

Perancangan dan Simulasi *Chopper Buck Boost* pada Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin

MUSVIRATU ALVITA, SYAHRIAL, SITI SAODAH

Jurusan Teknik Elektro - Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : musviratu@gmail.com

ABSTRAK

Kecepatan angin berfluktuasi dengan kecepatan tak tentu, mempengaruhi putaran rotor generator, menghasilkan tegangan keluaran yang tidak stabil. Hal ini menyebabkan tegangan keluaran tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal. Konverter adalah rangkaian elektronika daya berfungsi mengubah nilai tegangan dc menjadi lebih kecil atau lebih besar. Chopper buck-boost merupakan konverter yang mampu meregulasi tegangan dengan daerah kerja yang lebih luas. Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan simulasi sebuah sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan spesifikasi ketinggian tower 30 m, radius blade 6 m, dan densitas udara 1,23 kg/m³, menggunakan generator sinkron 3 fasa 8,5 kW. Tegangan line to line keluaran generator disearahkan dengan rectifier bridge 6 pulsa, kemudian tegangan dc diregulasi dengan chopper buck-boost sehingga menghasilkan tegangan konstan yang diinginkan. Rentang input konverter adalah 50 V-100V. Kecepatan angin nominal yang digunakan adalah 5,113 m/s. Pada kecepatan angin tersebut, tegangan line to line keluaran generator adalah 80 V, tegangan dc 132,4 V, duty cycle buck 78%, duty cycle boost 0%. Pada kondisi ini, konverter berfungsi sebagai chopper buck. Sedangkan keluaran chopper buck boost adalah 102,3 V dari tegangan konstan yang diinginkan 100 V.

Kata kunci: *Angin, Tegangan dc, Chopper Buck-Boost, Duty Cycle, Tegangan Konstan.*

ABSTRACT

Indefinitely fluctuative wind speeds will affect the speed frequency of rotor generator, so as generates the unstable output voltage. This causes the generator output voltage can not be fully utilized. Converters are power electronics circuit. It converts dc voltage into smaller or larger value. Chopper Buck-Boost is able to regulate the voltage with a wider working area. This research was designing and simulating a wind power generation system with this specification, a tower 30 m in height, blade radius 6 m in length, the air density in 1,23 kg/m³, and using 3 phases 8,5 kW Permanent Magnet Synchronous Generator. Line to line output generator voltage is rectified with 6 pulses Bridge Rectifier. Then dc Voltage is regulated by Chopper Buck-Boost so as to produce a desired constant voltage. Nominal wind speed that used was 5,113 m/s. In that wind speed, the generator line to line output voltage was 80 V, 132,4 Vdc, converter served as a chopper buck with 78% duty cycle in switch 1 and the output voltage of converter was 102,3 V from desired voltage, 100 V.

Keywords: *Wind, Dc voltage, Chopper Buck-Boost, Duty Cycle, Desired Constant Voltage.*

1. PENDAHULUAN

Angin yaitu udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara (tekanan tinggi ke tekanan rendah) di sekitarnya. Angin merupakan udara yang bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah atau dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang tinggi. Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi kinetik pada angin, dimana energi kinetik diubah menjadi energi mekanis oleh turbin. Poros turbin dikopel pada rotor generator sehingga energi mekanis berubah menjadi energi listrik (Freris, 1900).

Menurut data *American Wind Energy Association* (AWEA), saat ini telah ada sekitar 20.000 turbin angin di seluruh dunia dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Di Indonesia, *blueprint* energi Nasional sudah mencanangkan penggunaan energi angin sebagai sumber energi nasional hingga tahun 2025 dengan potensi angin sekitar 9,29 gigawatt. Bandung terletak ±768 m di atas permukaan laut rata-rata. Geografis Bandung dikelilingi pegunungan sehingga membentuk suatu cekungan. Hal tersebut menyebabkan rendahnya kecepatan rata-rata angin pada daerah ini. Selain itu, kecepatan angin juga berfluktuasi sehingga menghasilkan tegangan keluaran generator yang tidak stabil. Hal ini menyebabkan pemanfaatan dan penyimpanan energi listrik secara langsung kurang efektif.

Untuk itu diperlukan perancangan sebuah konverter yang dapat menghasilkan tegangan konstan 100V. Konverter *Buck-Boost* merupakan sebuah rangkaian elektronika daya yang mampu mengubah nilai tegangan DC. Konverter *Buck-Boost* memiliki daerah kerja yang lebih fleksibel karena dapat menaikkan atau menurunkan tegangan (Erickson, 1997). Penelitian ini memiliki tujuan menganalisa tegangan keluaran generator, tegangan keluaran konverter, *duty cycle* saklar 1 dan saklar 2, dan mode konverter terhadap kecepatan angin.

