki Tim Riset yang sangat solid. Beberapa mahasiswa terlibat sebagai Asistem Periset dan Asistem Periset Muda, yang mana di antara mereka telah terlibat langsung dalam proses perancangan prototipe alat. Susunan Tim dan fungsi masing-masing anggota diperlihatkan dalam **Tabel 1.4**.

Tabel 1.4. Anggota Tim Riset RISPRO

No.	Nama	Asal Institusi	Posisi di Kelompok Riset	Peran / Tanggungjawab
1	Prof. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman	Unhas, Makassar	Ketua Riset	Koordinasi dan manajemen riset, desain rencana bisnis
2	Prof. Dr. Ir. Carmadi Machbub	ITB, Bandung	Anggota Riset	Registrasi SNI dan manajemen produksi
3	Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad	Unhas, Makassar	Anggota Riset	Manajemen proses maufaktur
4	Dr. Andi Ejah Umraeni Salam	Unhas, Makassar	Anggota Riset	Manajemen keuangan dan inventarisasi proses produksi
5	Dr. Eng. Irwan Setiawan	Unhas, Makassar	Anggota Riset	Manajemen Pemasaran produk, Studi Kelayakan
6	Yopie Sopian	Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar	Asisten Periset	Desain dan analisis power manajemen dan monitoring unit (PMMU)
7	Achmad Zubair	Unhas, Makassar	Asisten Periset	Desain modul/unit sinkronisasi grid-renewable electric energy
8	Tino Suhaebri	Unhas, Makassar	Asisten Peneliti	Desain dan analisis modul/unit MPPT (<i>Maximum Power Point Tracer</i>)
9	Asma Ainuddin	Politeknik Komunitas Industri Manufaktur, Bantaeng	Asisten Periset	Desain dan analisis unit pengisi baterai (<i>Battery Charger</i>)
10	Muhammad Aswan	Unhas, Makassar	Asisten Periset Muda	Desain modul/unit inverter satu-fasa berbasis CPLD/FPGA
11	Nassri Maulana	Unhas, Makassar	Asisten Periset Muda	Desain dan optimasi modul/unit konverter DC-DC berbasis HDL dan mikrokontroler
12	Muhammad Fajri Sahrudin	Unhas, Makassar	Asisten Periset Muda	Desain modul/unit inverter tiga-fasa berbasis CPLD/FPGA

No.	Nama	Asal Institusi	Posisi di Kelompok Riset	Peran / Tanggungjawab
13	Muhammad Aqsha Azhar Mangkona	Unhas, Makassar	Asisten Periset Muda	Desain sensor-sensor dan unit akuisisi data untuk monitoring variabel sistem dan kondisi baterai
14	Sry Defi	Unhas, Makassar	Asisten Periset Muda	Desain dan optimasi konverter DC/DC untuk saluran/instalasi lampu
15	Nurwanti Aprilia Ningrum	Unhas, Makassar	Administrator Riset, Asisten Periset Muda	Administrasi riset dan desain power passive/active filter untuk reduksi THD pada luaran inverter
16	Dewi Mahzya Fortuna	Unhas, Makassar	Asisten Periset Muda	Desain modul/unit IoT untuk perangkat solar-electric controller
17	Mustakim	Unhas, Makassar	Laboran	Tata kelola aset laboratorium untuk kegiatan riset
18	Amsal Salim	Unhas, Makassar	Laboran	Tata kelola peralatan ukur, perkakas kerja, dsb.
19	Syamsiah	Unhas, Makassar	Tenaga Bantu	Tenaga bantu kegiatan non-teknis
20	Mansur	Unhas, Makassar	Administrator Keuangan	Administrasi laporan keuangan
21	Budi	PT. Solid Base Technology	Mitra Industri	Bantuan teknik hilirisasi produk, konsultasi proses produksi, assembly dan manufaktur produk dan pemasaran produk

Selain anggota tim yang disebutkan di atas, riset ini juga akan melibatkan secara tidak langsung 2 mitra lembaga riset dari Jerman, yaitu Prof. Dr.-Ing. Volker Staudt dari Ruhr-University of Bochum dan Prof. Dr.-Ing. Thomas Hollstein dari Frankfurt University of Applied Sciences. Masing-masing mereka merupakan pakar di bidang Elektronika Daya dan Sistem Digital.

Penelitian ini mendapat dukungan Mitra dengan PT. SolidBase Technology, yang akan memberikan kontribusi antara lain:

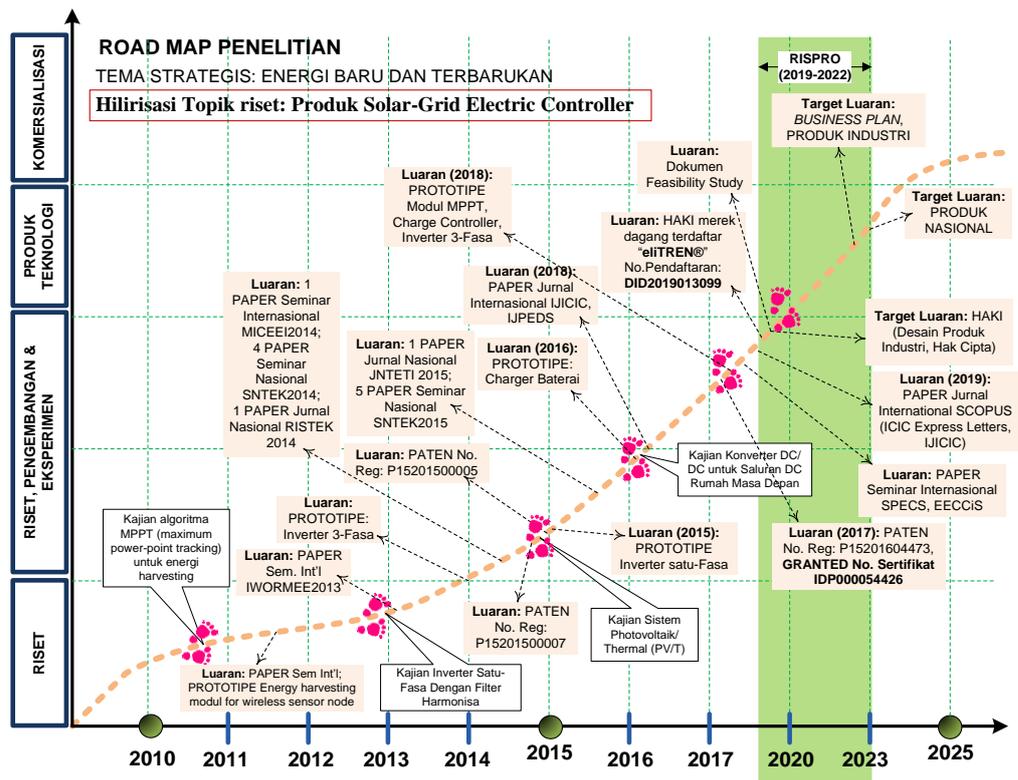
1. Bantuan teknik hilirisasi produk: Mitra kami memiliki pengalaman kerjasama dengan lembaga riset pemerintah dalam hal memberikan bantuan teknis hilirisasi produk elektronika, misalnya dengan BPPT;

2. Konsultasi proses produksi, *assembly* dan manufaktur produk: Mitra kami memiliki pengalaman yang sangat kuat dalam mengerjakan proses desain *printed circuit board*. Namun demikian yang paling penting bahwa mitra kami memiliki pengalaman yang sangat kuat dalam mengerjakan proses *assembly* dan manufaktur produk-produk elektronika;
3. Pemasaran produk: dalam hal pemasaran Mitra kami memiliki pengalaman yang sangat baik dalam memasarkan produk-produk teknologi.

BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA DAN KEBARUAN RISET

Solar Electric Controller yang akan dirancang dalam riset ini memiliki terminal masukan AC dari jala-jala PLN dan masukan DC dari sumber energi terbarukan, serta terminal keluaran AC dan DC. Solar-Grid Electric Controller termasuk dalam kategori jenis UPS (*Uninterruptible Power Supply*). Beberapa UPS modern telah mendapatkan perlindungan hak paten, seperti [Johnson, 2013, Patent], [Philip, 2014, Patent] [Nguyen et al, 2014, Patent], [Simonazzi, 2013, Patent], [Shu, 2003, Patent], [Brewer et al, 1989, Patent], [Thrap et al, 2001, Patent], [Lavin et al, 1998, Patent] yang menyediakan luaran/suplai DC.

Ada 5 komponen utama perangkat yang akan didesain dengan masing-masing kontribusi ilmiah yang akan disumbangkan untuk menambah nilai jual produk. Unit MPPT yang didesain misalnya menggunakan algoritma MPPT peak trapping dan decremented window-size scanning yang telah dipatenkan [Samman, 2015, Patent], dan sebagian konsepnya telah dipublikasikan di jurnal internasional bereputasi [Samman et al, 2018, IJICIC].



Gambar 2.1. Peta Jalan (Roadmap) Penelitian yang telah dilaksanakan (2010-2017) dan yang akan dibangun Tim Riset (2019-2022).

Unit konverter DC/DC juga telah didesain menggunakan konsep kendali adaptif *gain scheduling* yang secara efektif mampu mempertahankan level tegangan penguatan atau tegangan charging dengan baik [Samman et al, 2019-IJICIC], [Samman et al, 2018, ICICEL]. Konsep kendali yang ditawarkan lebih sederhana dibandingkan dengan konsep yang sudah ada sebelumnya seperti

pada [Priewasser et al, 2014], [Pan et al, 2014, Patent], [Philip, 2014, Patent], dan [Hu et al, 2016].

2.1. Peta Jalan Riset

Sejauh ini Tim riset (Ketua dan Anggota) telah memiliki pengalaman dan roadmap penelitian terkait energi terbarukan khususnya sistem fotovoltaik sejak tahun 2010. **Gambar 2.1** memperlihatkan peta jalan (roadmap) penelitian Tim Riset, yang sebagaimana besar disusun berdasarkan pengalaman riset dari Ketua Tim Peneliti dengan beberapa sisipan kajian riset dan luaran yang dihasilkan oleh Anggota Tim Riset.

Peta Jalan saat ini telah berlangsung selama 6 tahun yang dalam tahap riset dan pengembangan prototipe. Di akhir tahun III penelitian ini, akan ditargetkan agar riset ini bisa masuk ke tahap produk teknologi seperti terlihat pada penelitian tahun 2017-2020 dalam **Gambar 2.1**.

2.2. Kebaruan Dan Terobosan Teknologi

Kebaruan dan terobosan teknologi dari penelitian ini adalah lahirnya gagasan inovatif dalam merancang *Solar-Grid Electric Controller* yang handal dan adaptif yang diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga surya (dari panel PV dan panel TEG, dengan opsi PLT Bayu) skala rumah/kantor. Produk ini menggunakan unit-unit pengendali yang terintegrasi dalam sebuah sistem elektronika terpadu. Hasilnya, unit pengendali menjadi lebih kompak, *low cost*, *low power* dan lebih handal. Mekanisme *Self-Diagnostic* untuk meningkatkan keamanan operasi PLTS dan *Adaptive Optimal Supply* untuk meningkatkan kehandalan dan efisiensi operasi PLTS merupakan kontribusi-kontribusi ilmiah penting dalam riset ini. Baterai misalnya perlu mendapatkan perlindungan khusus agar dapat beroperasi lebih lama dan lebih aman [Samman et al, 2019-ICICELB].

