

PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIV

TEMA SEMINAR

Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif,
Handal, berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan
Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa



05 Oktober 2016

Gedung IASTH Universitas Indonesia
Salemba – Jakarta

Penyelenggara



UNIVERSITAS INDONESIA

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN
Dan
Program Studi Ilmu Lingkungan - UI

Diterbitkan Desember 2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dapat diterbitkan. Seminar ini terselenggara atas kerjasama antara Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN dengan Program Studi Ilmu Lingkungan – Universitas Indonesia. Seminar dengan tema “Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif, Handal, Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa” telah dilaksanakan pada tanggal 5 Oktober 2016 di Gedung IASTH It.3 Universitas Indonesia, Salemba.

Seminar diselenggarakan sebagai media sosialisasi hasil penelitian dan pengembangan di bidang limbah radioaktif dan non radioaktif. Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dijadikan sebagai media tukar menukar informasi dan pengalaman, ajang diskusi ilmiah, peningkatan kemitraan di antara peneliti, akademisi, dan praktisi industri, mempertajam visi pembuat kebijakan dan pengambil keputusan, serta peningkatan kesadaran kolektif terhadap pentingnya pengelolaan limbah yang inovatif, handal, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Prosiding ini memuat karya tulis dari berbagai hasil penelitian mengenai pengelolaan limbah radioaktif, industri dan lingkungan. Makalah telah melalui proses evaluasi dari tim editor. Makalah dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu kelompok pengelolaan limbah, disposal, lingkungan, dan perundang-undangan. Makalah-makalah tersebut berasal dari para peneliti di lingkungan BATAN, BAPETEN dan BPPT serta dosen dan mahasiswa di lingkungan UI, UNDIP, dan UNS.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat digunakan sebagai data sekunder dalam pengembangan penelitian dimasa akan datang, serta dijadikan bahan acuan dalam kegiatan pengelolaan limbah. Akhir kata kepada semua pihak yang telah membantu, kami ucapkan terima kasih.

Jakarta, Desember 2016

Kepala
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif
Badan Tenaga Nuklir Nasional

Ir. Suryantoro, MT

SUSUNAN TIM EDITOR

Ketua	:	Dr. Budi Setiawan	-	BATAN
Anggota	:	1. Dr. Sigit Santoso	-	BATAN
		2. Dr. Heny Suseno	-	BATAN
		3. Drs. Gunandjar, SU	-	BATAN
		4. Ir. Aisyah, MT	-	BATAN
		5. Dr. Djoko Hari Nugroho	-	BAPETEN
		6. Dr. Ir. Mohammad Hasroel Thayib, APU	-	UI
		7. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA	-	UI

SUSUNAN PANITIA

Pengarah	:	1. Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	- BATAN
		2. Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan UI	- UI
Penanggung Jawab	:	Ir. Suryantoro, MT	- BATAN
Penyelenggara			
Ketua	:	Budiyono, ST	- BATAN
Wakil Ketua	:	Moch. Romli, S.ST, MKKK	- BATAN
Sekretaris	:	1. Enggartati Budhy Hendarti, A.Md	- BATAN
		2. Pricillia Azhani, STP., M.Si.	- UI
		3. Titik Sundari, A.Md	- BATAN
Anggota	:	1. Widya Handayani, SE	- BATAN
		2. Sugianto, ST	- BATAN
		3. Wezia Berkademi, SE, M.Si	- UI
		4. M. Nurhasim, S.ST	- BATAN
		5. Eri Iswayanti, A.Md	- BATAN
		6. Agustinus Muryama, ST	- BATAN
		7. Budi Arisanto, A.Md	- BATAN
		8. Azhar Firdaus, S.Sos.I, M.Si	- UI
		9. Risdiyana, A.Md	- BATAN
		10. Adi Wijayanto, ST	- BATAN
		11. Arifin Istavara, S.ST	- BATAN
		12. CH. Susiana Atmaja, A.Md	- BATAN
		13. Imam Sasmito	- BATAN
		14. Moh. Cecep Cepi H., S.ST	- UI
		15. Parjono, ST	- BATAN
		16. Siswanto	- BATAN
		17. Sariyadi	- BATAN
		18. Maulana	- BAPETEN
		19. Drs. Hendro	- BATAN
		20. Sunardi, ST	- BATAN
		21. Gatot Sumartono, ST	- BATAN
		22. Ir. Eko Madi Parmanto	- BATAN
		23. Alphana Fridia Cessna, ST., M.Si	- UI
		24. Rukiaty	- BATAN
		25. Ade Rustiadam, S.ST	- BATAN
		26. Ajrieh Setiawan, S.ST	- BATAN
		27. Suparno, A.Md	- BATAN
		28. Suhartono, A.Md	- BATAN

