



**PERANCANGAN SISTEM KONTROL *ON GRID* ENERGI
ANGIN DENGAN SUMBER PLN 220 VOLT**

SKRIPSI

Oleh

**Kholiq Shoddiqin
NIM 111910201047**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PERANCANGAN SISTEM KONTROL *ON GRID* ENERGI
ANGIN DENGAN SUMBER PLN 220 VOLT**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Kholiq Shoddiqin
NIM 111910201047**

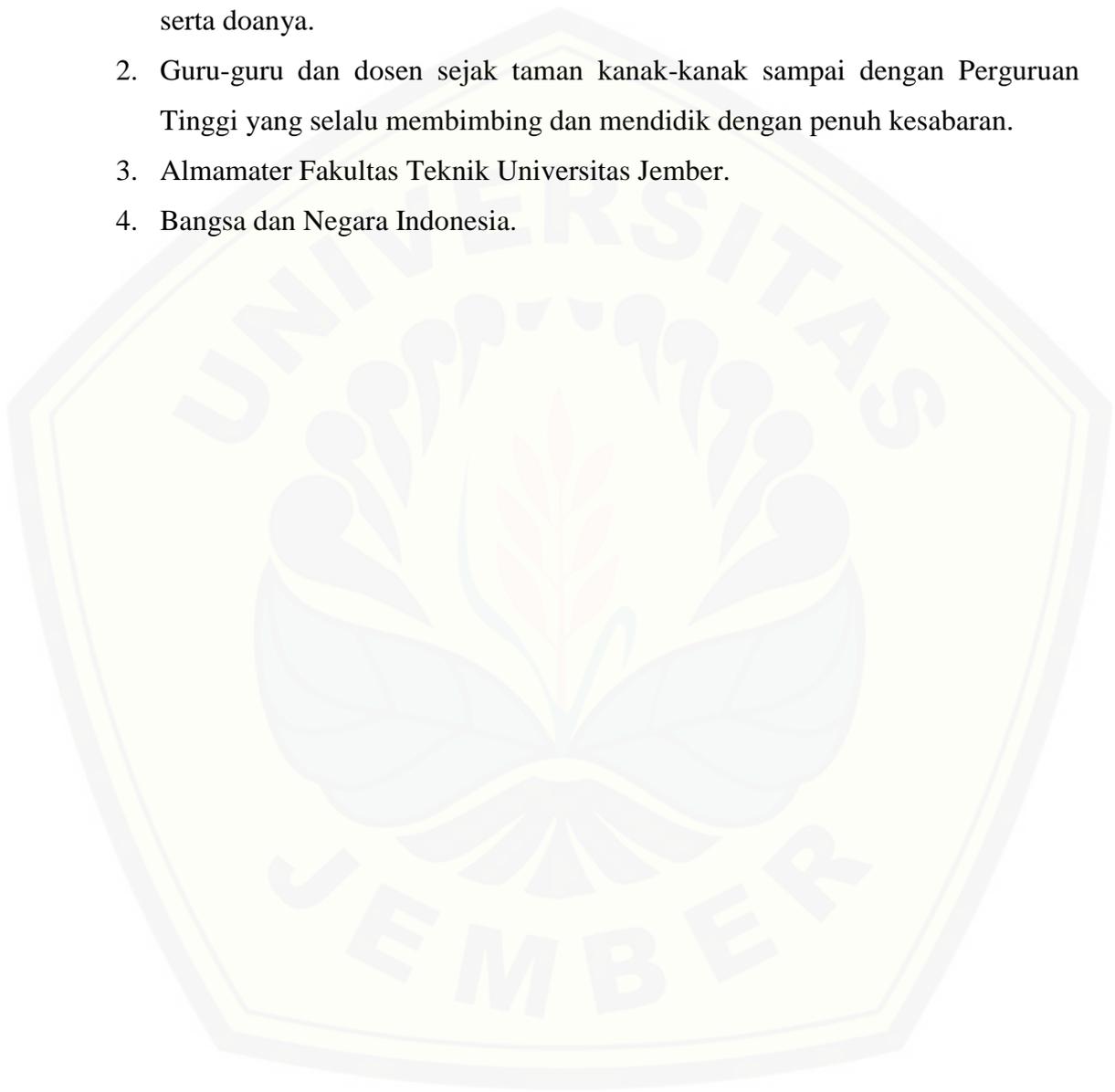
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2016

PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Umi Tunwati dan Abah Nuryatim atas kasih sayang serta doanya.
2. Guru-guru dan dosen sejak taman kanak-kanak sampai dengan Perguruan Tinggi yang selalu membimbing dan mendidik dengan penuh kesabaran.
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bangsa dan Negara Indonesia.



MOTO

“Barangsiapa menjadikan dunia sebagai tujuan hidupnya, niscaya Allāh akan menceraikan-beraikan urusannya dan menjadikan kefāqiran membayangi kedua matanya, dan duniā tidaklah datang kepadanya melainkan apa yang telah ditetapkan baginya. Dan barangsiapa yang menjadikan akhirat sebagai tujuan hidupnya, maka Allāh akan mengumpulkan segala urusannya dan menjadikan kekayaan memenuhi hatinya, dan dunia mendatangnya dalam keadaan hina.”

(H.R Ibnu Majah)

“Semua ilmu yang tidak membuahkan amal maka tidak dalam syariat satu dalil pun yang menunjukkan akan baiknya ilmu tersebut.”

(Al-Muwafaqat 1/74)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Kholiq Shoddiqin

NIM : 111910201047

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Perancangan Sistem Kontrol *On Grid* Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Oktober 2016

Yang menyatakan,

Kholiq Shoddiqin

NIM 111910201047

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL *ON GRID* ENERGI
ANGIN DENGAN SUMBER PLN 220 VOLT**

Oleh

Kholiq Shoddiqin

NIM 111910201047

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perancangan Sistem Kontrol *On Grid* Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt” karya Kholiq Shoddiqin telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Kamis, 27 Oktober 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP. 197106141997021001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 197004041996011001

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 196104141989021001

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 197104022003121001

Mengesahkan,
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP. 196612151995032001

Perancangan Sistem Kontrol *On Grid* Energi Angin dengan Sumber PLN
220 Volt

Kholiq Shoddiqin

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Sistem Energi Angin *On Grid* merupakan sistem hibrid antara energi angin dengan sumber PLN yang terhubung sepanjang waktu tanpa menggunakan *switch*. Dalam penelitian ini bertujuan merancang sistem kontrol inverter agar daya dari energi angin dapat tersalurkan secara maksimal. Dalam perancangan sistem energi angin menggunakan turbin dengan daya 500 Watt yang dihubungkan dengan generator magnet permanen (PMSG). Sistem kontrol terdiri dari tiga kontrol utama yaitu: kontrol tegangan DC, kontrol arus, dan kontrol sinkronisasi. Simulasi dilakukan selama 24 jam menggunakan data kecepatan angin dan data beban yang sebenarnya. Daya yang dihasilkan generator dapat tersinkronisasi dengan jaringan PLN sehingga dapat menyuplai beban pada saat yang bersamaan. Komponen elektronika daya menyerap daya sebesar 3 Watt saat kecepatan angin tidak menghasilkan daya.

Kata Kunci : Energi Angin, *On Grid*, Inverter

Modeling Control System of Grid Connected Wind Energy with 220 Volt PLN Source

Kholiq Shoddiqin

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

On grid wind energy system is hybrid system between wind energy and PLN source that connect all the time without using switch. The purpose in this research is to make a inverter control system in order to distribute wind energy maximally. In the progress of control system used turbine with power rating is 500 Watt that connected with Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). The control system formed by three prime control i.e. DC voltage control, current control, and synchronization control. Simulations were performed for 24 hours using actual wind speed data and load data. The power generated by the generator are synchronized with PLN network so that it can supply the load at the same time. Power electronics components are absorb the power of 3 Watt when the wind speed does not generate power.

Keyword : *Wind Energy, On Grid, Inverter*

RINGKASAN

Perancangan Sistem Kontrol *On Grid* Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt; Kholiq Shoddiqin; 111910201047; 2016:42 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Listrik merupakan energi utama yang dipakai oleh setiap lapisan masyarakat untuk kehidupan sehari-hari. Seiring dengan berkembangnya teknologi menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Dewasa ini, sumber energi masih bergantung pada bahan energi yang tidak dapat diperbarui seperti minyak bumi dan batu bara. Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Karena sifat energi angin yang tidak selalu ada maka dibuatlah sistem energi *on grid* antara energi angin dengan jaringan PLN agar kebutuhan daya selalu tercukupi.