Produk terpadu elektronika daya ini akan menyediakan terminal untuk saluran ganda DC dan AC baik pada sisi masukan maupun keluarannya. Terobosan baru dalam riset ini berpotensi melahirkan produk nasional yang memiliki pangsa pasar yang sangat tinggi melalui strategi *branding produk* yang telah disinggung sebelumnya. Kebaruan dari riset ini digambarkan lebih detail dalam paten kami yang telah granted [Samman, 2016, Patent-1], maupun yang sedang memasuki masa publikasi atau *pending* [Samman, 2016, Patent-2], [Samman, 2016, Patent-2]. Dengan kata lain, produk yang akan dimanufaktur ini merupakan realisasi dari ketiga paten tersebut, disertai kontribusi ilmiah yang telah disumbangkan dalam rangka menambah nilai saing produk. Fitur-fitur produk sbb:

1. Terminal masukan AC dan DC majemuk;
2. Terminal luaran AC dan DC majemuk;
3. Mode perlindungan baterai yang handal;
4. Penggabungan sumber AC/DC melalui teknik kopling DC yang sangat sederhana;
5. Teknik kendali tegangan charging yang efektif dan sederhana;

Merupakan kontribusi-kontribusi ilmiah yang akan memberikan nilai tambah bagi adaptivitas dan kehandalan produk.

BAB 3 – PELAKSANAAN KEGIATAN RISET

Kegiatan riset yang dilaksanakan pada tahun pertama telah dilaksanakan sesuai dengan perancangan dan mengacu pada indikator kegiatan tahun pertama pada perjanjian kontrak LPDP-LPPM. Kami telah merancang optimasi inverter DC/AC, konverter DC/DC, charger, MPPT, penyearah AC/DC, analisis dan kompilasi desain, pengujian modul-modul, serta simpulan dan pelaporan.

Realisasi pelaksanaan kegiatan riset sesuai dengan jadwal selama satu tahun diperlihatkan pada **Tabel 3.1**.

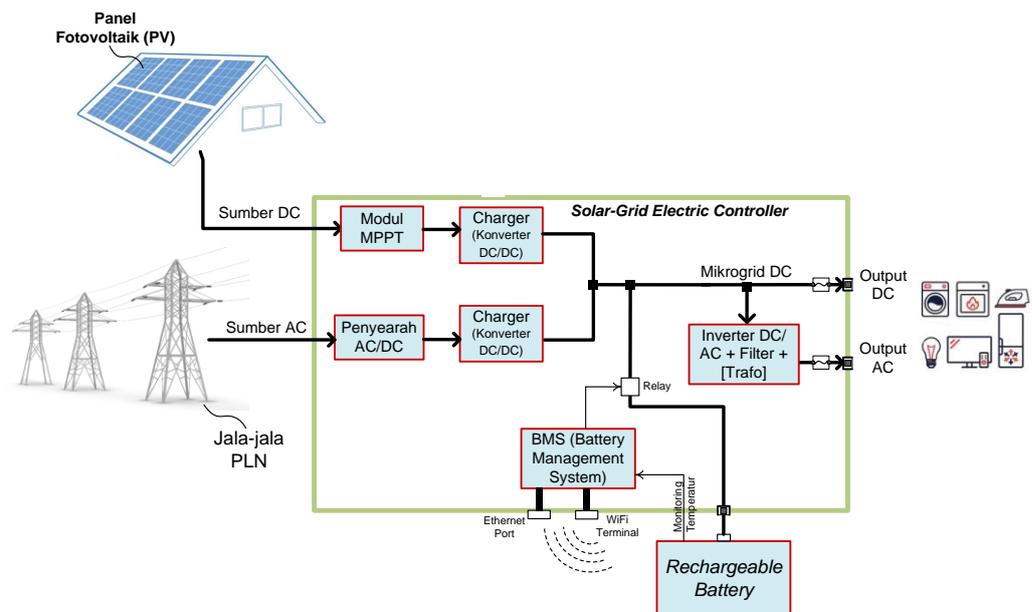
Tabel 3.1. Hasil Pelaksanaan Kegiatan Riset Tahun I

No	Jenis Kegiatan	Bulan Ke:	Uraian Hasil Pelaksanaan
1	Optimasi Desain Inverter DC/AC	2 – 12	Inverter DC-AC telah diupayakan untuk dioptimalkan dalam hal kualitas luaran melalui filter. Tim Riset telah dan masih berupaya memperbaiki nilai THD dari luaran inverter dari nilai 12% menjadi dibawah 5% sesuai standard IEEE. Kendala yang dihadapi adalah pembuatan komponen induktor yang masih dibuat sendiri dengan kualitas yang mungkin belum memadai. Inverter ini berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sehingga dapat digunakan untuk penggunaan peralatan listrik. Prototipe inverter yang dirancang merupakan prototipe yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang bersumber dari tegangan 24V-230 VDC. Keluaran Inverter DC-AC berupa tegangan AC selanjutnya akan difilter oleh rangkaian Filter Daya Pasif yang akan mengeliminasi harmonisa yang terjadi dengan pertimbangan tetap mempertahankan parameter tegangan AC dari inverter
2	Optimasi Desain Konverter DC/DC	1 – 10	Tim Riset juga telah berupaya memperbaiki ripple tegangan DC agar berada di bawah 5% dari maksimal level tegangan DC nya. Kendala yang dihadapi adalah pembuatan komponen induktor yang masih dibuat sendiri dengan kualitas yang mungkin belum memadai. Multilevel boost converter merupakan salah satu jenis konverter penaik tegangan dengan sistem multilevel. Konverter ini akan menaikkan tegangan masukan 24 VDC menjadi tegangan luaran sebesar 230 VDC. Alat ini dibuat berfungsi sebagai tegangan masukan untuk inverter DCAC. Tujuan utama alat ini dibuat agar menjadi pengganti fungsi dari transformator yang digunakan pada inverter DC-AC secara umum.

No	Jenis Kegiatan	Bulan Ke:	Uraian Hasil Pelaksanaan
3	Optimasi Desain rangkaian charger	3 – 12	Rangkaian Charger dan MPPT telah digabungkan dalam sebuah modul. Uraian pelaksanaan dijelaskan pada poin 4.
4	Optimasi Desain rangkaian MPPT	2 – 12	Prototipe modul Charger + MPPT berfungsi untuk mengoptimalkan proses transfer daya listrik dari panel-panel surya ke baterai listrik. Sel-sel surya pada sebuah panel surya berfungsi mengubah energi foton menjadi energi listrik. Ketika beroperasi, kurva daya sebuah panel surya menunjukkan sebuah titik puncak global. Modul MPPT ini berfungsi untuk menjaga agar panel surya tersebut tetap bekerja pada titik transfer daya maksimal, melalui sebuah mekanisme dan algoritma pencarian atau penjejakan titik daya maksimal.
5	Desain penyearah AC/DC	6 – 12	Model simulasi kopling rangkaian penyearah AC-DC bersama rangkaian pengisi baterai telah dikerjakan. Saat ini tim sudah menemukan pontesi penerapan algoritma kendali pilot untuk menyeimbangkan permintaan kebutuhan dan suplai daya. Algoritma kendali pilot ini bekerja dengan cara memprioritaskan aliran daya dari sumber energi terbarukan dan baterai. Mekanisme prioritas diimplementasikan menggunakan sebuah derajat kebebasan tunggal, yaitu bukaan aliran daya dari sumber <i>AC home grid</i> yang diatur melalui pengendalian sudut penyalaan pada rangkaian penyearah DC-AC berbasis SCR/Thyristor. Pada Tahun II, modul Rectifier+Charger ini akan direalisasikan dalam bentuk perangkat keras elektronik.
6	Analisis dan kompilasi desain	1 – 12	Hasil analisis dan kompilasi rancangan seluruh prototipe dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5 (Leaflet luaran penelitian)
7	Pengujian modul-modul	5 – 12	Hasil pengujian modul-modul prototipe dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5 (Leaflet luaran penelitian)
8	Simpulan dan pelaporan	11 – 12	Laporan telah tersusun sebagaimana diperlihatkan dalam dokumen ini

Topologi dari sistem yang akan dibangun secara umum diperlihatkan pada **Gambar 3.1**. Sumber listrik dari jala-jala (grid) PLN digabungkan dengan sumber energi terbarukan, yang dalam tahap awal penelitian ini akan menggunakan sumber listrik dari panel surya atau panel fotovoltaik. Elemen-elemen sistem *Solar-Grid Electric Controller* adalah sebagai berikut:

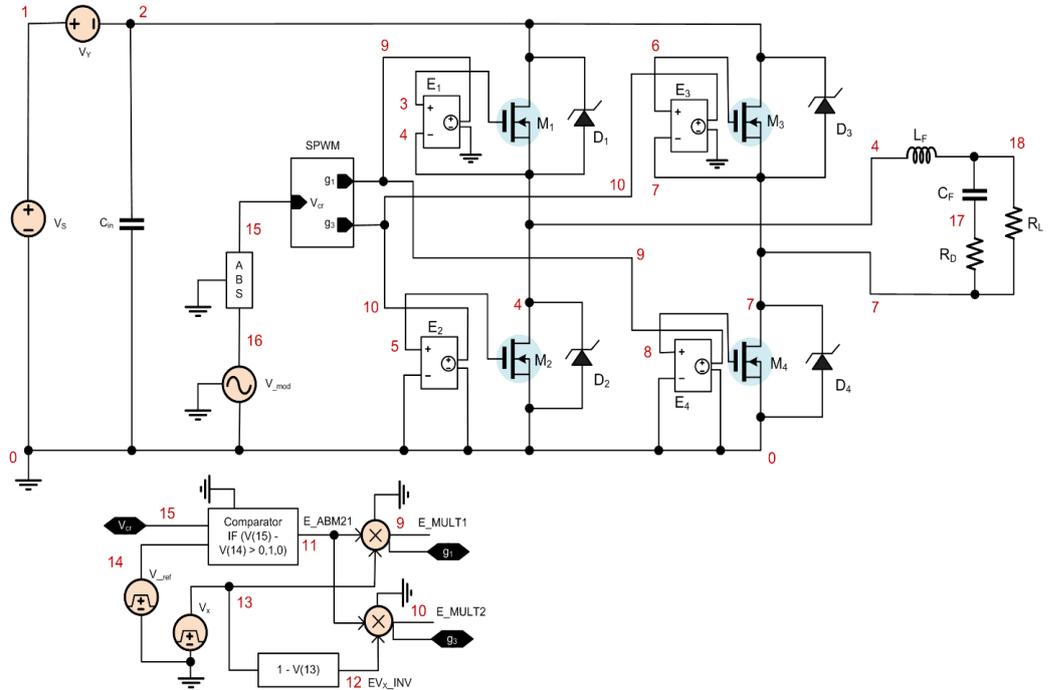
1. Modul MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), berfungsi untuk memaksimalkan proses transfer daya listrik sumber energi surya;
2. Modul Charger (berupa rangkaian konverter DC-DC), berfungsi untuk mengatur tegangan pengisian baterai yang konstan;
3. Penyearah AC-DC, berfungsi untuk mengubah tegangan AC dari jala-jala PLN menjadi tegangan DC, sehingga daya listrik dapat dikopel bersama dengan tegangan DC dari sumber energi terbarukan;
4. Inverter DC-AC + Filter + Trafo.
 - a. Inverter DC-AC berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC 50 Hz, sehingga listrik dapat digunakan untuk menyuplai beban;
 - b. Filter daya berfungsi untuk menapis *Total Harmonic Distortion* (THD) yang dihasilkan dari luaran inverter yang masih dalam bentuk gelombang kotak yang banyak mengandung harmonisa;
 - c. Trafo berfungsi untuk menaikkan tegangan AC dari level rendah ke level 220V AC;
5. Unit BMS (*Battery Management System*), berfungsi untuk mengorganisir proses pengisian baterai listrik sehingga baterai dapat terlindungi dari kerusakan dini; dan
6. Rechargeable Battery, merupakan unit penyimpanan energi listrik.



