

Analisis Dan Pemodelan Static Var Compensator (SVC) Untuk Menaikan Profil Tegangan Pada Outgoing Gardu Induk Probolinggo

Taufik Hidayat^{1,*}, Lauhil Mahfudz Hayusman¹

1 Program Studi Teknik Listrik D-III, Fakultas Teknologi Industri ITN Malang, Indonesia

* E-mail : FAH_myjeep@yahoo.com

Abstrak. Static Var Compensator (SVC) merupakan peralatan kompensasi yang mampu menyediakan dan menyerap daya reaktif dari sistem dengan cara mengatur sudut penyalan pada thyristor. Besarnya sudut penyulutan ini tergantung dari variasi tegangan pada sistem, dengan kata lain makin besar MVAR reaktif yang dibutuhkan maka sudut penyulutan akan semakin kecil. Pada penelitian ini akan mengkaji penggunaan SVC untuk mengatasi permasalahan penurunan tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem. Analisis dilakukan dengan menggunakan fasilitas optimal capacitor placement (OCP) yang dimiliki software ETAP untuk menentukan kapasitas dan letak pemasangan SVC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menempatkan SVC pada bus 38, bus 54 dan bus 108 dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif sebesar 84,9 % dan rugi-rugi daya reaktif turun sebesar 71,8 %. Serta profil tegangan dapat dijaga pada nilai-nilai yang diijinkan, sehingga kualitas dan kuantitas energi listrik yang disalurkan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Kata Kunci: Daya Reaktif, Profil Tegangan, Rugi-Rugi Daya, SVC

1. Pendahuluan

Pertumbuhan beban dari waktu ke waktu semakin bertambah, harus diikuti dengan penyediaan daya listrik yang cukup dan handal. Pendistribusian daya listrik merupakan suatu permasalahan yang sering timbul, karena jarak dari beban yang dilayani tersebar, jauh dari pusat pembangkit dan kecenderungan jaringan tegangan menengah bebanya bersifat induktif (Erviana dkk, 2012).

Sistem yang tegangannya terletak antara 20 kV dan 500 kV sering memerlukan Reaktor pada saat beban rendah dan diperlukan Kapasitor statis pada saat beban tinggi. Variasi beban yang fluktuatif selama 24 jam, memerlukan pemasangan peralatan yang dapat menanggulangi permasalahan tersebut.

Static Var Compensator (SVC) adalah salah satu peralatan kompensasi yang dapat menghasilkan dan menyerap daya reaktif melalui kontrol sudut penyalan (firing angle) Thyristor (Manju & Subbiah, 2013). Kour dan Brar pada Tahun 2012 dalam penelitiannya menyatakan bahwa Static Var Compensator (SVC) adalah suatu peralatan yang dapat digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan aliran daya dan meningkatkan profil tegangan sistem.

Penyulang Sumber merupakan salah satu penyulang terpanjang yang berada pada Rayon Probolinggo. Panjang saluran mencapai 105,746 km dengan beban total yang dipikul sebesar $I = 133$ Amper. Akibat dari panjangnya saluran, terjadi penurunan tegangan di ujung saluran, yaitu $V = 18,5$ kV (Data PT. PLN Rayon Probolinggo, 2015) penurunan tegangan tersebut di bawah tegangan standar yang ditetapkan IEEE 1159-1195 dan SPLN untuk variasi tegangan yang diperbolehkan yaitu sebesar ± 5 %.

Berdasarkan kajian dan data awal yang diperoleh, maka penelitian ini akan melakukan pemodelan Static Var Compensator (SVC) untuk menanggulangi rugi-rugi daya dan rugi-rugi tegangan yang terjadi pada Penyulang Sumber Rayon Probolinggo.

2. Dasar Teori

Static Var Compensator adalah sumber daya reaktif yang dapat diatur besarnya dan merupakan alat yang pengembangannya termasuk mutakhir. Generator dapat pula dipakai sebagai sumber daya reaktif dengan jalan mengatur arus penguat medan magnetnya. Apabila hanya diperlukan daya reaktif saja untuk suatu simpul dalam sistem tenaga listrik, maka penggunaan generator sebagai sumber daya reaktif tidaklah ekonomis. Sebagai sumber daya reaktif dapat dipakai kondensator sinkron, kondensator statis dan static var compensator.