Dalam penelitian ini merancang sistem kontrol inverter agar energi angin dapat tersinkronisasi dengan jaringan PLN. Dalam perancangan sistem energi angin, turbin yang digunakan sebesar 500 Watt dengan spesifikasi kecepatan angin cut-in 2 m/s dan kecepatan nominal 4 m/s. Turbin ini dihubungkan dengan generator magnet permanen (PMSG). Tegangan keluaran generator diubah menjadi tegangan searah (DC) menggunakan penyearah tiga fasa tak terkontrol yang selanjutnya dihubungkan dengan inverter satu fasa jembatan penuh sebagai komponen utama dalam proses sinkronisasi. Jaringan PLN menggunakan sumber AC yang stabil yang terhubung paralel, sehingga beban disuplai oleh energi angin dan jaringan PLN secara bersamaan.

Sistem kontrol inverter yang digunakan terdiri dari tiga bagian utama yang berkerja saling terkait untuk menghasilkan daya keluaran yang seimbang dengan masukan dari generator. Kontrol tegangan DC untuk menjaga tegangan pada sisi *DC grid* tetap sebesar 345.69 Volt. Kontrol arus untuk menentukan besar arus yang dihasilkan inverter untuk menjaga aliran daya tetap seimbang. Kontrol sinkronisasi untuk menyamakan tegangan keluaran inverter sama dengan

tegangan PLN dan juga mengatur sudut fasa arus agar menghasilkan power factor yang baik yaitu sebesar 0.99.

Penelitian ini menggunakan data kecepatan angin dan data beban sesungguhnya yang diambil dari skripsi sebelumnya. Walaupun kecepatan angin berubah tetapi besar tegangan yang dihasilkan generator tetap pada kisaran 344-352 Volt. Hal ini dipengaruhi oleh sistem kontrol tegangan DC yang mengatur agar tegangan yang mengalir tetap pada nominalnya. Namun pada saat kecepatan angin lebih kecil dari kecepatan cut-in maka tegangan yang dihasilkan juga akan menurun seiring turunnya kecepatan putaran rotor. Namun demikian generator tidak menghasilkan daya karena tidak ada daya yang disalurkan oleh turbin angin.

Pada penelitian ini semua daya yang dihasilkan energi angin dapat disalurkan sepenuhnya. Namun sistem kontrol ini hanya dapat beroperasi saat ada tegangan dari jaringan PLN karena membutuhkan masukan berupa referensi tegangan grid.

PRAKATA

Syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Sistem Kontrol *On Grid* Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan, bimbingan, saran, dan masukan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dr. Azmi Saleh S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing utama (DPU) dan Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota (DPA) yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku dosen penguji utama dan Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Kedua orang tua tercinta Umi Tunwati dan Abah Nuryatim yang telah memberikan dukungan baik secara materi maupun moral, serta doanya dalam penyusunan skripsi ini.
6. Rekan Seperjuangan Gelora Dedika W. yang telah bersama menyelesaikan Skripsi ini; juga teman se-tim Rr. Intan, Miko, Yulanta, Faiz, Sofi yang selalu member dorongan dan semangat.
7. Saudara-saudaraku Tirta, Fregi, Dimas, Eko, Yoga, Edo serta teman-teman kost yang selalu memberi dorongan dan semangat

8. Rekan-rekan “Mugedek Elind 01”, Iwan, Tengginas, Heru, Mustapa yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman “Bondowoso Timur”, Wahyu, Randi, Igo, Galis, Iqbal yang telah memberi motivasi setiap hari untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2011 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua

Jember, Oktober 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Angin	5
2.2 Turbin Angin	6
2.2.1 Jenis Turbin Angin	7
2.2.2 Komponen Turbin Angin	10
2.3 Generator Listrik	12
2.4 Penyearah Tiga Fasa	13
2.5 Inverter PWM Satu Fasa	13
2.6 Matlab	16

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Prosedur Penelitian	17
3.4 Diagram Alir Penelitian	19
3.5 Blok Diagram Sistem	20
3.6 Pemodelan Sistem Energi Angin <i>On Grid</i>	20
3.6.1 Pemodelan Sistem Energi Angin	20
3.6.2 Pemodelan Penyearah Tiga Fasa Tak Terkontrol	22
3.6.3 Pemodelan Inverter	23
3.6.4 Pemodelan Sumber PLN	23
3.6.5 Pemodelan Beban	24
3.7 Perancangan Algoritma Kontrol Inverter <i>On Grid</i>	25
3.7.1 Kontrol Tegangan DC	26
3.7.2 Kontrol Arus Inverter	27
3.7.3 Sinkronisasi	27
3.8 Diagram Simulasi Kontrol <i>On Grid</i> Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Tegangan yang dihasilkan generator	31
4.2 Daya yang dihasilkan generator	33
4.3 Respon pada Kontrol Tegangan DC	34
4.4 Respon pada Kontrol Arus	36
4.5 Respon pada Sinkronisasi	39
4.6 Arus pada Sistem AC Grid	43
4.7 Daya pada AC Grid	45
4.8 Efisiensi	46
BAB 5. PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal	7
2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan Tiga baling-baling	8
2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal	9
2.4 Generator AC	12
2.5 Penyearah Tiga Fasa Gelombang Penuh	13
2.6 <i>Full bridge SPWM inverter</i>	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Perencanaan sistem dan algoritma kontrol <i>on grid</i> energi angin dengan sumber PLN 220 volt	20
3.3 Rangkaian subsistem pemodelan turbin angin	21
3.4 Nilai Parameter <i>Permanent Magnet Synchronous Machine</i>	21
3.5 Rangkaian subsistem <i>uncontrolled rectifier</i>	22
3.6 Rangkaian subsistem inverter jembatan penuh	23
3.7 Rangkaian subsistem sumber PLN	24
3.8 Rangkaian subsistem <i>dynamic load</i>	24
3.9 Rangkaian subsistem <i>model discrete</i> pada pemodelan <i>dynamic load</i>	25
3.10 Blok diagram kontrol tegangan DC	26
3.11 Rangkaian subsistem <i>discrete PI controller</i>	26
3.12 Blok diagram kontrol arus	27
3.13 Blok diagram sinkronisasi	27
3.14 Rangkaian subsistem kontrol inverter pada matlab	28
3.15 Rangkaian simulasi Sistem Kontrol <i>On Grid</i> Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt	29
4.1 Grafik kecepatan angin	30
4.2 Grafik beban	30
4.3 Rangkaian pengujian Sistem Kontrol <i>On Grid</i> Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt	31
4.4 Grafik tegangan generator saat kecepatan angin lebih dari 4 m/s	32

4.5	Grafik tegangan generator saat kecepatan angin 3.1 m/s	32
4.6	Grafik tegangan generator saat kecepatan angin 1.5 m/s	33
4.7	Grafik daya generator	33
4.8	Pemodelan kontrol tegangan DC pada software Matlab	34
4.9	Grafik kontrol tegangan DC saat kecepatan angin lebih dari 4 m/s ..	35
4.10	Grafik kontrol tegangan DC saat tidak ada daya	36
4.11	Pemodelan kontrol arus pada software Matlab	37
4.12	Grafik kontrol arus saat kecepatan angin lebih dari 4 m/s	37
4.13	Grafik kontrol arus saat kecepatan angin 1.5 m/s	38
4.14	Pemodelan kontrol sinkronisasi pada software Matlab	39
4.15	Grafik kontrol sinkronisasi	40
4.16	Pemodelan PWM generator pada software Matlab	41
4.17	Grafik modulasi	41
4.18	Grafik pulsa <i>switching</i> PWM	42
4.19	Grafik tegangan pada AC grid	42
4.20	Grafik arus RMS pada AC grid	43
4.21	Grafik arus saat daya inverter lebih besar daripada daya beban	43
4.22	Grafik arus saat daya inverter lebih kecil daripada daya beban	44
4.23	Grafik arus saat tidak ada daya dari energi angin	44
4.24	Grafik daya pada AC grid	45
4.25	Grafik daya reaktif pada AC grid	46
4.26	Grafik perbandingan daya saat kecepatan angin lebih dari 4 m/s	46
4.27	Grafik perbandingan daya saat kecepatan angin 1.5 m/s	47
4.28	Grafik efisiensi selama 24 detik	47

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan energi utama yang dipakai oleh setiap lapisan masyarakat untuk kehidupan sehari-hari. Seiring dengan berkembangnya teknologi menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Dewasa ini, sumber energi masih bergantung pada bahan energi yang tidak dapat diperbarui seperti minyak bumi dan batu bara. Hal ini perlu dikaji lebih lanjut karena bahan-bahan tersebut akan mengalami susut dan habis pada beberapa puluh tahun kedepan dikarenakan lonjakan energi yang terjadi setiap tahunnya semakin besar. Maka dari itu diperlukan energi alternatif untuk mengatasi krisis energi, yaitu dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang ada di Indonesia, salah satunya adalah energi angin.

Energi angin merupakan salah satu sumber energi tertua, dan konversi energi angin menjadi bentuk energi yang berguna telah dilakukan selama lebih dari 5000 tahun untuk tujuan seperti mendorong perahu dan kapal layar. Dewasa ini energi angin banyak digunakan untuk menghasilkan listrik, dan merupakan salah satu sektor energi terbarukan paling maju dengan potensi di tahun-tahun mendatang memiliki rasio yang jauh lebih besar sebagai pemasok kebutuhan energi dunia dibandingkan di saat ini.