Gambar 3.1. Topologi sistem secara keseluruhan.

3.1 Analisis Inverter DC-AC Satu Fasa + Filter

Gambar 3.2 memperlihatkan skematik rangkaian konverter DC-AC (inverter DC-AC) yang berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, sehingga listrik dapat dihubungkan ke perangkat yang membutuhkan sumber listrik AC.



Gambar 3.2. Topologi inverter DC-AC Satu Fasa dan Filter daya.

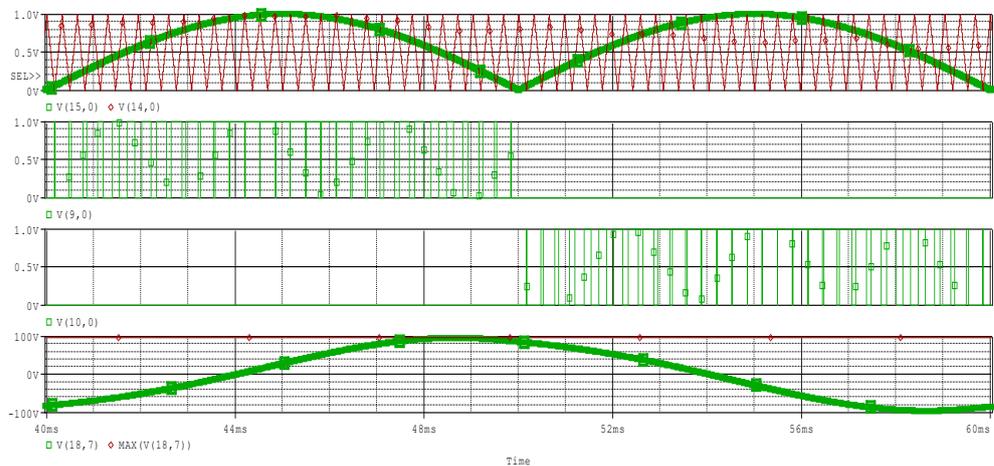
Pada riset ini, rangkaian pada gambar disimulasikan menggunakan program SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) yaitu perangkat lunak untuk mensimulasikan perilaku rangkaian listrik dan elektronika. Hasil simulasi dari pemodelan inverter dan filter ditunjukkan pada bagian berikut, yang mana parameter simulasi diperlihatkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Parameter untuk analisis rangkaian inverter dan filter.

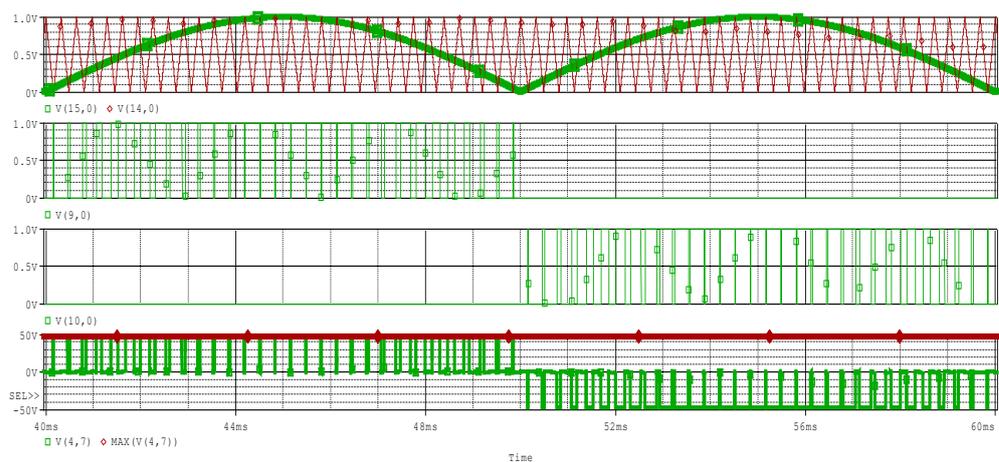
Komponen	Rangkaian	VSI dengan Sinyal Kontrol	
		SPWM	Gelombang Kotak
Tegangan Masukan DC (V)		48 V	48 V
Gain MOSFET Driver (V)		24 V	24 V
Induktansi Filter (L_F)		80 mH	80 mH
Kapasitansi Filter (C_F)		100 μ F	100 μ F
Resistansi Damper (R_D)		1 Ω	1 Ω
Resistansi Beban (R_L)		100 Ω	100 Ω

3.1.1 Simulasi Inverter dengan SPWM

Hasil simulasi rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal kendali SPWM (*Sinusoidal-based Pulse Width Modulation*) diperlihatkan pada **Gambar 3.3**. Jumlah pulsa pemodulasi yang digunakan adalah sebanyak 31. Pada **Gambar 3.3(a)** diperlihatkan hasil simulasi dengan menggunakan filter daya pasif jenis filter LC (inductor-capacitor). Hasil simulasi tanpa filter daya diperlihatkan pada **Gambar 3.3(b)**. Pada masing-masing gambar terlihat masing-masing sinyal pemodulasi berupa sinyal gigi gergaji beserta sinyal carier-nya berupa sinyal sinusoidal. Perbandingan antara kedua sinyal tersebut digunakan untuk membangkitkan sinyal kendali untuk saklar MOSFET seperti terlihat pada baris kedua dan ketiga gambar. Pada baris keempat dari masing-masing gambar terlihat sinyal tegangan luaran inverter. Untuk rangkaian dengan dengan filter, terlihat tegangan luaran AC sinusoidal. Sedangkan untuk rangkaian tanpa filter, terlihat sinyal tegangan luaran AC gelombang PWM.



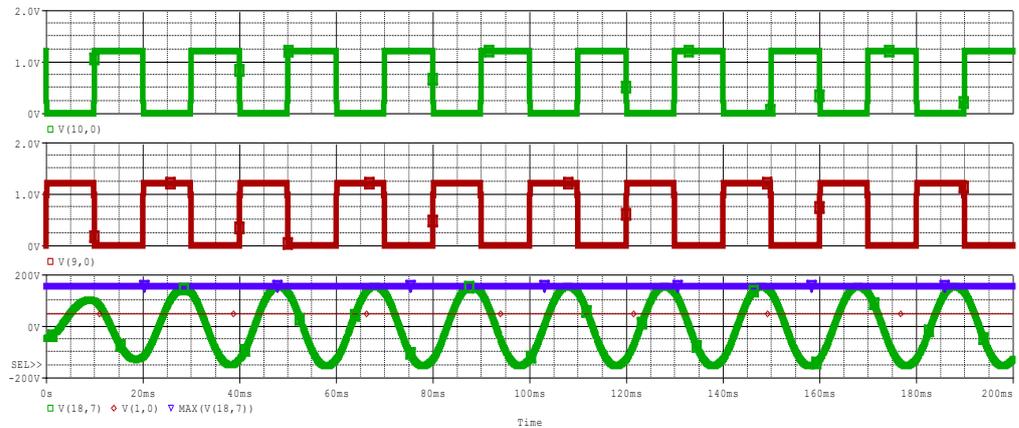
(a) Dengan Filter



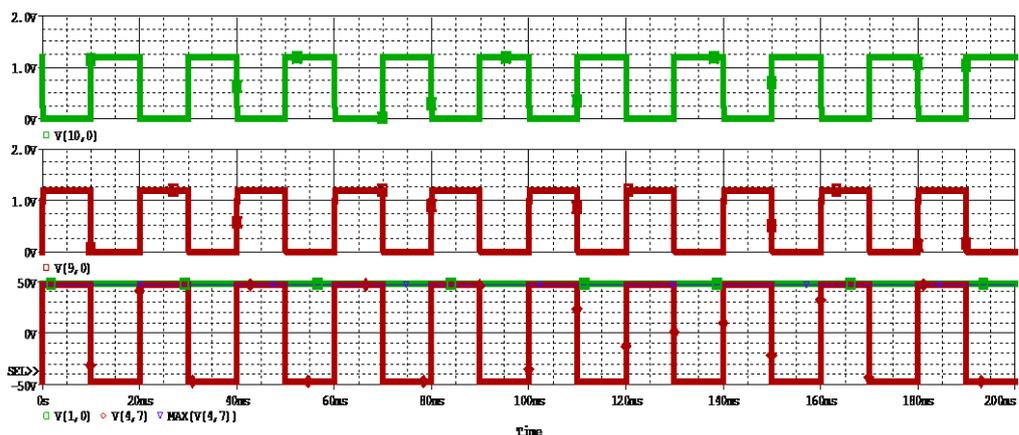
(b) Tanpa Filter

Gambar 3.3. Hasil simulasi rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal kendali SPWM (*Sinusoidal-based Pulse Width Modulation*).

Gambar 3.4 memperlihatkan hasil simulasi rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak. Pada masing-masing gambar terlihat sinyal gelombang kotak yang digunakan serta tegangan luaran inverter.



(a) Dengan filter

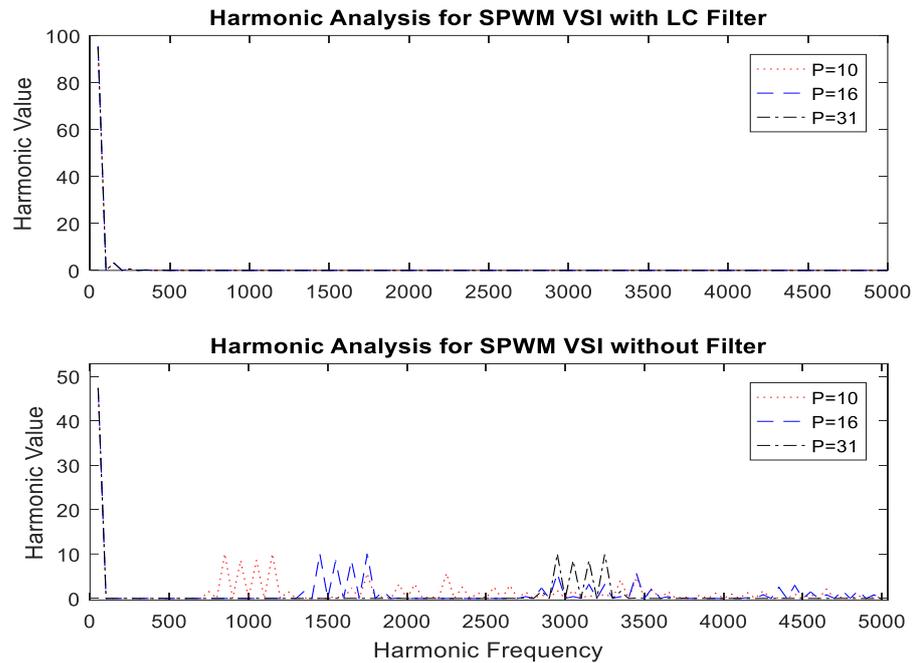


(b) Tanpa filter

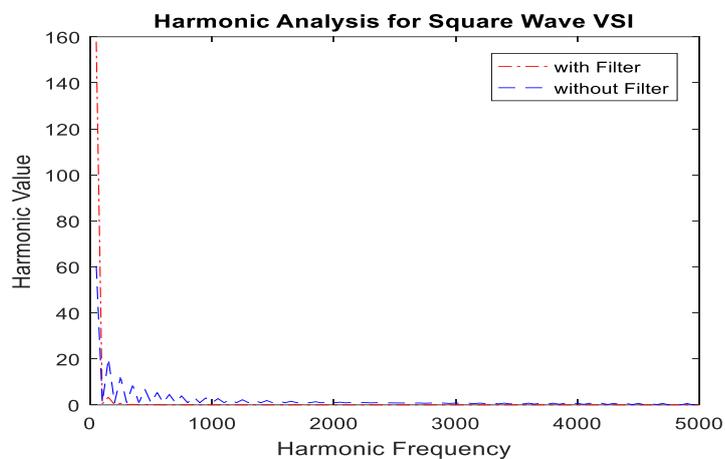
Gambar 3.4. Hasil simulasi rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak.

