

## Penentuan Parameter AC/DC VSC (Voltage Source Converter) sebagai Sumber Penyimpan Energi Listrik

### *AC/DC VSC (Voltage Source Converter) Performances Defining as Energy Storage Source*

Berlianti

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang Kampus UNAND, Limau Manis Padang  
Telp. 0751-72590 Fax. 0751-72576  
email: [berlianti@yahoo.com](mailto:berlianti@yahoo.com)

#### ABSTRACT

*In HVDC (High Voltage Direct Current) Transmission, generator as voltage source usually generate alternating current form. General electrical transmission and distribution system also transmitte alternating current lines. Recent technology of energy transmission, alternating current was built from direct current formed (HVDC). Some topology was made of AC/DC Voltage Source Converter. Beside the function of VSC as HVDC, as output of the VSC is direct current form, this phenomenom can use as source to direct current storage. The parameters of VSC performance were found out.*

*The VSC modul was made and measured to find out the parameters. Then this equipment is implemented as direct current source. Every cycle of the VSC circuit was observed and measured. The suitable cycle have optimal value of direct current voltage. It's the cycle where all switches was opened where output voltage reached maximum value. Other advantage is keeping output voltage fixed. A VSC have high efficiency compare to other rectifier. In this research, comparison was calculated between VSC againts half wave rectifier with series diodes.*

**Keyword : VSC, ac/dc converter, direct current source**

#### PENDAHULUAN

Suatu pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) menghasilkan tegangan keluaran dalam bentuk arus bolak-balik. Arus listrik bolak-balik yang dihasilkan generator tersebut dikirimkan ke pemakai/konsumen melalui suatu jaringan transmisi dan saluran distribusi arus bolak-balik.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh staf pengajar listrik Politeknik Negeri Padang Herisajani dkk (2011) yaitu menghasilkan energi listrik pada PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Kampung Lalang Padang menggunakan generator induksi dengan mengatur nilai kapasitor eksitasinya. Dengan adanya PLTMH energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh

masyarakat sekitar.

Selain sumber arus bolak-balik, juga dapat dimanfaatkan sumber listrik arus searah oleh masyarakat setempat maupun untuk kemungkinan dilakukannya penyaluran/distribusi energi listrik dari PLTMH melalui saluran listrik arus searah serta pemakaian oleh industri skala kecil. Banyak cara, rangkaian dan metode untuk mendapatkan sumber listrik arus searah, bisa melalui accu, baterai, dan sumber listrik bolak-balik yang telah disearahkan. Sebuah penelitian yang baru-baru ini dilakukan oleh Stephan Meier, Staffan Norrga & Hans Peter Nee (2007) memanfaatkan rangkaian ac/dc konverter dengan topologi menggunakan

rangkaian VSC (*Voltage Source*

*Converter*) dengan meng-efisienkan pemakaian komponen selama konversi tenaga listrik arus bolak-balik menjadi arus searah melalui pengurangan jumlah trafo yang berarti mengurangi biaya pemakaian komponen untuk konversi (efisiensi jumlah peralatan). Dengan berpedoman pada efisiensi peralatan yang ada pada rangkaian topologi penelitian tersebut, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengkonversikan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTMH berupa tegangan listrik arus bolak-balik menjadi tegangan listrik arus searah menggunakan topologi rangkaian VSC (*Voltage Source Converter*) untuk kemudian disimpan pada peralatan penyimpanan energi.

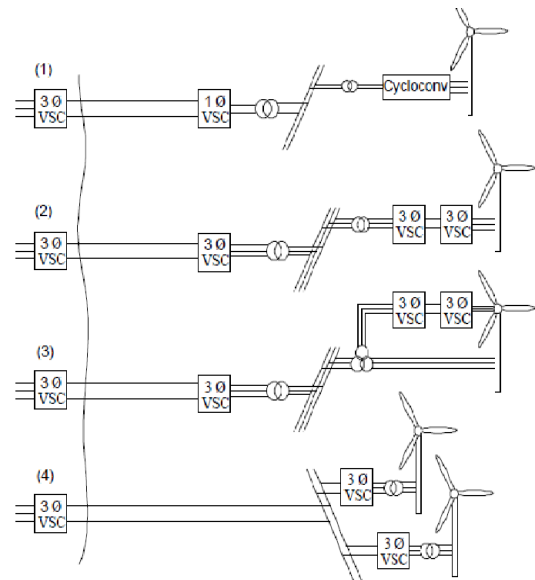
Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan peralatan penghasil sumber listrik arus searah melalui rangkaian VSC (*Voltage Source Converter*) AC/DC converter. Nilai yang diukur dan dihitung akan dibandingkan dengan penyearah yang sudah umum digunakan yaitu penyearah setengah gelombang dengan dioda terhubung seri.