Keuntungan lain dari tenaga angin adalah fakta bahwa setiap orang bisa membangun atau membeli turbin angin untuk memanfaatkan energi angin dan memenuhi kebutuhan energi di rumah sendiri. Turbin angin tidak perlu banyak perawatan dan seseorang tidak perlu menjadi jenius untuk meng-handlenya. Tentu saja memiliki turbin angin sendiri juga berarti menghindari terjadinya pemadaman listrik bila terjadi kerusakan jaring PLN.

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2005. disebutkan, energi angin di Indonesia berpotensi menghasilkan daya listrik sebesar 9,2 Gigawatt. Sementara itu, data Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional menyebut, lebih dari 100 daerah di Indonesia menyimpan potensi energi angin. Rata-rata kecepatan angin sebesar 5,5 meter per detik. Bahkan di beberapa lokasi kecepatan angin di atas 6 meter per detik. Sifat energi angin tidak konstan, kadang tinggi atau rendah menyebabkan pembangkit listrik tenaga angin tidak dapat digunakan secara mandiri.

Sebelumnya, penelitian tentang sistem energi angin yang terhubung dengan grid sudah banyak dikemukakan. Salah satu penelitian yang telah dilakukan adalah “Multi-input single-phase grid-connected inverter for hybrid PV/wind power system” (Yahong Yang, Xiaobin He, Riming Shao, Shuang Xu, Liuchen Chang, 2014). Dalam penelitian tersebut, mekanisme sistem yang dirancang adalah dua sumber energi terbarukan yaitu surya dan angin dihubungkan paralel untuk menyuplai grid bersama. Penelitian tersebut hanya sebatas membuat sistem hibrid untuk mengirimkan daya ke grid tidak sampai ke beban.

Mengacu dari penelitian tersebut muncul suatu fokus permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini. Sistem yang akan dirancang dalam penelitian ini adalah sistem energi angin yang terhubung langsung dengan PLN (*on grid*) yang akan menyuplai beban bersama. Sehingga diharapkan PLN akan membantu menyuplai daya apabila daya yang dihasilkan oleh sistem energi angin tidak mencukupi untuk menyuplai beban secara mandiri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang sistem kontrol *on grid* energi angin dengan jaringan PLN.
- b. Bagaimana unjuk kerja sistem kontrol *on grid* energi angin dengan jaringan PLN.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, menggunakan beberapa batasan masalah agar penelitian ini tidak terlalu luas yaitu :

- a. Simulasi dan analisis menggunakan program Matlab R2010b.
- b. Tidak membahas detail tentang turbin angin dan generator.
- c. Beban yang digunakan adalah skala laboratorium.
- d. Hanya sebatas simulasi dan tidak diterapkan pada sistem yang sebenarnya.
- e. Menggunakan tegangan PLN yang stabil.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai peneliti dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Merancang sistem energi angin *on grid* yang terhubung dengan jaringan PLN sehingga dapat berkerja secara efisien.
- b. Mampu mensimulasikan sistem energi angin *on grid* dengan jaringan PLN.
- c. Mengetahui tingkat optimasi sistem energi angin *on grid* dengan jaringan PLN

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari sebagai pemanfaatan energi terbarukan.
- b. Mampu mengurangi pemakaian bahan bakar fosil yang semakin menipis.
- c. Penelitian ini dapat dijadikan referensi awal dalam pembelajaran dikemudian hari, tentang energi terbarukan serta penerapannya secara langsung khususnya tentang energi angin.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB 5 PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Pada dasarnya angin adalah udara yang bergerak. Ketika matahari bersinar, udara akan memanas dan bergerak naik. Udara panas yang naik digantikan oleh udara dingin. Kemudian matahari memanaskan juga udara yang dingin sehingga menjadi panas dan bergerak naik juga. Udara dingin yang baru lalu menggantikan udara yang sudah panas tadi. Nah, gerakan udara yang bergerak bergantian disebut aliran udara. Aliran udara inilah yang menghasilkan angin.

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik melalui proses konversi kinetik ke mekanik dan selanjutnya ke listrik. Energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan (pompa piston, penggilingan, dan lain-lain). Sementara itu, pengolahan selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik.

Proses perubahan ini disebut konversi energi angin, sedangkan sistem atau alat yang melakukannya disebut SKEA (Sistem Konversi Energi Angin). Selanjutnya, untuk menghasilkan listrik disebut SKEA listrik atau lebih dikenal sebagai turbin angin, dan untuk mekanik disebut SKEA mekanik atau kincir angin. Sekarang ini, pemanfaatan energi angin yang lebih umum yakni dalam bentuk energi listrik, sementara bentuk energi mekanik atau yang lebih dikenal sebagai pemanfaatan langsung mulai berkurang.

Permasalahan umum pada energi angin adalah keberadaannya yang tidak selalu ada, namun ada beberapa tempat yang tempat yang hembusan angin cenderung konstan seperti pesisir dan dataran tinggi. Karena sifat ini maka energi angin dapat digabung dengan energi alternatif lain untuk menghasilkan energi listrik secara konstan.

2.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Turbin angin ini pada awalnya dimanfaatkan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Saat ini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan diameter bilah R adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3$$

Dimana ρ adalah kerapatan angin pada waktu tertentu dan v adalah kecepatan angin pada waktu tertentu.

Pemanfaatan energi angin menggunakan minimal dua buah baling-baling untuk memutar rotor. Baling-baling dari turbin angin melekat pada pusat rotor. Baling-baling ini diputar oleh aliran angin dengan menggunakan desain aerodinamis yang rumit. Tingkat putaran baling-baling tergantung pada kecepatan angin dan bentuk baling-balingnya.

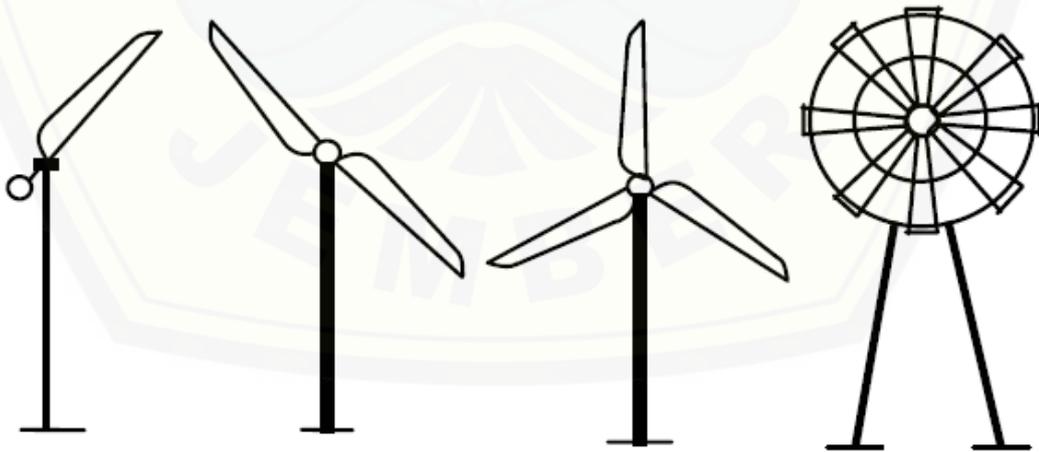
Untuk menghasilkan listrik diperlukan generator, yang mengubah energi kinetik menjadi listrik. Listrik dihasilkan ketika baling-baling pada turbin angin diputar oleh aliran angin, yang membuat rotor berputar. Rotor mentransfer kekuatan ke generator. Dalam turbin angin komersial terdapat gearbox yang ditempatkan di antara rotor dan generator, untuk mengubah kecepatan putaran rendah baling-baling ke rotasi kecepatan tinggi yang diperlukan untuk memproduksi listrik. Turbin angin dipasang di atas struktur menara tinggi (biasanya di atas 30 meter) untuk dapat beroperasi pada ketinggian yang diperlukan. Turbin angin memanfaatkan aliran angin pada ketinggian yang lebih tinggi karena kecepatannya yang lebih tinggi dan lebih konstan.

2.2.1 Jenis Turbin Angin

Sejak dimulainya teknologi energi angin, terdapat beberapa jenis dan bentuk turbin yang dirancang dan dikembangkan di berbagai belahan dunia. Meskipun terdapat banyak kategori turbin angin, namun secara luas diklasifikasikan berdasarkan sumbu rotasinya yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal.

a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) memiliki sumbu rotasi horizontal ke tanah dan hampir sejajar dengan aliran angin. Kebanyakan turbin angin yang ada adalah turbin jenis ini. Turbin angin sumbu horizontal memiliki beberapa keuntungan seperti *cut-in* pada kecepatan angin rendah dan koefisien daya yang relatif tinggi. Namun, generator dan gearbox dari turbin jenis ini harus ditempatkan di atas menara sehingga mengakibatkan desain yang lebih kompleks dan mahal. Kerugian lain adalah perlunya ekor atau *yaw drive* pada turbin yang lebih kecil untuk mengarahkan ke arah angin, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor.



Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Tergantung pada jumlah baling-balingnya, turbin angin sumbu horisontal lanjut diklasifikasikan sebagai berbilah tunggal, dua berbilah, tiga berbilah berbilah dan multi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.4. Turbin berbilah tunggal lebih murah karena biaya produksi yang lebih sedikit. Desain ini tidak populer karena terdapat masalah pada *balancing*. Turbin baling-baling ganda juga memiliki kelemahan, tetapi masih digunakan dalam skala kecil. Kebanyakan turbin yang dipakai adalah turbin dengan tiga buah baling-baling.



Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Horisontal dengan Tiga baling-baling

Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Baling-baling turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, baling-baling itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

b. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) adalah vertikal ke tanah dan hampir tegak lurus terhadap arah angin seperti yang terlihat dari Gambar 2.3, Turbin jenis ini dapat menerima angin dari segala arah. Sehingga tidak

membutuhkan perangkat *yaw* yang rumit. Generator dan gearbox sistem tersebut dapat ditempatkan di permukaan tanah, yang membuat desain menara sederhana dan lebih ekonomis. Dan juga pemeliharaan turbin ini dapat dilakukan di permukaan tanah. Untuk ini sistem, kontrol pitch tidak diperlukan bila digunakan untuk aplikasi sinkron.



Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Kerugian utama dari beberapa TASV adalah membutuhkan daya untuk *starting*. Mekanisme tambahan diperlukan untuk memutar turbin, jika turbin ini dihentikan. Ada kemungkinan bahwa baling-baling dapat berputar pada kecepatan sangat tinggi yang menyebabkan kegagalan sistem, jika tidak dikontrol dengan baik. Kawat pengaman juga diperlukan untuk menjaga agar turbin ini tidak roboh jika terjadi angin kencang. Permasalahan lain adalah aliran udara yang bertiup di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang

dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

2.2.2 Komponen Turbin Angin

a. Gear box

Gear box merupakan komponen yang berfungsi untuk merubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Sebuah gear box yang ideal harus dirancang untuk bekerja dengan lancar dan tidak berisik.

b. Generator

Generator merupakan salah satu komponen yang paling penting dari sistem konversi energi angin. Berbeda dengan generator yang digunakan pada energi konvensional lainnya, generator turbin angin harus bekerja pada tingkat daya yang berfluktuasi, selaras dengan variasi kecepatan angin. Terdapat berbagai jenis generator yang digunakan pada turbin angin. Turbin angin kecil menggunakan generator DC dengan kapasitas beberapa Watts sampai kilo Watt. Turbin yang lebih besar menggunakan generator AC satu atau tiga fase. Pada pembangkit listrik skala besar yang terintegrasi dengan grid, generator AC tiga fase adalah pilihan yang tepat. Generator yang digunakan bisa generator induksi (*asynchronous*) atau generator sinkron.

c. Safety Brakes

Selama kecepatan angin yang sangat tinggi, turbin angin harus benar-benar berhenti demi keamanan sistem. Demikian pula, jika saluran listrik putus atau generator yang terputus karena beberapa penebab, turbin angin akan berputar dengan cepat. Hal ini menyebabkan turbin dalam kondisi *run-away* dalam beberapa detik. Oleh karena itu, turbin harus dilengkapi dengan perangkat pengaman, yang akan memutuskan sistem dengan jaringan dan berhenti beroperasi dalam kondisi seperti itu.

Saat rotor bertambah cepat, rem pengaman harus memiliki respon reaktif yang cepat untuk mencegah kondisi *run-away*. Terdapat dua jenis rem yang

umumnya digunakan pada turbin angin, yaitu rem aerodinamis dan rem mekanik. Untuk menjamin keamanan, turbin angin biasanya memiliki dua sistem pengereman, salah satu berfungsi sebagai rem utama dan yang lainnya sebagai rem cadangan yang akan aktif jika sistem utama gagal.

d. Penyimpanan energi

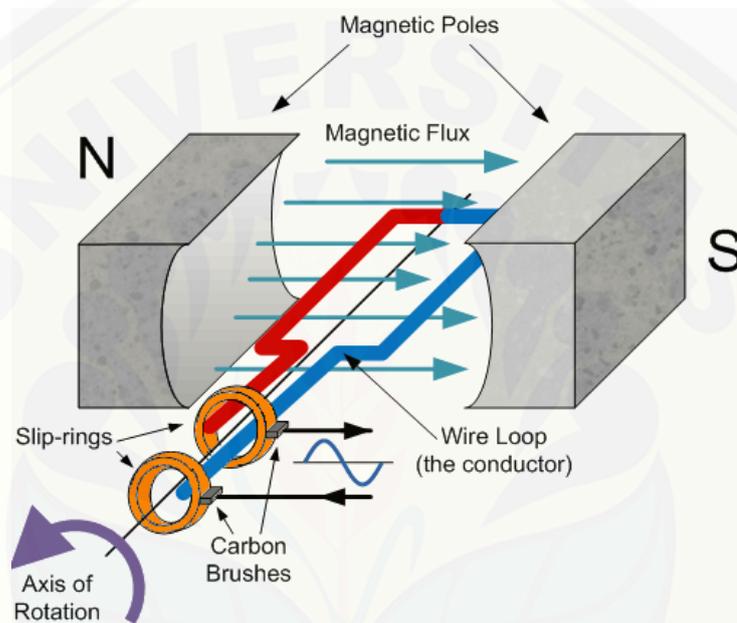
Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (Direct Current) untuk meng-charge/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (Alternating Current).

e. Rectifier-inverter

Rectifier berfungsi menyearahkan gelombang sinusoidal (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. Ketika dibutuhkan daya dari penyimpan energi, maka catu yang dihasilkan oleh aki akan berbentuk gelombang DC. Karena kebanyakan kebutuhan rumah tangga menggunakan catu daya AC, maka diperlukan inverter untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh aki menjadi gelombang AC, agar dapat digunakan oleh rumah tangga

2.3 Generator Listrik

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walaupun generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

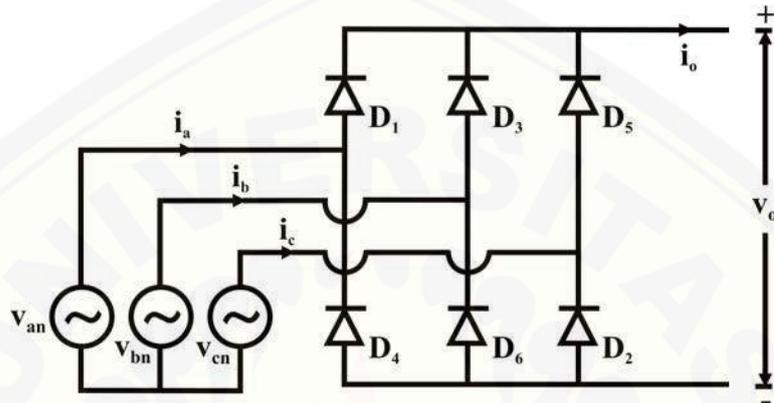


Gambar 2.4 Generator AC

Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sesuai dengan hukum Faraday, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul GGL induksi seperti yang sudah saya jelaskan di awal. Salah satu jenis generator yang banyak digunakan adalah *permanent magnet synchronous generator* (PMSG). Perbedaan dari generator biasa adalah sistem penguatan yang digunakan menggunakan magnet permanen bukan menggunakan kumparan.

2.4 Penyearah Tiga Fasa

Penyearah tiga fasa merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi menyearahkan semua gelombang arus listrik dari ketiga fase sumber. Jenis penyearah ini terdiri dari enam buah dioda yang disusun menyerupai jembatan seperti berikut:



Gambar 2.5 Penyearah Tiga Fasa Gelombang Penuh

Karena arus beban diasumsikan terus menerus setidaknya satu dioda dari kelompok atas (D_1 , D_3 dan D_5) dan satu dioda dari kelompok bawah (D_2 , D_4 dan D_6) harus dalam kondisi konduksi setiap saat. Hal ini dapat dengan mudah diverifikasi bahwa hanya satu dioda dari masing-masing kelompok (baik atas atau bawah) terkonduksi pada satu waktu dan dua dioda dari kaki fase yang sama tidak pernah terkonduksi secara bersamaan. Dengan demikian konverter memiliki enam mode dioda konduksi yang berbeda, yaitu D_1D_2 , D_2D_3 , D_3D_4 , D_4D_5 , D_5D_6 dan D_6D_1 . Setiap mode konduksi berlangsung selama $\pi/3$ rad dan masing-masing dioda terkonduksi untuk 120° .