2. METODOLOGI SIMULASI DAN PERANCANGAN CHOPPER BUCK-BOOST PADA APLIKASI PEMBANGKIT LISTRI TENAGA ANGIN

2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data frekuensi kecepatan angin yang terjadi pada daerah penelitian. Daerah yang digunakan sebagai objek penelitian adalah kota Bandung, Jawa Barat.

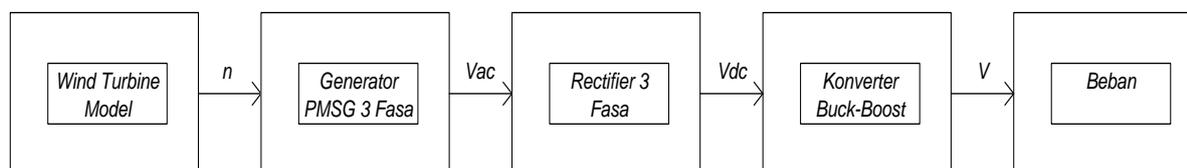
Tabel 1. Frekuensi Kecepatan Angin Daerah Bandung

Kecepatan Angin (Knot)	Kecepatan Angin (m/s)	Konversi Kec. Angin dengan Ketinggian 30 m (m/s)	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif
0	0	0	19791	19791
1-4	0,51-2,06	0,73-2,924	18504	38295
4-7	2,06-3,60	2,924-5,113	4353	42648
7-11	3,60-5,66	5,113-8,041	1108	43756
11-14	5,66-7,20	8,041-10,234	9	43765
14-17	7,20-8,745	10,234-12,427	4	43769
17-22	8,745-11,32	12,427-16,082	1	43770
>22	>11,32	>16,082	6	43776
Total			43776	43776

Tabel 1 menunjukkan kecepatan angin yang paling sering terjadi di Kota Bandung berkisar antara 0-11 knot. Oleh karena spesifikasi generator yang digunakan memiliki batas minimum kecepatan angin sebesar 3 m/s, maka kelas frekuensi kecepatan angin yang dapat digunakan adalah 2,924-5,113 m/s dan 5,113-8,041 m/s. Untuk penentuan kecepatan nominal digunakan median dari kedua kelas frekuensi tersebut yaitu 5,113 m/s (BMKG, 2012).

Setelah didapatkan data angin kemudian menentukan komponen-komponen yang membentuk simulasi, yaitu:

1. *Wind Turbine*
2. Generator Sinkron Permanent Magnet 3 Fasa
3. *Rectifier Bridge* 3 Fasa
4. Konverter *Buck-Boost*
5. Beban Resistif



Gambar 1. Ilustrasi Rancangan Sistem Simulasi pada Penelitian

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi sistem yang akan diimplementasikan pada simulasi secara garis besar (Johnson, 2001). *Wind Turbine Model* akan mengubah energi angin menjadi energi mekanis. Keluaran *Wind Turbine Model* berupa putaran (rpm). Kemudian energi mekanis diubah oleh generator menjadi energi listrik. Keluaran generator sinkron *permanent magnet* berupa tegangan AC, lalu disearahkan oleh *Rectifier Bridge* 3 Fasa menjadi tegangan DC. Tegangan DC diinputkan ke konverter untuk mendapatkan tegangan konstan yang diinginkan untuk menyuplai beban.

2.2 Simulasi

a. *Wind Turbine Model*

Blok *wind turbine* adalah implentasi model dari turbin angin dengan variabel *pitch*. Blok model ini dibuat berdasarkan karakteristik daya *steady-state* dari turbin. Model simulasi pada turbin diilustrasikan pada Gambar 2. Ketiga input adalah kecepatan generator dalam satuan pu terhadap kecepatan nominal generator, sudut *pitch blade* dalam satuan *degree* dan kecepatan angin dalam m/s. Tip speed ratio λ dalam pu terhadap λ_{nom} didapatkan dengan membagi kecepatan dalam pu terhadap kecepatan putaran *base* dan kecepatan angin dalam pu terhadap kecepatan angin *base*. Keluaran dari blok model ini adalah torka yang kemudian digunakan untuk menggerakkan *shaft* generator.



Gambar 2. Blok *Wind Turbine Model*

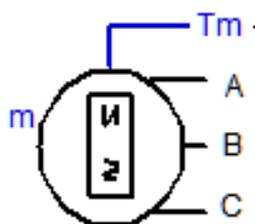
Koefisien kerja C_p turbin adalah daya mekanis keluaran dibagi daya angin dan fungsi kecepatan angin, kecepatan putar dan *pitch angle* (beta). Nilai C_p akan maksimal pada saat

beta bernilai nol. Pada simulasi ini, *pitch angle* akan diinput konstan nol, sehingga daya mekanik keluaran akan bernilai maksimal.

