

Pengembangan Inverter di PT Len Industri (Persero)

Tema : Inverter

Penulis : Ahmad Husnan Arofah, ST.

Produk Kontrol & Elektronika Daya

Divisi Pusat Teknologi & Inovasi

PT Len Industri (Persero)

Abstraksi

Pada era modern seperti sekarang, perkembangan kebutuhan listrik dimasyarakat meluas ke hampir semua sektor. Mulai dari rumah tangga, infrastruktur umum, perindustrian, perkantoran, transportasi, bahkan sampai pertokoan. Peningkatan kebutuhan listrik harus diimbangi oleh peningkatan sumber daya listrik, selain itu peningkatan efisiensi pada beban juga dapat membantu efektifitas penggunaan listrik itu sendiri. Dalam hal ini inverter sebagai salah satu perangkat elektronika daya memiliki peran penting dalam dua hal tersebut. Pertama sebagai penyedia sumber daya listrik, inverter mampu berperan dalam mengkonversi tenaga listrik yang berasal dari sumber daya energi terbarukan menjadi listrik yang dapat digunakan oleh pengguna akhir. Yang kedua, inverter juga banyak dimanfaatkan dalam perangkat-perangkat kelistrikan untuk mengoptimalkan efisiensi kerja perangkat tersebut, sehingga pemanfaatan sumber daya listrik bisa lebih dioptimalkan. Dalam tulisan ini penulis akan menengahkan pengetahuan dasar mengenai inverter dan juga progres pengembangan inverter, khususnya Bidirectional Inverter yang telah dicapai oleh Team Elektronika Daya Divisi Pustekin PT Len Industri.

Kata kunci : Inverter, Elektronika daya, sumber daya energi terbarukan, Bi-directional Inverter

Pendahuluan

Beberapa waktu yang lalu kata inverter mungkin masih awam ditelinga masyarakat. Akan tetapi, dengan seiringnya waktu, kata inverter mulai lazim dan sering terdengar. Ditandai dengan sering munculnya kata Inverter dalam iklan beberapa produk peralatan listrik rumah tangga dilayar kaca, seperti AC Inverter, kulkas inverter dan lain sebagainya. Dalam iklan-iklan tersebut disebutkan bahwa dengan menggunakan inverter maka akan didapati penghematan daya listrik yang signifikan dibandingkan dengan produk sebelumnya yang masih menggunakan sistem konvensional.

Sedangkan dalam dunia industri, Inverter telah lama digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti penggerak motor conveyor, penggerak motor kompressor, sebagai UPS dan masih banyak lagi. Untuk bidang Transportasi masal, Inverter dimanfaatkan sebagai sistem propulsi atau penggerak utama kereta listrik menggantikan teknologi Rheostatic yang sudah kuno dan boros energi, selain itu Static inverter juga digunakan untuk mencatu perangkat-perangkat listrik menggantikan motor-generator set sehingga mempermudah perawatan karena tidak adanya komponen bergerak didalam inverter. Dalam dunia sumber daya energi terbarukan, inverter menduduki posisi penting dalam menjembatani keberadaan energi listrik dari sumber daya terbarukan dengan pengguna akhir. Karena pada umumnya energi listrik dari sumber daya terbarukan tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh pengguna akhir. Sebagai contoh, Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya yang merupakan tegangan searah (DC) tidak dapat langsung didistribusikan dan digunakan oleh beban pengguna akhir yang umumnya memiliki spesifikasi tegangan masukan bolak-balik (AC). Contoh lainnya adalah sumber listrik tenaga angin, keberadaan angin yang tidak kontinyu dapat mengganggu keberadaan listrik di jaringan, oleh karena itu dibutuhkan penanganan khusus agar sumber energi ini dapat dimanfaatkan, misal disimpan dulu ke sistem penyimpanan energi seperti baterai, baru kemudian dari baterai dikonversi oleh inverter dialirkan ke jaringan.

Melihat begitu besarnya potensi inverter dalam pembangunan di berbagai bidang, sedangkan pemenuhan kebutuhan inverter lebih dari 95% merupakan impor dari luar negeri. Maka dalam hal ini PT Len Industri merasa perlu untuk melakukan rancang bangun dalam bidang inverter ini. Dengan memiliki produk inverter sendiri akan memiliki beberapa manfaat bagi PT Len Industri, yaitu untuk menurunkan nilai HPP per proyek, selain itu yang lebih penting adalah untuk dapat meningkatkan daya saing PT Len Industri dan anak perusahaan dalam kompetisi bisnis yang semakin ketat.

Sekilas Mengenai Inverter

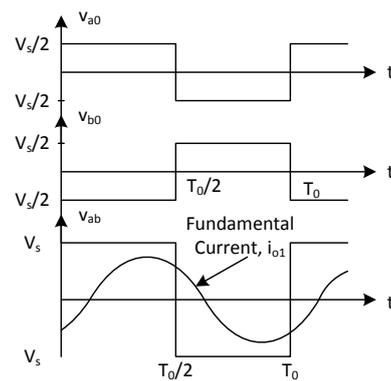
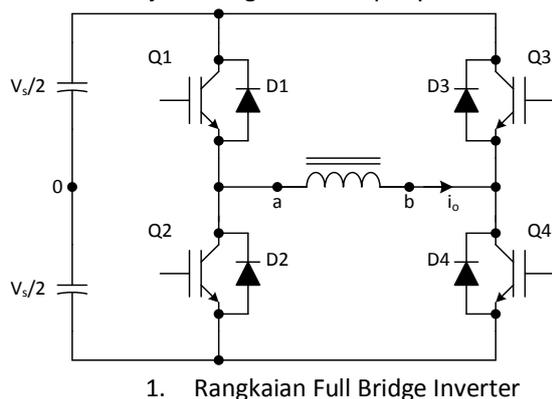
- **Definisi**

Secara garis besar inverter adalah perangkat untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Sedangkan lebih secara detail inverter berfungsi untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC pada tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Perubahan Tegangan keluaran ac dapat diperoleh dengan cara mengubah-ubah tegangan masukan DC dan menjaga nilai penguatan inverter secara konstan. Dengan kata lain, jika tegangan masukan DC dibuat tetap dan tidak bisa dikendalikan, maka tegangan keluaran yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan cara mengubah nilai penguatan inverter, yang umumnya dilakukan dengan cara pengaturan PWM (Pulse Width modulation) didalam inverter. Nilai penguatan dari inverter dapat ditentukan sebagai perbandingan antara tegangan keluaran AC dengan tegangan masukan DC atau yang biasa disebut dengan Modulation Index (MI).