2.5 Inverter PWM Satu Fasa

Inverter adalah sebuah perangkat peubah listrik yang dikenal memiliki kemampuan untuk merubah listrik bertegangan DC menjadi listrik bertegangan AC dengan nilai frekuensi yang dapat diatur. Inverter pada umumnya digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor AC. Selain untuk mengendalikan kecepatan motor AC, inverter juga digunakan sebagai catu daya AC, dan berbagai macam kebutuhan

lainnya. Sebuah inverter dikatakan bersifat ideal apabila tegangan DC yang masuk bebas dari *ripple* serta tegangan yang keluar dari inverter berbentuk gelombang sinusoidal murni.

SPWM ini terdiri atas sinyal modulasi dan sinyal carier. Sinyal modulasi merupakan keluaran AC yang diharapkan (V_o) dan sinyal carier adalah gelombang triangular (V_Δ). Jika ($V_o > V_\Delta$) maka switch S+ pada inverter ON dan switch S-OFF, begitupula sebaliknya. Ketika sinyal modulasi berupa gelombang sinusoidal dengan frekuensi (f_c) dan amplitudo (V_o) dan sinyal triangular dengan frekuensi (f_Δ) dan amplitudo (V_Δ) maka dapat dicari index modulasi (m_a). Maka di peroleh persamaan sebagai berikut :

$$m_a = \frac{V_o}{V_\Delta}$$

Persamaan rasio frekuensi modulasi diperoleh dari hasil perbandingan antara frekuensi gelombang sinusoidal dengan frekuensi gelombang sinyal triangular, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

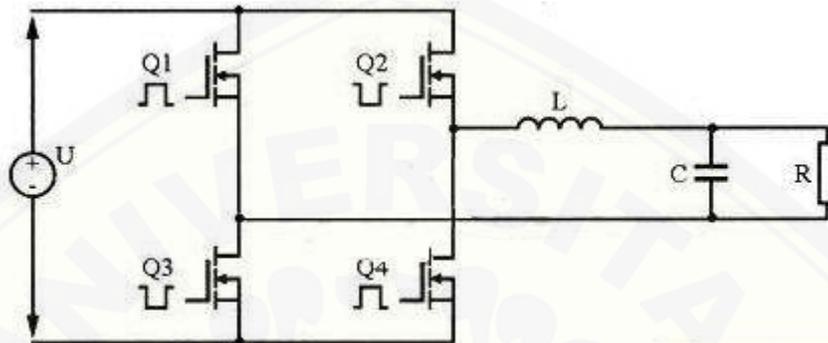
$$m_f = \frac{f_\Delta}{f_c}$$

Tegangan Inverter dapat diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan DC yang terhubung pada inverter dengan index modulasi, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$V_o = V_i \times m_a$$

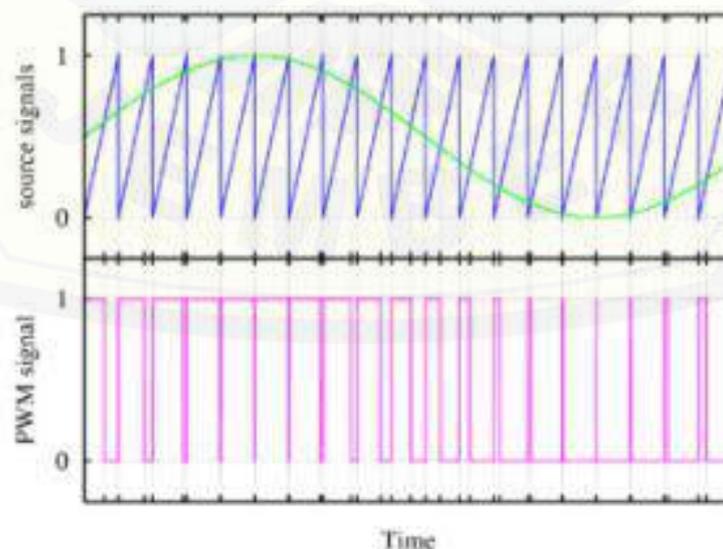
Agar inverter dapat terhubung dengan *grid*, maka diperlukan pengaturan sudut δ antara tegangan *output inverter* (δ), Induktor yang menghubungkan inverter dengan *grid* (X_l), tegangan DC yang terhubung ke inverter (V_{dc}) dan tegangan *grid* (V_{grid}) yang sebelumnya telah ditentukan index modulasi (m) untuk SPWM. Inverter PWM satu fasa adalah inverter satu fasa yang menggunakan teknik penyaklaran PWM. *Pulse Width Modulation* merupakan proses perubahan sinyal sebuah gelombang dengan pengaturan besar kecilnya lebar pulsa gelombang. PWM dapat dikatakan suatu teknik manipulasi dalam pengolahan sinyal gelombang yang menggunakan prinsip pensaklaran, yaitu pengaturan sinyal gelombang dalam

keadaan *on* dan *off*. Inverter PWM satu fasa dapat diwujudkan dengan *bipolar switching* dan *unipolar switching*. *Bipolar switching* merupakan keadaan penyaklaran yang mengalami keadaan pulsa bertegangan positif dan negatif. Sedangkan *unipolar switching* dapat didefinisikan keadaan penyaklaran yang memiliki keadaan pulsa bertegangan positif, negatif, dan nol.



Gambar 2.6 Full bridge SPWM inverter

Untuk mendapatkan sinyal PWM dari input berupa sinyal analog sebagai modulasi dan gelombang gigi gergaji atau sinyal segitiga sebagai sinyal *carrier* yang diteruskan ke komparator bersama sinyal aslinya. Dimana sinyal input analog dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji, sehingga didapatkan sinyal PWM dengan besar *duty-cycle* yang bervariasi tergantung pada sinyal masukan sinusoidalnya.



Gambar 2.7 Pembangkitan sinyal PWM

2.6 Matlab

MATLAB (matemathics labolatory atau matrix laboratory) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik, merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Dalam ilmu komputer, MATLAB didefinisikan sebagai bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengerjakan operasi matematika atau operasi aljabar matriks.

MATLAB (MATrix LABoratory) yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain. MATLAB banyak digunakan pada:

- a. Matematika dan komputasi;
- b. Pengembangan dan algoritma;
- c. Pemograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe;
- d. Analisa data, eksplorasi, dan visualisasi;
- e. Analisis numerik dan statistik;
- f. Pengembangan aplikasi teknik.

MATLAB merupakan sistem interaktif yang data dasarnya adalah matriks. Matriks dianggap data dasar dalam MATLAB dapat ditulis dalam bentuk matrik. Selain itu di dalam MATLAB sendiri tersedia perangkat lunak Simulink dimana kita dapat memanfaatkan penggunaan simulink dari macam-macam demos yang tersedia untuk keperluan teknik pengendalian maupun untuk analisis suatu plant.. Penelitian ini menggunakan MATLAB versi 7.11.0 (R2010b).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian - analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik Fakultas Teknik,
Universitas Jember

Alamat : Jalan Slamet Riyadi no 62 Patrang Kabupaten Jember

Waktu : Oktober 2015 – Mei 2016

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Personal Computer* (PC) atau Laptop.

Komputer digunakan untuk melakukan simulasi rancangan sistem serta melakukan analisis hasil simulasi.

2. *Software* Matlab R2010b.

Perancangan dan simulasi sistem *on grid* energi angin dengan AC grid menggunakan Matlab R2010b.

3.3 Prosedur Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini, dibuat langkah-langkah / prosedur penelitian sebagai berikut :

- a. Tahap Persiapan:

Sebelum penelitian dilaksanakan, terlebih dahulu mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian yaitu PC atau laptop yang telah terinstal Matlab R2010b.

b. Studi Literatur Terhadap Objek dan Penelitian:

Mengumpulkan dan mempelajari literatur yang diperlukan dalam penelitian ini seperti karakteristik energi angin, karakteristik PLN, turbin angin, generator, penyearah, konverter DC-DC, SPWM inverter, dan *low-pass filter*.

c. Pemodelan sistem energi angin *on grid*:

Merancang turbin angin, generator, penyearah, konverter, dan inverter berdasarkan besar beban yang digunakan

d. Perancangan sistem kontrol:

Merancang sistem kontrol untuk konverter DC-DC, dan inverter agar keluarannya sesuai dengan yang diharapkan.

e. Pengujian respon simulasi:

Pengujian dilakukan terhadap model sistem yang telah dibuat dengan data angin yang telah ada. Hasil pengujian respon sistem ini ditampilkan dalam bentuk tabel.

f. Analisis sistem:

Menganalisa *output* dari sistem yang telah dirancang apakah sesuai dengan yang diharapkan.

g. Pengambilan kesimpulan dan saran:

Pengambilan kesimpulan dari semua hasil analisis data yang telah didapat berdasarkan dasar teori yang telah dijelaskan. Serta saran yang berisi tentang pengembangan pembuatan alat dan aplikasi dalam pemanfaatan energi alternatif.