Dalam pengaturan daya reaktif kadang-kadang diperlukan pengambilan daya reaktif dalam sistem. Hal ini dapat dilakukan oleh Kondensator Sinkron dengan mengecilkan arus penguat medan magnetnya. Juga dapat dilakukan dengan Static Var Compensator dengan jalan mengatur penyalanya. Kondensator statis hanya dapat memberikan daya reaktif kedalam sistem. Alat statis yang mengambil daya reaktif adalah Reaktor, sehingga dalam praktek banyak dipakai Reaktor apabila diperlukan pengambilan daya reaktif. Makin tinggi tegangan sistem, makin banyak daya reaktif dihasilkan oleh sistem itu sendiri sebagai akibat besarnya nilai kapasitansi isolasi. Oleh karenanya pada sistem tegangan ekstra tinggi, misalnya sistem 500 kV seringkali dipakai Reaktor. Sebaliknya pada sistem tegangan menengah misalnya sistem 20 kV dan sistem tegangan rendah, sistem tidak menghasilkan cukup daya reaktif sebagai akibat dari kecilnya nilai kapasitansi isolasi, sehingga di sini diperlukan sumber daya reaktif. Untuk keperluan itu dapat dipakai Kapasitor Statis.

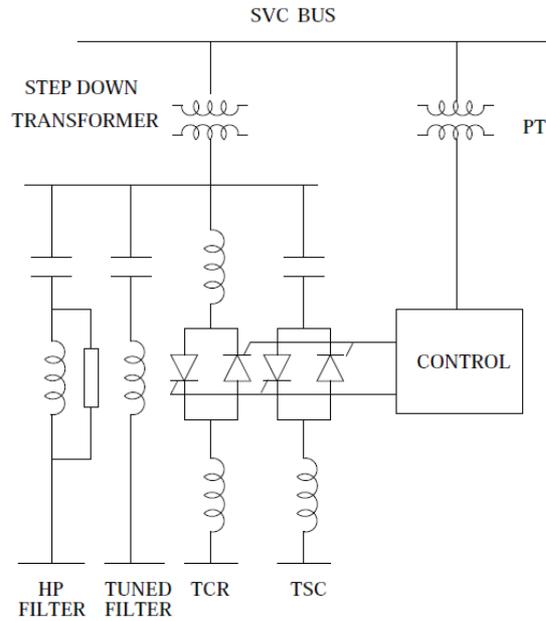
Pada sistem yang tegangannya terletak antara 20 kV dan 500 kV sering diperlukan Reaktor pada saat beban rendah dan diperlukan Kapasitor Statis pada saat beban tinggi. Variasi beban ini bisa berlangsung dalam 24 jam, sehingga perlu dilakukan pemasukan dan pengeluaran Reaktor dan Kapasitor silih berganti dalam 24 jam. Secara operasional hal ini bisa merepotkan dan orang cenderung untuk dapat melakukannya secara otomatis. Untuk dapat melakukannya secara otomatis, sumber daya reaktif harus dapat diatur mulai dari mengambil sampai dengan memberikan daya reaktif ke dalam sistem. Sumber daya reaktif yang memenuhi syarat ini hanyalah kondensator sinkron dan Static Var Compensator. Kondensator Sinkron, karena dimensinya yang relatif besar dan adanya bagian yang berputar sehingga harganya menjadi mahal praktis tidak dipakai lagi, yang banyak dikembangkan sebagai sumber daya reaktif yang variabel adalah Static Var Compensator.

SVC banyak digunakan pada sistem tenaga untuk menjaga stabilitas tegangan dan menaikan faktor daya (Zhong, 2012) dengan cara menginjeksikan dan menyerap daya reaktif yang dihubungkan secara paralel dengan sistem tenaga listrik (Manju & Subbiah, 2013). SVC terdiri dari TCR (Thyristor Controlled Reactor), TCS (Thyristor Capasitor Switched) dan filter yang berfungsi untuk mengatasi besarnya harmonisa yang dihasilkan oleh TCR (Dinakaran & Balasundaram, 2013).