Bentuk sinyal ideal keluaran inverter adalah sinusoidal. Akan tetapi, pada kenyataannya keluaran inverter tidak selalu murni sinusoidal dan mengandung nilai harmonik tertentu. Untuk aplikasi daya rendah dan menengah, bentuk sinyal kotak (square wave) atau sinyal quasi-square mungkin masih diperbolehkan. Sedangkan untuk aplikasi daya besar dibutuhkan sinyal yang sedikit terdistorsi. Dengan tersedianya komponen semikonduktor penyaklaran berkecepatan tinggi, teknik-teknik penyaklaran baru dimungkinkan untuk mengurangi kandungan harmonisa didalam tegangan keluaran inverter.

- **Cara kerja**

Berikut ini disajikan rangkain dasar penyusun inverter satu fasa.



Gambar 1. Single-phase full-bridge inverter

Inverter dengan topologi full bridge ditunjukkan oleh gambar 1a. Inverter tersebut terdiri dari empat buah divais pencacah/penyaklaran (dapat berupa transistor, MOSFET atau IGBT) yang dirangkai dengan dioda antiparalel. Ketika transistor Q1 dan Q4 dinyalakan secara bersamaan, tegangan beban menjadi V_s . Dan sebaliknya, ketika transistor Q2 dan Q3 dinyalakan secara bersamaan, maka tegangan yang dirasakan oleh beban menjadi $-V_s$. Bentuk tegangan untuk keluaran ditunjukkan oleh gambar 1-b. Dengan begitu kita dapat mengkonversi tegangan searah menjadi tegangan bolak balik.

- **Metode pengendalian**

Pada banyak aplikasi industri, sistem kendali diperlukan untuk mengendalikan tegangan keluaran inverter. Hal ini dikarenakan beberapa hal berikut :

1. Untuk mengatasi perubahan tegangan DC pada sisi masukan
2. Untuk mengatur tegangan keluaran inverter
3. Atau untuk mengendalikan tegangan/frekuensi konstan bila diperlukan.

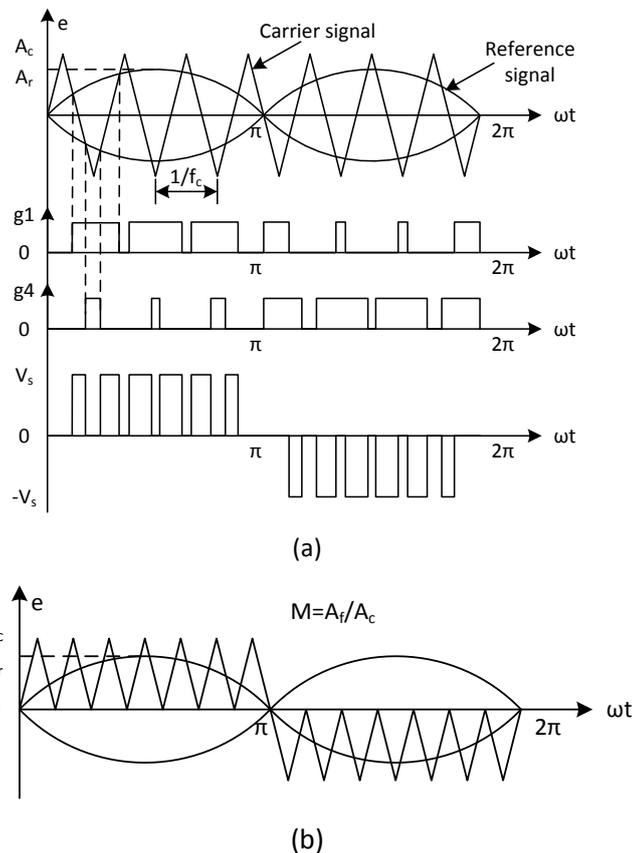
Ada banyak teknik untuk mengubah-ubah nilai penguatan keluaran inverter. Metode yang paling efisien untuk mengendalikan nilai penguatan (dan tegangan output) adalah dengan mengendalikan PWM (Pulse Width Modulation) didalam inverter. Teknik yang biasa digunakan antara lain :

1. Single-pulse-width modulation

2. Multiple-pulse-width modulation
3. Sinusoidal-pulse-width modulation
4. Modified sinusoidal-pulse-width modulation
5. Phase displacement control

Untuk mempersingkat pembahasan, maka penulis hanya akan membahas teknik Sinusoidal-pulse-width modulation.

Sinusoidal-pulse-width modulation bekerja dengan cara mengubah-ubah lebar pulsa berdasarkan perbandingan amplitudo antara gelombang segitiga (*carrier wave* dengan frekuensi f_c) dengangelombang sinus (*reference wave* dengan frekuensi f_r) yang memiliki titik 0 yang sama. Dengan teknik ini maka kita dapat mengurangi faktor distorsi dan harmonisa orde rendah secara signifikan. Sinyal penyaklaran ditunjukkan pada gambar 2a. Teknik ini dalam dunia industri biasa disingkat dengan SPWM. Frekuensi sinyal referensi f_r menentukan frekuensi keluaran inverter, f_o , dan amplitudo puncaknya A_r , mengendalikan modulation index, M , yang kemudian menentukan tegangan rms keluaran, V_o . Sedangkan jumlah pulsa setiap setengah siklus tergantung oleh frekuensi sinyal carrier f_c . Tegangan sesaat yang dihasilkan oleh PWM ditunjukkan oleh gambar 2a. Sinyal penyaklaran yang sama dapat dihasilkan dengan menggunakan gelombang segitiga unidirectional seperti ditunjukkan pada gambar 2b. Tegangan rms keluaran dapat diubah-ubah dengan cara mengubah-ubah modulation index M .



Gambar 2. Sinusoidal pulse-width modulation.