3.1.2 Analisis THD melalui Simulasi

Salah satu analisis penting dalam merancang inverter adalah analisis THD (*Total Harmonic Distortion*). Nilai THD ini akan menentukan seberapa besar gangguan harmonisa pada sinyal tegangan luaran sinusoidal, sehingga tegangan luaran akan mendekati sinyal tegangan murni 50 Hz. **Gambar 3.5** memperlihatkan hasil simulasi THD untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal SPWM dengan jumlah pemodulasi sebanyak 10, 16 dan 31. Dengan menggunakan filter terlihat bahwa beberapa gangguan harmonisa frekuensi yang lebih tinggi dapat teredam dengan baik. Gambar 3.6 memperlihatkan hasil simulasi THD untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak, baik dengan menggunakan filter LC maupun tanpa filter.



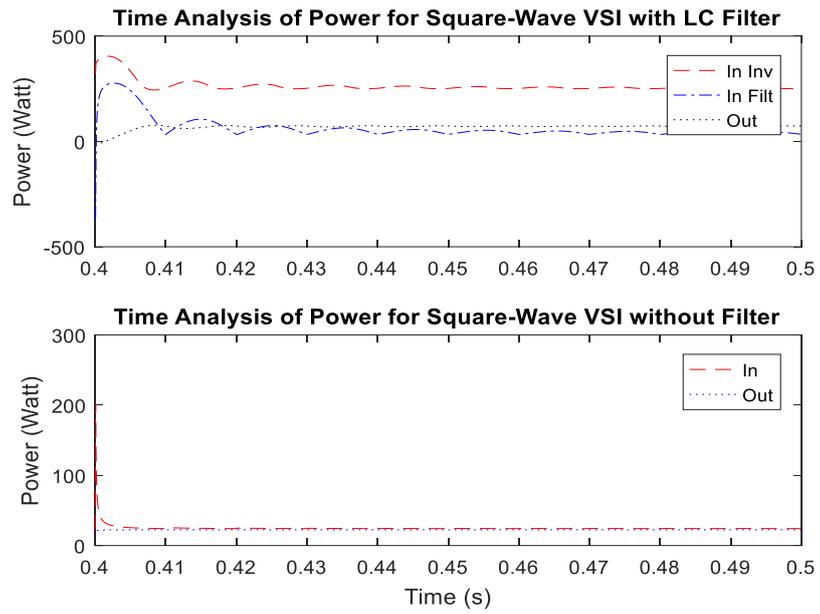
Gambar 3.5 Analisis THD untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal SPWM.



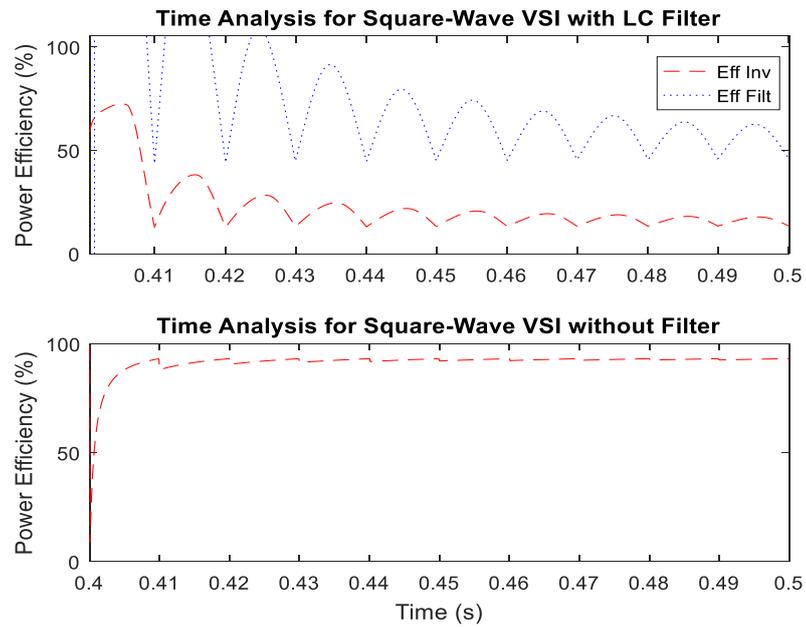
Gambar 3.6 Analisis THD untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak.

3.1.3 Hasil Simulasi Daya dan Efisiensi Daya

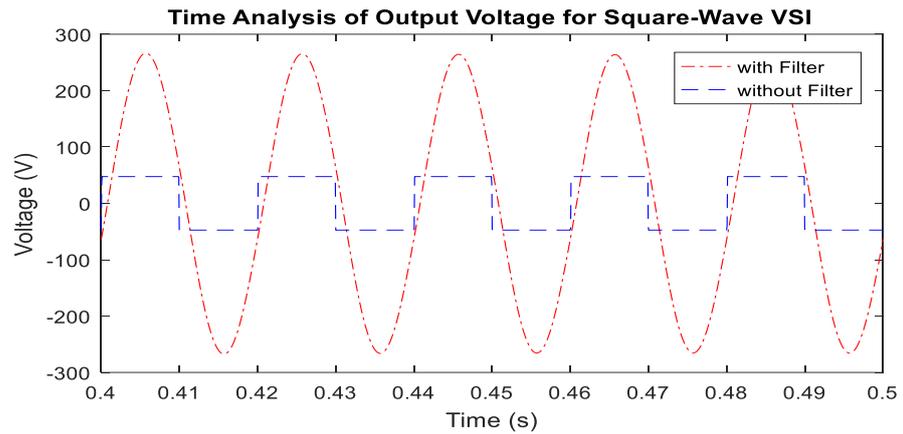
Kriterai penting lain dalam merancang sebuah inverter dan filter adalah efisiensi dan kapasitas daya luaran inverter. **Gambar 3.7** memperlihatkan Simulasi Daya Listrik untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak, baik dengan menggunakan filter LC maupun tanpa filter. Nampak terlihat bahwa terjadi peningkatan kapasitas daya luaran setelah menggunakan filter. **Gambar 3.8** memperlihatkan hasil simulasi efisiensi daya listrik untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak.



Gambar 3.7 Simulasi Daya Listrik untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak.



Gambar 3.8 Simulasi Efisiensi Daya Listrik untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak.



Gambar 3.9 Simulasi Tegangan luaran untuk rangkaian inverter yang dikendalikan dengan sinyal gelombang kotak.

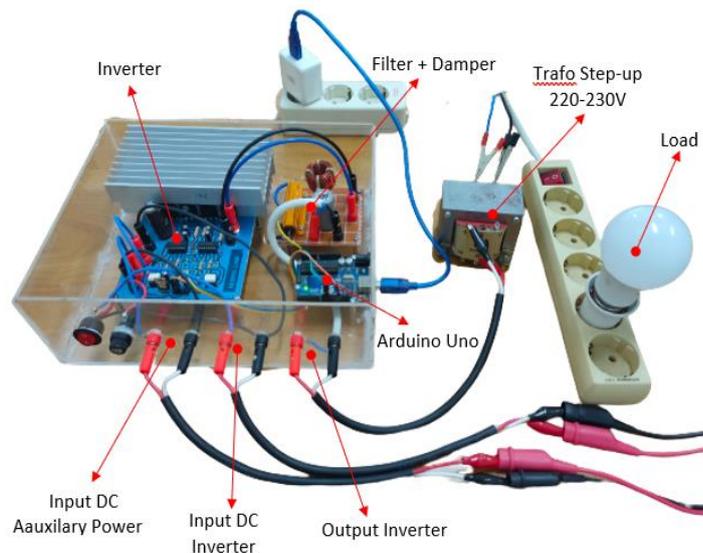
Tabel 3.2 memperlihatkan Data hasil analisis untuk Rangkaian Inverter Satu Fasa + Filter LC + Damper R + Beban R. Sedangkan **Tabel 3.3** memperlihatkan Data hasil analisis untuk Rangkaian Inverter Satu Fasa Tanpa Filter.

Tabel 3.2 Data hasil analisis untuk Rangkaian Inverter Satu Fasa + Filter LC + Damper R + Beban R.

Sinyal Kontrol	Jumlah Pulsa (P)	THD (%)	Tegangan Keluaran Max (V)	Daya Masukan (Watt)	Daya Luaran Sebelum Filter (Watt)	Daya Luaran Setelah Filter (Watt)	Daya Efisiensi 1 (%)	Daya Efisiensi 2 (%)
SPWM	10	3.3905	97.139	95.301	49.647	45.147	52.095	90.936
	16	3.3625	97.520	95.504	50.167	45.622	52.529	90.940
	31	3.3845	97.359	95.362	50.029	45.497	52.463	90.942
Gelombang Kotak	-	2.1872	154.878	255.729	40.917	71.850	16.000	56.948

Tabel 3.3 Data hasil analisis untuk Rangkaian Inverter Satu Fasa Tanpa Filter.

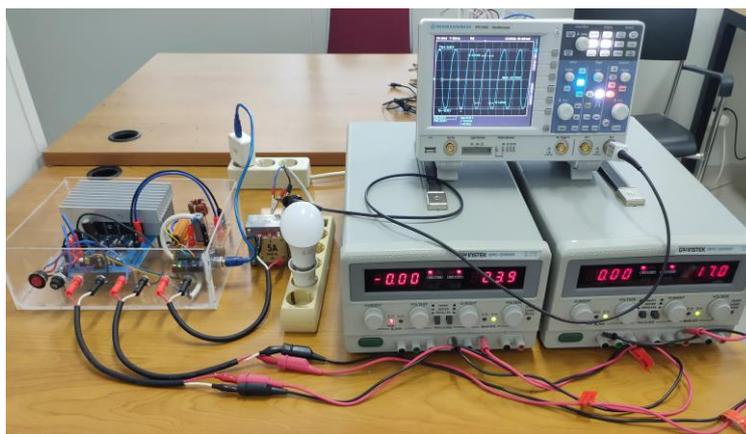
Sinyal Kontrol	Jumlah Pulsa (P)	THD (%)	Tegangan Keluaran Max (V)	Daya Masukan (Watt)	Daya Keluaran (Watt)	Daya Efisiensi (%)
SPWM	10	49.057	47.310	14.516	14.315	98.545
	16	45.984	47.310	14.490	14.278	98.537
	31	39.606	47.311	14.478	14.266	98.538
Gelombang Kotak	-	47.808	47.430	24.120	22.462	93.121



Gambar 3.10. Bentuk fisik inverter satu fasa

3.2 Perancangan dan Pengujian Inverter DC-AC Satu Fasa + Filter

Pada **Gambar 3.10**, terlihat hasil perancangan inverter satu fasa dalam bentuk fisik. Input DC diperoleh dari sumber DC power supply, sedangkan output inverter yang terhubung dengan filter LC dan damper dihubungkan ke transformator untuk menaikkan tegangan output menjadi 220-230 VAC yang selanjutnya dihubungkan ke beban. Proses pengendalian MOSFET IRFP460N dilakukan dengan penguatan dari sinyal SPWM dari Arduino menggunakan TLP250 dan IC IR2110 sebagai MOSFET driver atau pengendali MOSFET. **Gambar 3.11** memperlihatkan eksperimental setup keseluruhan percobaan prototipe inverter satu fasa.