Input pertama pada blok *Wind Turbine* adalah *generator speed* per unit dari *generator base speed*, untuk *generator ac* dan *generator sinkron*, *base speed* didefinisikan sebagai kecepatan yang menghasilkan tegangan nominal pada keadaan tak berbeban.

b. Permanent Magnet Synchronous Generator

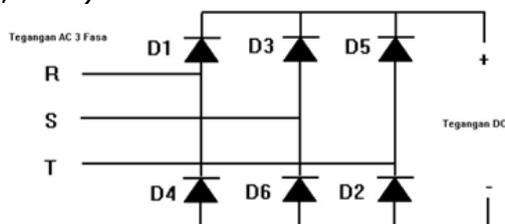
Gambar 3 adalah model dari *permanent magnet synchronous machine* 3 fasa dengan *sinusoidal* atau *trapezoidal back electromotive force* (EMF). Blok ini bisa dioperasikan sebagai motor maupun generator dengan memasukkan torka positif sebagai motor dan torka negatif sebagai generator.



Gambar 3. Blok Model Permanent Magnet Synchronous Machine

c. Rangkaian Penyearah 3 Fasa

Tegangan keluaran generator berupa tegangan AC disearahkan menggunakan rangkaian penyearah 3 fasa. Gambar 4 merupakan *rectifier bridge* yang memberikan 6 pulsa *ripple* pada tegangan keluaran. Dioda dinomori sesuai dengan urutan konduksi masing masing fasa yang berbeda 120° (Rashid, 1993).



Gambar 4. Bridge Rectifier 3 Fasa (Rashid, 1993)

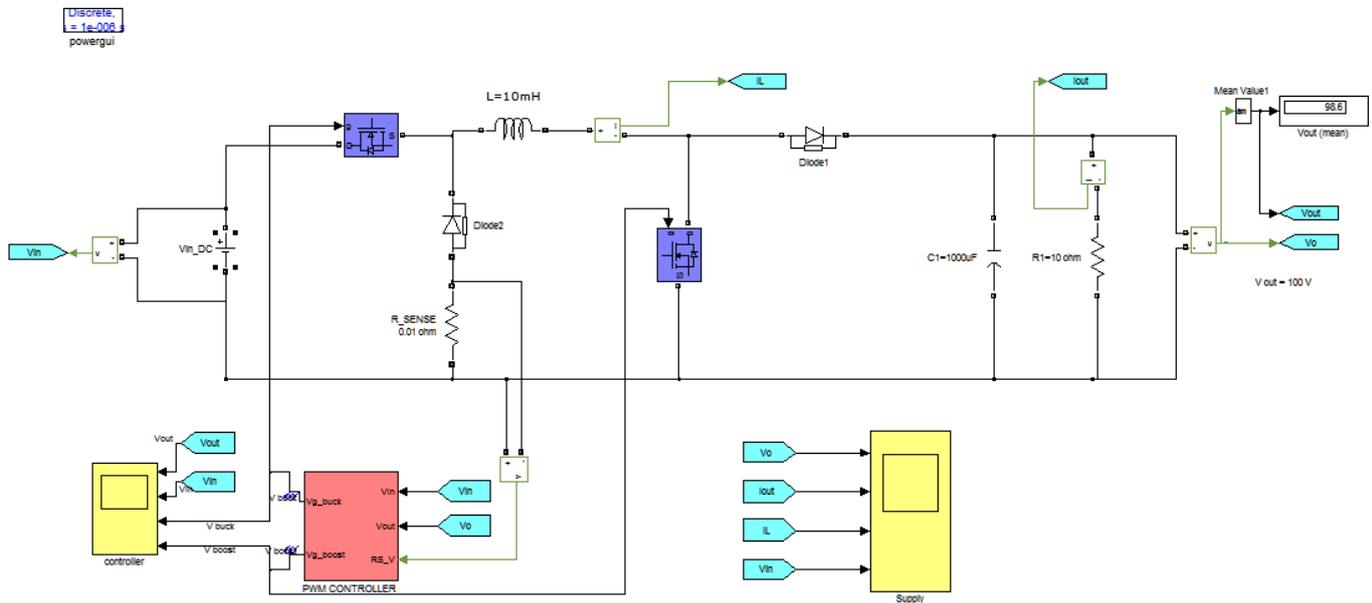
Urutan konduksi dioda adalah 12, 23, 34, 45, 56, dan 61. Pasangan diode yang terletak diantara dua fasa yang memiliki tegangan *instant line-to-line* terbesar yang akan konduksi. Tegangan *line-to-line* memiliki nilai $\sqrt{3}$ kali dari tegangan fasa dari sumber 3 fasa hubung bintang. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan tegangan DC yang dihasilkan rangkaian *rectifier bridge* diatas, adalah sebagai berikut:

$$V_{dc} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t) \tag{1}$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \tag{2}$$