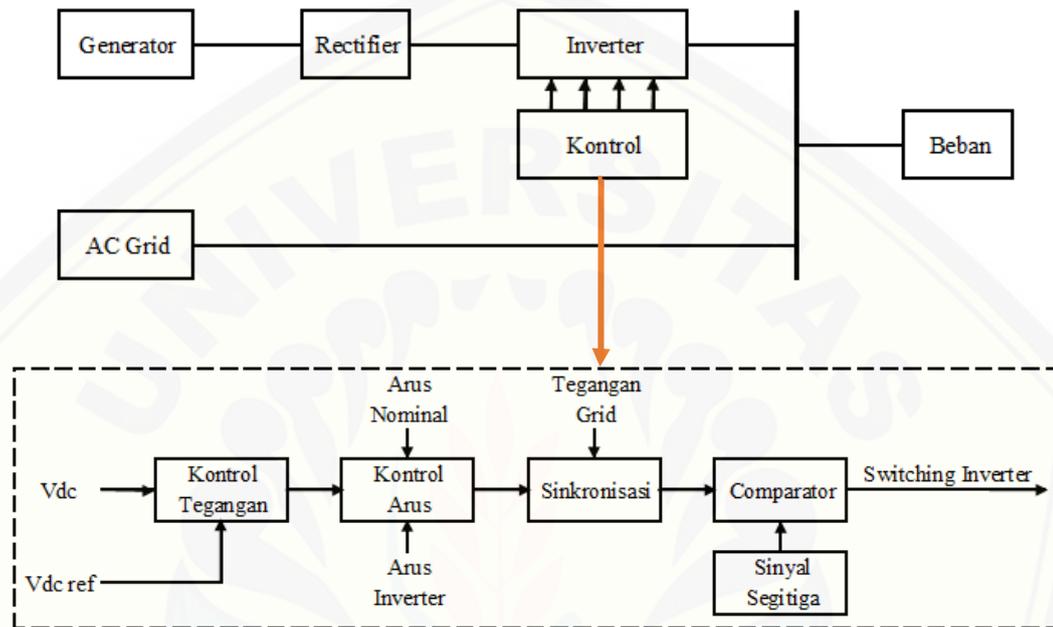
3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Blok Diagram Sistem

Blok diagram desain dan algoritma kontrol *on grid* energi angin dengan sumber PLN 220 volt. yang akan digunakan pada penelitian ini secara umum ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut:



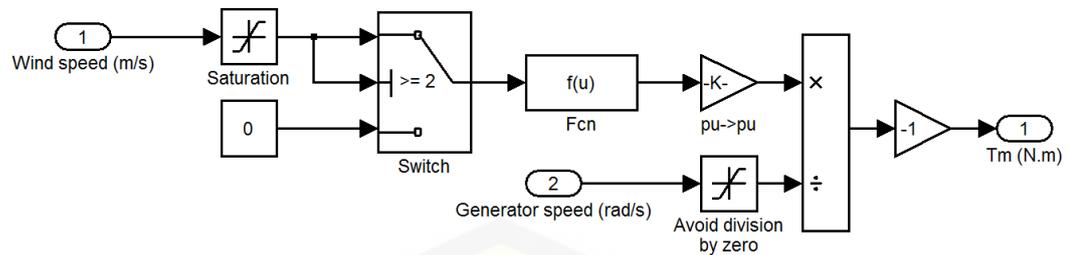
Gambar 3.2 Perencanaan sistem dan algoritma kontrol *on grid* energi angin dengan sumber PLN 220 volt

3.6 Pemodelan Sistem Energi Angin *On Grid*

Pemodelan Sistem Energi Angin *On Grid* merupakan rangkaian yang terdiri dari beberapa komponen. Komponen tersebut dirangkai menggunakan *software* matlab 7, Pemodelan sistem tersebut terdiri dari:

3.6.1 Pemodelan Sistem Energi Angin

Turbin angin digunakan untuk merubah energi potensial yang ada pada angin menjadi energi kinetik. Pemodelan turbin angin dirancang agar dapat bekerja pada kecepatan angin minimal dan kecepatan angin nominal tanpa menggunakan kontrol *pitch angle*. Adapun subsistemnya dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Rangkaian subsistem pemodelan turbin angin

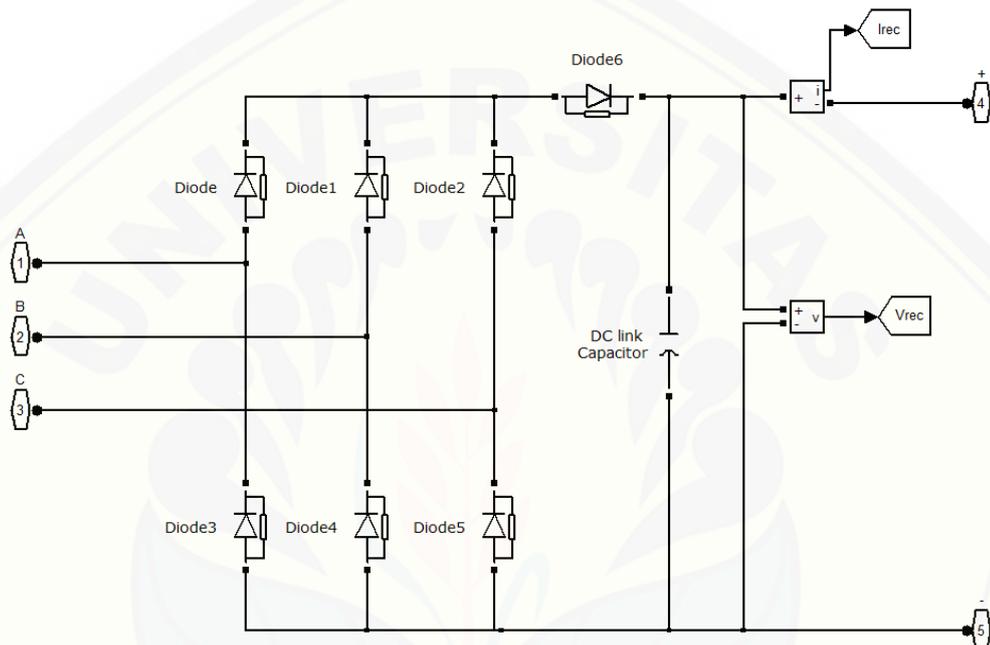
Pada penelitian ini menggunakan turbin dengan daya 500 Watt, kecepatan *cut-in* 2 m/s, dan kecepatan nominal 4 m/s. Turbin ini membutuhkan *input* kecepatan angin dan kecepatan generator agar menghasilkan *output* berupa torsi mekanik. Lalu *output* turbin angin dihubungkan dengan generator magnet permanen untuk menghasilkan listrik tiga fasa. Sedangkan generator yang digunakan menggunakan *preset model* matlab, dan parameternya ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut:

Configuration	Parameters	Advanced
Stator phase resistance Rs (ohm):		
18.7		
Inductances [Ld(H) Lq(H)]:		
[0.02682 0.02682]		
Specify: Flux linkage established by magnets (V.s)		
Flux linkage established by magnets (V.s):		
0.1717		
Voltage Constant (V_peak L-L / krpm):		
62.2859		
Torque Constant (N.m / A_peak):		
0.5151		
Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m ²) F(N.m.s) p()]:		
[2.26e-005 1.349e-005 2]		
Initial conditions [wm(rad/s) thetam(deg) ia,ib(A)]:		
[685,0, 0,0]		

Gambar 3.4 Nilai Parameter *Permanent Magnet Synchronous Machine*

3.6.2 Pemodelan Penyearah Tiga Fasa Tak Terkontrol

Tegangan yang dihasilkan oleh generator berupa tegangan AC tiga fasa. Maka diperlukan penyearah untuk merubahnya menjadi tegangan DC, salah satunya adalah penyearah tiga fasa tak terkontrol. Penyearah ini merupakan penyearah paling sederhana dari jenisnya, karena hanya terdiri dari enam buah dioda yang dirangkai pada gambar 3.5 berikut:



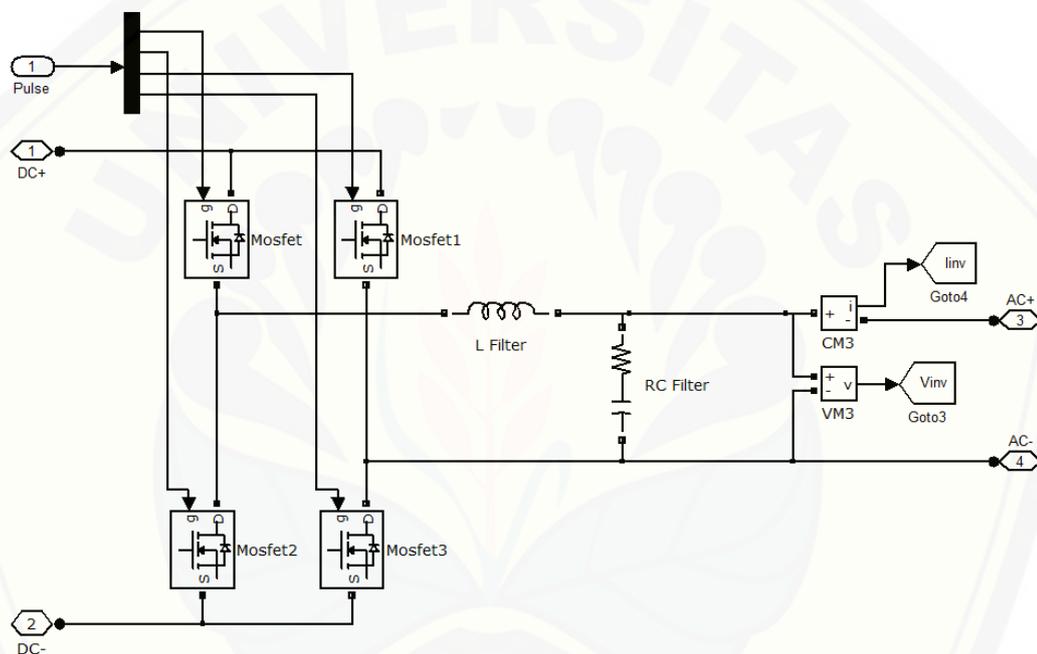
Gambar 3.5 Rangkaian subsistem *uncontrolled rectifier*