Tujuan penelitian:

1. Mengukur nilai tegangan keluaran VSC pada suatu nilai sumber masukan tertentu
2. Menghasilkan gambar gelombang tegangan keluaran VSC melalui osciloscop.
3. Mengukur dan menghitung parameter kinerja VSC seperti arus yang dihasilkan  $I_{dc}$ , tegangan ripple kapasitor  $V_r$ , daya keluaran VSC  $P_{out}$  dan efisiensi  $\eta$
4. Membandingkan nilai parameter kinerja VSC dengan penyearah setengah gelombang seri dioda
5. Menerapkan peralatan VSC pada PLTMH 1 fasa sebagai sumber energi dc untuk kemudian disimpan pada peralatan penyimpanan energi.

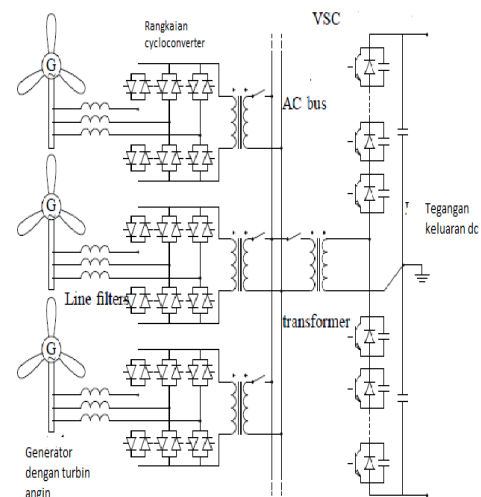
### Topologi konverter-inverter pada HVDC transmisi

Bentuk topologi yang disarankan untuk menyalurkan energi listrik arus searah (HVDC) dengan fungsi yang sama [1] adalah sebagai berikut:



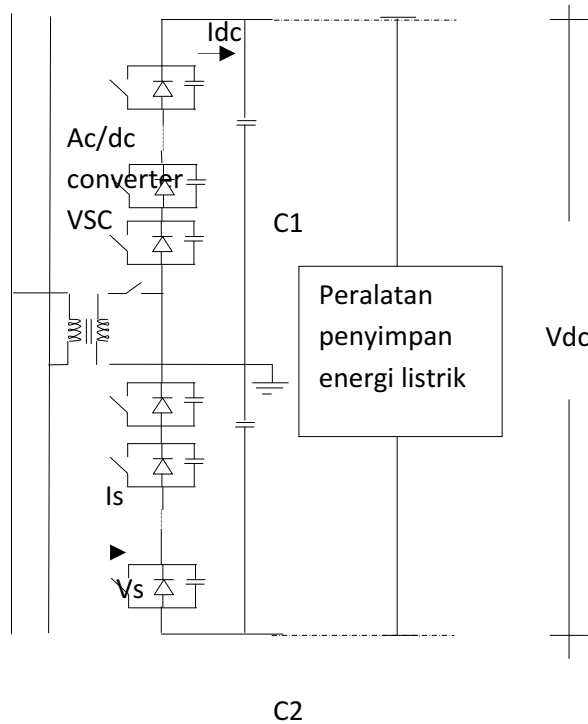
**Gambar1.** Beberapa topologi pada HVDC transmisi

Skema dari topologi (1) pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.** Skema topologi yang dilakukan

Berdasarkan gambar 2, maka rangkaian ac/dc VSC menjadi gambar berikut:



Gambar 3. Rangkaian ac/dc VSC

**Hubungan antara tegangan masukan ac dan keluaran dc pada VSC**

Tegangan keluaran dc ( $V_{dc}$ ) dapat dikontrol melalui tegangan masukan ac ( $V_s$ ) melalui rumusan berikut [2]:

$$V_s(\text{peak}) I_s(\text{peak}) = V_{dc} I_{dc} \quad (1)$$

$$(\sqrt{2} V_s \sqrt{2} I_s)/2 = V_{dc} I_{dc} \quad (2)$$

Keterangan:

- $V_s(\text{peak})$  = Tegangan puncak masukan (V)
- $I_s(\text{peak})$  = Arus puncak masukan (A)
- $V_s$  = Tegangan rms masukan (V)
- $I_s$  = Arus rms masukan (A)
- $V_{dc}$  = Tegangan keluaran dc (V)
- $I_{dc}$  = Arus keluaran dc (A)

**Effisiensi**

Effisiensi VSC konverter dinyatakan dengan daya keluaran dc dibandingkan dengan daya masukan ac.

**Nilai kapasitor**

Nilai kapasitor dapat dicari berdasarkan tegangan ripple kapasitor yang akan dihasilkan [3]:

$$V_r(p-p) = \quad (3)$$

$$R = \quad (4)$$

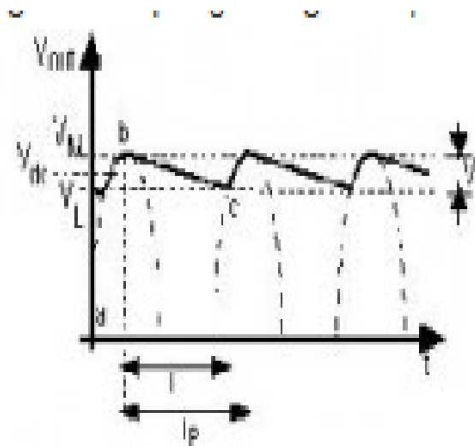
$$V_{dc} = V_m - \quad (5)$$

Oleh karena kapasitornya dua buah, maka pengisian muatan berlangsung dua kali sehingga persamaan (5) menjadi (6)

$$V_m = V_s(\text{peak})$$

Keterangan:

- $V_r$  = Tegangan ripple kapasitor (V)
- $V_m$  = Tegangan puncak masukan (V)
- $F$  = Frekuensi (Hz)
- $R$  = Beban (ohm)
- $C$  = kapasitor (F)

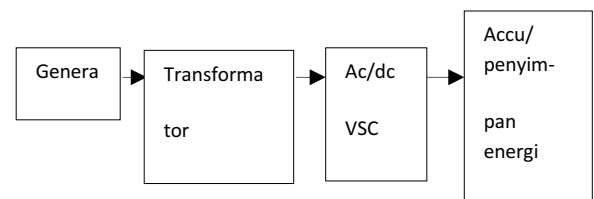


Gambar 4. Gelombang tegangan keluaran dc dengan filter C (kapasitor)

**METODOLOGI**

**Perancangan dan pembuatan alat**

**a. Diagram blok sistem**



Gambar 5. Diagram blok sistem penyimpanan energi dengan VSC

Deskripsi diagram blok adalah: Tegangan keluaran generator sebesar 220 V kemudian diturunkan dengan menggunakan trafo step down. Tegangan keluaran ini adalah dalam bentuk arus bolak-balik. Energi listrik dari generator ini akan disimpan dalam peralatan penyimpan energi listrik/accu yang tegangan terminalnya disuplai oleh arus searah. Oleh karena itu, tegangan arus bolak-balik dari transformator disearahkan terlebih dahulu menggunakan rangkaian topologi ac/dc VSC (*Voltage Source Converter*).

#### b. Data PLTMH

Data PLTMH meliputi data tegangan keluaran dari PLTMH yaitu 220 V tegangan bolak-balik. Kapasitas daya 10 kVA.

Analisis ampon listrik yang dapat dimanfaatkan

Jumlah KK = 20 rumah

Puskesmas/pos yandu = 1 buah

Musholla = 1 buah

Pos kamling = 1 buah

**Tabel 1.** Beban terpasang tiap rumah

| Jenis Beban                          | Total daya (Watt) |
|--------------------------------------|-------------------|
| Lampu FL , 11 Watt , 2 buah          | 22                |
| TV, 150 Watt, 1 buah                 | 150               |
| Lain-lain (charger, radio), 200 Watt | 200               |
| Total kebutuhan                      | 372               |

Jika rata-rata tiap rumah mengkonsumsi daya sebesar 440 Watt, maka total kebutuhan ampon listrik untuk 20 rumah adalah 8800 Watt. Daya terpasang total jika masing-masing rumah mempunyai daya terpasang 450 Watt adalah  $450 \times 20 = 9000$  Watt.