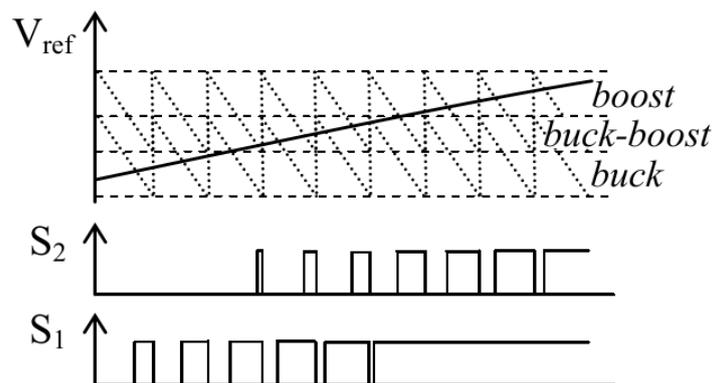
d. Konverter Buck-Boost

Nilai angin yang fluktuatif mempengaruhi tegangan dc keluaran rangkaian *rectifier bridge* 3 fasa. Untuk menjaga tegangan tetap konstan, maka perlu dirancang konverter *Buck-Boost*. Model konverter Buck-Boost pada simulasi antara lain seperti gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Model Simulasi Konverter *Chopper Buck-Boost Non Inverting*

Gambar 5 merupakan blok simulasi konverter *chopper buck-boost non-inverting* (Dowlatabadi, 2011). Saklar sebagai komponen *switching* yang digunakan adalah transistor IGBTs. PWM Controller memberi sinyal pada kedua saklar berdasarkan perbandingan V_{in} terhadap V_{out} , yaitu 100 V. Komponen yang diinputkan pada simulasi ini antara lain, induktor sebesar 10 mH, nilai kapasitor sebesar 1000 uF dan beban yang digunakan resistor dengan nilai 10 ohm.



Gambar 6. Konverter *Chopper Buck-Boost Non Inverting* (Dowlatabadi, 2011)

Gambar 6 memperlihatkan kerja dua sinyal saklar pada *chopper buck-boost non inverting*. Konverter ini dapat bekerja sebagai *chopper buck*, konverter *boost* atau sebagai konverter *buck-boost* dengan memilih kombinasi yang berbeda dari switch S_1 dan S_2 . Berdasarkan kerja sinyal saklar, konverter *chopper Buck-Boost* dapat bekerja dengan 3 daerah kerja, yaitu:

- a. Mode *Buck-Boost*

Pada mode ini, saklar S1 dan S2 bekerja bersamaan dengan *duty cycle* berbeda. Persamaan mode *buck-boost* adalah:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D1}{1 - D2} \begin{cases} D1 + D2 > 1: \text{Step up} \\ D1 + D2 < 1: \text{Step down} \end{cases} \quad (3)$$

b. Mode *Buck*

Pada mode ini, saklar S1 melakukan *switching*, namun S2 tidak diberikan sinyal. Persamaan mode *buck* adalah:

$$V_o = D1 \cdot V_{in} \quad (4)$$

c. Mode *Boost*

Pada mode ini, saklar S1 diberikan sinyal penuh sehingga *duty cycle* bernilai 1. Sedangkan saklar S2 melakukan *switching*.

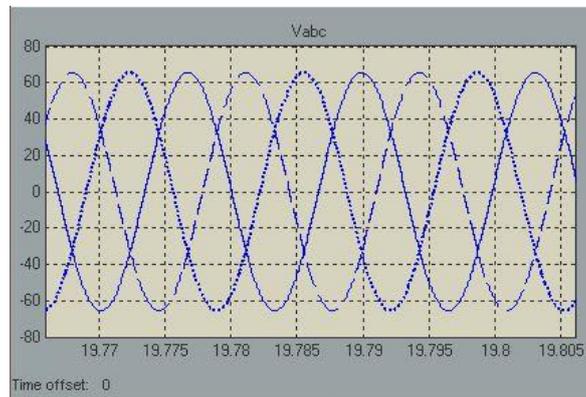
$$V_o = \frac{1}{1 - D2} \cdot V_{in} \quad (5)$$

3. HASIL PERANCANGAN, SIMULASI, DAN ANALISIS

Setelah sistem berhasil diimplementasikan pada simulasi maka diperlukan pengujian untuk menganalisa *duty cycle* yang dibentuk sistem terhadap variabel kecepatan angin yang diinputkan pada *wind turbine model* (Rashid, 1993).