Gambar 3.11. Eksperimental setup pengujian inverter + filter.

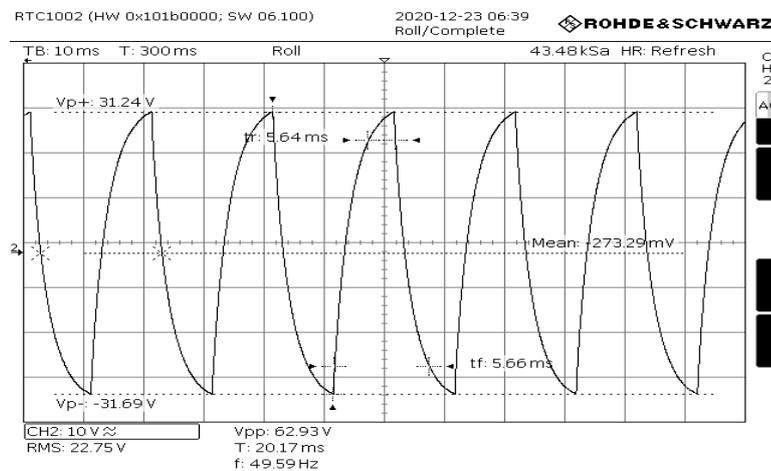
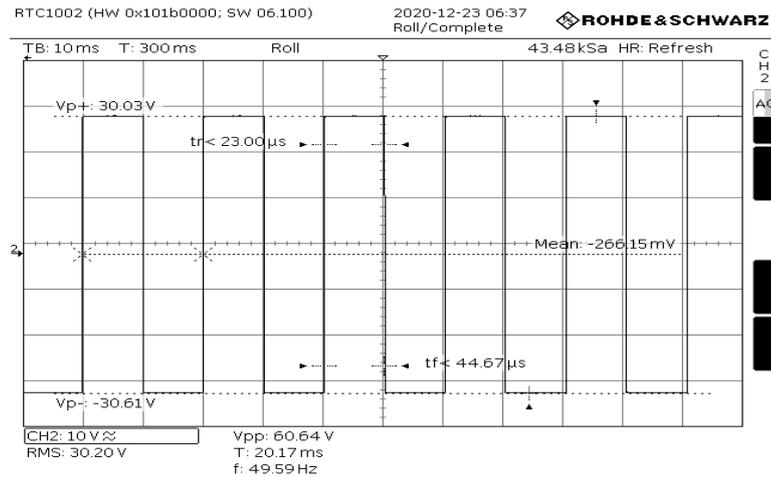
3.2.1 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol PWM

Percobaan dilakukan untuk melihat bentuk gelombang keluaran pada inverter satu fasa dengan kontrol PWM pada kondisi:

- 4 Sebelum dipasang filter pasif dan damper.

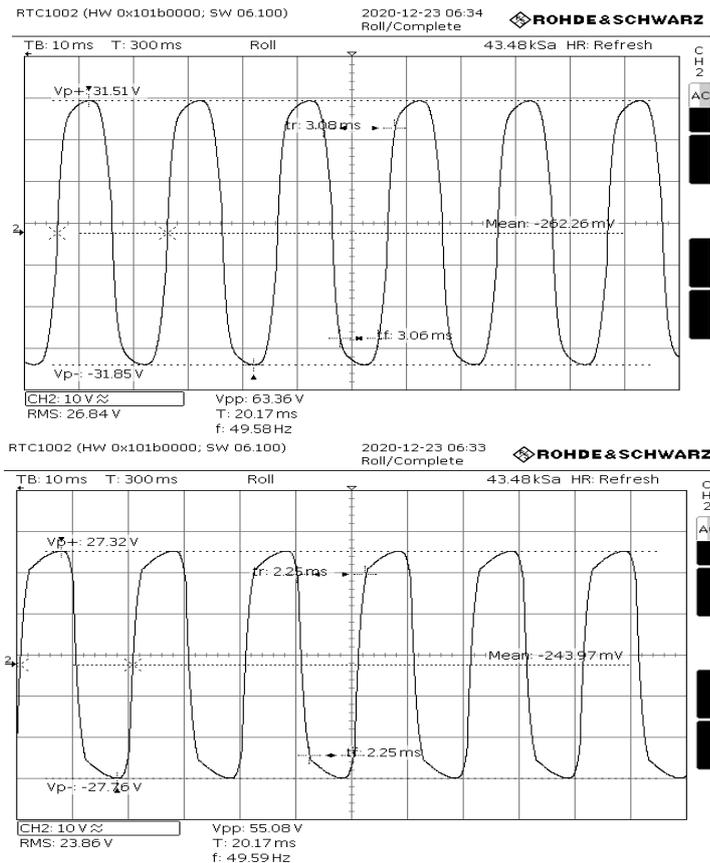
- 5 Setelah dipasang filter pasif dan damper.
- 6 Setelah tegangan dinaikkan menjadi 220-230 VAC.
- 7 Setelah diberi beban lampu 5W.

Kondisi 1 pada **Gambar 3.12** menunjukkan sinyal keluaran dari inverter sebelum direduksi menggunakan filter dan damper. Sinyal keluaran masih berbentuk pulsa dari hasil modulasi PWM dimana sinyal keluaran tersebut memiliki nilai THD yang cukup tinggi sebesar 47.92%. Amplitudo tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 30.20 V.



Gambar 3.12. Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa kondisi 1 dan kondisi 2

Kondisi 2 menunjukkan gelombang keluaran inverter satu fasa yang harmonisanya telah tereduksi oleh filter pasif dan damper. Dapat dilihat bahwa sinyal keluaran telah tereduksi dan menjadi sinyal sinusoidal dimana sinyal keluaran tersebut memiliki nilai THD yang cukup rendah sebesar 17.96%. Amplitudo tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 22.75 V.



Gambar 3.13. Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa kondisi 3 dan kondisi 4

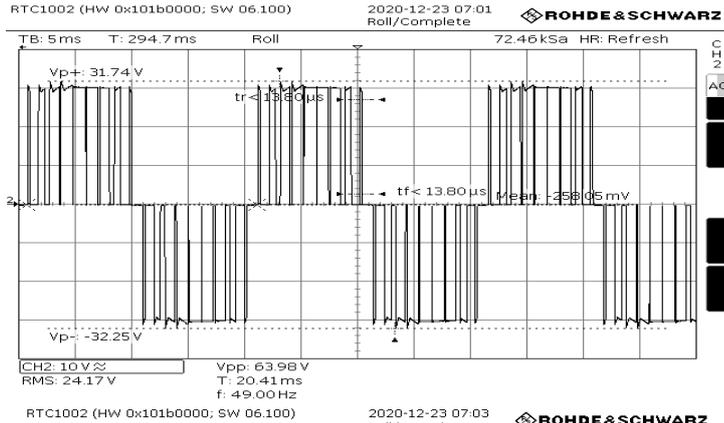
Adapun kondisi 3 pada **Gambar 3.13** menunjukkan sinyal keluaran dari inverter setelah tegangan dinaikkan melalui transformator menghasilkan tegangan 223.7 V dan nilai THD sebesar 21.26%. Sedangkan kondisi 4 menunjukkan sinyal keluaran inverter satu fasa setelah tegangan dinaikkan dan diberikan beban lampu 5W. Amplitudo tegangan keluaran yang dihasilkan menurun menjadi 207.7 V dan nilai THD meningkat menjadi 29.32%.

3.2.2 Hasil Percobaan Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol SPWM

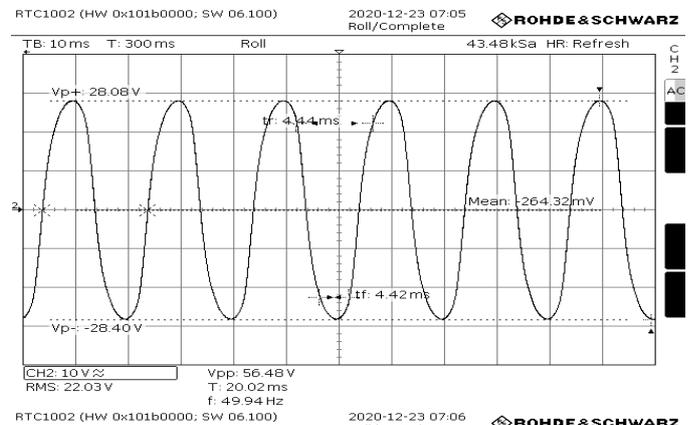
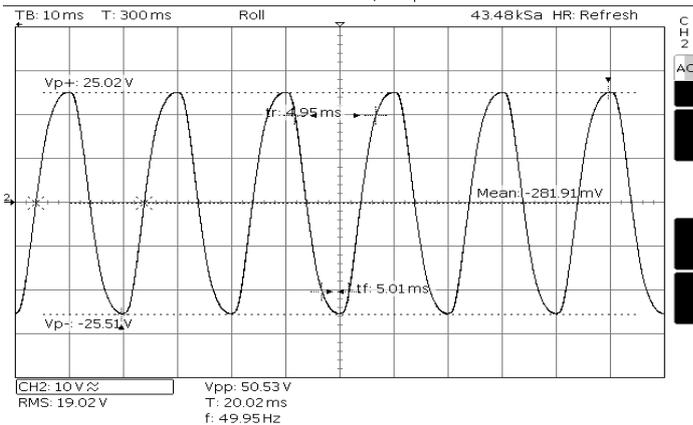
Percobaan dilakukan untuk melihat bentuk gelombang keluaran pada inverter satu fasa dengan kontrol SPWM pada kondisi :

1. Sebelum dipasang filter pasif dan damper.
2. Setelah dipasang filter pasif dan damper.
3. Setelah tegangan dinaikkan menjadi 220-230 VAC.
4. Setelah diberi beban lampu 5W.

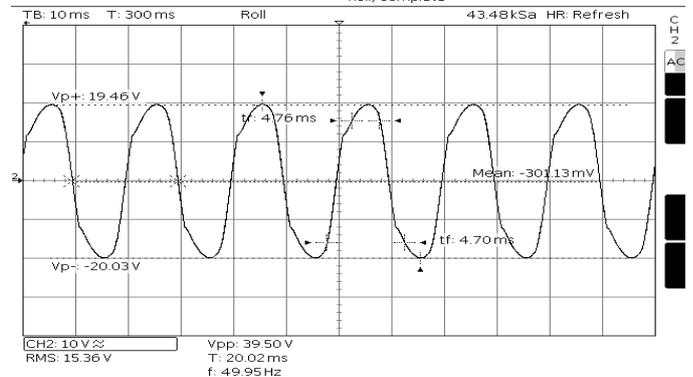
Kondisi 1 pada **Gambar 3.14** menunjukkan sinyal keluaran dari inverter sebelum direduksi menggunakan filter dan damper. Sinyal keluaran masih berbentuk pulsa dari hasil modulasi SPWM dimana sinyal keluaran tersebut memiliki nilai THD yang cukup tinggi sebesar 38.95%. Amplitudo tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 24.17 V.



Gambar 3.14. Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa kondisi 1 dan kondisi 2.