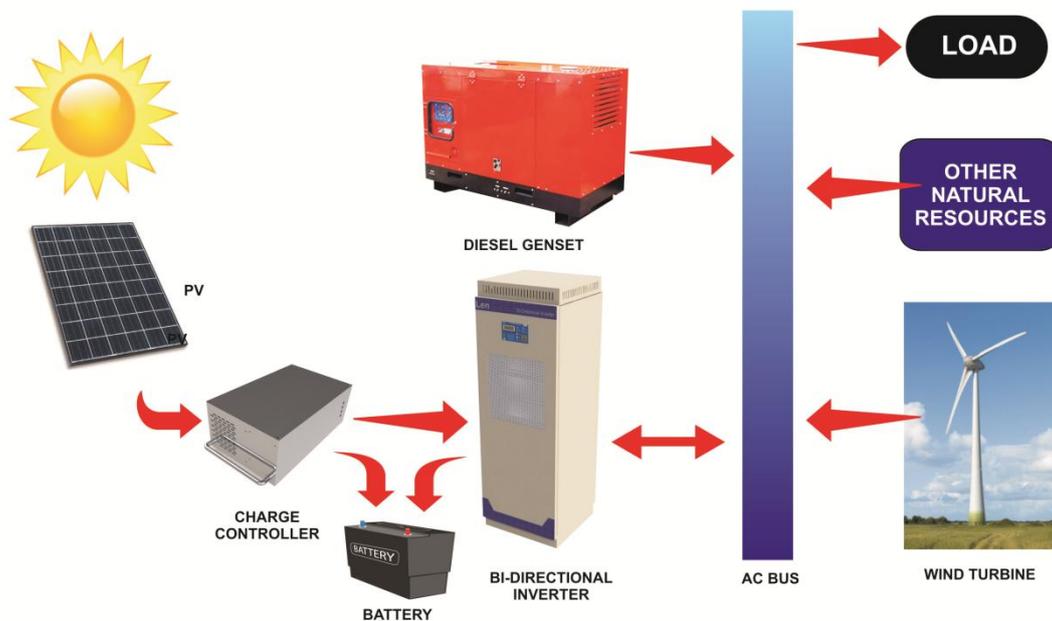
Pengembangan Bi-directional Inverter di Divisi Pustekin PT Len Industri

• Roadmap pengembangan Bi-directional Inverter

Keikutsertaan Len dalam dunia bisnis elektronika daya sudah dimulai semenjak ditunjuknya Len sebagai BUMN strategis oleh Bapak Habibie yang saat itu menduduki jabatan Menristek. Pada saat itu Len mendapat tugas untuk melakukan Transfer of Technology (TOT) dengan perusahaan propulsi kereta dari Belanda Holec Ridderkerk. Hasil dari TOT tersebut PT Len mampu melakukan perakitan sampai pengetesan untuk beberapa perangkat sistem kelistrikan KRL, termasuk VVVF Inverter sebagai pengendali dan penggerak utama KRL dan

Static Inverter sebagai auxiliary power supply di KRL. Setelah proyek tersebut selesai, PT Len masih memiliki keterlibatan dalam beberapa proyek terkait bisnis elektronika daya pada umumnya dan Inverter pada khususnya. Sebagian besar bisnis tersebut terkait dengan dunia traksi KRL, baru pada pertengahan 2000-an PT Len memperluas bisnis tersebut ke bidang renewable energy. Dimulai dari unit bisnis energi yang kemudian berubah menjadi anak perusahaan Surya Energi Indotama, menunjukkan bahwa bisnis dibidang ini begitu menjanjikan. Didukung oleh kompetensi PT Len dalam manufaktur Sel Surya, maka diharapkan bisnis ini bisa menjadi tulang punggung Len dimasa mendatang.

Akan tetapi permasalahan utama baik untuk bisnis bidang traksi KRL dan renewable energy adalah komponen/ekuiipmen utama yaitu inverter masih diadakan dari penyedia teknologi dari luar negeri. Untuk KRL penyedia inverter umumnya dari Jepang dan Eropa, baelakangan ini muncul juga alternatif dari Korea. Sedangkan untuk bidang renewable energy penyedia inverter sebagian besar dari Eropa dan Cina, tetapi ada juga yang berasal dari Thailand. Sangat disayangkan, belum ada penyedia inverter lokal dari dalam negeri. Dalam konten total proyek, inverter mungkin tidak menempati pada porsi yang paling besar, akan tetapi inverter memiliki peran penting sebagai jembatan antara sumber dengan pengguna akhir. Tanpa adanya inverter maka keberadaan sumber tidak akan bisa dimanfaatkan oleh pengguna akhir. Sebagai contoh sistem pembangkit listrik hybrid seperti pada gambar 3, bahwa sumber tegangan dc yang berasal dari sel surya tidak akan sampai ke beban di pengguna akhir bila tidak ada inverter.