**Tabel 2.** Beban puskesmas

| Jenis Beban                                | Total daya (Watt) |
|--|-------------------|
| Lampu FL, 11 Watt, 8 buah                  | 88                |
| Lain-lain (kipas angin, charger), 200 Watt | 200               |
| Total kebutuhan                            | 288               |

Daya terpasang untuk puskesmas = 450 Watt

**Tabel 3.** Beban musholla

| Jenis Beban                                | Total daya (Watt) |
|--|-------------------|
| Lampu FL, 11 Watt, 8 buah                  | 88                |
| Pengeras suara, 150 Watt                   | 150               |
| Lain-lain (kipas angin, charger), 200 Watt | 200               |
| Total kebutuhan                            | 438               |

**Tabel 4.** Beban pos kamling

| Jenis Beban               | Total daya (Watt) |
|---------------------------|-------------------|
| Lampu FL, 11 Watt, 2 buah | 22                |

Sumber tegangan beban pos kamling diambil dari musholla. Daya terpasang pada musholla adalah 450 Watt.

Total daya maksimum yang dikonsumsi masyarakat ampong Lalang adalah :

$20 \text{ buah rumah} + \text{puskesmas} + \text{mushalla} = 9000 \text{ Watt} + 450 \text{ Watt} + 450 \text{ Watt} = 9900 \text{ Watt}$

Jika pemakaian beban pada pukul 12 malam hingga 06 pagi rata-rata 50% , maka energi listrik yang dapat disimpan adalah  $50\% \times 9900 = 4950$  Watt/6 jam/hari. Rata-rata dalam 1 jam daya yang bisa disimpan adalah 825 Watt. Dengan tegangan penyimpanan 12 V, maka arus yang bisa disimpan dalam 1 jam adalah 68,75 A. Oleh karena itu digunakan accu dengan kapasitas 70 Ah.

### c. Transformator yang digunakan

Transformator digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran dari generator 220V menjadi tegangan ac dengan nilai tegangan lebih kecil. Hal ini dikarenakan peralatan penyimpan energi yang digunakan disuplai dengan sumber tegangan dc yang lebih kecil. Pada penelitian ini, peralatan penyimpan energi yang digunakan adalah accu dengan sumber tegangan dc 12 V.

### d. Peralatan ac/dc VSC

Membuat gambar rangkaian ac/dc VSC untuk selanjutnya menentukan spesifikasi komponen dan jumlahnya yang meliputi:

- Dioda tipe 6A05 MIC 6 buah
- Kapasitor 0,47 nF/63V
- Saklar 6 buah

Komponen diatas digunakan untuk membuat satu buah peralatan. Rencana pembuatan alat penyearah adalah empat buah. Dua buah digunakan untuk dua buah peralatan penyimpan energi, dan dua buah lagi untuk cadangan (back-up).

### e. Accu/peralatan penyimpan energi listrik dc

Karena konverter yang akan digunakan berjumlah dua buah, maka accu yang digunakan juga dua buah dengan tegangan terminal 12 V dc dan kapasitas 70 Ah.

### Pengukuran dan perhitungan parameter kinerja ac/dc VSC

Setelah ac/dc VSC dibuat dan dirangkai, maka dilakukan pengukuran dan perhitungan parameter kinerjanya yang meliputi:

- a) Tegangan keluaran VSC, Vdc
- b) Daya keluaran VSC, Pdc
- c) Efisiensi VSC,  $\eta$
- d) Menghasilkan gelombang tegangan keluaran VSC

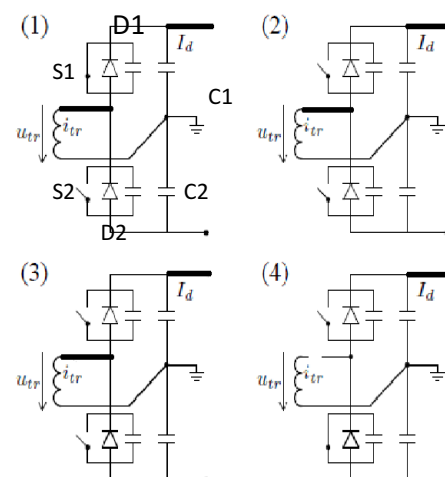
Pengukuran dilakukan pada setiap kondisi perubahan pensaklaran VSC (siklus). Terdapat empat macam siklus perubahan aliran arus VSC. Dengan mengukur dan menghitung parameter VSC pada setiap siklus dapat diketahui kondisi terbaik (optimal) VSC sebagai sebuah sumber tegangan untuk penyimpanan arus searah.