2.1 Prinsip kerja SVC

Skematik dari SVC tipe TSC-TCR dapat dilihat pada Gambar 1. Prinsip kerja *Static VAR Compensator (SVC)* yaitu dengan cara mengatur sudut penyalan *thyristor*, sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC. Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali, yang kemudian akan mengatur sudut penyalan *thyristor* (Anwar, Suyono, & Soekotjo, 2012). Dengan mengatur sudut penyalan sakelar *thyristor* maka besarnya arus reaktor dapat diatur. Jumlah arus yang diambil SVC adalah $I_c + I_a$. Disini I_c adalah konstanta *fixed capacitor* sedangkan arus yang melalui Reaktor diatur besar kecilnya oleh sakelar *thyristor* yang menghasilkan komponen I_{a1} dan I_{a2} . α_1 dan α_2 . Masing-masing adalah sudut penyalan oleh *thyristor* 1 dan *thyristor* 2. Arus total yang melalui SVC adalah $I_c + I_a$, dengan demikian dengan

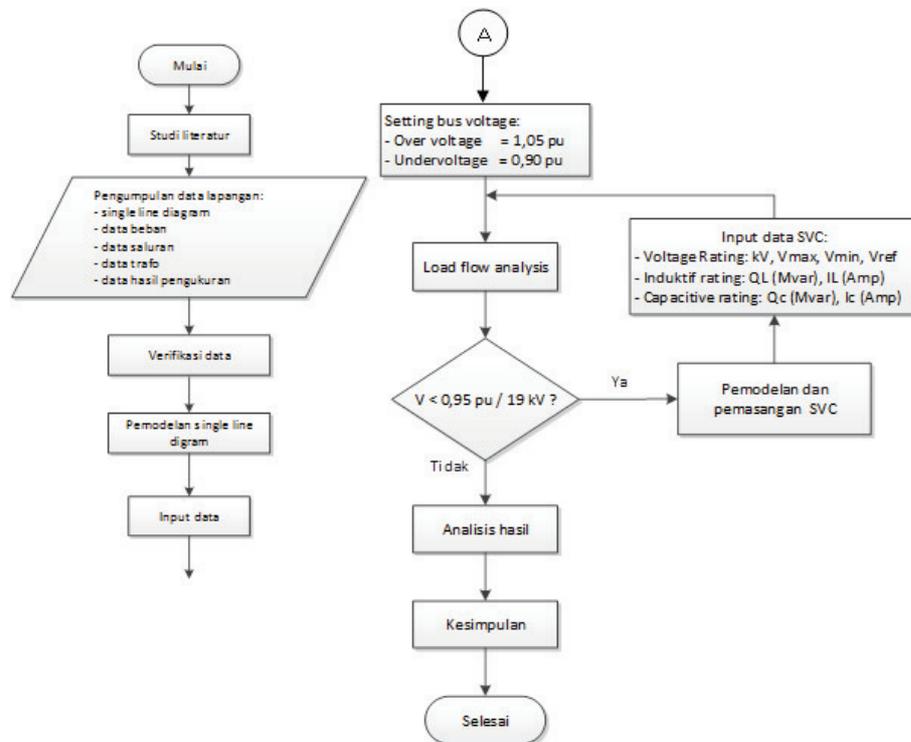
memilih nilai reaktor yang tepat dan dengan mengatur dan melalui saklar *thyristor*, arus SVC dapat diatur dari mulai kapasitif sampai reaktif. Dengan demikian SVC dapat diatur agar memberikan atau mengambil daya reaktif dari sistem. Pengaturan besar kecilnya I_a melalui sudut penyalan α_1 dan α_2 menimbulkan banyak harmonisa ganjil. Yang terbanyak adalah harmonisa ke 3, ke 5 dan ke 7 dengan amplitudo maksimum 13,3%, 5,0% dan 2,5%. Harmonisa merupakan masalah di dalam operasi SVC sehingga diperlukan *filter* atau rangkaian tertentu untuk menekan harmonisa.