3.1 Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Keluaran Generator

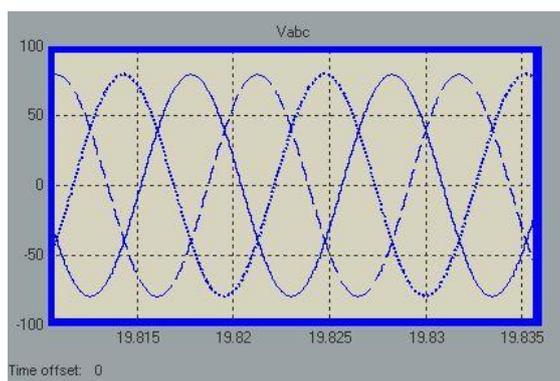
3.1.1 Saat Kecepatan Angin 4 m/s



Gambar 7. Tegangan Keluaran Generator Line to Line 4 m/s

Gambar 7 menunjukkan tegangan keluaran *line to line* generator pada saat kecepatan angin 4 m/s adalah 65,42 V. Berdasarkan persamaan 2, keluaran rangkaian penyearah 3 fasa adalah 108,3 V.

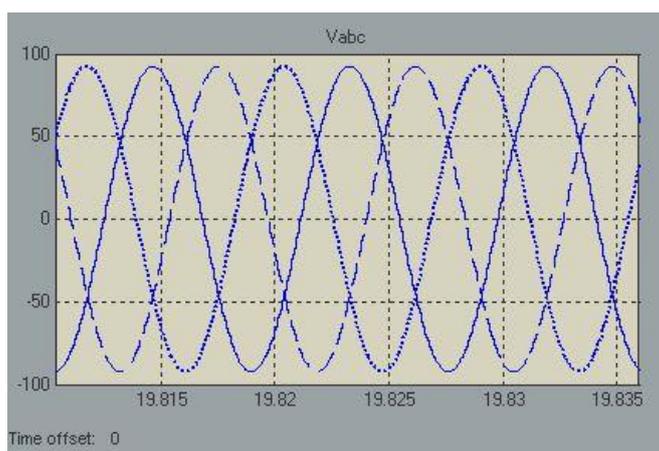
3.1.2 Saat Kecepatan Angin 5 m/s



Gambar 8. Tegangan Keluaran Generator Line to Line 5 m/s

Gambar 8 menunjukkan tegangan keluaran *line to line* generator pada saat kecepatan angin 5 m/s adalah 80 V. Berdasarkan persamaan 2, maka tegangan keluaran rangkaian penyearah 3 fasa adalah 132,4 V.

3.1.3 Saat Kecepatan Angin 6 m/s

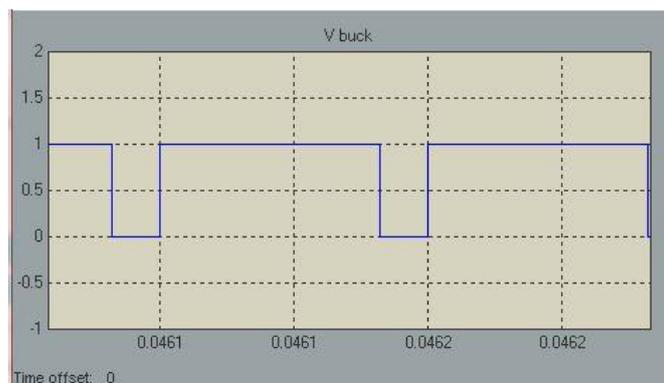


Gambar 9. Tegangan Keluaran Generator Line to Line 6 m/s

Gambar 9 menunjukkan tegangan keluaran *line to line* generator pada saat kecepatan angin 6 m/s adalah 92,5 V. Berdasarkan persamaan 2, maka tegangan keluaran rangkaian penyearah 3 fasa adalah 153,1 V.