Perbandingan kinerja VSC dilakukan terhadap penyearah setengah gelombang satu fasa dengan dioda terhubung seri.

## HASIL

### Pengukuran dan perhitungan ac/dc VSC

Aliran kerja arus ac/dc VSC terdiri dari 3 siklus [1], yaitu sebagai berikut:



Gambar 6. Siklus kerja VSC

**Tabel 5.** Hasil perhitungan untuk arus penyearah 0,6 mA

| No | Vs (V) | Vm(V) | Vdc (V) | V ripple (V) | C (nF) | Ket                         |
|----|--------|-------|---------|--------------|--------|-----------------------------|
| 1  | 4,4    | 6,22  | 12      | 1,61         | 0,48   | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |
| 2  | 6      | 8,48  | 12      | 2,74         | 0,38   | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |
| 3  | 9      | 12,72 | 12      | 4,86         | 0,32   | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |

**Tabel 6.** Hasil perhitungan untuk arus penyearah 3 mA

| No | Vs (V) | Vm(V) | Vdc (V) | V ripple (V) | C (µF) | Ket                         |
|----|--------|-------|---------|--------------|--------|-----------------------------|
| 1  | 4,4    | 6,22  | 12      | 1,61         | 9600   | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |
| 2  | 6      | 8,48  | 12      | 2,74         | 7700   | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |
| 3  | 9      | 12,72 | 12      | 4,86         | 6500   | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |

**Tabel 7.** Hasil pengukuran parameter ac/dc Voltage Source Converter dengan C = 0,47 nF

| No | Tegangan masukan ac Vs (V) | Arus keluar dc Idc (mA) | Tegangan keluar dc Vdc (V) | Tegangan ripple (Vp) | Ket                         |
|----|----------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1  | 4,4                        | 0,6                     | 12                         | 1,1                  | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |
| 2  | 4,4                        | 0,015                   | 6                          | 2                    | Siklus kerja posisi 1       |
| 3  | 4,4                        | 0,01                    | 6                          | 2                    | Siklus kerja posisi 4       |

**Tabel 8.** Nilai Parameter VSC

| No | Vs (V) | Vm(V) | Vdc (V) | Is peak (mA) | Idc beban (mA) |
|----|--------|-------|---------|--------------|----------------|
| 1  | 4,4    | 6,22  | 12      | 1,16         | 0,5            |
| 2  | 6      | 8,48  | 12      | 0,85         | 0,5            |
| 3  | 9      | 12,72 | 12      | 0,57         | 0,5            |

| Ps (mW) | Pdc(mW) | η    | Ket                         |
|---------|---------|------|-----------------------------|
| 7,2     | 6       | 0,83 | Siklus kerja posisi 2 dan 3 |
|         |         |      | Siklus                      |

|     |   |      |                                      |
|-----|---|------|--------------------------------------|
| 7,2 | 6 | 0,83 | kerja<br>posisi 2<br>dan 3           |
| 7,2 | 6 | 0,83 | Siklus<br>kerja<br>posisi 2<br>dan 3 |



Gambar 7. Gelombang tegangan masukan VSC (tegangan sekunder trafo)

Ket : sumbu y = V, 1 Volt/div  
Sumbu x = T, 5 ms/div



(a)



(b)

Gambar 8. Gelombang tegangan keluaran VSC (a) siklus kerja 2 dan 3 (b) siklus kerja 1, 4