Gambar 1. Konfigurasi SVC tipe TSC-TCR (Padiyar, 2007)

Komponen yang sangat penting dalam operasi SVC adalah saklar *thyristor* yang harus dapat menyala dan berhenti tepat pada waktunya sesuai dengan sudut penyalaan yang dikehendaki. Saklar *thyristor* hanya mengalirkan arus dalam satu arah, oleh karenanya dipakai dua *thyristor* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Saklar *thyristor* harus mampu memblokir tegangan yang berlawanan dengan arah yang dikehendaki sampai nilai tegangan bernilai beberapa kV (Djiteng, 1990).

3. Alur Penelitian



Gambar 3. Alur Penelitian

4. Analisis Hasil

Kondisi awal sistem daya yang diharapkan sebelum dilakukan *run load flow* adalah kondisi dimana tegangan pada tiap-tiap bus, memiliki tegangan yang sama besar yaitu $V = 0,38$ kV dan $V = 20$ kV (tegangan normal sistem). Setelah dilakukan *run load flow*, bus-bus yang berada pada Penyulang Sumber sebagian ada yang berwarna hitam, hal tersebut menandakan bus-bus tersebut masih dalam kondisi normal (Tegangan masih diatas batas yang diperbolehkan yakni $\pm 5\%$). Sedangkan bus-lainnya mengalami perubahan warna menjadi menjadi merah, hal itu menandakan terjadinya penurunan tegangan. Dimana setiap bus mengalami penurunan tegangan yang bervariasi tergantung besarnya beban dan panjang saluran. Bus yang mengalami penurunan tegangan yang paling besar, untuk bus $V = 0,38$ kV terjadi pada bus 45, bus 46, bus 48, bus 49, bus 56, bus 58, bus 59, bus 106, bus 107, bus 109, bus 110, bus 111 dan bus 113 yakni sebesar $V = 0,334$ kV. Sedangkan untuk bus 20 kV terjadi pada bus 38, bus 40, bus 42, bus 44, bus 47, bus 50, bus 54, bus 57, dan bus 116 dengan nilai tegangan sebesar $V = 18,4$ kV. Nilai tegangan hasil *load flow* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Tegangan (data PT.PLN dan data hasil pemodelan)

No.	Bus	Kondisi Tegangan Sistem		Status
		Sebelum Run L.F (Kondisi Normal) (kV)	Setelah Run L.F (kV)	
1.	38	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
2.	39	0,38	0,335	<i>Under Voltage</i>
3.	40	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
4.	41	0,38	0,335	<i>Under Voltage</i>
5.	42	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
6.	43	0,38	0,335	<i>Under Voltage</i>
7.	44	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
8.	45	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
9.	46	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
10.	47	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
11.	48	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
12.	49	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
13.	50	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
14.	51	0,38	0,343	<i>Under Voltage</i>
15.	52	0,38	0,341	<i>Under Voltage</i>
16.	53	0,38	0,343	<i>Under Voltage</i>
17.	54	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
18.	55	0,38	0,388	<i>Under Voltage</i>
19.	56	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
20.	57	20	18,4	<i>Under Voltage</i>
21.	58	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
22.	59	0,38	0,334	<i>Under Voltage</i>
23.	105	20	18,9	<i>Under Voltage</i>
24.	106	0,38	0,344	<i>Under Voltage</i>
25.	107	0,38	0,344	<i>Under Voltage</i>
26.	108	20	18,9	<i>Under Voltage</i>
27.	109	0,38	0,344	<i>Under Voltage</i>
28.	110	0,38	0,344	<i>Under Voltage</i>
29.	111	0,38	0,344	<i>Under Voltage</i>
30.	112	20	18,9	<i>Under Voltage</i>
31.	113	0,38	0,344	<i>Under Voltage</i>
32.	116	20	18,4	<i>Under Voltage</i>

Hasil analisis penentuan letak dan kapasitas SVC diperoleh bahwa, untuk menaikan profil tegangan di bus-bus yang kritis pada Penyulang Sumber perlu dipasang tiga unit SVC dengan kapasitas masing-masing seperti yang terlihat di Tabel 2.