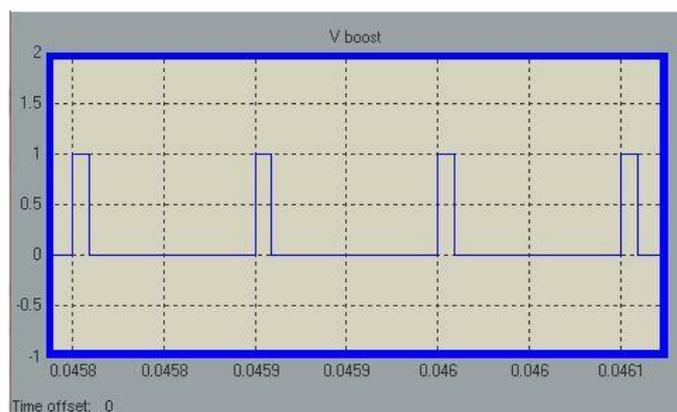
3.2 Hasil Simulasi Konverter *Buck-Boost*

3.2.1 Saat Kecepatan Angin 4 m/s



Gambar 10. Duty cycle switching *buck* pada saat kecepatan angin 4 m/s

Gambar 10 menunjukkan saklar S1 bekerja dengan *duty cycle* 82%. Gambar grafik tersebut diambil pada saat kecepatan angin 4 m/s. Lama sinyal on adalah 82 us dari frekuensi *switching* yang digunakan adalah 10 kHz dan satu periode pulsa adalah 100 us



Gambar 11. Duty cycle switching *boost* pada saat kecepatan angin 4 m/s

Gambar 11 menunjukkan saklar S2 bekerja dengan *duty cycle* 8%. Gambar grafik tersebut diambil pada saat kecepatan angin 4 m/s. Lama sinyal on adalah 8 us dari frekuensi *switching* yang digunakan adalah 10 kHz dan satu periode pulsa adalah 100 us.

Pada saat kecepatan angin 4 m/s, tegangan input *chopper* adalah 108,3 V. Dengan tegangan keluaran referensi adalah 100 V, tegangan keluaran *chopper* adalah 97,6 V. Dengan kedua saklar yang bekerja pada kecepatan angin 4 m/s, maka konverter berfungsi sebagai *chopper buck boost*.

Dari pengamatan simulasi didapatkan:

Vin : 108,3 V

Vout: 97,6V

D buck : 82%

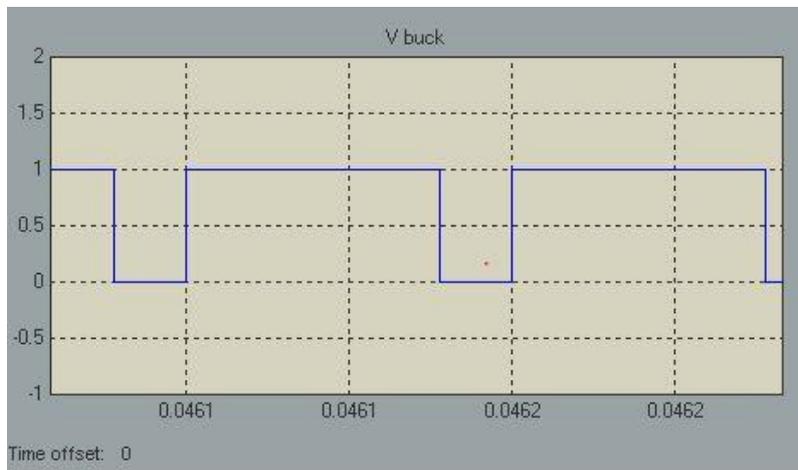
D boost : 8%

T = 100us

Mode konverter : *Buck-Boost*

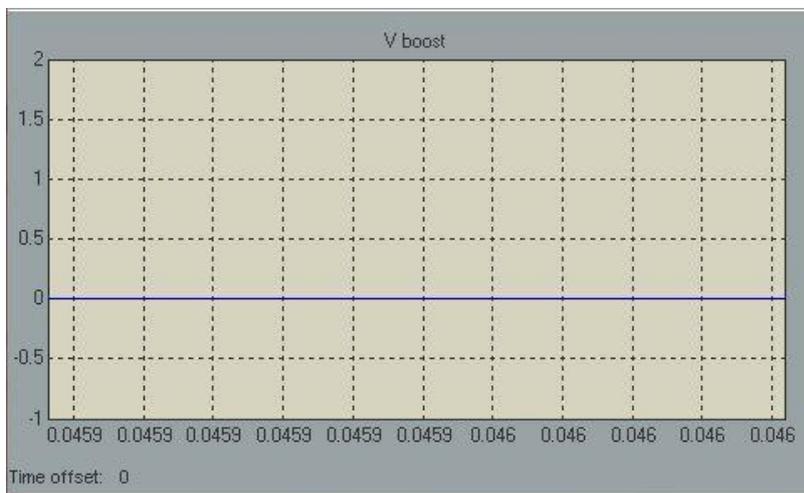
Berdasarkan persamaan 3, maka perhitungan tegangan output adalah 96,5 V. Hasil nilai tegangan keluaran pengukuran dan perhitungan hampir mendekati. Perbedaan pengukuran dan perhitungan disebabkan ketelitian yang berbeda.