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Susunan Tim Editor	ii
Susunan Panitia	iii
Daftar Isi	iv
1 Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Pra-Disposal : Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks <i>Synroc</i> .. Gunandjar dan Yuli Purwanto	1
2 Pengelolaan Limbah Cair Dengan Pendekatan Konsep Eko-Efisiensi: Analisis Hubungan Antara Penerapan Program <i>Cleaner Production</i> Di Area Produksi Dengan Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	14
Wahyu Wikandari, Roekmijati Widaningroem Soemantojo, Tri Edhi Budhi Soesilo	
3 Pengolahan Limbah <i>Methylen Blue</i> Secara Fotokatalisis Dengan TiO ₂ Dimodifikasi Fe Dan Zeolit	29
Agus Salim Afrozi, Rahmat Salam, Auring R, Asep Nana S	
4. Kinerja Konsorsium Bakteri Dari Sungai Opak Yogyakarta Dalam Reduksi Nitrat Dengan Sumber Karbon Yang Berbeda	37
Hanies Ambarsari, Miswanto	
5. Pengelolaan Limbah Radioaktif Hasil Dekontaminasi Di Instalasi Produksi Radioisotop Paska Berhenti Operasi	45
Suhaedi Muhammad, Nazaroh, Rr.Djarwanti,RPS	
6. Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Pembantu Peledakan (ANFO) Pada Kegiatan Pertambangan Batubara (Kasus Pemanfaatan Limbah Oli Bekas di PT. JMB Group)	52
Danang Widiyanto	
7. Sistem Pemurnian Helium Pada Reaktor Daya Experimental (RDE) Tipe HTR-10.....	60
Aisyah, Yuli Purwanto	
8. Pengolahan Limbah Daun Jati Kering Dari Desa Leyangan, Ungaran Menjadi Pulp Kering Dengan Proses Soda	68
Linda Kusumaningrum, Heny Kusumayanti	
9 Pembuatan Zat Warna Alami Dari Buah Mangrove <i>Spesies Rhizophora Stylosa</i> Sebagai Pewarna Batik Ramah Lingkungan Dalam Skala Pilot Plan	76
Paryanto, Wusana Agung Wibowo, Moch Helmy Aditya	
10 Konsentrasi Faktor Pada Bioakumulasi Plutonium Oleh Siput Macan (<i>Babylonia Spirata L.</i>) Di Perairan Teluk Jakarta	82
Murdahayu Makmur , Muhammad Qowi Fikri, Defri Yona, Syarifah Hikmah JS	
11. Pengaruh Koefisien Distribusi ¹³⁷ Cs Pada Keselamatan Calon Tapak Fasilitas Disposasi Limbah Radioaktif	93
Budi Setiawan, Dadang Suganda	
12. Kajian Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Beberapa Adsorben	105
Mirawaty, Gustri Nurliati	

13	Studi Eksperimen Difusi Boron Dalam Bentonit Terkompaksi Dalam Kondisi Reduksi Oleh Fe	113
	Mas Udi, Noria Ohkubo	
14	Pengolahan Limbah Uranium Cair Dengan Resin Anion Amberlite IRA-400 Cl Dan Imobilisasi Resin Jenuh Menggunakan Polimer	118
	Dwi Luhur Ibnu Saputra, Wati, Nurhayati	
15	Studi Pemanfaatan Zeolit Sebagai Bahan Penopang Asam Oksalat Untuk Dekontaminasi Permukaan Aluminium	124
	Sutoto	
16	Karakteristik Limbah Radioaktif Tingkat Rendah Dan Sedang Reaktor Daya Eksperimental HTR-10	129
	Kuat Heriyanto	
17	Pengembangan Penerapan Sistem Pengawasan Dalam Rangka Pencegahan Masuknya <i>Scrap Metal</i> Terkontaminasi Zat Radioaktif ke Dalam Wilayah Hukum Republik Indonesia	136
	Nanang Triagung Edi Hermawan	
18	Pengawasan Zirkon Di Indonesia	145
	Moekhamad Alfiyan	
19	Polimorfisme XPD23 Pada Pekerja Radiasi Medik	151
	Wiwin Mailana, dan Yanti Lusiyantri	
20	Pengukuran Radiasi Dan Konsentrasi <i>Naturally Occuring Radioactive Materials</i> (NORM) Pada Lahan Calon Tapak PLTU Batubara Kramatwatu Serang Banten	155
	Sucipta, Risdiyana S., Arimuladi SP.	
21	Perhitungan Jumlah Limbah Paska Dekomisioning Reaktor Triga Mark II Bandung	165
	Sutoto, Kuat Heriyanto, Mulyono Daryoko	
22	Fenomena Distribusi Radionuklida Kontaminan Pada Air Kanal Fasilitas KH-IPSB3 Pasca Perbaikan Filter <i>Skimer</i>	173
	Titik Sundari, Darmawan Aji, Arifin	
23	Difusi Radiocesium Oleh Tanah Urugan Sebagai Bahan Penutup Fasilitas Disposal Demo di Kawasan Nuklir Serpong : Karakterisasi <i>Dry Density</i> Tanah Permukaan di Lokasi Fasilitas Disposal Demo	179
	Nurul Efri Ekaningrum, Budi Setiawan	
24	Uji Integritas Kelongsong Bahan Bakar Nuklir Bekas Reaktor Dengan Metode Uji Cicip ..	186
	Dyah Sulistyani Rahayu, Darmawan Aji	
25	Verifikasi Penggunaan Library Origen 2.1 Untuk Perhitungan Inventori Teras Reaktor Tipe HTGR 10 MWth	194
	Anis Rohanda, Jupiter S. Pane, Amir Hamzah	
26	Penentuan Densitas Boron Karbida (B ₄ C) Menggunakan Autopiknometer Dan Secara Metrologi	199
	Torowati, Mu`nisatun, S., Yatno Dwi Agus	
27	Evaluasi Pengukuran Tingkat Kontaminasi Permukaan Material Terkontaminasi Untuk Tujuan Klierens (Studi Kasus : Limbah Pelat Logam Hasil Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Fosfat Pt. Petrokimia Gresik)	205
	Moch Romli, Mas'udi , Sugeng Purnomo, M. Nurhasyim, T. Sulistiyo H.N., Suhartono, Imam Sasmito, L. Kwin P	

