

KONVERTER DAYA UNTUK PENGEMUDIAN ELEKTRIK: *DISCRETE* ATAU *MODULE*

Nyoman S Kumara

Staff Pengajar Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Abstrak

Teknologi semikonduktor daya sudah dan sedang berkembang dengan sangat pesat. Perkembangan tersebut mencakup peningkatan densitas dan rating arus, tegangan kerja, daya keluaran dan efisiensi, frekwensi switching, bentuk dan ukuran fisik, dan penurunan rugi-rugi. Dalam pabrikasinya, hampir semua komponen semikonduktor daya dikemas sebagai perangkat tunggal (*discrete device*) atau dalam bentuk paket rangkaian yang disebut modul daya dasar (*power module*) sampai modul daya yang canggih (*intelligent power module*).

Dalam perencanaan konverter daya untuk pengemudian elektrik khususnya yang dipakai dalam penelitian laboratorium dan tugas akhir mahasiswa, dapat dilakukan melalui dua pendekatan. Yang pertama adalah pendekatan perangkat tunggal dimana konverter daya dibuat dengan menggunakan komponen tunggal. Yang kedua adalah mendesain konverter dengan menggunakan modul daya. Kedua pendekatan ini memiliki berbagai keuntungan dan juga kekurangan. Tulisan ini mencoba mendiskusikan faktor-faktor yang berperan dalam perencanaan konverter daya untuk pengemudian listrik khususnya dalam pemilihan saklar statis atau komponen switching. Dalam tulisan ini juga akan direview berbagai *power module* yang tersedia di pasaran yang bisa digunakan dalam perencanaan konverter daya untuk pengemudian elektrik berdaya rendah.

Kata kunci: *elektronika daya, komponen diskrit, modul daya, intelligent power modul*

1. PENDAHULUAN

Proliferasi bidang pengemudian elektrik (*electric drive*) secara signifikan disebabkan oleh perkembangan bidang elektronika daya. Perkembangan elektronika daya ini mencakup komponen dan topologi rangkaian. Perkembangan teknologi komponen telah menghasilkan komponen yang memiliki densitas arus dan tegangan yang tinggi sehingga ukuran dan bentuk komponen bisa dibuat kecil namun tetap memiliki kemampuan hantar arus dan ketahanan tegangan yang tinggi. Kemampuan *switching* yang meningkat berdampak terhadap peningkatan kualitas keluaran konverter serta rugi-rugi [15].

Perencanaan suatu konverter daya merupakan pekerjaan yang cukup kompleks karena tuntutan perkembangan spesifikasi teknis seperti efisiensi, *compliance* terhadap THD, EMC, serta arus *starting*, sampai kepada aspek RoHs. Perencanaan suatu konverter daya mencakup pemilihan komponen elektronika daya, *front end rectifier*, rangkaian *gate driver*, rangkaian *soft charger*, perhitungan level *dc link voltage* dan kapasitor, pengamanan terhadap arus lebih dan hubung singkat, pengamanan terhadap *under* dan *over voltage*, dan pengamanan terhadap kenaikan suhu lebih, mekanisme pengaturan naiknya tegangan *dc link* akibat alih fungsi motor menjadi generator secara sesaat serta metode pendinginan yang erat kaitannya dengan *packing* atau bentuk dari komponen elektronika daya yang digunakan.

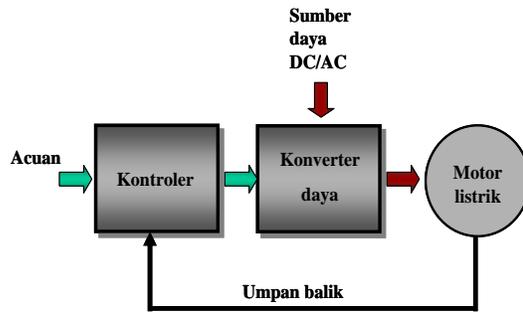
Salah satu pertimbangan dalam merencanakan suatu konverter daya adalah apakah akan

menggunakan komponen tunggal atau modul daya. Tulisan ini mencoba untuk membahas berbagai keuntungan dan kekurangan dari kedua pendekatan tersebut yang dikaitkan dengan kepraktisan, ekonomis, dan ketersediaan komponen khususnya untuk kegiatan penelitian laboratorium dan tugas akhir mahasiswa.