Gambar 3. Sistem pembangkit listrik hybrid

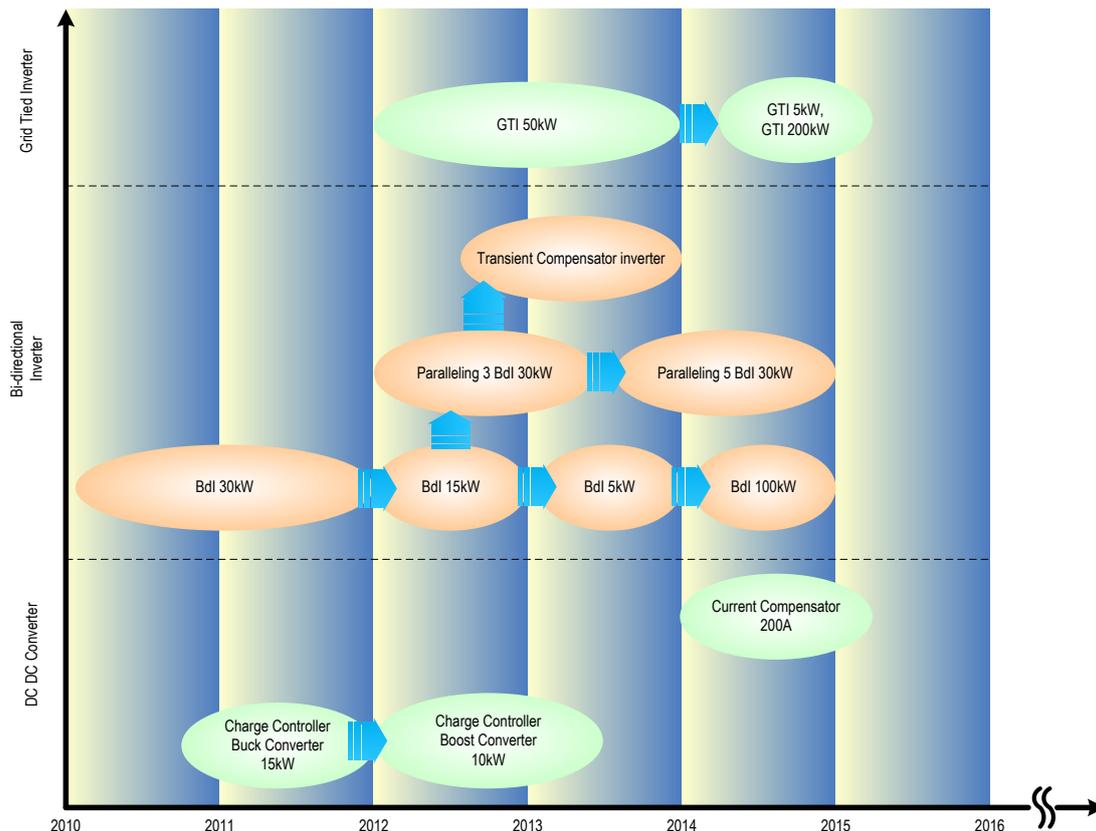
Oleh karena itu PT Len Industri, dengan visinya untuk “Menguasai kemandirian teknologi yang berdaya saing” merasa perlu untuk melakukan program pengembangan produk inverter melalui Divisi Pusat Inovasi dan Teknologi didalam internal Len sendiri. Program ini memiliki beberapa nilai strategis antara lain :

1. Meningkatkan margin dari nilai biaya total proyek. Dengan adanya inverter yang dibuat didalam internal Len, maka hal tersebut dapat mengurangi biaya produksi, biaya transportasi dan juga bea-bea masuk, jika dibandingkan dengan membeli produk inverter dari luar.
2. Meningkatkan kompetensi Len dan anak perusahaan dalam persaingan bisnis yang semakin ketat, dengan terpenuhinya Inverter Len dengan nilai TKDN yang tinggi maka Len akan memiliki keuntungan dalam tender-tender terkait.
3. Meningkatkan pelayanan dan efisiensi aftersales. Dengan membeli produk dari luar, berarti segala hal terkait dengan aftersales akan selalu bergantung dengan penyedia teknologi dari luar. Bila terjadi kerusakan atau gangguan maka dibutuhkan komunikasi dengan pihak luar yang pastinya akan memakan waktu dan biaya yang lumayan. Akan berbeda ketika inverter tersebut

mampu kita produksi didalam internal kita, maka penyelesaian kerusakan dan gangguan dilapangan akan dapat diatasi dengan relatif cepat dan memakan biaya yang minimal.

4. Dengan adanya kemandirian teknologi, berarti kita dapat mengurangi ketergantungan terhadap penyedia teknologi dari luar. Hal ini akan berdampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap penghematan APBN negara. Dan ini akan menjadi peran serta Len terhadap efisiensi pembelanjaan APBN tahunan negara.

Berikut ini roadmap Divisi Pustekin PT Len Industri terkait program pengembangan inverter pada bidang sumber energi terbarukan.



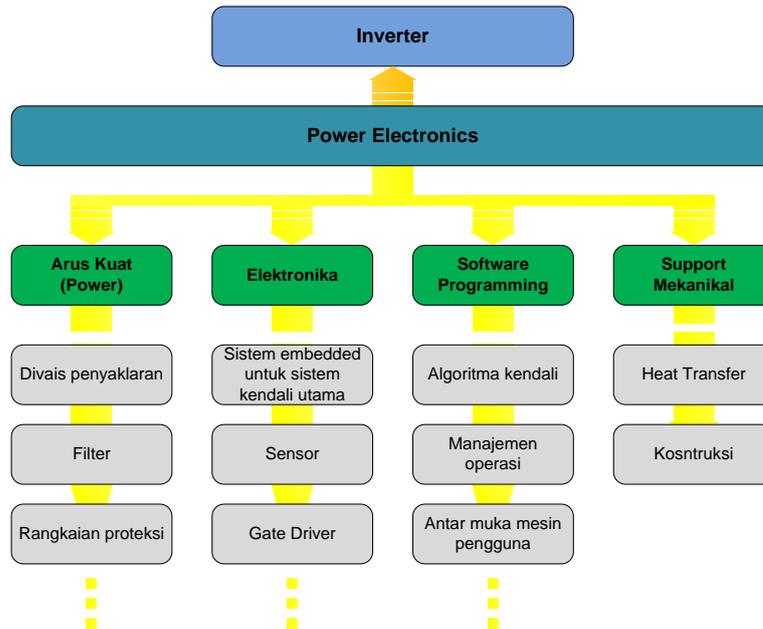
Gambar 4. Roadmap pengembangan produk pada bidang energi terbarukan.

- **Progres pengembangan Inverter**

Diantara sekian banyak produk yang dikembangkan, Divisi Pustekin telah berhasil menyelesaikan proses desain, prototyping dan sertifikasi untuk Bi-directional Inverter 15kW. Pada tahun 2013 ini Divisi Pustekin beserta Divisi Produksi melaksanakan program bersama transfer load untuk membangun 10 unit Bdl 15kW untuk dipasarkan oleh PT SEI dipelbagai proyek mereka. Berikut ini akan penulis paparkan perjalanan penguasaan teknologi Inverter untuk aplikasi energi terbarukan ini.

- **Penguasaan teknologi dasar**

Sebagai modal untuk pengembangan inverter dibutuhkan penguasaan disiplin ilmu elektronika daya yang mumpuni. Elektronika daya sendiri merupakan gabungan dari beberapa disiplin ilmu elektroteknika, seperti arus kuat, elektronika, kendali, komputer ditambah disiplin ilmu dari teknik mesin seperti heat transfer dan pengetahuan konstruksi metal.