28	Evaluasi Tahanan Pembumian Instalasi Penyalur Petir Pada Stasiun Meteorologi Kawasan Nuklir Serpong	212
	Adi Wijayanto, Arief Yuniarto, Budihari	
29	Evaluasi Pengendalian Dosis Radiasi Pada Kegiatan <i>Dismantling</i> Dan Pengondisian Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan	217
	Suhartono, Moch Romli, Arie Budianti, Adi Wijayanto, Mahmudin	
30	Penerimaan Dosis Radiasi Sebagai Indikator Keselamatan Dalam Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Tahun 2015	224
	L.Kwin Pudjiastuti, Hendro, Suhartono, Arie Budianti	
31	Penerapan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Badan Air di Kawasan Nuklir Serpong ..	230
	Arif Yuniarto, Aepah Nurbiyanti, Ambar Winansi, Ritayanti	
32	Analisis Kegagalan Proses Pembangkit Uap Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair	241
	Budiyono, Sugianto	
33	Jaminan Mutu Layanan Evaluasi Dosis Perorangan Dengan <i>TLD Barc</i> di PTKMR-Batan ..	250
	Nazaroh, Rofiq Syaifudin, Sri Subandini Lolaningrum, dan Nina Herlina	
34	Perancangan Sistem Kendali <i>VAC Off-Gas</i> Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif berbasis Programable Logic Control	260
	Sugianto, Budiyono, Arifin Istavara	
35	Uji Kelayakan Operasi Genset BRV20 RSG-Gas Setelah Dilakukan Perbaikan	268
	Teguh Sulisty	
36	Analisis Sistem Ventilasi Fasilitas Produksi 131I di PTRR-BATAN.....	278
	Mulyono, Hermanto, Sofyan Sori, Sriyono	
37	Aplikasi <i>Scada</i> Dengan Media Komunikasi Nirkabel 2.4 Ghz Untuk Pengendali Operasi Fasilitas Kanal Hubung Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3)	283
	Parjono , Budiyono	
38	Pembuatan Dan Pengujian <i>Burner</i> Pada Tungku Peleburan Timbal Untuk Fabrikasi <i>Shielding</i> Sumber Radioaktif Bekas Terbungkus	292
	Arifin Istavara, Jonner Sitompul, Sugianto	
39	Aplikasi Reaktor Pada <i>Capacitor Bank</i> Sebagai Peredam Harmonik Catu Daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif	299
	Jonner Sitompul, Sugianto	

APLIKASI REACTOR PADA CAPACITOR BANK SEBAGAI PEREDAM HARMONIK CATU DAYA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

Jonner Sitompul, Sugianto.

*Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
E-mail: jonner@batan.go.id*

ABSTRAK

APLIKASI REACTOR PADA CAPACITOR BANK SEBAGAI PEREDAM HARMONIK CATU DAYA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF. Terjadinya harmonik Arus dan harmonik tegangan listrik akibat pemakaian/konsumsi catu daya yang tidak merata atau secara tiba-tiba. Harmonik sangat mengganggu sistem jaringan catu daya dan peralatan-peralatan utilitas serta jaringan instrumen elektronik. Sebagai peredam harmonik arus dan peredam harmonik tegangan sistem catu daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif telah dipasang reactor capacitor bank pada tahun 2009. Untuk mengetahui fungsi dan aplikasi reactor sebagai peredam harmonik pada capacitor bank dilakukan analisa terhadap data pengamatan harian tahun 2013, 2014 dan 2015. Data yang dianalisa adalah nilai total harmonik arus dan nilai total harmonik tegangan dibandingkan dengan data standart. Hasil pengamatan harian total harmonik arus paling tinggi 1,3% dan nilai total harmonik tegangan paling tinggi 08,3%. Hasil pengamatan membuktikan bahwa aplikasi reactor capacitor bank berfungsi dengan baik dan aman sebagai peredam harmonik arus dan peredam harmonik tegangan catu daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif serta tidak melebihi nilai standart yang ditentukan IEEE Std 519-1992.

Kata Kunci : *Reactor capacitor bank sebagai peredam harmonic.*

ABSTRACT

REACTOR APPLICATION IN CAPACITOR BANK AS SILENCER HARMONIC AT POWER SUPPLY TO RADIOACTIVE WASTE TREATMENT PLANT. *The occurrence of harmonic currents and harmonic electric voltage resulting from the use / consumption of power supply is uneven or suddenly. Very disturbing harmonic power supply network systems and devices as well as network utilities electronic instruments. As reducer harmonic current and voltage harmonic damper intalasi power supply systems have been installed Radioactive Waste Treatment reactor capacitor bank in 2009. To determine the function and application of harmonics on the reactor as a buffer capacitor bank to analyze the daily observation data in 2013, 2014 and 2015. The data analyzed were total harmonic current value and the value of total harmonic voltage is compared with the data standard. The results of daily observations highest total harmonic current 1.3% and the total value of the highest voltage harmonic 08.3%. The observation proves that the reactor capacitor bank applications to function properly and safely as reducer harmonic currents and harmonic dampening power supply voltage and the Radioactive Waste Treatment Plant does not exceed the specified standard IEEE Std 519-1992.*

Keywords: *Reactor capacitor bank as harmonic filter.*

PENDAHULUAN

Kapasitor dipergunakan pada sirkuit elektronik untuk memblokir arus searah sementara memungkinkan arus bolak-balik untuk lolos. Untuk meningkatkan efektivitas pemakaian arus listrik, dipergunakan *capacitor bank* di panel utama *cosphy* (ϕ) dengan *capacitor bank* di panel utama, sehingga semua arus listrik yang dikonsumsi peralatan secara langsung *capacitor bank* akan memperbaiki *cosphy* (ϕ). Pusat Teknologi Limbah Radioaktif memasang *capacitor bank* dengan **metoda kompensasi umum** (jaringan *filter analog output*) yang diparalel dengan catu daya listrik terhadap panel utama 1-

10-001 (Main Distribution Panel)^[1]. Pemakaian listrik (catu daya) dalam skala insdustri pada umumnya banyak menggunakan motor-motor induksi yang dipastikan terjadi fluktuasi/resonansi (*harmonic*) arus listrik maupun tegangan. Hal ini juga bisa terjadi akibat beban secara menyeluruh karena tidak konstannya pemakaian. Peralatan yang disebut dalam istilah listrik untuk meredam tegangan yang tidak stabil disebut sebagai *stabilizer*. Untuk meminimalisir arus dan tegangan listrik yang sering berfluktuasi dari sumber atau pembangkit listrik, dipergunakan *reactor filter harmonic*. *Capacitor bank* umumnya terbuat dari

bahan *polypropylene film, gas-impregnated* tipe kering dengan menggunakan tiga sistem keselamatan[2]. *Capacitor bank* di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif menggunakan model tiga fase dengan pola hubungan segitiga dan berpendingin udara (*indoor mounting*). Elektrolit padat, resin dicelup 10 uF 35 V kapasitor tantalum+. Tanda positif (+) menunjukkan kekurangan elektron.