Tulisan diawali dengan membahas secara singkat sistem pengemudian elektrik kemudian diikuti dengan pembahasan tentang perkembangan komponen elektronika daya dan topologi jaringan dan diakhiri dengan *state of the art review* dari komponen elektronika daya diskrit dan modul daya yang tersedia di pasaran yang sesuai untuk konverter daya pengemudian elektrik berdaya rendah. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memberikan gambaran tentang perencanaan konverter daya secara umum dan secara khusus menyajikan informasi tentang komponen atau modul yang tersedia untuk membangun konverter daya pengemudian elektrik.

2. SISTEM PENGEMUDIAN ELEKTRIK

Sebuah sistem pengemudian elektrik terdiri dari motor listrik, konverter daya, dan perangkat pengatur yang bisa berbentuk *industrial control* atau sistem perangkat keras berbasis prosesor sinyal baik analog maupun digital. Sistem pengaturan pengemudian elektrik dapat dilihat seperti dalam skematik yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik sebuah pengemudian elektrik

Bagian pertama dari sistem pengemudian elektrik adalah salah satu dari semua jenis motor listrik yang hendak dikemudikan seperti motor dc magnet permanen, motor dc tanpa sikat (*brushless dc motor, BLDC*), motor induksi, motor sinkron, motor sinkron magnet permanen (*permanent magnet synchronous machine, PMSM*), motor *stepper*, atau motor reluktansi (*switched reluctance motor, SRM*).

Bagian kedua dari suatu sistem pengemudian adalah konverter daya, yaitu suatu rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah sistem tegangan yang ber-magnitudo dan frekwensi tetap menjadi suatu sumber tegangan yang memiliki tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan kebutuhan motor untuk mencapai kondisi operasi yang diinginkan.

Secara umum topologi konverter yang digunakan merupakan konverter satu level dengan konfigurasi *H-bridge*. Namun dengan ketersediaan perangkat pengaturan yang canggih dan ekonomis serta komponen elektronika daya yang berspesifikasi tinggi, konverter daya dapat dibuat lebih baik dengan menggunakan topologi *multilevel*. Sebagai contoh, keuntungan dari *multilevel inverter* antara lain *power quality (THD)* yang lebih baik, *EMC* yang baik, *switching losses* yang rendah, dan kemampuan tegangan yang tinggi, [11].

Bagian ketiga dari suatu sistem pengemudian adalah perangkat pengaturan. Perangkat pengaturan berfungsi untuk mengendalikan motor listrik sehingga dicapai kondisi yang diinginkan. Perangkat pengaturan ini bisa diimplementasikan dalam perangkat yang sering disebut *industrial control* untuk aplikasi yang tidak memerlukan respon cepat dan akurat. Sedangkan untuk aplikasi yang memerlukan spesifikasi operasi yang tinggi memerlukan perangkat pengaturan yang berbasis prosesor sinyal. Kemajuan teknologi mikroelektronika telah memungkinkan penggunaan prosesor sinyal digital dalam pengaturan motor listrik. Penulis juga telah mereview berbagai peralatan atau komponen pengaturan berbasis digital yang bisa digunakan dalam pengemudian elektrik, [10]. Dengan sistem berbasis prosesor digital ini akan bisa dihasilkan sistem pengemudian elektrik yang

berunjuk kerja tinggi (*high performance*), ekonomis dan *compliance* terhadap berbagai standar.

3. DISCRETE DEVICE UNTUK KONVERTER DAYA

Discrete device adalah komponen elektronika daya dasar yang merupakan implementasi dari sebuah saklar statis. Sebuah devais diskrit hanya terdiri dari sebuah saklar. Perbedaan dari setiap devais terletak pada pengaturan buka-tutup (*on-off*), kecepatan penutupan dan pembukaan yang berkaitan dengan *switching frequency*, daerah operasi yang meliputi rating arus dan tegangan, serta *on state losses*. Rating arus dan tegangan dari suatu devais menunjukkan kemampuan dari devais untuk dilalui oleh arus listrik dan menerima tegangan kerja yang diberikan. Pemilihan *rating* ini ditentukan oleh *rating* dari motor listrik yang akan digunakan dan ditambah dengan faktor keamanan untuk meningkatkan keandalan konverter.