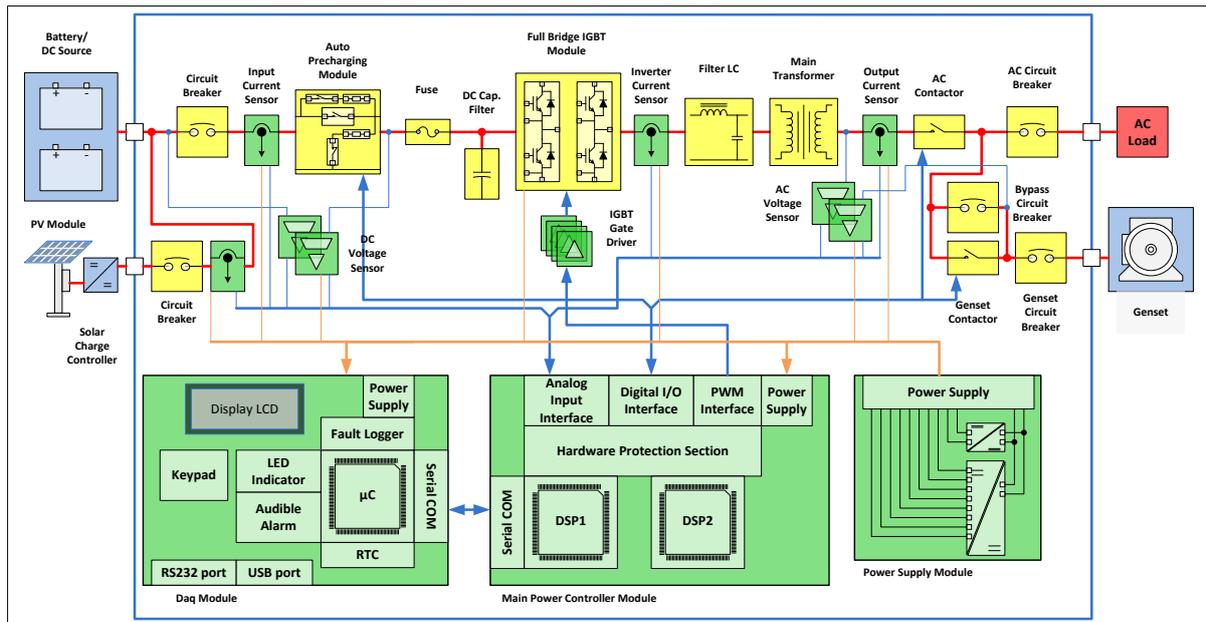
Gambar 5. Pelbagai disiplin ilmu yang diperlukan untuk pengembangan Inverter

- **Penerapan metodologi desain yang benar**

Melihat begitu banyaknya disiplin ilmu yang terkait dengan program pengembangan Inverter ini maka diperlakukan penerapan metodologi desain yang mumpuni untuk mengefektifkan kegiatan pengembangan. Kesalahan metode yang dipilih maka akan mengakhibatkan pengulangan kesalahan yang tidak perlu, yang bisa menghabiskan sumber daya baik tenaga, biaya maupun waktu. Metodologi yang kita pilih telah menjadi SOP yang berlaku di Divisi Pustekin dengan beberapa penyesuaian.

- **Desain Sistem Inverter**

Gambar 6 dibawah ini menggambarkan skema lengkap desain Bi-directional Inverter yang dikembangkan. Input utama inverter berasal dari batere, sedangkan batere itu sendiri dicharge/diisi dari dua sumber, yang pertama berasal dari Sel Surya/PV Module melalui *Battery Solar Charge Controller*, yang kedua berasal dari penyearahan tegangan AC yang berasal dari Diesel Genset oleh Inverter yang beroperasi pada mode *battery charger*. Inverter akan berperan sebagai sumber utama bagi beban (load) setiap saat sepanjang muatan pada batere tidak dibawah ambang yang ditetapkan. Ketika muatan batere mencapai ambang bawah, maka Inverter akan mengalihkan fungsi sumber tegangan utama ke Diesel-Genset. Setelah Inverter mendeteksi bahwa muatan di batere telah kembali normal, maka inverter akan mengambil alih kembali fungsi sumber tegangan utama.



Gambar 6. Skema rangkaian Inverter yang dikembangkan oleh Div. Pustekin PT Len Industri

Secara garis besar inverter disusun atas beberapa modul yang memiliki fungsi dan tugas tertentu. Modul-modul yang menjadi penyusun inverter digambarkan terlingkupi oleh garis biru. Modul-modul tersebut antara lain :

1. Modul proteksi
 Modul proteksi terdiri atas komponen-komponen proteksi seperti Molded Case Circuit Breaker (MCCB) untuk melindungi sistem dari gangguan arus hubung singkat (short circuit), Surge Protection Device (SPD) untuk melindungi sistem dari sambaran petir tidak langsung, kontaktor AC untuk mengisolasi sistem inverter dengan beban ketika terjadi gangguan
2. Modul Sensor-sensor, didalam inverter terdapat beberapa macam sensor yang berfungsi untuk mencuplik tegangan, arus dan suhu pada titik-titik tertentu di Inverter untuk dikirim ke kontroler utama dalam bentuk data analog secara kontinyu.
 - Sensor tegangan, mencuplik tegangan tinggi untuk diubah menjadi tegangan rendah yang bisa diolah oleh kontroler utama. Dalam inverter ini sensor tegangan dibedakan menjadi sensor tegangan DC dan AC
 - Sensor arus, berfungsi untuk mencuplik arus yang mengalir pada jalur tertentu dan mengkonversinya ke level tegangan sebelum dikirim ke kontroler utama.
 - Sensor suhu, berfungsi untuk memonitor suhu lingkungan dan mengendalikan operasi fan/kipas, sehingga suhu didalam rak inverter terjaga dalam kondisi aman. Bila ternyata terdeteksi suhu diatas ambang aman maka kontroler akan mematikan sistem.
3. Modul Auto Precharging
 Modul precharging berfungsi untuk pengisian kapasitor DC pada saat inverter baru dinyalakan secara aman. Pada saat inverter baru dinyalakan, muatan kapasitor DC masih kosong, pada kondisi ini kapasitor akan menarik arus dalam jumlah besar bila terhubung langsung dengan tegangan DC tegangan tinggi. Untuk kapasitor DC dengan nilai kapasitansi yang besar, maka arus dalam jumlah besar ini akan berlangsung beberapa saat, hal ini dapat menyebabkan MCCB trip, memutuskan fuse, dan yang lebih parah bisa membakar jalur dari sumber menuju kapasitor. Modul ini bekerja dengan cara, ketika Inverter dinyalakan maka kontaktor utama tetap dalam kondisi terbuka, sedangkan kontaktor precharging yang dirangkai seri dengan resistor akan tertutup. Sehingga arus yang mengalir dari sumber ke kapasitor akan dibatasi oleh resistor. Setelah muatan kapasitor meningkat, dan tegangan kapasitor telah mencapai nilai tertentu, maka kontaktor utama akan ditutup dan arus akan mengalir melalui kontaktor utama. Modul ini juga dilengkapi kontaktor discharging. Ketika