Dalam sistem transmisi tenaga listrik, *filter harmonic* akan menstabilkan tegangan dan kekuatan aliran arus. Sebuah kapasitor (kondensator) adalah komponen listrik dua terminal pasif yang digunakan untuk menyimpan energi elektrostatik dalam medan listrik. Bentuk-bentuk kapasitor praktis dapat bervariasi, tetapi semua mengandung setidaknya dua konduktor listrik (pelat) yang dipisahkan oleh dielektrik yaitu *isolator*[3]. Konduktor dapat berupa film tipis, *foil* atau manik-manik sinter dari logam atau elektrolit konduktif, dll. Tindakan dielektrik dari *nonconducting* material untuk meningkatkan kapasitas muatan kapasitor. Sebuah dielektrik dapat terbuat dari kaca, keramik, film plastik, udara, vakum, kertas, mika, lapisan oksida dll. Kapasitor banyak digunakan sebagai bagian dari sirkuit listrik di banyak perangkat listrik umum. Tidak seperti *resistor*, kapasitor yang ideal tidak menghilangkan energi. Sebaliknya, kapasitor menyimpan energi dalam bentuk medan elektrostatik diantarnya piringnya[3].

Pengaruh *harmonic* pada *capacitor* termasuk pemanasan tambahan dan pada kasus yang berat *overloading*, peningkatan *stres dielektrik* atau tegangan, dan kerugian lain yang tidak diinginkan[4]. Juga, kombinasi *harmonic* dan *capacitor* dalam suatu sistem juga dapat menyebabkan kondisi kualitas daya yang lebih parah disebut *harmonic resonansi*, yang memiliki potensi kerusakan yang luas. Mengakibatkan timbulnya efek negatif yang akan memperpendek umur *capacitor*.

Kapasitor biasanya dipasang di sistem tenaga listrik komersial atau industri pada sistem distribusi atau transmisi sebagai perangkat koreksi faktor daya. Namun, meskipun merupakan komponen dasar dari sebuah filter harmonik (selain dari *reactor*), itu tidak bebas dari efek merusak dari *harmonic*. Dalam sistem tenaga ditandai dengan tingkat distorsi *harmonic* yang tinggi sehingga *capacitor bank* rentan terhadap kegagalan yang pada akhirnya alat akan mengalami kerusakan.

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif menggunakan metode *global compensation* dengan kapasitas listrik 1455 Kva yang termasuk

golongan industri rendah dengan pola pemakaian beban listrik tidak terdistribusi secara merata, sehingga dengan memasang dua buah *capacitor bank* telah mampu mem-back-up seluruh peralatan yang ada di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif maupun arus listrik di ruangan-ruangan administrasi.

Terjadinya *harmonic* (fluktuasi) arus dan tegangan dapat menyebabkan pemanasan yang berlebihan sehingga dapat mengurangi torsi motor dan generator. Peningkatan pemanasan akan merusak *capacitor* dan peralatan elektronik (*instrument*)^[5]. Sehingga *harmonic* dapat menyebabkan berkurangnya umur peralatan jika sistem yang dirancang tanpa mempertimbangkan besaran nilai dan frekwensi terjadinya *harmonic*. Untuk mengamankan motor induksi dari torsi yang besar dapat dilakukan dengan pemasangan peredam secara paralel dengan kumparan motor/generatornya, bentuk rangkaiannya dapat dilihat pada **Gambar 1**. Untuk itu sangat diperlukan pengukuran secara langsung besarnya torsi, *harmonic* proses penghidupan awal motor/generator untuk mengetahui batas harmonis yang ditentukan sesuai standart IEEE Std 519-1992 [6][7], dalam aplikasi sistem tenaga listrik. Bentuk rangkain pemasangan *capacitor bank* pada IPLR tidak menggunakan individual sistem seperti terlihat pada **Gambar 1**.