Pemilihan *switching frequency* berpengaruh terhadap beberapa hal, antara lain: *switching loss*, *audible noise* dari konverter, *ripple* yang ingin dicapai serta kemampuan perangkat pengatur yang digunakan. Biasanya, frekuensi yang dipilih merupakan penyesuaian (*trade offs*) dari hal-hal tersebut dan biasanya berada pada jangkauan 5.000 – 20.000 Hz.

IGBT dan MOSFET merupakan dua teknologi komponen elektronika dasar yang sangat populer dalam konverter berdaya rendah. Beberapa hal yang menyebabkannya antara lain keduanya merupakan *controllable switch* dan tidak membutuhkan *gate driver* yang rumit. Pertimbangan lain adalah tersedia dalam berbagai ukuran arus, tegangan, serta jangkauan *switching* frekuensi yang besar dari *audible frequency* hingga ratusan kilo Hertz.

On state losses atau rugi-rugi yang timbul pada saat devais berada pada kondisi *on* (menghantar) karena ketidak idealan saklar semikonduktor riil, juga semakin baik (menurun) antara lain ditunjukkan dengan harga *VCE(on)* yang rendah untuk IGBT dan nilai *RDS(on)* dalam satuan mili Ohms untuk MOSFET, [1][2][3][4].

Keuntungan pemakaian komponen diskrit dalam pembangunan konverter daya adalah kemudahannya dalam mengganti komponen jika terjadi kerusakan. Penggantian komponen hanya dilakukan pada bagian yang rusak saja. Namun di sisi lain, karena sifatnya yang diskrit maka akan membutuhkan ruang yang lebih besar serta pertimbangan dalam aspek pendinginannya.

4. POWER MODULE UNTUK KONVERTER DAYA

Power module atau modul daya adalah suatu paket rangkaian yang terdiri dari beberapa komponen untuk melakukan fungsi tertentu. Sebuah modul daya yang paling sederhana terdiri dari dua devais yang

terhubung secara seri untuk membentuk satu lengan (*one leg*) dari suatu *chopper* atau *inverter*.

Modul yang lebih lengkap (*basic module*) biasanya sudah memuat semua devais yang diperlukan untuk membangun sebuah konverter misalnya dalam konfigurasi *H-bridge* baik untuk *chopper* maupun *inverter*.

Tabel 1 Komponen elektronika daya diskrit

Komponen	Spesifikasi	Manufacturer
Discrete MOSFET (Seri IRF)	Arus: 3.5-300 A, Tegangan: 12-300 V RDS(on): 1-2200 miliOhms Packing: TO220, D, D2-PAK	International Rectifier
Discrete IGBT (Seri IRG)	Arus: , Tegangan: 250-1200V, VCE(on): 1.36 - 4.3 V Switching: 4-60 kHz , Packing: TO220, D, D2-PAK	
Discrete MOSFET	Arus: 5-160 A , Tegangan: 12-650 V RDS(on): 1.8-200 miliOhms Packing: TO220, D-PAK, D2-PAK, I2-PAK	STMicroelectronics
Discrete IGBT	Arus: 3-40 A , Tegangan: 300-1200V, VCE(on): 1.25 - 2.8 V Switching: 4-60 kHz, Packing: TO220, D-PAK	
Discrete MOSFET	Arus: 0-300 A , Tegangan: 20-1000 V RDS(on): miliOhms Packing: TO220, SSOT, BGA	Fairchild Semiconductor
Discrete IGBT	Arus: 0-200 A , Tegangan: 330-1200V, VCE(on): 1.36 - 4.3 V, High switching Packing: TO220, SOT, D, D2-PAK	