Gambar 3.15. Hasil sinyal keluaran inverter satu fasa kondisi 3 dan kondisi 4.



Kondisi 2 menunjukkan gelombang keluaran inverter satu fasa yang harmonisanya telah tereduksi oleh filter pasif dan damper. Dapat dilihat bahwa sinyal keluaran telah tereduksi dan menjadi sinyal sinusoidal dimana sinyal keluaran tersebut memiliki nilai THD yang cukup rendah sebesar 8.20%. Amplitudo tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 19.20 V.

Adapun kondisi 3 pada **Gambar 3.15** menunjukkan sinyal keluaran dari inverter setelah tegangan dinaikkan melalui transformator menghasilkan tegangan 231 V dan nilai THD sebesar 12.96%. Sedangkan kondisi 4 menunjukkan sinyal keluaran inverter satu fasa setelah tegangan dinaikkan dan diberikan beban lampu 5W. Amplitudo tegangan keluaran yang dihasilkan menurun menjadi 226 V dan nilai THD meningkat menjadi 15.09%.

Tabel 3.3 Data Perbandingan Output Inverter Dengan Kontrol PWM dan SPWM

Kondisi	Kontrol Switching	Tegangan Output (V)	THD (%)
K1	PWM	30.20	47.92
	SPWM	24.17	38.95
K2	PWM	22.75	17.96
	SPWM	19.20	8.20
K3	PWM	223.70	21.26
	SPWM	231.00	12.96
K4	PWM	207.70	29.32
	SPWM	226.00	15.09

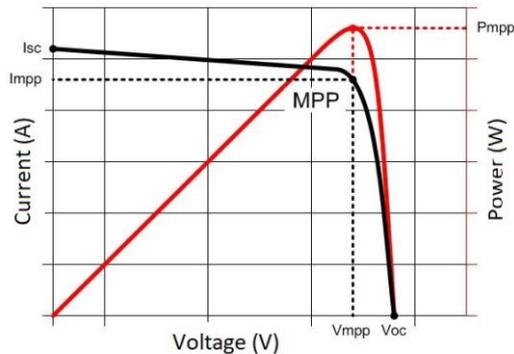
Tabel 3.4 Perbandingan Simulasi dan Percobaan Prototipe Inverter

Percobaan Inverter Satu Fasa		Tegangan Output (V)		THD (%)	
		Simulasi	Alat	Simulasi	Alat
K1	PWM	27.41	30.20	48.51	47.92
	SPWM	26.48	24.17	36.48	38.95
K2	PWM	24.54	22.75	2.84	17.96
	SPWM	24.66	19.20	2.51	8.20

3.3 Perancangan Rangkaian Charger + MPPT

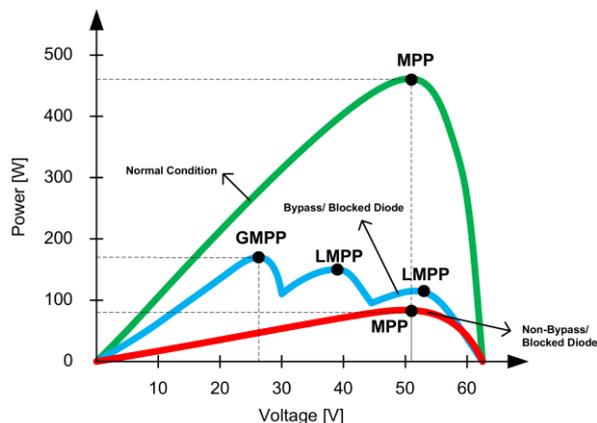
Rangkaian charger dan modul MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) merupakan elemen penting dalam mengolah sumber energi terbarukan yang berasal dari panel surya. Modul MPPT berfungsi untuk menjejaki titik operasi daya maksimum dari panel surya sehingga panel dapat mentransfer daya secara maksimum ke beban. Modul ini sangatlah penting dikarenakan oleh karakteristik transfer daya yang unik yang dimiliki oleh setiap panel surya. **Gambar 3.16** memperlihatkan kurva arus dan daya terhadap perubahan tegangan terminal panel surya. Dari kurva-kurva pada gambar tersebut terlihat bahwa terdapat sebuah titik, yaitu titik (V_{mpp} , P_{mpp}) yang membuat panel surya dapat

mentransfer daya secara maksimal. Berangkat dari karakteristik tersebut, maka sebuah modul khusus diperlukan agar panel surya beroperasi pada titik tersebut. Modul MPPT tentu saja dirancang untuk mengambil alih tugas tersebut. Modul MPPT bekerja dengan cara mentracking titik daya tersebut menggunakan beberapa teknik pencarian. Penelitian ini mengusulkan sebuah gagasan baru dalam merancang sebuah algoritma pencarian titik daya maksimum yang akan disematkan ke dalam modul MPPT tersebut. Gagasan tersebut akan dijelaskan kemudian.



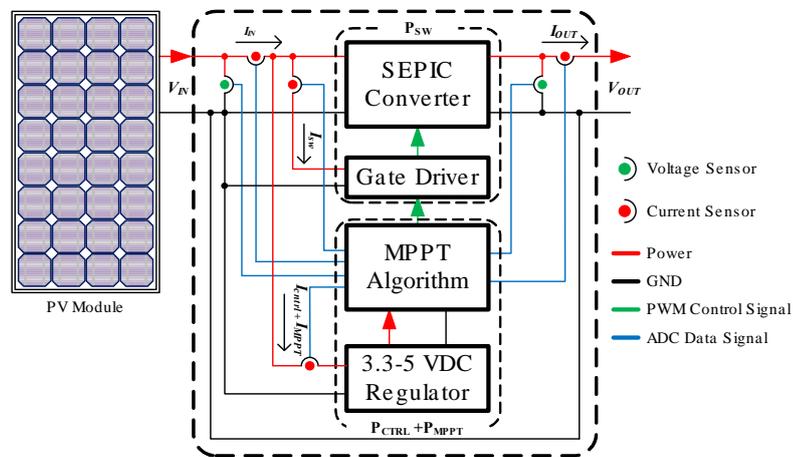
Gambar 3.16. Kurva arus dan daya terhadap perubahan tegangan terminal panel surya.

Selain itu, terdapat permasalahan lain terkait dengan pengoperasian panel surya dalam lingkungan nyata. Pada kondisi tertentu, panel surya dapat saja mendapatkan pencahayaan sinar matahari yang tidak merata. Ketidakmerataan tersebut lazim disebut sebagai bayangan parsial atau dalam istilah asing disebut *partial shading* atau *partial shadow*. **Gambar 3.17** memperlihatkan kurva arus dan daya terhadap perubahan tegangan terminal panel surya dengan kondisi bayangan parsial. Tanpa menggunakan dioda bypass kurva daya akan menukik rendah. Penggunaan diode bypass di lain sisi, menyebabkan kenaikan kurva daya yang diikuti oleh muncul beberapa titik daya lokal (LMPP, *Local Maximum Power Point*) selain sebuah titik daya global (GMPP, *Global Maximum Power Point*).

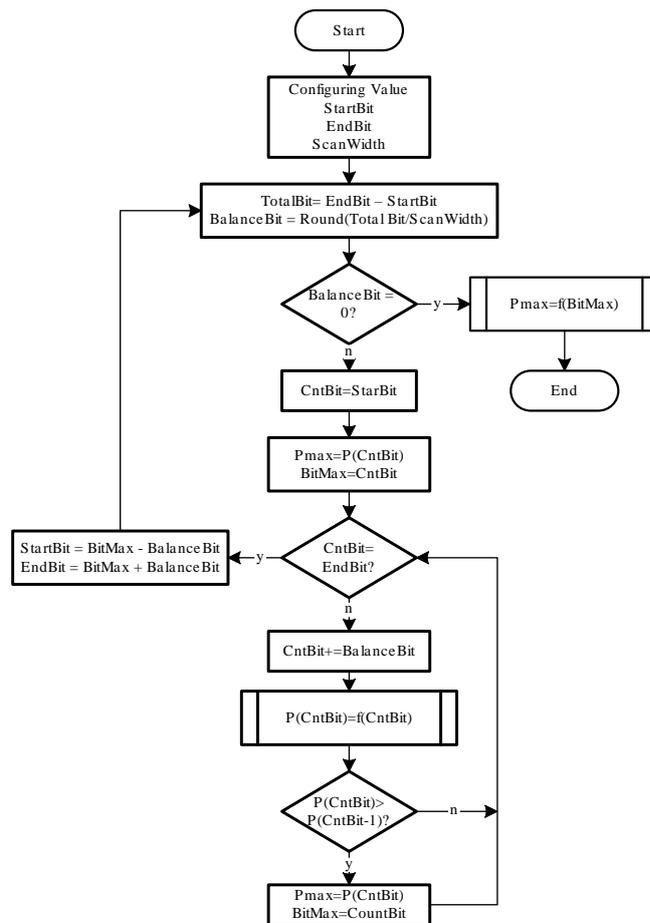


Gambar 3.17. Kurva arus dan daya terhadap perubahan tegangan terminal panel surya dengan kondisi bayangan parsial (*partial shading*).

Timbulnya beberapa titik daya lokal pada kurva daya panel surya akibat bayangan parsial menjadi tantangan khusus dalam merancang sebuah algoritma penjejukan titik daya maksimum.

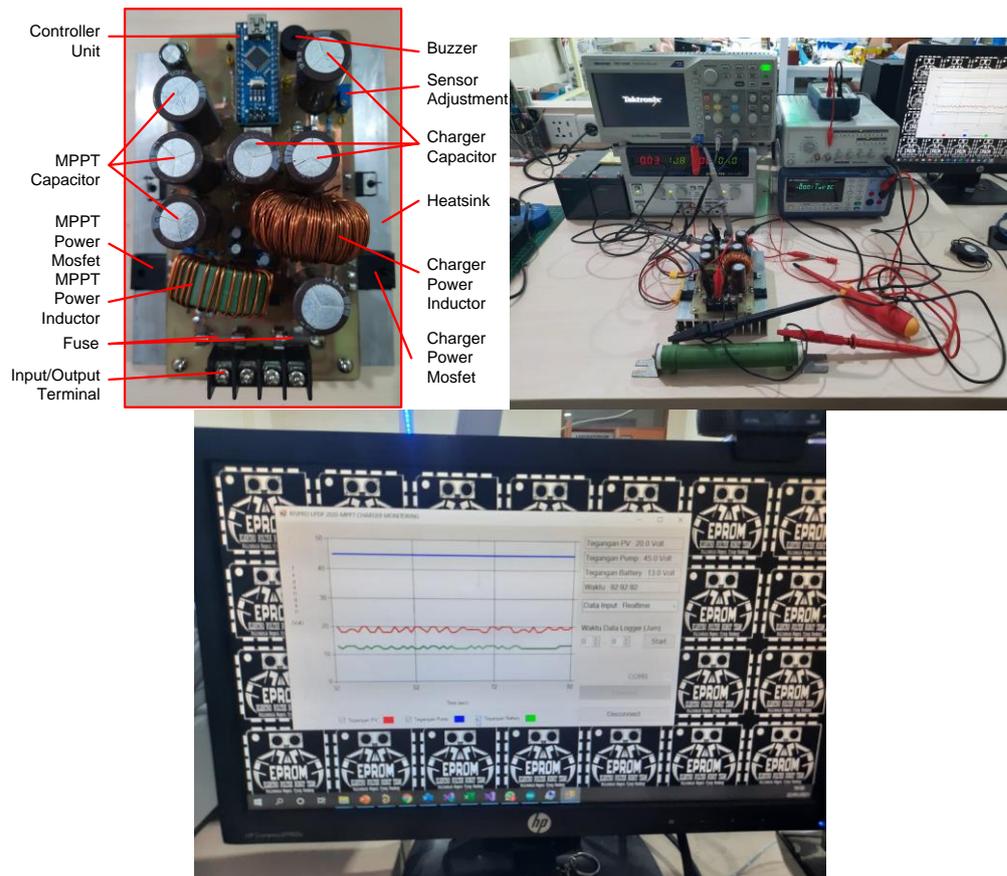


Gambar 3.18. Diagram sistem MPPT.