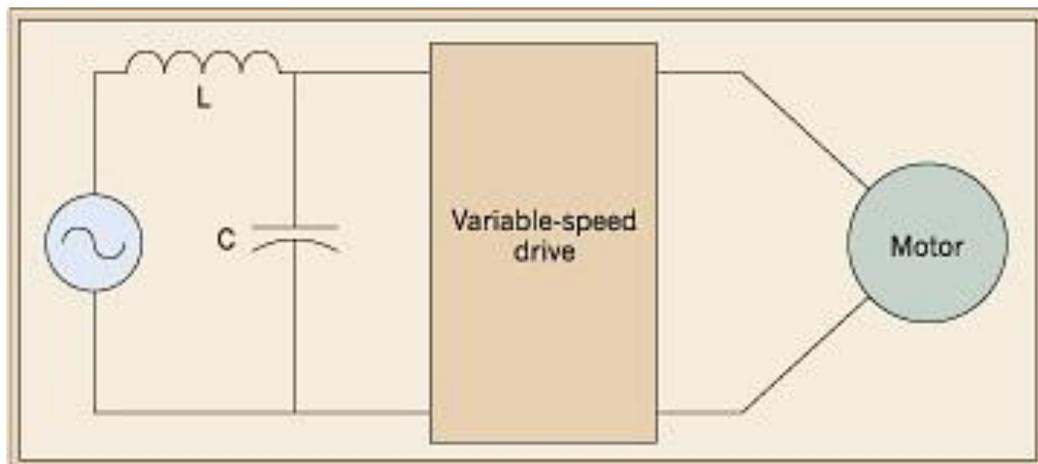
Harmonik Resonansi

Dalam pengoperasian peralatan-peralatan, khususnya motor/generator induksi tenaga besar akan terjadi *harmonic* resonansi. Efek ini membebaskan tegangan dan arus yang lebih tinggi pada sistem tenaga atau catu daya listrik bagi pemasok maupun konsumen itu sendiri. *Harmonic resonance* yang biasa disebut resonansi harmonis dalam sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan sebagai paralel atau seri resonansi, dan kedua jenis resonansi akan terjadi di lingkungan yang kaya harmonik. Resonansi paralel menyebabkan perkalian sesaat, sedangkan resonansi seri menghasilkan tegangan pembesaran. Kerusakan besar untuk *capacitor bank* akan terjadi jika amplitudo frekuensi menyinggung cukup besar selama kondisi resonansi. Juga, ada kemungkinan besar bahwa perangkat listrik lainnya pada sistem juga akan rusak. Untuk itu pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif dilakukan pemasangan *reactor* sebagai *harmonic filter* pada *capacitor bank* dan untuk menjamin bahwa frekuensi resonansi yang terjadi tidak melebihi

nilai batas *harmonic* arus dan tegangan listrik yang dipersyaratkan IEEE Std 519-1992[6][7]

Secara umum, sistem listrik memiliki impedansi sumber yang rendah dan tegangan diatur dengan baik. Penyedia catu daya dapat mentolerir besarnya gangguan yang terjadi akan tetapi tidak melebihi nilai stabil pada frekwensi 50 - 60 Hz. Dalam hal itu termasuk nilai arus *harmonic* yang tanpa menyebabkan distorsi tegangan yang signifikan. Untuk jumlah yang diberikan arus *harmonic*, tegangan distorsi yang dihasilkan akan relatif kecil (kecuali situasi resonansi harmonis). Hal ini akan berguna untuk memahami tentang

harmonic dalam hal nilai persen dasar (baku/standart) untuk mendapatkan pemahaman tentang tingkat *harmonic* relatif dalam suatu sistem. Untuk pengoperasian pada peralatan Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif agar didapatkan batas aman, maka perlu dilakukan analisis *harmonic* sehingga pemasangan *reactor capacitor bank* sebagai *filter harmonic* menjadi penting. Sebagaimana umumnya *capacitor bank* lebih efektif agar menerima informasi *harmonic* dalam jumlah yang sebenarnya, volt atau ampere pada frekuensi yang berbeda[5].



Gambar 1. Pemasangan capacitor bank secara langsung pada motor induksi

Tegangan dan Batas *Harmonic Current*

Tegangan distorsi *harmonic* pada sistem tenaga (catu daya) selalu dibatasi untuk menjaga keamanan suatu instalasi maupun pemasok catu daya. Adanya *harmonic* arus dan tegangan yang tinggi (besar) pada jaringan distribusi konsumen maupun pada sumber penyedia akan

mengakibatkan sistem tenaga (catu daya) mengalami *trip* yang biasa disebut padam sesaat. Dalam ketentuan internasional dan telah diadopsi Indonesia ke dalam PUIL 2000 bahwa *Total Voltage Distortion* (THD) dibatasi sampai 5,0% dan *Individual Voltage Distortion* 3,0% dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Table 1. Batas tegangan harmonik[6][7]

<i>Bus Voltage at PCC</i>	<i>Individual Voltage Distortion (%)</i>	<i>Total Voltage Distortion THD (%)</i>
69 kV and below	3.0	5.0
69 kV through 161 kV	3.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

Catatan: Sistem tegangan tinggi dapat memiliki hingga 2,0% THD, disebabkan adanya terminal *hight voltage direct current* (HVDC) yang disadap untuk pengguna.

Batas *harmonic* arus bervariasi berdasarkan pada kekuatan hubungan pendek dari sistem peralatan yang dipasang. Pada dasarnya, semakin sistem mampu menangani arus *harmonic*, semakin pelanggan diperbolehkan untuk pemanfaatan/mengoperasikan sistem peralatan dengan aman. Besarnya *harmonic* arus yang dapat ditoleransi pada suatu rangkain atau jaringan

distribusi konsumen maupun pada sumber penyedia harus sesuai dengan standart yang ditetapkan. Jaringan catu daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif berpatokan pada besarnya nilai *maximum harmonic current distortion* sesuai dengan batasan standart arus maksimum yaitu 15% (dapat dilihat pada **Tabel 2**).

Tabel 2. Batas Harmonik Arus untuk Sistem Distribusi Umum[6][7]

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of IL							
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)							
No	Isc/ IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
1.	<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
2.	20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
3.	50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
4.	100<1000	10.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
5.	> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

TATA KERJA

Bahan/Peralatan, dan Waktu Penelitian

Bahan dan peralatan yang digunakan : bahan *reactor harmonic filter*, *capacitor bank* 25 kVArh, *capacitor bank* 5 kVArh, *cosphy* meter, *Polypropylene film*, *Gas-impregnated*, *isolator*, Modul *Power Factor Controller* BR6000^[1]. Pengamatan hasil pengoperasian *reactor capacitor bank* sebagai peredam *harmonic* arus dan tegangan listrik IPLR dilakukan di Utilitas Bidang Pengembangan Fasilitas Limbah, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN dari hasil data tahun 2013, 2014 dan tahun 2015.