Tabel 2 Power module untuk konverter daya

Modul	Spesifikasi	Manufacturer
SIP IPM (<i>Single In-line Package Intelligent Power Module</i>)	Devais: IGBT, Arus: 6A, Tegangan: 85-253V Switching frequency: 20 kHz max Asesori: integrated gate drivers, sensor arus, sensor temperatur, under voltage sensor, Package: SIP	International Rectifier (IOR) Seri: IRAMS06UP60A
IPM (<i>Intelligent Power Module</i>)	Devais: IGBT, Arus: 100 A, Tegangan: 600 V Switching frequency: 20 kHz max Asesori: gate drive, sensor arus, sensor temperatur, Package: DIP	Mitsubishi Electric Seri: OM100CSA060
SEMITOP, SKiiP, MiniSKiiP	Devais: IGBT, Arus: 1000 A, Tegangan: 900/1200V Switching frequency: 10 kHz Asesori: gate driver, ensor arus, sensor temperatur, Package: SKiiP	Semikron Seri: SkiiP 1513GB122-3DL
SEMITOP2, SEMITOP3	Devais: IGBT, Arus: 25 A, Tegangan: 600 V Switching frequency: up to 70 kHz Asesori: penyearah 1-fasa (STG3P2), Package: SEMIBOX	STMicroelectronics Seri: STG3P2M10N60B STG3P3M25N60
C-IPM (<i>Compact Intelligent Power Module</i>)	Devais: IGBT, Arus: 10 A, Tegangan: 600 V Switching frequency: Asesori: under voltage sensor, sensor arus, sensor temperatur, Package: DIP	Toshiba Seri: MIG10J503H
SPM (<i>Smart Power Module</i>)	Devais: IGBT, Arus: 3.3 A, Tegangan: 100-253V Switching frequency: 15 kHz Asesori: sensor arus, sensor temperatur, Package: DIP	Fairchild Semiconductor Seri: FSAM10SH60A

Modul lanjutan atau sering disebut *intelligent power module* adalah modul lengkap yang terdiri dari rangkaian daya lengkap dan berbagai asesori yang diperlukan untuk mempermudah integrasi modul tersebut dalam suatu produk pengemudian. Subsistem yang biasanya diintegrasikan antara lain sensor arus untuk pengamanan arus lebih dan arus hubung singkat, *built in thermistor* untuk pengamanan terhadap pemanasan lebih. Subsistem pemantauan tegangan baik itu *under voltage* maupun *over voltage* juga sudah mulai tersedia secara *built in*. Sekarang ini beberapa modul juga sudah dilengkapi dengan rangkaian *gate driver* sehingga desain konverter tidak memerlukan ruang yang luas serta level *EMC* yang lebih baik. Bahkan untuk beberapa modul juga sudah dilengkapi dengan penyearah fasa tunggal pada bagian input *DC link*.

Keunggulan dari modul daya adalah efisiensi ruang yang cukup tinggi. Fairchild bisa mencapai penghematan ruang sampai 27% dengan menggunakan modul daya untuk daya output yang sama, [4]. Pertimbangan yang lain adalah tingkat *EMC* yang dihasilkan akan jauh lebih kecil karena desain yang kompak. Kemudahan dalam perencanaan sistem pendingin karena *packing* yang berbentuk sederhana dan kompak.

Beberapa kekurangan dari pemakaian modul daya adalah bahwa jika terjadi kerusakan pada satu komponen saja harus dilakukan penggantian modul secara keseluruhan. Hal ini tentu saja bisa menjadi kendala untuk kegiatan dengan anggaran terbatas. Sementara itu juga ketersediaan komponen jenis ini di Indonesia masih terbatas.

5. TREN KONVERTER DAYA DALAM PENGEMUDIAN ELEKTRIK MASA DEPAN

Pemakaian pengemudian elektrik yang makin luas menuntut sistem pengemudian yang efisien energi, berukuran kompak, harga ekonomis, handal, dan *compliance* terhadap berbagai standar. Untuk mencapai ukuran yang kompak dilakukan dengan berbagai cara antara lain mengintegrasikan subsistem yang sebelumnya merupakan komponen eksternal. Sebagai contoh *built in rectifier, gate driver interface*. Keandalan sistem dicapai dengan melengkapi konverter dengan berbagai sistem pengaman seperti pengamanan terhadap arus lebih, arus hubung singkat, *under* dan *over voltage*, serta pengamanan terhadap suhu tinggi. Untuk lebih meningkatkan kekompakan sistem, semua fungsi atau *interface* ini juga akan tersedia secara *built in*.