inverter dimatikan, kontaktor utama akan dibuka, dan muatan kapasitor DC akan dibuang dan dikosongkan oleh kontaktor discharging ke resistor secara otomatis. Sehingga ketika perawatan, teknisi tidak perlu khawatir akan bahaya muatan kapasitor DC.

4. Modul Inverter

Merupakan modul utama dalam sistem, terdiri atas Kapasitor DC, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) dan Gate Driver. Modul ini yang berfungsi melakukan pencacahan tegangan DC oleh IGBT untuk dikonversi menjadi tegangan kotak-kotak. Proses penyaklaran dikendalikan oleh sinyal PWM yang berasal dari controller utama. Tetapi, sebelum menuju IGBT sinyal PWM diolah dan dikondisikan terlebih dahulu oleh IGBT Gate Driver. Selain berfungsi untuk mengkondisikan sinyal PWM, Gate Driver juga memiliki beberapa fungsi penting, seperti mengisolasi tegangan rendah dari controller dengan tegangan tinggi di IGBT, kemudian melakukan fungsi proteksi jika terjadi arus hubung singkat di IGBT dan melaporkan ke controller utama.

Kapasitor DC digunakan sebagai filter agar riak penyaklaran yang dilakukan oleh IGBT tidak keluar kesisi masukan DC. Selain itu ketika Inverter beroperasi pada mode *Battery Charger* kapasitor ini berfungsi sebagai filter keluaran.

Selama proses penyaklaran IGBT menghasilkan rugi-rugi dalam bentuk panas. Panas ini harus dibuang agar bisa menjaga IGBT tidak melebihi suhu tertentu. Oleh karena itu dibutuhkan sistem pendinginan yang mumpuni. Konsep pendinginan yang digunakan dalam inverter ini adalah pendinginan paksa. Dalam artian IGBT ditempelkan ke heatsink yang dilengkapi dengan fan/kipas sebagai media pembuangan panas. Fan ditambahkan untuk meningkatkan kapasitas perpindahan panas dari heatsink ke lingkungan sekitar.

5. Modul Filter keluaran

Filter keluaran berfungsi untuk menghilangkan riak frekuensi tinggi akibat dari penyaklaran. Dengan adanya filter ini maka bentuk gelombang yang sebelumnya kotak-kotak menjadi gelombang sinusoidal murni. Sehingga Total Harmonic Distortion (THD) yang dihasilkan inverter menjadi kecil. Produk Inverter yang bagus memiliki kisaran nilai THD dibawah 4%.

6. Modul Transformer

Modul transformer memiliki fungsi utama untuk isolasi. Sehingga adanya gangguan pada sisi keluaran tidak akan mengganggu sisi masukan dan sebaliknya. Selain itu transformer juga bisa dimanfaatkan untuk menaikkan tegangan (step-up) maupun menurunkan tegangan (step-down) keluaran inverter. Dalam kasus inverter ini, transformer yang digunakan adalah step-up.

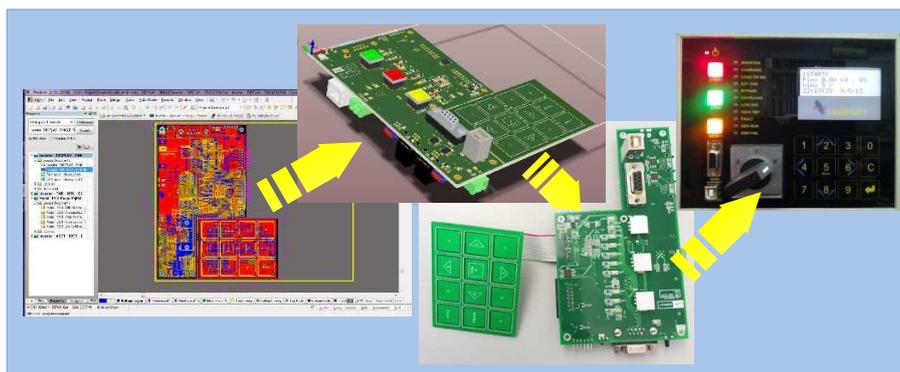
7. Modul Controller Utama

Modul ini merupakan salah satu pencapaian terbesar dan menjadi modal utama dalam program pengembangan ini dan pengembangan-pengembangan selanjutnya. Controller utama berfungsi sebagai pusat pengaturan semua operasi inverter. Secara garis besar controller utama memiliki fungsi sebagai berikut:

- Menjaga kestabilan sistem, dengan mengumpulkan data-data analog dari berbagai sensor kontroler melakukan perhitungan algoritma kendali untuk menjaga tegangan dan frekuensi keluaran inverter konstan terhadap gangguan berupa perubahan tegangan disisi masukan dan perubahan arus disisi beban. Dari hasil perhitungan tersebut, controller melakukan aksi dengan mengubah-ubah PWM yang kemudian dikirim ke Gate Driver untuk diteruskan ke IGBT sampai didapatkan kestabilan baru. Begitu seterusnya.
- Melakukan fungsi proteksi, dengan mengumpulkan data-data analog dari sensor, controller juga mengawasi nilai kewajaran dari data-data analog tersebut, jika terdeteksi terdapat data analog yang keluar dari nilai kewajaran, maka diasumsikan telah terjadi gangguan pada sistem dan inverter harus segera dimatikan.
- Mengendalikan sekuen operasi inverter, controller mengendalikan urutan start/stop secara otomatis setelah menerima perintah dari pengguna. Proses buka/tutupnya kontaktor, urutan proses precharging, pergantian mode operasi semuanya dikendalikan dari controller utama.