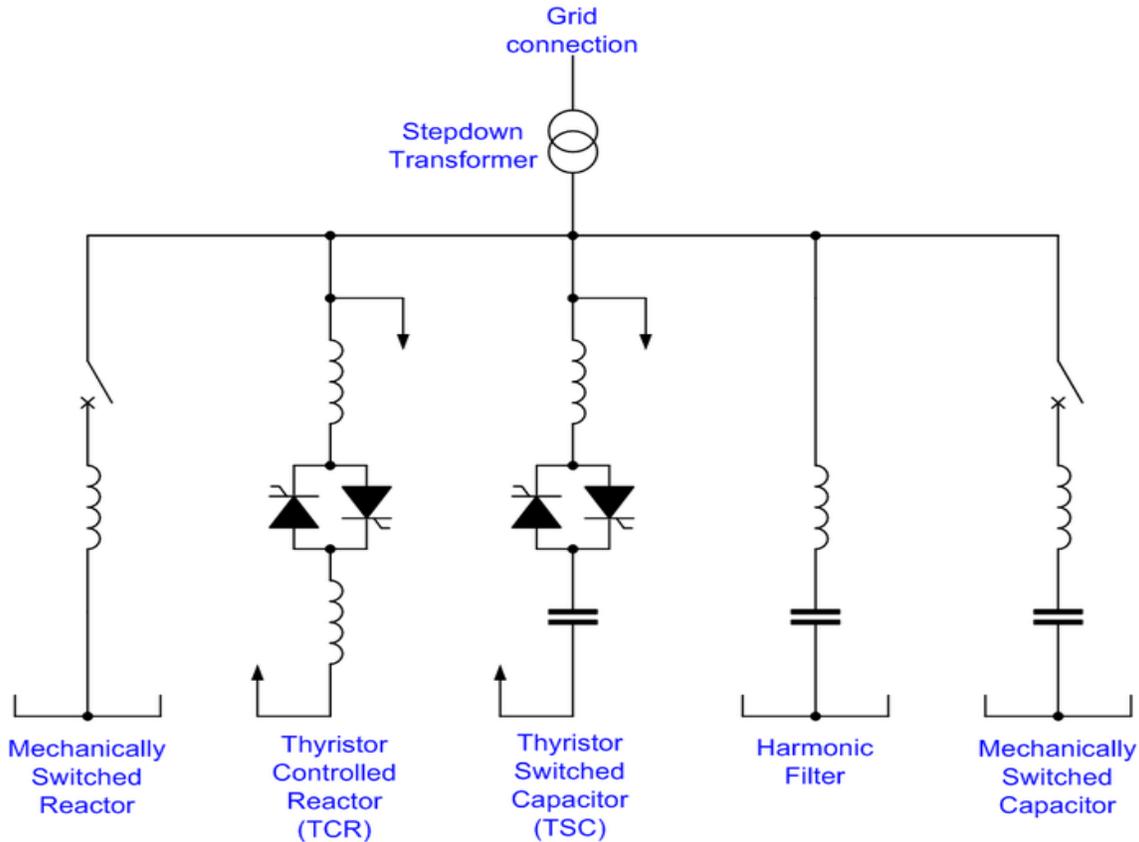
Metode Pengamatan

Pengamatan dilakukan setiap hari dengan membaca hasil penunjukan Modul *Power Factor Controller* BR6000 yang secara langsung ada di Panel *capacitor bank*. Setiap step yang beroperasi dan besaran-besaran lainnya di catat pada *logsheet* harian kemudian hasil satu bulan di rata-rata menjadi hasil pengamatan tiap bulan. Bentuk rangkaian pemasangan *reactor*, *capacitor bank* dan

harmonic filter IPLR dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Prinsip Operasi Reactor

Thyristor-Controlled Reactor (TCR) berfungsi untuk mengendalikan arus yang bervariasi sehingga arus maksimum tidak melebihi batasan yang ditentukan pada standart. Arus maksimum juga ditentukan oleh tegangan koneksi dan induktansi reaktor. Supaya *harmonic* dapat mencapai hampir nol, diperlukan *reactor* sebagai filter atau pembatas. Filterisasi terjadi dengan memvariasikan penundaan dan menimbulkan kembali oleh *capacitor bank* yang disebutkan "memecat penundaan angle α ". Dimana α adalah sebagai sudut penundaan dari titik di mana tegangan menjadi positif ke titik di mana katup *thyristor* dihidupkan dan pada waktu tersebut arus listrik akan mengalir^{[4][5]}. Jadi arus maksimum diperoleh saat α adalah 90°, di mana titik TCR dikatakan dalam konduksi penuh. Saat tertinggal 90° tegangan akan balik sesuai dengan teori rangkaian AC klasik. Seiring dengan peningkatan α di atas 90°, sampai dengan maksimum 180°, kemudian menurun hingga menjadi terputus dan non-sinusoidal.



Gambar 2. Rangkaian reactor harmonic filter dan capacitor bank pada catu daya IPLR^[5].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 menunjukkan batas tegangan *harmonic* sedangkan **Tabel 2** menunjukkan batas *harmonic* arus sesuai standart IEEE Std 519-1992[6][7]. Batas *harmonic* arus menentukan jumlah maksimum arus *harmonic* yang dapat ditoleransi oleh pelanggan/pemakai ke dalam sistem catu daya. Penyedia sumber catu daya bertanggung jawab untuk menyediakan tegangan bersih kepada pelanggan. Jika tidak, pelanggan akan dianggap lalai karena menyebabkan tegangan distorsi sendiri. Maksud dan tujuan dari IEEE Std 519-1992 dinyatakan agar pelanggan catu daya dan penyedia dapat saling memahami pentingnya *harmonic* arus serta *harmonic* tegangan yang aman dalam jalur distribusi maupun pada pemakaian catu daya. Penerapan batas *harmonic* bertujuan untuk mencegah dari satu pelanggan menyebabkan masalah *harmonic* untuk pelanggan lain atau untuk penyedia catu daya atau sistem tenaga listrik^[5]. Jika memiliki *harmonic* yang tinggi dalam sistem peralatan itu sendiri, maka hanya akan merusak atau merugikan peralatan itu, namun tetap tidak

melanggar standart yang telah ditentukan dalam IEEE Std 519-1992[6][7].