3.2.2 Saat Kecepatan Angin 5 m/s



Gambar 12. Duty cycle switching *buck* pada saat kecepatan angin 5 m/s

Gambar 12 menunjukkan saklar S1 bekerja dengan *duty cycle* 78%. Gambar grafik tersebut diambil pada saat kecepatan angin 5 m/s. Lama sinyal on adalah 78 us dari frekuensi *switching* yang digunakan adalah 10 kHz dan satu periode pulsa adalah 100 us.



Gambar 13. Duty cycle switching *boost* pada saat kecepatan angin 5 m/s

Gambar 13 menunjukkan saklar S2 bekerja dengan *duty cycle* 0%. Gambar grafik diambil pada saat kecepatan angin 5 m/s. Lama sinyal on adalah 0 us dari frekuensi *switching* yang digunakan adalah 10 kHz dan satu periode pulsa adalah 100 us.

Pada saat kecepatan angin 5 m/s, tegangan input *chopper* adalah 132,4 V. Dengan tegangan keluaran referensi adalah 100 V, tegangan keluaran *chopper* adalah 102,3 V. Dengan hanya saklar 1 saja yang bekerja pada kecepatan angin 5 m/s, maka konverter berfungsi sebagai *chopper buck*.

Dari pengamatan simulasi didapatkan:

V_{in} : 132,4 V

V_{out} : 102,3 V

D buck : 78%

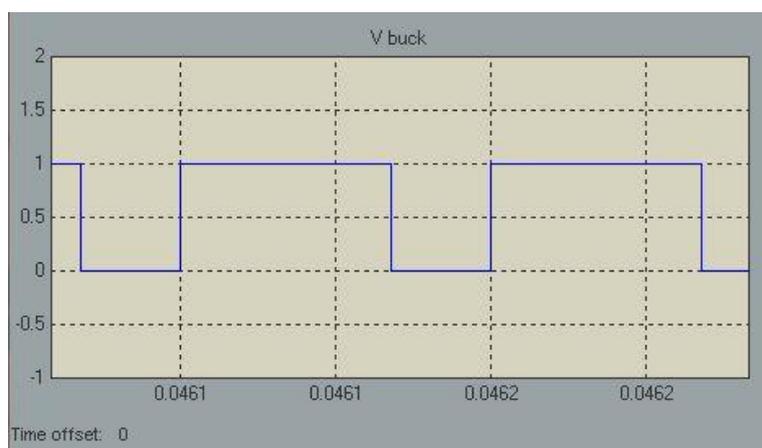
D boost : 0%

$T = 100\mu s$

Mode konverter : *Buck*

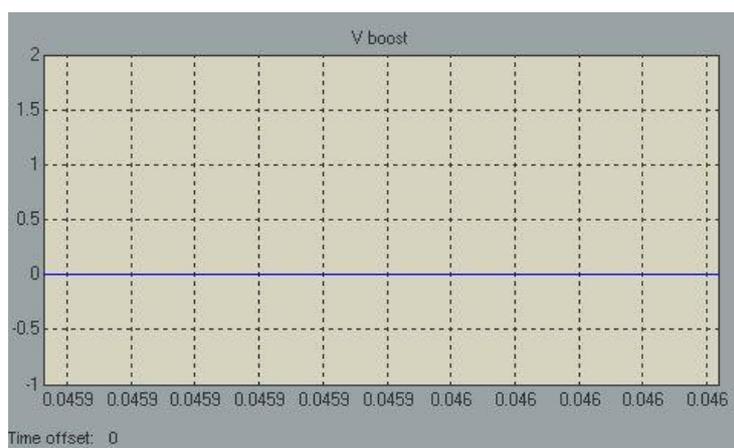
Berdasarkan persamaan 3, maka perhitungan tegangan output adalah 103,3 V. Hasil nilai tegangan keluaran pengukuran dan perhitungan hampir mendekati. Perbedaan pengukuran dan perhitungan disebabkan ketelitian yang berbeda.

3.2.3 Saat Kecepatan Angin 6 m/s



Gambar 14. Duty cycle switching *buck* pada saat kecepatan angin 6 m/s

Gambar 14 menunjukkan saklar S1 bekerja dengan *duty cycle* 68%. Gambar grafik diambil pada saat kecepatan angin 6 m/s. Lama sinyal on adalah 68 us dari frekuensi *switching* yang digunakan adalah 10 kHz dan satu periode pulsa adalah 100 us.