Gambar 3.19. Diagram alir algoritma DWS.

Gambar 3.18 memperlihatkan skema rancangan modul MPPT yang akan diaplikasikan pada sistem PLTS. Salah elemen penting dalam modul MPPT adalah unit algoritma MPPT. Tim kami telah mengembangkan sebuah algoritma penjejukan titik daya maksimum yang dikenal dengan sebutan *Decremental Windows Size Scanning (DWS) Algorithm*. Diagram alir algoritma dapat dilihat pada **Gambar 3.19**. Algoritma DWS ini telah dipatenkan dan telah memasuki tahap pemeriksaan substantif.



Gambar 3.20. Perangkat keras rancangan Charger+MPP dan fotografi ruang eksperimen alat, serta hasil monitoring kinerja alat

Modul Charger+MPPT yang dikembangkan, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.20**, telah diuji pada skala laboratorium dan skala lapangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan hasil yang diinginkan. Pada bagian bawah gambar tersebut terlihat pula fotograf hasil monitoring kinerja alat yang menunjukkan tegangan operasi PV, konverter DC-DC serta tegangan unit baterai.

BAB 4 – HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Riset ini akan menghasilkan sebuah luaran utama berupa produk nasional *Solar-Grid Electric Controller* yang dapat bersaing dengan produk impor. **Tabel 4.1** merangkum indikator kinerja capaian riset tahun pertama.

Tabel 4.1 Indikator Kinerja Capaian Riset Tahun I

No	Indikator Kinerja Riset	Target	Keterangan
1.	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Merek Dagang terdaftar ke Kemenkumham Republik Indonesia.	100%	Merek Dagang terdaftar dan mendapatkan nomor pendaftaran resmi dari Kemenkumham Republik Indonesia dengan nama merek “ELITREN”
2.	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Desain Industri ke Kemenkumham Republik Indonesia.	100%	Desain Industri terdaftar dan mendapatkan nomor pendaftaran resmi dari Kemenkumham Republik Indonesia berupa Perangkat Pengatur Daya Listrik dari Jala-Jala AC dan Panel Surya.
3.	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Paten/Paten Sederhana ke Kemenkumham Republik Indonesia	100%	Dokumen paten lengkap dengan tema mengenai “Teknik Kendali Adaptif untuk Regulator/Stabilizer Tegangan DC pada Boost Converter”, yang telah mendapatkan nomor pendaftaran resmi dari Kemenkumham Republik Indonesia.
4.	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa Inverter DC-AC Satu-Fasa dan Power Filter	100%	Prototipe printed circuit board (PCB) dari Inverter DC-AC Satu-Fasa dengan filter power yang telah diuji di lapangan.
5.	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa modul Battery Charger yang dilengkapi dengan unit MPPT (Maximum Power Point Tracer)	100%	Prototipe printed circuit board (PCB) dari Battery Charger yang dilengkapi dengan unit MPPT dan telah diuji di lapangan
6.	Makalah ilmiah yang akan disubmit pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS.	100%	Makalah Ilmiah lengkap yang telah tersubmit pada jurnal internasional bereputasi terindeks SCOPUS, Scimago Q2
7.	Diseminasi/Presentasi hasil riset dalam Seminar Internasional yang dilaksanakan di dalam negeri, dimana makalah yang dipresentasikan akan diindeks oleh lembaga pengindeks SCOPUS	100%	Makalah Ilmiah lengkap dan telah dipresentasikan pada Seminar Internasional terindeks SCOPUS yang diselenggarakan di dalam negeri
8.	Dokumen Studi Kelayakan komersialisasi produk nasional Solar-Electric Controller dengan merek dagang “ELITREN”	100%	Dokumen Studi Kelayakan yang memperlihatkan studi mengenai kompetitor yang menghasilkan produk yang sama dengan produk dari riset ini, studi harga kompetitif, aliran kas.

4.1 Merek Dagang

Merek Dagang dengan nama e-LITREN telah terdaftar ke Kemenkumham pada tanggal 13 Maret 2019 dengan no. permohonan DID2019013099, telah diumumkan pada tanggal 22 Maret 2019 dgn no. pengumuman BRM1519A, dan dalam proses didaftar untuk diberi Sertifikat. Adapun bukti dokumen dapat dilihat pada lampiran. **Gambar 4.1** memperlihatkan logo Merek terdaftar.



Gambar 4.1. Logo Merek ELITREN.

Selain itu, kami juga sudah mendaftarkan merek dagang kedua dengan nama merek „e-RISPRO“, terdaftar pada tanggal 10 Juli 2020, dengan nomor permohonan DID2020036106. **Gambar 4.2** memperlihatkan logo merek dagang yang akan didaftarkan.



Gambar 4.2. Logo Merek e-RISPRO.

4.2 Desain Industri

Desain Industri "Perangkat Daya Listrik" telah terbit sertifikatnya dengan No. IDD000055359 tanggal 16 Januari 2020, telah diumumkan pada tanggal 17 Juni 2019. Adapun kegunaan dari alat ini yaitu mengatur proses penggabungan daya listrik yang diperoleh dari jala-jala arus bolak-balik atau AC dan sumber listrik arus searah atau DC dari panel sel-sel surya atau sel-sel fotovoltaik. Bukti dokumen dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.3. Gambar desain industri yang siap didaftarkan.

Selain itu, kami telah menyelesaikan proses pendaftaran desain industri kedua "Perangkat Suplai Daya Listrik", sebagai bentuk desain alternatif dari produk. Dengan nomor permohonan A00202002177 pada tanggal 29 Juli 2020. **Gambar 4.3** memperlihatkan beberapa pose gambar desain industri tersebut.

4.3 Paten-paten

Paten dengan nomor pendaftaran P15201604471 dengan judul “Penyuplai Daya Listrik dengan Sumber Energi Terbarukan dan Terminal Arus Searah dan Arus Bolak Balik”, dan paten dengan nomor pendaftaran P15201500005 dengan judul “Algoritma Transfer Daya Maksimum Melalui Metode Penyaklaran” sedang dalam masa pemeriksaan substantif.

Satu paten dengan judul “Pembangkitan Sinyal Kendali Inverter Berbasis Teknik Pra-Penjadwalan Aktivasi-Deaktivasi Pulsa Termodulasi” telah terdaftar dengan nomor permohonan P00202003354 pada tanggal 6 Mei 2020.

Satu paten yang lain dengan judul “Kendali Adaptif untuk Regulasi Tegangan pada Konverter DC-DC” juga telah terdaftar dengan nomor permohonan S00202008457, pada tanggal 12 November 2020.

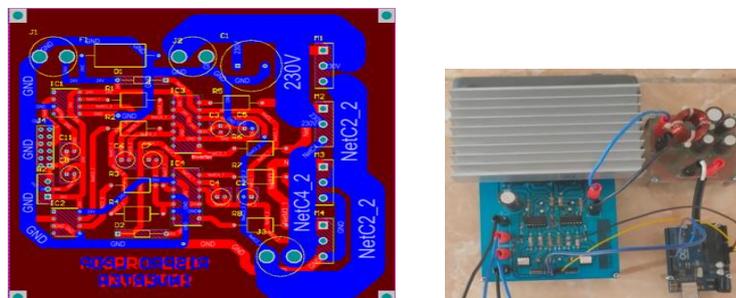
Dua paten terakhir merupakan paten-paten yang didaftarkan selama masa riset RISPRO Komersil ini. Adapun bukti dokumen dapat dilihat pada lampiran.

4.4 Prototipe Konverter, Inverter + Filter

Untuk prototipe inverter satu fasa mengalami perubahan desain dari komponen SMD menjadi komponen through-hole dengan menggunakan PCB 2 lapisan. Jalur tembaga untuk aliran daya juga diperbesar. Prototipe ini menggunakan 2 layout PCB. Proses uji coba dilakukan dengan 2 tahap pertama menggunakan sinyal gelombang kotak dan kedua menggunakan sinyal SPWM.

Untuk prototipe konverter memiliki beberapa komponen utama yaitu MOSFET, Dioda, Kapasitor, Resistor, dan Induktor. Saat ini, rangkaian tersebut telah selesai dan telah diuji. Untuk lebih jelas bukti dokumen roadmap desain prototipe tertera pada lampiran. **Gambar 4.4** memperlihatkan prototipe konverter dan inverter + filter.

Salah satu keunggulan dari prototipe ini adalah teknik pembangkitan sinyal kendali pulsa yang efisien. Pulsa kendali dibangkitkan dengan sebuah algoritma toggling pulsa sesuai dengan slot waktu toggling yang disediakan. Waktu toggling dibuat secara offline melalui program simulasi. Teknik ini berpotensi mengurangi jumlah memori yang dibutuhkan untuk mengimplementasikan algoritma tersebut.

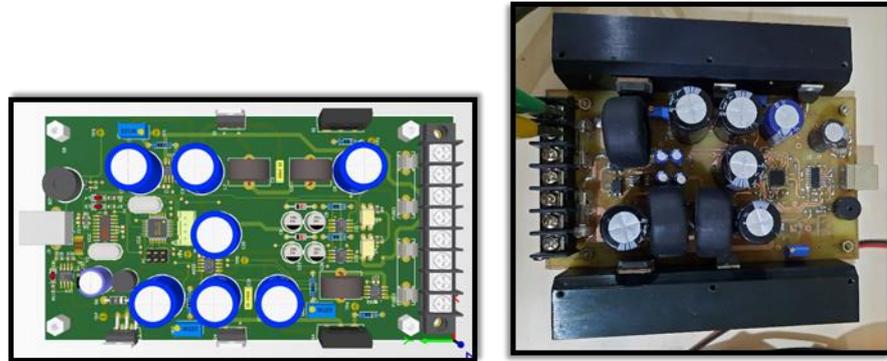


Gambar 4.4. Prototipe DC-DC Konverter dan Inverter + Filter.

4.5 Prototipe Modul MPPT dan Charger

Modul MPPT yang dirancang ditandem menggunakan rangkaian charger atau pengisi baterai. Modul MPPT ini berfungsi mengoptimalkan lairan daya

listrik dari sumber ke beban listrik. Modul charger berfungsi menstabilkan tegangan pengisian baterai. Saat ini rangkaian tersebut telah selesai dan telah diuji. Untuk lebih jelas bukti dokumen roadmap desain prototipe tertera pada lampiran. Pada sisi kiri **Gambar 4.5** memperlihatkan tata letak (layout) printed circuit board (PCB) dari prototipe charger + MPPT.



Gambar 4.5. Prototipe Charger+MPPT: Layout PCB dan Fotografi perangkat keras ril alat.

Fotografi hasil manufaktur PCB dari protitpe modul charger + MPPT (kiri) beserta fotografi setup eksepermental alat (kanan) dapat dilihat pada sisi kanan **Gambar 4.5**.