Ke depan, devais atau rangkaian elektronika juga diharapkan akan memenuhi standar bahan sesuai dengan standar RoHs. Sementara itu dengan proliferasi aplikasi elektronika daya maka *compliance* terhadap *power quality (THD)* akan semakin ketat sehingga *PFC (power factor correction)* akan menjadi hal yang penting.

6. SIMPULAN

Dalam tulisan ini telah dibahas sistem pengemudian elektrik beserta komponen utamanya. Tulisan ini mengambil fokus pada perencanaan konverter daya untuk pengemudian elektrik. Berbagai pertimbangan seperti penentuan rating arus, tegangan, dan *switching* frekuensi dalam perencanaan konverter daya telah dibahas.

Pendekatan desain menggunakan komponen diskrit sudah dijelaskan diikuti dengan review komponen yang tersedia di pasaran. Dua teknologi devais, yaitu IGBT dan MOSFET, telah dibahas secara cukup detail mengingat popularitas kedua kelompok semikonduktor tersebut dalam aplikasi pengemudian berdaya rendah.

Sementara itu berbagai keunggulan pemakaian modul daya dan *intelligent power module* juga sudah dibahas diikuti dengan review berbagai modul daya yang tersedia di pasaran yang sesuai untuk aplikasi pengemudian elektrik berdaya rendah. Informasi ini diharapkan dapat mempercepat dalam perencanaan rangkaian daya untuk pengemudian elektrik untuk digunakan dalam penelitian atau tugas akhir mahasiswa.

Di masa depan konverter yang digunakan dalam suatu sistem pengemudian elektrik berdaya rendah akan memiliki karakteristik yang kompak, efisien, dan canggih. Hal ini dicapai dengan mengintegrasikan beragam subsistem secara *built in*.

7. REFERENSI

- [1] Toshiba, **Toshiba Intelligent Power Module MIG10J503H**, Toshiba, 2003
- [2] Mitsubishi, **Mitsubishi Intelligent Power Modules PM100CSA060 Flat-base Type Insulated Package**, Mitsubishi Electric, Sep 2000
- [3] Semikron, **2-Pack Integrated Intelligent Power System SKiiP 1513GB122-3DL**, Semikron, Jul 2007
- [4] Fairchild, **General Description of SPM (Smart Power Module) FSAM10SH60A**, Fairchild Semiconductor, Aug 2003
- [5] ST Microelectronics, **One phase rectifier + three phase inverter IGBT SEMITOP2 Module STG3P2M10N60B**, ST Microelectronics, Oct 2008
- [6] International Rectifier, **Plug N Drive Integrated Power Module for Appliance Motor Drive IRAMS06UP60A i-MOTION Series**, International Rectifier
- [7] Batello, M., Keskar, N., Wood, P., Hezi, M., Guerra, A., **A New Low-Cost Flexible IGBT Inverter Power Module for Appliance Applications**, PCIM China March 2003, International Rectifier Appliance and Consumer Group, El Segundo, California, 2003

- [8] International Rectifier, **HEXFET Power MOSFET IRF1018EPbF**, International Rectifier, Feb, 2008
- [9] International Rectifier, **Insulated Gate Bipolar Transistor: Ultra Fast IGBT IRG4RC10KPbF**, International Rectifier, Oct 2004
- [10] Kumara, I N S, **Digital Motion Control Hardware: A Survey Paper**, Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Udayana, 2007
- [11] Corzine, K., **Operation and Design of Multilevel Inverters**, University of Missouri – Rolla, Des 2003
- [12] Song-Manguelle, J., Rufer, A., **Multilevel Inverter for Power Systems Applications: Highlighting Asymmetric Design Effects from a Supply Network Point of View**, CCECE 2003 – CCGEI 2003, Montreal May 2003, IEEE
- [13] Dixon, J., Moran, L., **Multilevel Inverter Based on Multistage Connection of Three Level Converters Scaled in Power Three**, Dept of Electrical Engineering, Pontificia Universidad Catolica de Chile, Dept of Electrical Engineering, Universidad de Concepcion, Chile
- [14] Pandian, G., Reddy, S.R., **Implementation of Multilevel Inverter-Fed Induction Motor Drive**, Journal of Industrial Technology, Vol 24, Number 1, Apr/Jun 2008
- [15] Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P., **Power Electronics: Converters, Applications, and Designs**, John Wiley and Sons, Second Edition, 1989