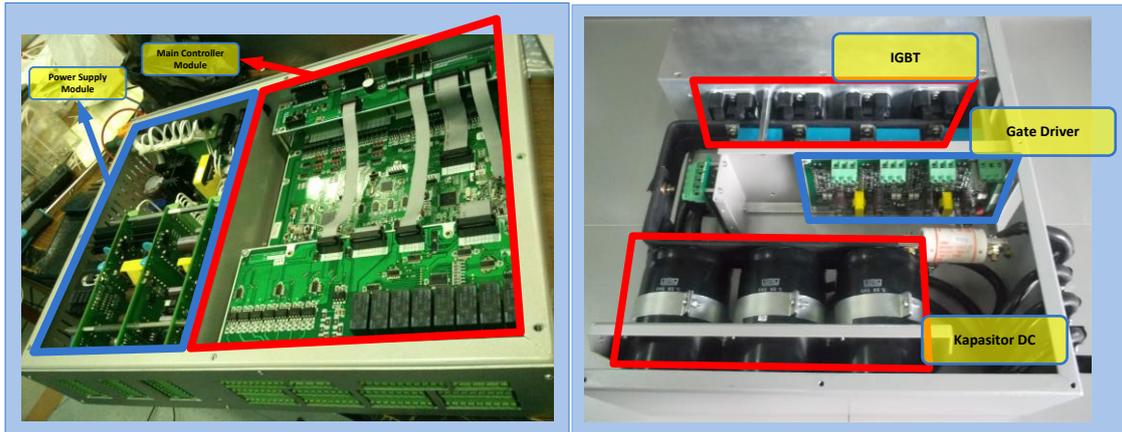
- Komunikasi, kontroler melakukan komunikasi dengan Modul Display dan akuisisi data secara aktif dan kontinu. Data-data yang ada di controller baik analog maupun digital dikirim ke Modul Display untuk diolah dan ditampilkan.
8. Modul Power Supply
- Modul-modul elektronika didalam inverter seperti kontroler, sensor, dan Gate driver tidak akan berfungsi tanpa adanya sumber catu daya tegangan rendah. Modul power supply berfungsi untuk mengubah level tegangan tinggi yang berasal dari sisi masukan (Batere) menjadi tegangan rendah pada beberapa level yang berbeda. Power supply yang digunakan harus merupakan power supply yang terisolasi, agar interferensi dan gangguan yang terjadi di level tegangan tinggi tidak mengganggu modul-modul elektronika.
9. Modul Display dan Akuisisi data
- Modul ini berfungsi untuk menerima data-data dari kontroler utama, kemudian mengolahnya dan menampilkannya lewat layar LCD, sehingga kondisi inverter dapat dimonitor oleh user. Selain itu modul ini dilengkapi perangkat-perangkat berikut:
- Tombol keypad untuk pengaturan beberapa parameter oleh user.
 - EEPROM untuk penyimpanan gangguan-gangguan yang terjadi selama operasi.
 - Lampu LED untuk status-status operasi.
 - Komunikasi serial dan USB untuk mengunduh data-data dari inverter ke PC.
 - CAM Switch, untuk memilih moda operasi inverter, terdapat pilihan Auto dan Manual. Mode Auto dipilih untuk operasi normal inverter, dan operasi manual dipilih jika user ingin menjadikan genset langsung sebagai sumber tegangan utama. Hal ini dilakukan, bila terjadi kerusakan pada inverter maupun dalam kondisi perawatan.
 - Audible alarm, buzzer akan berbunyi ketika terjadi gangguan pada operasi inverter untuk memberitahukan ke user secara cepat untuk mengambil langkah selanjutnya.
- **Implementasi desain menjadi prototype**
- Setelah semua modul terdefinisi dengan baik, maka dimulailah implementasi hardware dan software. Modul-modul yang berwarna hijau pada Gambar 6. menunjukkan sebagian submodul pcb yang harus direalisasikan. Didalam inverter ini total terdapat 15 varian PCB berbeda. Mulai dari yang sederhana sampai yang rumit.

Gambar 7. menunjukkan urutan kerja implementasi pcb dari software CAD sampai menjadi modul berfungsi.



Gambar 7. Implementasi prototyping PCB

Gambar 8 menunjukkan contoh perakitan modul yang lebih rumit. Banyak faktor yang harus dipertimbangkan dalam desain yang melibatkan bercampurnya level tegangan tinggi dan level tegangan rendah didalam satu enclosure seperti ini, seperti faktor isolasi, *crepage* dan *clearance* serta EMI (Electromagnetic Interference). Kesalahan desain dapat mengganggu operasi inverter, bahkan yang lebih parah dapat menimbulkan kerusakan permanen.