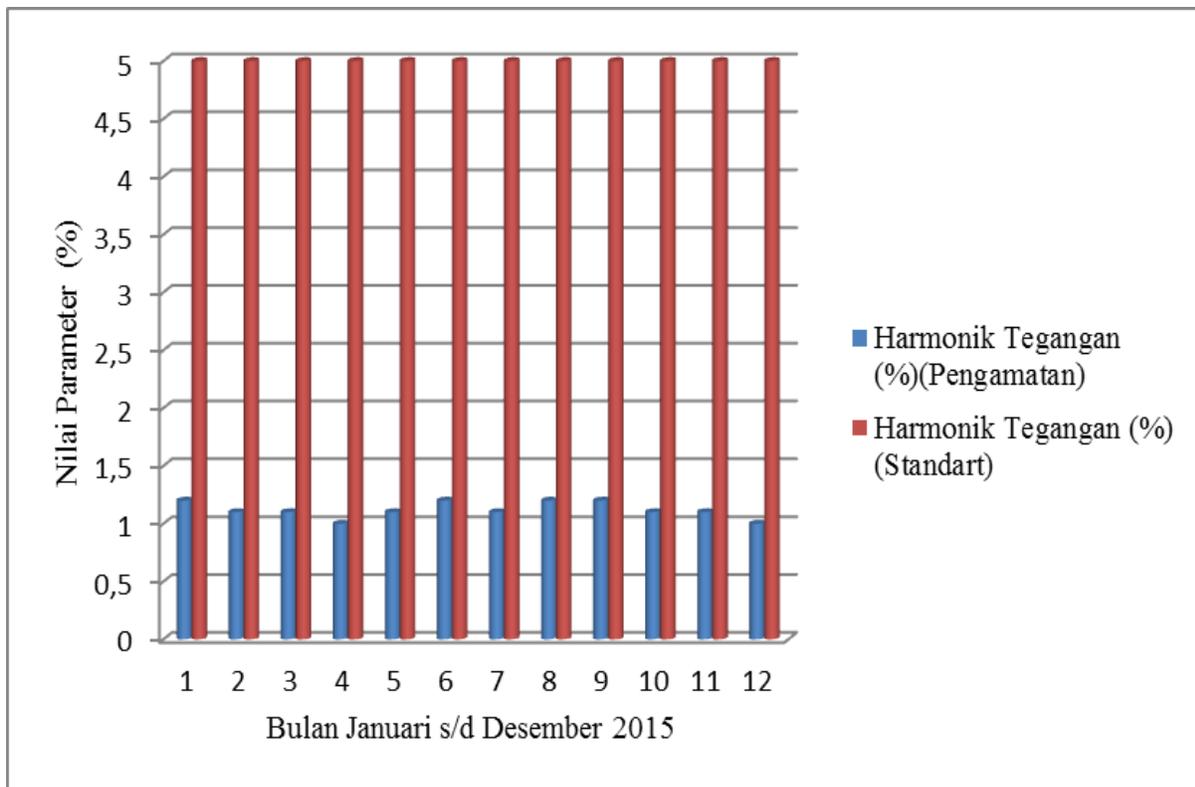
Pemasangan dan pengoperasian *reactor* sebagai *filter harmonic* pada *capacitor bank system* catu daya listrik Instalasi Pengolahan Limbah Radiaktif beroperasi secara penuh selama 24 jam. Modul *Power Factor Controller BR6000*^[2] akan berfungsi secara otomatis mengatur operasional setiap step *capacitor bank* pada kondisi operasi dan *stand-by* sesuai dengan kebutuhan pada kondisi *harmonic* arus dan kondisi *harmonic* tegangan listrik. Panel 1 terdiri dari 12 step yaitu step 1 sebesar 25 Kvar, step 2 sampai step 11 masing masing 50 Kvar dengan pola pemasangan 2 X 25 Kvar tiap step. Dan step 12 terdiri dari 5 Kvar yang dioperasikan secara manual untuk mengantisipasi kondisi kvar rendah. Panel 2 terdiri dari 10 step yaitu step 1 sebesar 25 Kvar, step 2 sampai step 9 masing masing 50 Kvar dengan pola pemasangan 2 X 25 Kvar tiap step. Dan step 10 juga terdiri dari 5 Kvar yang dioperasikan secara manual[2].

Dilakukan pengamatan terhadap hasil aplikasi *reactor* pada *capacitor bank* sebagai