Jika penyearah dihubungkan langsung dengan inverter atau lebih dikenal dengan sebutan *back to back converter* maka diperlukan sebuah kapitor *DC Link* yang diletakkan di antara penyearah dan inverter. Dengan menentukan besar nilai tegangan DC dan ripplenya, nilai kapasitor *DC Link* ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 C_{DC} &= \frac{S}{2\omega \cdot V_{DC} \cdot V_{DC \text{ ripple}}} \\
 &= \frac{500}{2 \cdot 2\pi 50 \cdot \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{0.9} \cdot 4.6} \\
 &= 5e^{-4} \text{ F}
 \end{aligned}$$

3.6.3 Pemodelan Inverter

Ada beberapa jenis inverter salah satunya inverter jembatan penuh atau juga disebut *H-Bridge Inverter*. Inverter merupakan komponen utama dalam sistem energi angin *on grid*. Agar daya dapat mengalir ke grid, maka diperlukan proses sinkronisasi dengan tegangan grid. Proses *switching* dapat dikontrol sedemikian rupa agar mendapatkan kinerja yang diinginkan. Adapun Blok sistemnya ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

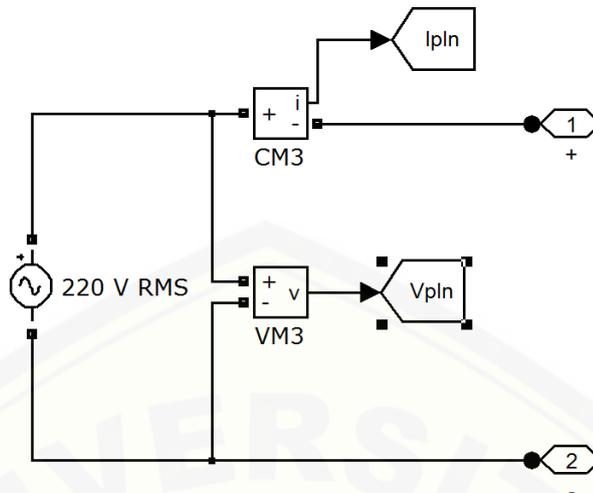


Gambar 3.6 Rangkaian subsistem inverter jembatan penuh

Karena inverter menggunakan *switching* maka diperlukan suatu filter untuk meminimalisir riak pada tegangan dan arusnya. Pada penilitan ini menggunakan *lowpass filter LC*.

3.6.4 Pemodelan Sumber PLN

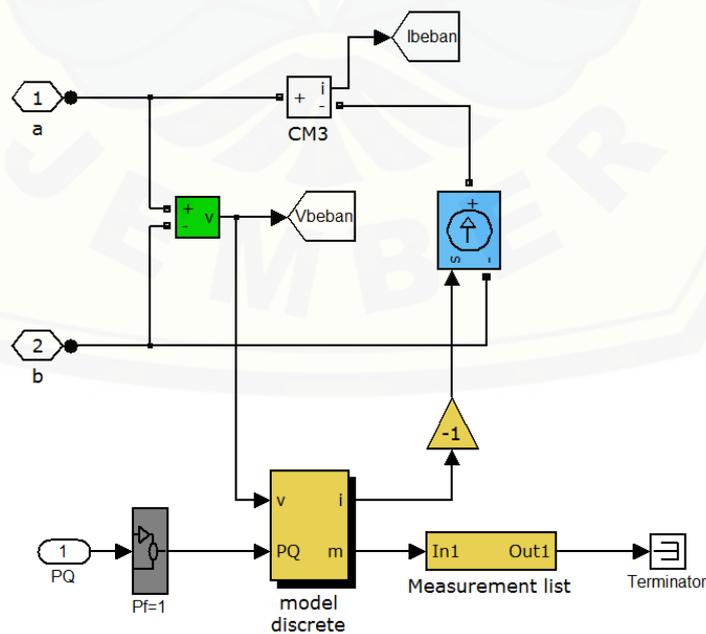
Sistem Energi Angin *On-grid* melakukan sinkronisasi langsung dengan tegangan AC PLN tanpa distorsi. Jadi tegangan dari PLN dianggap sinus murni dengan besar tegangan 220 V RMS. Subsistem ditunjukkan pada gambar 3.6..



Gambar 3.7 Rangkaian subsistem sumber PLN

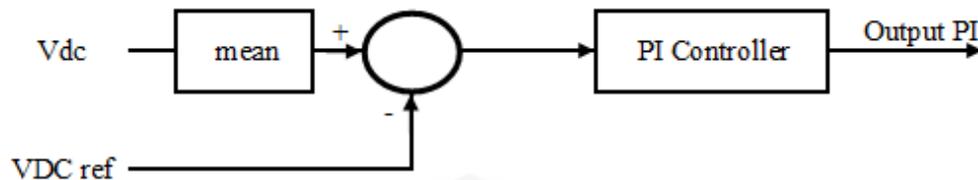
3.6.5 Pemodelan Beban

Beban yang digunakan dalam penelitian ini merupakan beban AC satu fase yang bersifat dinamis, sehingga besar beban dapat berubah sesuai kebutuhan. Besar daya yang diserap beban mempengaruhi besar arus yang mengalir, berdasarkan sifat ini maka simulasi ini menggunakan sumber arus tergantung sebagai beban. Pemodelan beban ditunjukkan pada gambar 3.7:



Gambar 3.8 Rangkaian subsistem *dynamic load*

3.7.1 Kontrol tegangan DC

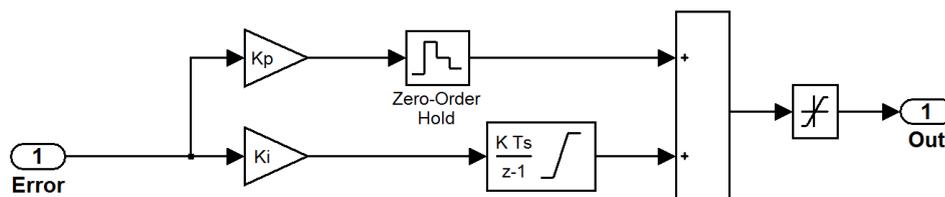


Gambar 3.10 Blok diagram kontrol tegangan DC

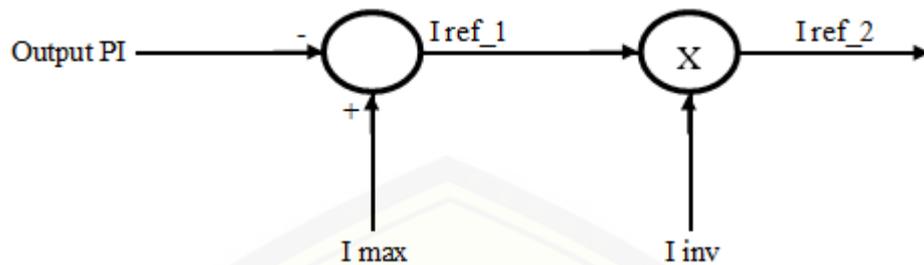
Untuk menghasilkan besar tegangan *output* yang stabil maka besar tegangan *input* inverter harus stabil juga. Sistem kontrol ini dipilih karena *output* tegangan inverter sudah terhubung dengan *AC grid* sehingga besarnya tidak dapat diketahui. Besar tegangan V_{dc} yang akan dibandingkan dengan V_{dc} ref merupakan nilai rata-ratanya, karena nilai V_{dc} aktual terdapat *ripple* tegangan. Jika yang digunakan bukan nilai rata-rata maka nilai *error persen* tidak akan pernah mencapai nilai 0. Nilai tegangan DC tidak ditentukan sembarangan karena akan berpengaruh pada besar tegangan *output* yang akan dihasilkan. Tegangan DC nominal (V_{dc} ref) ditentukan berdasarkan rumus:

$$V_{dc} = \frac{V_{out} \cdot \sqrt{2}}{m}$$

Dimana m merupakan *modulation index* yang digunakan inverter. Besar selisih atau *error persen* antara tegangan DC nominal dengan tegangan DC aktual dijadikan masukan untuk *PI controller* agar nilai *error persen* tetap nol. *PI controller* digunakan untuk menghasilkan respon waktu yang lebih baik. Nilai parameter Proportional gain (K_p) dan Integral gain (K_i) yang digunakan adalah $K_p=2$ dan $K_i=50$. Nilai yang dihasilkan *PI controller* ini nantinya akan diproses oleh kontrol arus *output* inverter.