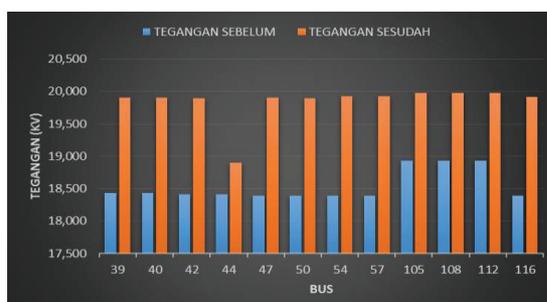
Tabel 2. Kapasitas dan Lokasi Pemasangan SVC

No.	Lokasi Pemasangan	Kapasitas (kVAR)
1.	Bus 38	900
2.	Bus 54	700
3.	Bus 108	400

Tabel 3. Perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah pemasangan SVC

No.	Bus	Tegangan (kV)		Daya Aktif (kW)		Daya Reaktif (kVAR)	
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1.	38	18,436	19,903	772	908	610	2010
2.	39	0,335	0,362	79,743	92,939	59,807	69,706
3.	40	18,436	19,903	50,958	59,323	40,367	48,556
4.	41	0,335	0,361	49,643	57,859	37,232	43,395
5.	42	18,414	19,898	640	752	504	506
6.	43	0,335	0,362	99,444	116	74,583	87,092
7.	44	18,414	18,898	127	148	101	121
8.	45	0,334	0,361	74,288	86,746	55,716	65,061
9.	46	0,334	0,361	49,526	57,831	37,144	43,374
10.	47	18,391	19,904	411	485	322	739
11.	48	0,334	0,361	49,431	57,865	37,073	43,4
12.	49	0,334	0,361	49,431	57,865	37,073	43,4
13.	50	18,391	19,898	162	190	125	147
14.	51	0,343	0,371	26,045	30,489	19,534	22,868
15.	52	0,341	0,369	82,291	96,332	61,718	72,252
16.	53	0,343	0,371	52,136	61,032	39,102	45,777
17.	54	18,389	19,922	147	175	116	905
18.	55	0,338	0,366	18,945	22,233	14,209	16,676
19.	56	0,334	0,362	24,697	28,984	18,523	21,739
20.	57	18,388	19,921	103	120	80,759	96,701
21.	58	0,334	0,362	12,347	14,491	9,261	10,868
22.	59	0,334	0,362	12,347	14,491	9,261	10,868
23.	105	18,935	19,977	215	239	170	228
24.	106	0,344	0,363	26,184	29,145	19,638	21,858
25.	107	0,344	0,363	26,184	29,145	19,638	21,858
26.	108	18,931	19,978	161	179	128	370
27.	109	0,344	0,363	26,174	29,149	19,631	21,862
28.	110	0,344	0,363	52,348	58,298	39,261	43,723
29.	111	0,344	0,363	52,348	58,298	39,261	43,723
30.	112	18,931	19,978	26,858	29,887	21,288	23,745
31.	113	0,344	0,363	26,174	29,148	19,63	21,861
32.	116	18,388	19,92	77,245	90,569	60,688	73,146

Setelah dilakukan pemasangan SVC terjadi penurunan rugi-rugi daya aktif dan reaktif seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Perubahan besarnya aliran daya reaktif menghasilkan penurunan rugi-rugi daya aktif dari $P = 86,509$ kW dan $Q = 62,447$ kVAR menjadi $P = 12,998$ kW dan $Q = 17,635$ kVAR atau rugi-rugi daya aktif turun sebesar 84,9 % dan rugi-rugi daya reaktif turun sebesar 71,8 %. Perubahan besarnya aliran daya reaktif juga berpengaruh pada nilai tegangan pada setiap bus. Bus-bus yang nilai tegangan semula dibawah $V = 19$ kV setelah dipasang SVC mengalami kenaikan di atas $V = 19$ kV seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SVC

Tabel 4. Perbandingan rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif sebelum dan sesudah pemasangan SVC