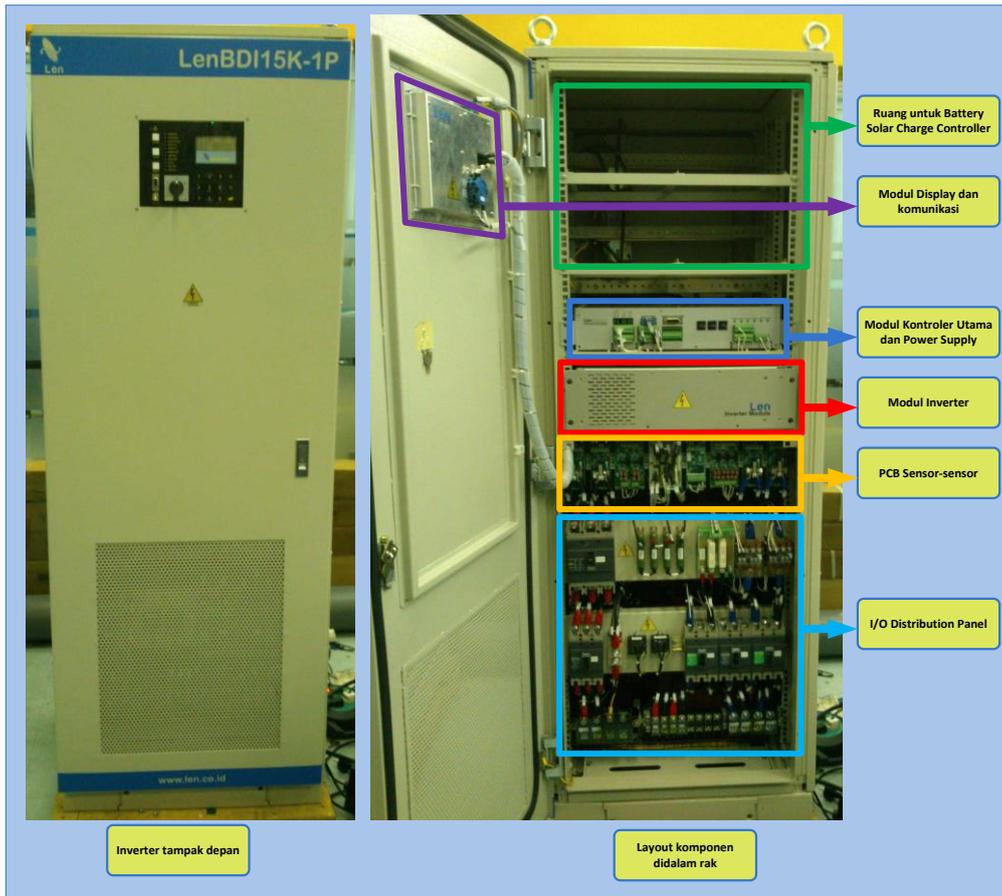


Gambar 8. Modul controller utama dan Modul Inverter

Gambar 9. Menunjukkan perakitan total Bi-directional Inverter 15kW, sedangkan Transformer dan Induktor output modul berada disisi belakang rak tidak tampak pada gambar. Dari gambar tersebut terlihat konsep modular (modularity) yang kita usung. Konsep yang kita gunakan disini merupakan assembly rak berbasis frame. Hal ini kita pilih karena fleksibilitas penempatan komponen. Karena didalam perangkat inverter terdapat berbagai komponen dengan varian ukuran yang banyak, mulai dari yang kecil sampai yang besar, mulai dari yang ringan sampai yang berat, begitu juga dengan varian perkabelan, sehingga kita rasa konsep frame merupakan pilihan yang tepat untuk membentuk sistem yang kompak.

Konsep modular ini akan memudahkan dalam proses assembling, perawatan dan juga troubleshooting ketika terjadi masalah dengan inverter. Begitu juga dengan desain lebih lanjut, ketika dibutuhkan peningkatan kapasitas (expandability), maka penyusunan ulang modul-modul akan membutuhkan usaha yang lebih ringan, dan tidak perlu memulai desain dari nol lagi.

Produk berbasis elektronika daya seperti inverter ini tidak akan lepas dengan masalah panas. Desain aliran panas dan pembuangannya menjadi isu penting didalam penyusunan modul-modul, terutama modul inverter, induktor dan transformer yang menjadi modul penyumbang panas terbesar didalam rak. Sehingga aliran panas dari modul-modul tersebut tidak mengarah dan mempengaruhi kinerja modul-modul lain yang lebih sensitif terhadap panas.



Gambar 9. Rak Inverter dan Tata letak komponen didalamnya

- **Pengujian dan Proses Sertifikasi**

Salah satu hal penting dalam pengembangan produk adalah pengujian. Disitu kita melakukan verifikasi dan validasi atas prototype yang telah diimplementasi terhadap desain awal yang ditetapkan. Dimulai dari pengetesan sub modul, misal pcb, kemudian berlanjut ke pengetesan level modul, sampai akhirnya pengetesan inverter secara keseluruhan. Gambar 10. menunjukkan proses pengetesan level modul inverter sebelum dirakit kedalam chasing inverter.



Gambar 10. Pengetesan fungsi modul inverter

Seperti yang telah disebutkan diawal bahwa Bidirectional Inverter 15kW telah mendapatkan sertifikasi dari B2TE BPPT. Sertifikat yang dikeluarkan pada tanggal 10 Oktober 2012 dengan

Nomor Sertifikat 2012109 menunjukkan bahwa Inverter yang hasil pengembangan Team Power Elektronik Divisi Pustekin PT Len Industri telah memenuhi syarat-syarat sebagai produk inverter secara umum antara lain :

- Endurance test, inverter dibebani 50% beban selama minimal 5 jam tanpa ada kerusakan dan penyimpangan performa.
- Overload test, saat itu inverter berhasil lolos uji beban berlebih sampai 140% selama 1 menit.
- THD ouput kurang dari 4%

Hasil sertifikasi ini memberikan keberanian bagi kita untuk memulai produksi dan memasarkan inverter hasil pengembangan ke projek riil. Dari situ nanti kita akan memonitor kinerja inverter dilapangan untuk masukan pengembangan lebih lanjut.

Penutup

Melalui tulisan ini penulis telah memaparkan perihal mengenai inverter, mulai dari pengetahuan dasar, urgensi peran inverter didalam pembangunan, kemudian dilanjut dengan progres pengembangan inverter di internal PT Len Industri. Pencapaian yang telah diraih menunjukkan hasil yang cukup menggembirakan dengan diperolehnya sertifikasi atas produk inverter yang dikembangkan. Tetapi bukan berarti pekerjaan telah selesai, ini merupakan awal dari perjalanan panjang PT Len Industri untuk memulai kegiatan manufaktur didunia produk elektronika daya. Masih banyak hal yang harus disiapkan sampai kita bisa menjadi pelaku didunia manufaktur produk berbasis elektronika daya berkelas dunia.

Pencapaian ini juga memberikan semangat bagi kita untuk menyelesaikan program-program pengembangan terkait elektronika daya yang lain, seperti Down Chopper, SIV dan VVVF inverter untuk aplikasi kereta dan monorel, kemudian juga inverter untuk mobil listrik. Semoga kedepan kita mampu menyelesaikan program-program tersebut sampai tersertifikasi dan layak untuk dikomersilkan.