Gambar 3.11 Rangkaian subsistem *discrete PI controller*

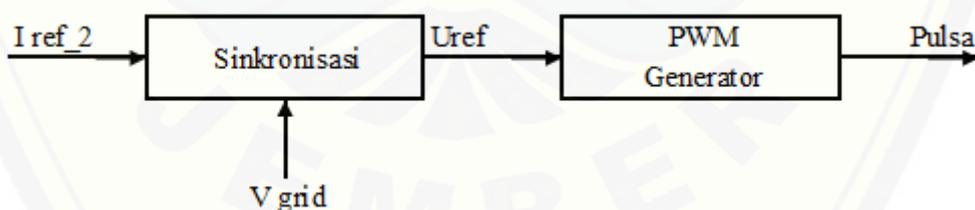
3.7.2 Kontrol Arus Inverter



Gambar 3.12 Blok diagram kontrol arus

Tujuan kontrol arus ini agar aliran daya yang mengalir seimbang dan arus yang dihasilkan berbentuk sinus. Terdapat dua bagian dalam kontrol ini, yang pertama, Arus puncak maksimal yang bisa dihasilkan inverter (I_{max}) diproses dengan keluaran dari *PI controller* sehingga menghasilkan nilai arus puncak yang harus dihasilkan inverter (I_{ref_1}). Kedua, nilai arus keluaran inverter aktual (I_{inv}) diproses dengan nilai arus I_{ref_1} yang menghasilkan nilai arus referensi yang berbentuk sinus (I_{ref_2}) dalam satuan p.u untuk memudahkan proses kontrol selanjutnya.

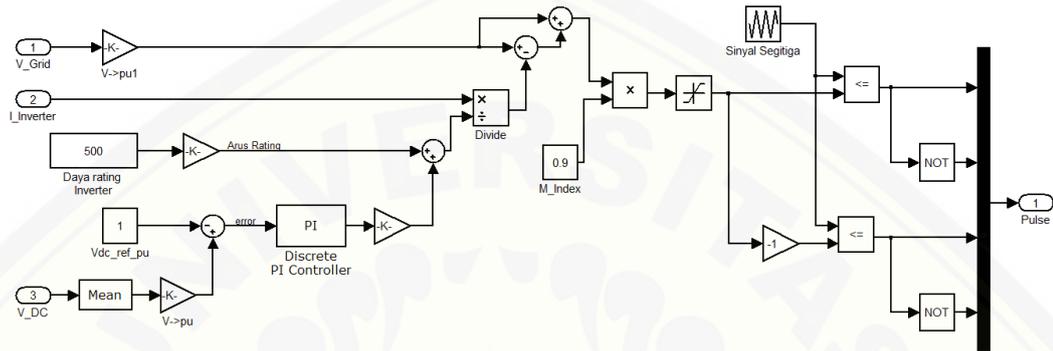
3.7.3 Sinkronisasi



Gambar 3.13 Blok diagram sinkronisasi

Setelah nilai tegangan dan arus didapatkan, maka selanjutnya adalah proses sinkronisasi fase dan frekuensi tegangan output inverter dengan tegangan AC grid. Proses ini menggunakan tegangan *AC grid* dalam besar p.u untuk diproses dengan *output* dari kontrol arus (I_{ref_2}). Hasilnya berupa sinyal referensi (U_{ref}) yang digunakan untuk menghasilkan pulsa *switching* setelah diproses dalam PWM

Generator. PWM yang digunakan merupakan PWM dua tingkat yang menghasilkan empat pulsa. Semua proses ini dilakukan secara close loop sehingga semua nilainya terkontrol sepanjang waktu. Adapun pemodelan sistem kontrol inverter pada simulink ditunjukkan pada gambar 3.13:



Gambar 3.14 Rangkaian subsistem kontrol inverter pada matlab

BAB.5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian Sistem Kontrol *On-Grid* Energi Angin dengan Sumber PLN 220 Volt dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semua daya yang dihasilkan oleh sumber energi angin disalurkan ke AC grid, sehingga apabila ada kelebihan daya maka akan disalurkan ke sumber PLN, begitupun sebaliknya.
2. Besar tegangan yang dihasilkan generator berkisar 344-352 Volt selama turbin menyalurkan daya, karena dipengaruhi oleh sistem kontrol tegangan DC.
3. Saat tidak ada daya dari sumber energi angin, inverter menyerap daya sebesar 3 Watt.
4. Pemodelan sistem dan algoritma kontrol hanya bekerja saat ada tegangan dari jaringan PLN karena:
 - a. Algoritma kontrol membutuhkan masukan tegangan grid.
 - b. Tidak ada baterai untuk menyimpan kelebihan daya.
 - c. Tidak ada kontrol daya untuk mencegah kelebihan daya pada beban.

5.2 Saran

1. Algoritma kontrol penelitian ini hanya membentuk sinyal referensi (U_{ref}) masukan PWM generator untuk membentuk pulsa switching. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah pengaturan pulsa switching, karena berpengaruh pada arus keluaran inverter saat tidak ada daya.
2. Sistem energi angin dapat bekerja secara mandiri dan hibrid jika ditambahkan baterai sebagai penyimpanan, dan pembangkit sinyal sinus sebagai referensi tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Yang Y, He X, Shao R, Xu S, Chang L. 2014. *Multi-input single-phase grid-connected inverter for hybrid PV/Wind power system*. IJRSE, Shanghai.
- Prawidyasari, Destiany. 2014. "Pengendali Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Angin – PMSG dengan *Fuel Cell* Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*". Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Widiyanto, Parmaputra. 2014. "Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) *Grid-Tied* dengan Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*". Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Fauzi, M, I. 2014. "Sistem Maximum Power Point Tracker (MPPT) Dengan Konverter DC-DC Tipe *Boost* Menggunakan Logika Fuzzy untuk Panel Surya". Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Indana, Ghifery. 2014. "Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) *Grid-Tied* dengan metode *Neural Network*". Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- <http://www.esdm.go.id> Departement Energi dan Sumber Daya Mineral., 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*. ESDM, Jakarta.
- NPTL. Modul. Version 2 EE IIT. Kharagpur.
- Zong, Xiangdong. 2011. *A Single Phase Grid Connected DC/AC Inverter with Reactive Power Control for Residential PV Application*. University of Toronto. Toronto.
- Sujanarko, Bambang. 2010. *Metode Sinkronisasi Inverter Satu Fase dengan Jaringan Listrik yang Terdistorsi*. TELKOMNIKA, Jember.
- Bo L, Guo-Chun X, Xuan-Lu W. 2013. Comparison of performance between bipolar and unipolar double-frequency sinusoidal pulse width modulation in a digitally controlled H-bridge inverter system. *Chin. Phys. B*, Xi'an.
- Verma J, Tiwari Y, Mishra A, Singh N. 2014. Performance, Analysis and Simulation of Wind Energy Conversion System Connected With Grid. *IJRTE*. Durg.
- Reznik A, Simoes M.G, Al-Durra A, Muyeen S.M (tanpa tahun). *LCL Filter Design and Performance Analysis for Grid Interconnected Systems*. Petroleum Institute. Abu Dhabi.
- Martins D.C, Demonti R. 2000. *Interconnection of a Photovoltaic Panels Array to a Single-Phase Utility Line From a Static Conversion System*. Federal University of Santa Catarina. Florianopolis.

- Xiaoming W, Wanci L, Wenjuan X. 2012. The Grid-connected Inverter of Simulation on Direct-drive Wind Power System Based on MATLAB. ICCIA. Paris.
- Sandhiya A, Fathima A.P, Balamurugan P. 2011. Design of Ripple Free Single Phase Isolated Converter using DC Active Filter with Centre Tap Transformer. JES. Tamilnadu.
- Kim H, Kim K. H. 2008. Filter Design for Grid Connected PV Inverter. IEEE. Chungnam.
- Yu B, Chang L. 2005. Improved predictive current controlled PWM for single-phase grid-connected voltage source inverters. IEEE. Recife.
- Shao R, Guo Z, Chang L. 2007. A PWM strategy for acoustic noise reduction for grid-connected single-phase inverters. IEEE. Anaheim.
- Raharjo, Poelong. 2013. "Sistem *Hybrid* pada PLN – *Soler cell* dan Baterai" Skripsi. Jember. Universitas Jember.
- Musthafa, Dzulfikar Rais. 2011. "Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dengan Metode *Gradient Approximation*". Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).