No.	Bus		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi-Rugi Daya Reaktif (kVAR)	
	From	To	Tanpa SVC	Dengan SVC	Tanpa SVC	Dengan SVC
1.	Bus 1	Bus 2	0,004	0,004	0,002	0,002
2.	Bus 1	Bus 4	4,612	3,616	6,896	5,407
3.	Bus 4	Bus 7	1,051	0,841	1,572	1,257
4.	Bus 7	Bus 10	0	0	0	0
5.	Bus 7	Bus 11	0,746	0,615	0,918	0,756
6.	Bus 11	Bus 16	0,003	0,003	0,003	0,003
7.	Bus 11	Bus 18	0,778	0,69	0,433	0,385
8.	Bus 18	Bus 22	0,559	0,53	0,836	0,793
9.	Bus 22	Bus 24	0,004	0,004	0,002	0,002
10.	Bus 22	Bus 30	0,002	0,002	0,001	0,001
11.	Bus 22	Bus 32	4,488	5,068	2,801	3,163
12.	Bus 32	Bus 33	1,956	4,071	2,925	6,087
13.	Bus 33	Bus 35	1,235	3,07	0,638	1,586
14.	Bus 35	Bus 38	65,175	243	36,302	135
15.	Bus 38	Bus 40	0,001	0,002	0,002	0,002
16.	Bus 38	Bus 42	0,559	0,47	0,836	0,702
17.	Bus 42	Bus 44	0,006	0,008	0,004	0,004
18.	Bus 42	Bus 47	0,307	0,465	0,459	0,696
19.	Bus 47	Bus 50	0,036	0,042	0,053	0,062
20.	Bus 47	Bus 54	0,04	0,554	0,059	0,828
21.	Bus 54	Bus 57	0,004	0,005	0,005	0,006
22.	Bus 57	Bus 116	0,003	0,003	0,004	0,005
23.	Bus 32	Bus 101	0,051	0,036	0,027	0,019
24.	Bus 101	Bus 105	7,992	8,58	11,951	12,83
25.	Bus 105	Bus 108	0,022	0,04	0,033	0,059
26.	Bus 108	Bus 451	0	0	0	0
TOTAL			86,509	12,998	62,447	17,635

5. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan simulasi pemasangan SVC pada Penyulang Sumber Rayon Probolinggo, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Pemasangan SVC pada bus-bus kritis dapat menaikan profil tegangan diatas nilai tegangan standar yang tentukan.
- Penempatan dan kapasitas SVC yang tepat untuk memperbaiki profil tegangan yaitu pada bus 38 sebesar 900 kVAR, pada bus 54 sebesar 700 kVAR dan pada bus 108 sebesar 400 kVAR.
- Pemasangan SVC dapat mengurangi nilai rugi-rugi daya yang semula sebesar 86,509 kW menjadi 12,998 kW dan 62,447 kVAR menjadi 17,635 kVAR atau rugi-rugi daya aktif turun sebesar 84,9 % dan rugi-rugi daya reaktif turun sebesar 71,8 %.

6. Daftar Referensi

- [1] Erviana, M. "Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization," Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Manju. P, and Subbiah. V, "Static Var Compensator: Effect of Fuzzy Controller," International Journal of Electrical Engineering, Vol.6, No.2, pp. 189-196, 2013.
- [3] G. Kour, G.S Brar, and Jaswanti, "Static VAR Controller Based Power Flow Control in Distribution System by GA," International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) Vol.2, Issue 3, pp.1857-1862, May-Jun 2012.
- [4] PT. PLN, "Data Aset PLN," Januari, 2015.
- [5] Qing-Chang. Zhong, "Active Capacitor: Concept and Implementation," IEEE International Symposium, pp.149-153, May, 2012.
- [6] C. Dinakaran, G. Balasundram, "Optimum Location of Static Var Compensator (SVC) in Over Head Transmission Lines," Indian Journal of Research, Vol. 2, Issue 8, Augustus, 2013.
- [7] S. Anwar, H.Suyono, H. Soekotjo, "Optimasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan dengan Menggunakan Algoritma Genetika," Jurnal Elektro ELTEK, Vol. 3, No.1, April, 2012.
- [8] K. R. Padiyar, "Facts Controllers In Power Transmission And Distribution," India: New Age International, 2007.
- [9] M. Djiteng, "Operasi Sistem Tenaga Listrik," Jakarta Selatan: Balai Penerbit & Humas.