Di bandingkan dengan teknik non konvensional yang ada, algoritma MPPT yang diusulkan dan digunakan dalam prototipe sangat sederhana. Algoritma MPPT meggunakan teknik Scanning dengan jendela scanning yang dipersempit setiap iterasi untuk menjebak hingga akhirnya menemukan titik daya atau titik operasi maksimum dari panel surya. Algoritma ini berpotensi mengurangi ruang memori implementasi dengan konsumsi daya yang rendah.

4.6 Paper pada Jurnal Internasional Terindeks SCOPUS

Paper yang berjudul MPPT “Algorithm Using Decremental Window-Scanning Method for Home Scale Photovoltaic-Based Power Supply Systems” telah disubmit pada jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS (Scimago Journal Rank Q2) “International Journal of Innovative Computing, Information and Control”. Untuk bukti dokumen dan bukti *submit* dapat dilihat pada lampiran.

4.7 Paper Seminar Internasional

Paper dengan judul “Standalone Single Phase DC-AC Inverter with FPGA-based pulse modulated generator unit” telah dipresentasikan dalam Seminar Internasional yang dilaksanakan di dalam negeri secara daring (*online*), dimana makalah yang dipresentasikan telah diindeks oleh lembaga pengindeks SCOPUS dan telah tampil pada laman IEEEExplorer. Bukti dokumen dapat dilihat pada lampiran.

4.8 Dokumen Studi Kelayakan

Untuk komersialisasi produk nasional Solar-Electric Controller dengan merek dagang “ELITREN”, maka telah dilakukan studi kelayakan. Untuk bukti dokumen terdapat pada lampiran.

BAB 5 – KONTRIBUSI MITRA

Pada tahun pertama ini mitra telah berkontribusi dalam bentuk inkind yang dapat diuangkan seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.1. Kontribusi Mitra (*In-Kind*)

No	Indikator Kinerja Riset (IKR)/ Luaran	Progres	Kontribusi Mitra dalam Bentuk In-cash/ In-kind		Jenis Kontribusi	Deskripsi Kontribusi Mitra
		%	Pagu	Realisasi		
1	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Merek Dagang terdaftar ke Kemenkumham Republik Indonesia.	100	Rp0	Rp0	-	Tidak ada
2	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Desain Industri ke Kemenkumham Republik Indonesia.	100	Rp10,000,000	Rp10,000,000	In-kind	Saran-saran untuk bentuk desain
3	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Paten/Paten Sederhana ke Kemenkumham Republik Indonesia	100	Rp0	Rp0	-	Tidak ada
4	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa Inverter DC-AC Satu-Fasa dan Power Filter	100	Rp40,000,000	Rp40,000,000	In-kind	Pemberian jasa konsultasi perancangan
5	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa modul Battery Charger yang dilengkapi dengan unit MPPT (Maximum Power Point Tracer)	100	Rp40,000,000	Rp40,000,000	In-kind	Pemberian jasa konsultasi perancangan
6	Makalah ilmiah yang akan disubmit pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS.	100	Rp0	Rp0	-	Tidak ada

7	Diseminasi/ Presentasi hasil riset dalam Seminar Internasional yang dilaksanakan di dalam negeri, dimana makalah yang dipresentasikan akan diindeks oleh lembaga pengindeks SCOPUS	100	Rp0	Rp0	-	Tidak ada
8	Dokumen Studi Kelayakan komersialisasi produk nasional Solar-Electric Controller dengan merek dagang "ELITREN"	100	Rp50,000,000	Rp50,000,000	In-kind	Pemberian jasa konsultasi pemasaran
Total			Rp140,000,000			

BAB 6 – PENUTUP

6.1 Persentasi Capaian Indikator Kinerja Tahun I

Capaian pada tiap indikator kinerja riset Tahun I adalah sebagai berikut:

1. Merek dagang: 100%, merek dagang “e-RISPRO” telah terdaftar.
2. Desain Industri: 100%, 1 Sertifikat Desain Produk Industri telah terbit.
3. Paten: 100%, 2 paten telah memasuki tahap pemeriksaan substantif, 2 paten baru telah didaftar.
4. Prototipe Inverter + Filter: 100%, desain PCB telah jadi dan telah diuji. Video rekaman pengujian alat dapat ditunjukkan oleh Tim.
5. Prototipe Modul MPPT: 100%, desain PCB telah jadi dan telah diuji. Video rekaman pengujian alat dapat ditunjukkan oleh Tim.
6. Paper telah disubmit pada Jurnal Internasional: 100%
7. Paper telah dipresentasikan pada Seminar Internasional: 100%
8. Dokumen studi kelayakan telah rampung: 100%

Seluruh Indikator Kinerja telah dicapai 100% sejak akhir Bulan Desember 2020, namun kami masih menyempurnakannya hingga akhir bulan Januari 2021.

6.2 Kendala-Kendala yang Dihadapi

Dalam proses perancangan prototipe terdapat kendala-kendala yang cukup berarti yaitu ketersediaan komponen yang berkualitas sangat baik hanya dapat diperoleh melalui import. Komponen dengan kualitas biasa bisa ditemukan di pasar lokal atau nasional.

Kondisi pandemi COVID-19 membuat tim riset tidak dapat bekerja di lab dan memanfaatkan peralatan lab secara optimal. Demikian seluruh output penelitian telah dicapai.

6.3 Rencana Kegiatan Tahun II

Rencana kegiatan Tahun II adalah mewujudkan capaian kegiatan riset sehingga indikator kinerja riset dapat tercapai 100%.

No	Indikator Kinerja Riset	Target	Keterangan
1.	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Paten/Paten Sederhana ke Kemenkumham Republik Indonesia	100%	Dokumen paten lengkap dengan tema mengenai “Active Power Filter untuk Inverter DC-AC”, yang telah didaftarkan dan mendapatkan nomor pendaftaran resmi dari Kemenkumham Republik Indonesia
2.	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa Konverter DC-DC Penaik Tegangan (Boost Converter 24/220VDC).	100%	Prototipe Printed Circuit Board (PCB) dari Konverter DC-DC penaik tegangan DC 24V ke DC 220V yang telah diuji di lapangan.
3.	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa Perangkat keras dan perangkat lunak (web dan antarmuka) monitoring kondisi peralatan Solar Electric Controller	100%	Prototipe Printed Circuit Board (PCB) dari Perangkat keras dan perangkat lunak (web dan antarmuka) monitoring kondisi peralatan Solar Electric Control yang telah diuji di lapangan
4.	Prototipe dari salah satu bagian produk berupa Perangkat otomasi sambungan grid AC terkonversi DC dan sumber DC energi terbarukan untuk perangkat Solar Electric Controller	100%	Prototipe Printed Circuit Board (PCB) dari Perangkat otomasi sambungan grid AC terkonversi DC dan sumber energi terbarukan untuk perangkat Solar Electric Controller yang telah diuji di lapangan.
5.	Makalah ilmiah yang akan melewati proses review (yang telah disubmit di Tahun I) pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS	100%	Makalah ilmiah yang akan melewati proses review (yang telah disubmit di Tahun I) pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS Scimago Q1/Q2
6.	Diseminasi/Presentasi hasil riset dalam Seminar Internasional yang dilaksanakan di dalam negeri, dimana makalah yang dipresentasikan akan diindeks oleh lembaga pengindeks SCOPUS.	100%	Makalah Ilmiah lengkap dengan tema mengenai “Rangkaian filter pasif untuk inverter DC-AC pada solar electric controller” dan telah dipresentasikan pada Seminar Internasional terindeks SCOPUS yang diselenggarakan di dalam negeri.
7.	Draft Dokumen Business Plan Produk Nasional yang akan disetujui Rektorat, LPPM UNHAS, LPDP dan Mitra Riset	100%	Draft Dokumen Business Plan yang memaparkan rencana bisnis yang detail dan rencana investasi.

6.4 Rencana Kegiatan Tahun III

Rencana kegiatan Tahun III adalah mewujudkan capaian kegiatan riset sehingga indikator kinerja riset dapat tercapai 100%.

No	Indikator Kinerja Riset	Target	Keterangan
1.	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Paten/Paten Sederhana ke Kemenkumham Republik Indonesia	100%	Dokumen paten lengkap dengan tema mengenai “Teknik maksimisasi transfer daya dari kombinasi sumber daya listrik panel surya, panel termoelektrik dan turbo generator angin”, yang telah didaftarkan dan mendapatkan nomor pendaftaran resmi dari Kemenkumham Republik Indonesia.
2.	Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Paten/Paten Sederhana ke Kantor Organisasi Kekayaan Intelektual Internasional (WIPO - World Intellectual Property Organization).	100%	Dokumen paten lengkap (dalam bahasa Inggris dengan tema “Power Transfer Maximization from Multi Renewable Energy Sources”) yang telah siap didaftarkan ke kantor WIPO.
3.	Produk Final Solar Electric Control bersertifikat SNI atau IEC/ TÜV Indonesia	100%	Produk Solar Electric Controller yang siap dipasarkan dan telah diuji sesuai kondisi ril di lapangan, serta memiliki sertifikat Standard Nasional Indonesia (SNI), atau sertifikat standard internasional seperti IEC (International Electrotechnical Commission) atau TÜV (Technische Überwachungsverein), standard Jerman yang berlaku secara internasional
4.	Makalah ilmiah (yang telah disubmit di Tahun I dan direview di Tahun II) yang telah terbit pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS.	100%	Makalah ilmiah (yang telah disubmit di Tahun I dan direview di Tahun II) yang telah terbit pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS Scimago Q1/Q2.
5.	Diseminasi/Presentasi hasil riset dalam Seminar Internasional yang dilaksanakan di dalam negeri, dimana makalah yang dipresentasikan akan diindeks oleh lembaga pengindeks SCOPUS	100%	Makalah Ilmiah lengkap dan telah dipresentasikan pada Seminar Internasional terindeks SCOPUS yang diselenggarakan di dalam negeri
6.	Buku Referensi yang diterbitkan (memiliki ISBN).	100%	Buku Referensi yang memiliki ISBN yang menjelaskan teknik-teknik perancangan modul-modul yang ada di dalam produk nasional, yang bisa dijadikan acuan untuk mengajar dan memberi pelatihan nasional.
7.	Blueprint dan Detail Drawings untuk Produk Nasional ELITREN.	100%	Dokumen Blueprint dan Detail Drawings yang menggambarkan detail perancangan, assembly dan manufaktur produk, termasuk di dalamnya Bill of Materials dari Produk.

No	Indikator Kinerja Riset	Target	Keterangan
8.	Dokumen Final Business Plan Produk Nasional yang akan disetujui Rektorat, LPPM UNHAS, LPDP dan Mitra Riset	100%	Dokumen Final Business Plan yang memaparkan rencana bisnis yang detail dan rencana investasi.

LAMPIRAN

1. Bukti Pendaftaran Merek Dagang e-RISPRO dan eLITREN.
2. Bukti Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa Desain Industri ke Kemenkumham Republik Indonesia.
3. Bukti Pendaftaran HaKI (Hak atas Kekayaan Intelektual) berupa 2 Paten/Paten Sederhana ke Kemenkumham Republik Indonesia.
4. Prototipe dari salah satu bagian produk berupa Inverter DC-AC Satu Fasa dan Konverter.
5. Prototipe dari salah satu bagian produk berupa modul Battery Charger yang dilengkapi dengan unit MPPT (*Maximum Power Point Tracer*).
6. Makalah ilmiah yang telah disubmit pada Jurnal Internasional bereputasi terindeks SCOPUS, International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC).
7. Bukti Makalah ilmiah telah dipresentasikan dalam Seminar Internasional iSITIA 2020.
8. Dokumen Studi Kelayakan Produk Sistem Power Suplai dengan merek dagang terdaftar.