Gambar 15. Duty cycle switching *boost* pada saat kecepatan angin 6 m/s

Gambar 15 menunjukkan saklar S2 bekerja dengan *duty cycle* 0%. Gambar grafik diambil pada saat kecepatan angin 6 m/s. Lama sinyal on adalah 0 us dari frekuensi *switching* yang digunakan adalah 10 kHz dan satu periode pulsa adalah 100 us.

Pada saat kecepatan angin 6 m/s, tegangan input *chopper* adalah 153,1 V. Dengan tegangan keluaran referensi adalah 100 V, tegangan keluaran *chopper* adalah 103,4 V. Dengan hanya saklar 1 yang bekerja pada saat kecepatan angin 6 m/s, maka konverter berfungsi sebagai *chopper buck*.

Dari pengamatan simulasi didapatkan:

- Vin : 153,1 V
- Vout: 103,4 V
- D buck : 68 %
- D boost : 0 %
- T = 100us
- Mode konverter : *Buck*

Berdasarkan persamaan 5, maka perhitungan tegangan output adalah 104,1 V. Hasil nilai tegangan keluaran pengukuran dan perhitungan hampir mendekati. Perbedaan pengukuran dan perhitungan disebabkan ketelitian yang berbeda.

Tabel 2 menunjukkan keseluruhan data hasil pengamatan simulasi. Rentang kecepatan angin pada tabel adalah 2-9 m/s. Pada kecepatan angin 2-4 m/s, konverter berfungsi sebagai mode *buck-boost*. Pada kecepatan angin 5-9 m/s, konverter berfungsi sebagai mode *buck*.

Tabel 2. Tabel Tegangan Angin Terhadap Tegangan DC, Duty Cycle dan Mode Konverter Secara Keseluruhan

Kecepatan Angin	RPM	Vll	Vdc	Duty Cycle		Vo	Mode
				Buck	Boost		
2	373	41.5	68.7	0.6	0.6	98.05	buck-boost
3	465.8	51.8	85.7	0.55	0.55	96.36	buck-boost
4	588	65.42	108.3	0.82	0.08	97.6	buck-boost
5	720	80	132.4	0.78	0	102.3	Buck
6	832.5	92.5	153.1	0.68	0	103.4	Buck
7	936	104	172.1	0.6	0	103.5	Buck
8	1026	114	188.7	0.54	0	102.6	Buck
9	1102.5	122.5	202.7	0.5	0	101	Buck

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan data statistik angin dan spesifikasi generator, maka pengujian dilakukan pada rentang kecepatan angin 2-9 m/s, dengan kecepatan nominal 5 m/s.
2. Berdasarkan daya angin pada kecepatan 5 m/s adalah 8,69 kW, maka pemilihan generator adalah *Permanent Magnet Synchronous Generator* dengan daya 8,5 kW, 3 fasa, 60 Hz. Sedangkan tegangan *line to line* generator pada kecepatan angin 5 m/s adalah 80 V.
3. Dengan tegangan V_{L-L} 80 V, Vdc yang dihasilkan *Rectifier Bridge* 3 fasa adalah 132,38 V, tegangan keluaran konverter pada simulasi adalah 102,3 V.
4. Pada kecepatan angin nominal, konverter berfungsi sebagai mode *buck-boost*. *Duty cycle* saklar 1 adalah 78%, dan saklar 2 tidak diberi sinyal.
5. Pada saat kecepatan angin 2-4 m/s, tegangan input *chopper* 68-108 V, konverter bekerja sebagai *chopper buck-boost*. Hal ini dilihat dari kedua saklarnya yang melakukan *switching*.
6. Pada saat kecepatan angin 5-9 m/s, tegangan input *chopper* 132-202 V, konverter bekerja sebagai *chopper buck*. Hal ini dilihat dari hanya saklar 1 yang melakukan *switching*.

DAFTAR RUJUKAN

- Freris, L. L., (1990). *Wind Energy Conversion Systems First Edition*. London: Prentice-Hall International.
- Rashid, Muhammad H., (1993). *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications Second Edition*. London: Prentice-Hall International.
- Erickson, Robert. W., (1997). *Fundamentals of Power Electronics*. London: Kluwers Academic Publishers.
- Dowlatabadi, Reza., (2011). *Modelling and Controller Design for a Non-inverting Buck-Boost Chopper*, International Conference on Electrical Engineering and Informatics.
- Johnson, Gary L., (2001). *Wind Energy Systems*, Electronic Publish Edition.
- BMKG Jawa Barat, (2012). *Tabel Data Frekuensi Kecepatan Angin Tahun 2007-2011*.