Ket : sumbu y = V, 2 Volt/div  
Sumbu x = T, 5 ms/div

Tabel 4. Hasil pengukuran dan perhitungan penyearah setengah gelombang satu fasa

| No | Vs (V) | Vm(V) | Vdc (V) | Idc beban (mA) | Pdc (W) |
|----|--------|-------|---------|----------------|---------|
| 1  | 32     | 45,25 | 12      | 79,6           | 1,055   |
| 2  | 24     | 34    | 10      | 70             | 0,677   |

| Ps (W) | Is (mA) | η     |
|--------|---------|-------|
| 4,84   | 170,5   | 0,22  |
| 3,00   | 147,5   | 0,225 |

**Tabel 5.** Perbandingan nilai parameter VSC dengan penyearah setengah gelombang

| No | Vdc (V) | Vs (V) | Vm(V) | Idc beban (mA) | Pdc (mW) |
|----|---------|--------|-------|----------------|----------|
| 1  | 12      | 32     | 45,25 | 0,5            | 6,63     |
| 2  | 12      | 4,4    | 6,22  | 0,5            | 6        |
| 3  | 12      | 6      | 8,48  | 0,5            | 6        |
| 4  | 12      | 9      | 12,72 | 0,5            | 6        |

| Ps (W) | Is (mA) | $\eta$ | Ket           |
|--------|---------|--------|---------------|
| 30,4   | 1,07    | 0,22   | Setengah glbg |
| 7,2    | 1,16    | 0,83   | VSC           |
| 7,2    | 0,85    | 0,83   | VSC           |
| 7,2    | 0,57    | 0,83   | VSC           |

**Tabel 6.** Data penyimpanan energi listrik

| No | Vdc (V) | Vs (V) | Vm(V) | Pdc (W) |
|----|---------|--------|-------|---------|
| 1  | 12      | 32     | 45,25 | 39,78   |
| 2  | 12      | 4,4    | 6,22  | 36      |

| Ps (W) | Is (A) | Idc beban (A) | Waktu mengisi | Ket                 |
|--------|--------|---------------|---------------|---------------------|
| 182,5  | 6,43   | 3             | 1 jam         | Setengah glbg       |
| 48     | 5,45   | 3             | 1 jam         | VSC Nilai C=12800 F |

**PEMBAHASAN**

Dikarenakan peralatan penyimpanan energi listrik arus searah yang digunakan disuplai melalui terminal 12 V dc, maka ac/dc VSC yang direncanakan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12 V.

Dari tabel 3. Dapat dilihat bahwa untuk mendapatkan nilai tegangan tetap sebesar 12 V, maka siklus yang memenuhi adalah siklus kerja posisi 2 dan 3. Pada siklus ini, posisi kedua saklar adalah terbuka. Pada posisi ini, arus keluaran penyearah juga lebih besar dibanding siklus lainnya. Tegangan ripple pada sisi keluaran penyearah juga lebih kecil dibanding siklus lainnya.

Perhitungan tegangan ripple seperti terdapat pada tabel 1 berdasarkan rumus (3) adalah:

Untuk nilai kapasitor 0,47 nF

$$Vr(p-p) = 3,22$$

$$Vr(p) = Vr(p-p) / 2 = 1,61 \text{ Volt}$$

Tegangan ripple hasil pengukuran adalah 1,1 Volt Oleh karena diinginkan tegangan keluaran dc sebesar 12 V, maka nilai kapasitor dapat ditentukan berdasarkan tegangan masukan VSC seperti terdapat pada tabel 1 dengan rumus (5) :

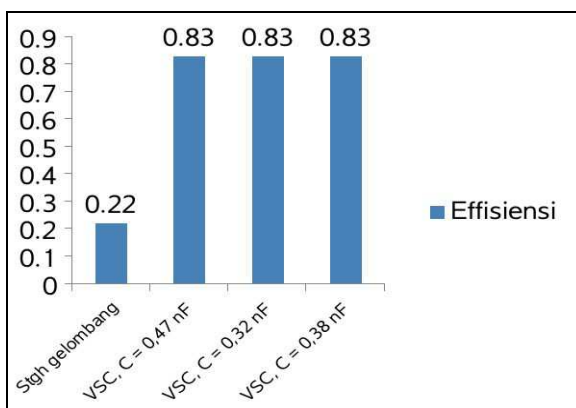
$$Vdc = Vm -$$

Semakin besar tegangan masukan ac pada VSC, maka kapasitor yang diperlukan semakin kecil. Hanya saja pada tabel 1, arus yang dihasilkan VSC lebih kecil sehingga penyaluran energi ke penyimpan energi akan lebih lama. Untuk menaikkan arus