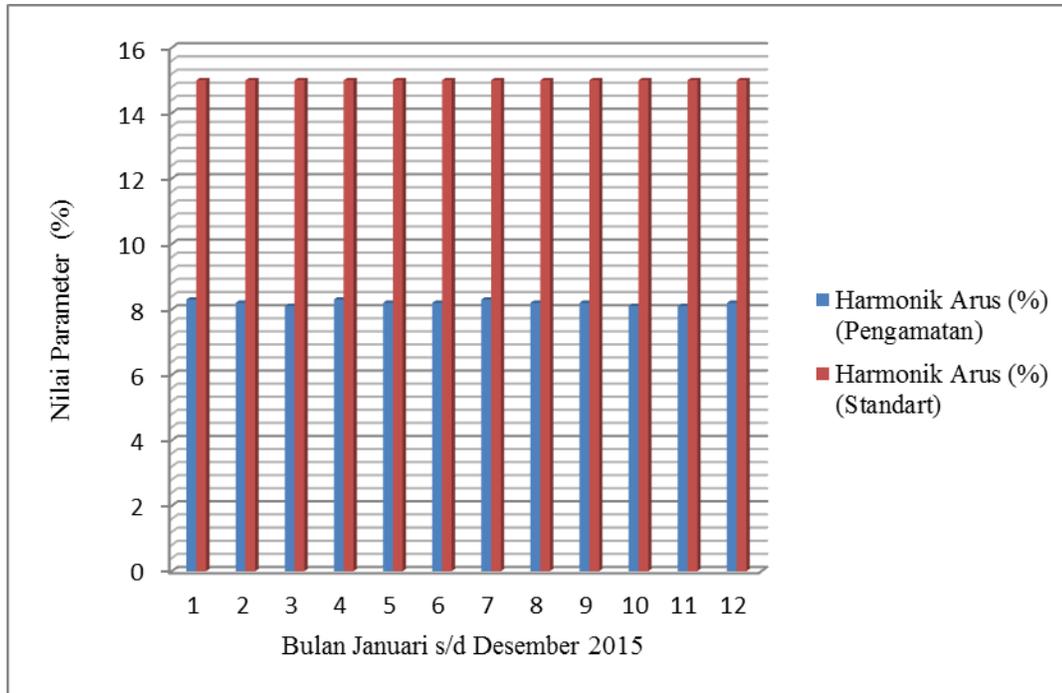
peredam *harmonic* catu daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif yang dicatat pada *logsheet* harian. Yang di analisa dalam makalah ini merupakan nilai pengamatan rata-rata tiap bulan dari hasil pengamatan tiap hari kerja pengoperasian *capacitor bank* tahun 2013, 2014 dan 2015 (**Tabel 3**). Nilai *maximum harmonic voltage distortion* tiap bulan pada pengamatan tahun 2013, 2014 maupun tahun 2015 rata-rata hanya sebesar 1,0% sampai 1,3% (lihat **Tabel 3**). Apabila dibandingkan dengan nilai standart yang merupakan batas *maximum harmonic voltage distortion* yang diizinkan 5% , nilai *maximum harmonic voltage distortion* IPLR relative sangat kecil apabila dibandingkan dengan nilai *standart* yang diizinkan sebesar 5% IEEE Std 519-1992^{[6][7]} (dapat dilihat pada **Tabel 1**). Dan nilai *harmonic current distortion* tiap bulan pada pengamatan tahun 2013, 2014 maupun tahun 2015 rata-rata hanya sebesar 8,1% sampai 8,3% (lihat **Tabel 3**). Apabila

dibandingkan dengan nilai *standart* yang merupakan batas *maximum harmonic voltage distortion* yang diizinkan 15% , nilai *maximum harmonic voltage distortion* IPLR relative sangat kecil apabila dibandingkan dengan nilai *standart* yang diizinkan sebesar 5% IEEE Std 519-1992^{[6][7]} (dapat dilihat pada **Tabel 2**).

Sebagai gambaran perbandingan bahwa nilai *harmonic* tegangan IPLR lebih kecil dari nilai *harmonic standart* lebih jelas juga dapat terlihat pada **Gambar 3**. Demikian juga nilai *harmonic* arus IPLR jauh di bawah nilai *harmonic* arus standart (**Gambar 4**). Hal ini membuktikan bahwa pengoperasian *reactor capacitor bank* sebagai *harmonic filter* arus dan tegangan pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif dapat berfungsi dengan baik. Sehingga pengoperasian Catu daya listrik Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) berfungsi dengan baik, aman dan sesuai dengan *standart* IEEE Std 519-1992^{[6][7]}.



Gambar 3. Hasil pengamatan *harmonic* tegangan dengan nilai standar.



Gambar 4. Hasil pengamatan *harmonic* arus dengan nilai standar

Tabel 3. *Harmonic* arus dan tegangan hasil pengukuran rata-rata tiap bulan tahun 2014 sampai 2015

No.	Parameter	Tahun	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	<i>Harmonic</i> Tegangan (%)	2013	1,2	1,0	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1,1	1,0
2.	<i>Harmonic</i> Arus (%)	2013	8,1	8,2	8,1	8,1	8,3	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,2	8,1
3.	<i>Harmonic</i> Tegangan (%)	2014	1,1	1,2	1,1	1,2	1,0	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2	1,0	1,2
4.	<i>Harmonic</i> Arus (%)	2014	8,2	8,1	8,2	8,1	8,2	8,3	8,1	8,1	8,3	8,3	8,2	8,1
5.	<i>Harmonic</i> Tegangan (%)	2015	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
6.	<i>Harmonic</i> Arus (%)	2015	8,3	8,2	8,1	8,3	8,2	8,2	8,3	8,2	8,2	8,1	8,1	8,2

KESIMPULAN

1. Nilai rata-rata tiap bulan total *harmonic* arus maksimal 1,3% dan total *harmonic* tegangan maksimal 8,3%.
2. Nilai *harmonic* tegangan dan nilai *harmonic* arus listrik jauh dibawah batas

- standart IEEE Std 519-1992 sehingga pengoperasian peralatan-peralatan IPLR dapat dilakukan dengan baik.
3. *Reactor capacitor bank* sebagai peredam *harmonic* arus dan *harmonic* tegangan IPLR berfungsi dengan baik dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

1. Maryudi, ST, “*Pengoperasian penunjang sarana Pusat Teknologi Pengembangan Limbah Radioaktif*”, 1990.
2. JONNER SITOMPUL, ST, “*Pengoperasian sistem capacitor bank Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif*” 2010.
3. PFRANKLIN, BENJAMIN “*Capacitor charging and discharging*”. *All about circuits*. Retrieved 2009-02-19.
4. SANKARAN, C. “*Effects of harmonics on power systems 1*” (1999).
5. CHAVEZ,C;HOUDEK,J.A. “*Dynamic Harmonic Mitigation and power factor correction*” (2007).
6. IEEE Std 519-1992. *Recommended practice and requirements for harmonic control in electrical power systems*.
7. IEEE Std. 18-2002, “*IEEE Standard for shunt power capacitors*”