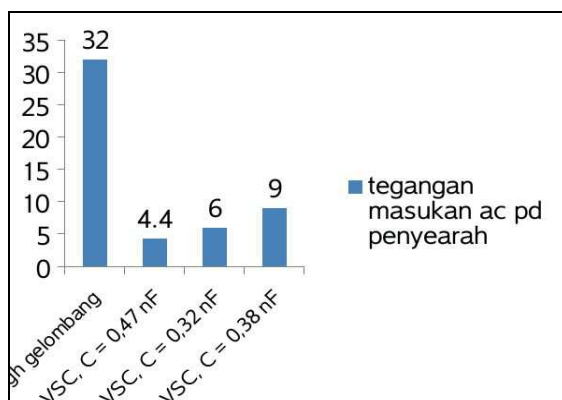
VSC maka dibutuhkan nilai kapasitor yang sangat tinggi.

Pada tabel 5, untuk arus beban yang sama efisiensi ac/dc VSC lebih besar dibandingkan penyearah setengah gelombang 1 phasa. Hal ini menyimpulkan bahwa ac/dc VSC memiliki efisiensi yang baik. Suatu VSC yang dihubungkan ke pembangkit memiliki efisiensi yang lebih tinggi [4]. Ini dapat dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 9.** Grafik perbandingan efisiensi ac/dc VSC dengan penyearah setengah gelombang 1 phasa

Untuk menghasilkan tegangan keluaran dc yang sama yaitu 12 V, diperlukan tegangan masukan ac lebih kecil pada VSC dibandingkan penyearah setengah gelombang 1 phasa seperti terlihat pada grafik berikut:



**Gambar 10.** Grafik perbandingan tegangan

masukan ac/dc VSC dengan penyearah setengah gelombang 1 phasa

## SIMPULAN

1. Untuk menghasilkan tegangan keluaran dc dari ac/dc VSC diperlukan pengaturan nilai kapasitor fungsi tegangan masukan penyearah. Semakin besar nilai tegangan masukan ac, semakin kecil nilai kapasitor yang diperlukan.
2. Efisiensi ac/dc VSC lebih tinggi dibandingkan penyearah setengah gelombang 1 phasa.
3. Arus keluaran yang dapat disuplai oleh ac/dc VSC ini lebih kecil dibandingkan penyearah setengah gelombang 1 phasa
4. Untuk menaikkan arus pengisian accu pada ac/dc VSC dilakukan dengan menaikkan nilai kapasitor ke nilai yang sangat tinggi.

## SARAN

Diperlukan pengembangan lebih lanjut, bagaimana menaikkan arus beban tanpa merubah nilai kapasitor. Rangkaian tambahan juga diperlukan untuk pengaturan pengisian alat penyimpanan energi arus searah

## DAFTAR PUSTAKA

- S. Meier, S. Norrga and H.-P. Nee, 2004, "New topology for more efficient AC/DC converters for future offshore wind farms", Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics (NORPIE), Trondheim, Norway
- K. Thiyagarajah, V. T. Ranganathan, and B. S. Ramakrishna Iyengar, 1991, "A High Switching Frequency IGBT PWM Rectified Inverter System for AC Motor Drives Operating from Single Phase Supply", Ieee Transactions On Power Electronics. Vol. 6, No. 4. P. 576-584

- Lexi Yustisia, 2011, "Rancang Bangun Ups Untuk Beban (900va) Berbasis Mikrokontroller", Proyek Akhir Jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- S. Meier, S. Norrga and H.-P. Nee, 2004, "New Voltage Source Converter Topology for HVDC Grid Connection of Offshore Wind Farms", IEEE Transactions On Industrial Electronics
- S. Meier, S. Norrga and H.-P. Nee, 2005, "Novel Voltage Source Converter based HVDC Transmission System for Offshore Wind Farms", Universitetsservice US-AB Royal Institute of Technology Department of Electrical Engineering-Electrical Machines and Power Electronics, Sweden
- S. Meier, S. Norrga and H.-P. Nee, 2004, "A Three-phase Soft-switched Isolated AC/DC Converter without Auxiliary Circuit", IEEE Transactions On Industrial Electronics, p.1768-1775