



Kajian Penerapan Teknologi *Broadband Over Powerlines* di Indonesia

Heri Andrianto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Maranatha
 Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri 65, Bandung, Indonesia
 heri.andrianto@eng.maranatha.edu

Abstrak: Meningkatnya perhatian dan ketertarikan masyarakat pada aplikasi multimedia modern seperti *broadband* internet, HDTV dan lain-lain memerlukan teknik akses baru untuk menghubungkan peralatan pengguna ke backbone komunikasi. Salah satu teknologi yang menjanjikan yaitu teknologi *Broadband over Powerline* (BPL). Teknologi ini menawarkan akses *broadband* melalui jaringan listrik. Jaringan listrik tegangan menengah dan tegangan rendah sebagai kanal data digital berkecepatan tinggi yang menghubungkan kelompok pengguna ke *backbone* komunikasi dengan laju data yang sangat tinggi, seperti fiber optik. Makalah ini membahas tentang kelayakan teknologi *Broadband over Powerline* untuk akses telekomunikasi dan internet di Indonesia, dengan studi kasus implementasi BPL untuk pelanggan listrik pada daerah Dayeuh Kolot, Bandung. BPL mempunyai jangkauan ke rumah-rumah yang luas pada semua negara di dunia. BPL mempunyai potensi pasar yang sangat besar dengan jangkauan daerah yang luas. Jumlah pelanggan per trafo dan biaya peralatan BPL merupakan faktor kunci yang menentukan implementasi BPL.

Kata kunci: Internet, *Broadband*, *Powerline*, Telekomunikasi

Abstract: The increasing interest in modern multimedia applications, such as *broadband* internet, HDTV, etc. requires new access techniques for connecting the private premises to a communication backbone. One Promising technology is *Broadband over Powerlines* (BPL). This technology offers *broadband* access over existing electricity grid. Medium voltage and low voltage electricity grid as a high speed digital data channel for connecting a group of private users to a very high data rate backbone, such as fiber optic. This paper presents feasibility of BPL implementation for telecommunication and internet access in Indonesia, with case study of BPL implementation for Electric customers in Dayeuh Kolot region, Bandung. BPL has very high household coverage in most of the countries worldwide. BPL has a large potential market with extensive coverage area. Number of customers per transformer and BPL equipment cost, there are the key factor of BPL implementation.

Keywords: Internet, *Broadband*, *Powerline*, Telecommunication.

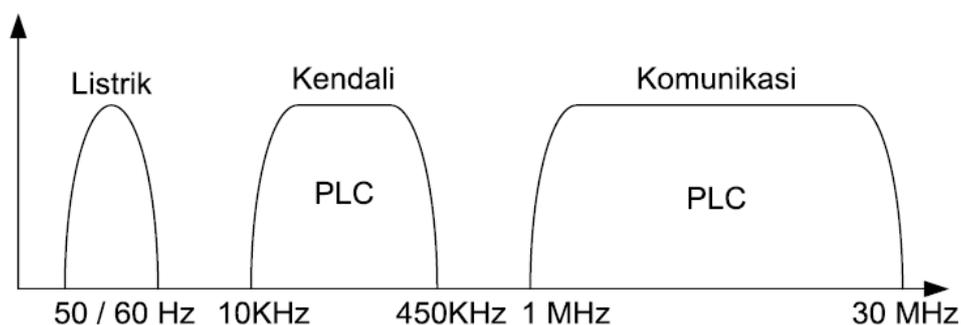
I. PENDAHULUAN

Meningkatnya perhatian dan ketertarikan masyarakat pada aplikasi multimedia modern

seperti *broadband* internet, HDTV dan lain-lain, memerlukan teknik akses baru untuk menghubungkan peralatan pengguna ke *backbone* komunikasi. Teknologi *broadband* internet melalui jaringan telepon seperti ADSL, menawarkan data rate yang tinggi, namun kekurangan teknologi ADSL yaitu, pada keadaan normal hanya memiliki cakupan daerah maksimal mencapai 5,5 km. Dengan adanya batasan ini, masih banyak area yang belum bisa dijangkau. Selain itu, tidak semua kantor Sentral Otomat (STO) dibuat untuk mendukung teknologi ADSL. Sehingga, fasilitas ini hanya dapat diakses di daerah-daerah kota tertentu saja. Saat ini teknologi yang menjanjikan yaitu teknologi komunikasi data dan internet melalui jaringan listrik yang disebut sebagai *Powerline Communication* (PLC) atau sering disebut juga sebagai *Broadband over Powerline* (BPL). Teknologi PLC menawarkan laju data yang tinggi dengan jangkauan yang lebih luas jika dibandingkan dengan teknologi DSL pada jaringan telpon. Keunggulan utama dari teknologi PLC yaitu menggunakan jaringan listrik yang tersedia di mana-mana, baik di dalam maupun diluar ruangan. PLC berpotensi menjadi teknologi *broadband* di Indonesia yang dapat meniadakan kesenjangan teknologi telekomunikasi dan informasi antara daerah perkotaan dengan daerah pedesaan dan mendorong keseimbangan sosial dan regional. Paper ini, dibuat dengan tujuan untuk melihat kemungkinan teknologi PLC sebagai salah satu solusi bagi pemenuhan kebutuhan akses telekomunikasi dan internet di Indonesia.

II. POWERLINE COMMUNICATION

Powerline Communication (PLC) adalah teknologi komunikasi data, suara dan video melalui jaringan listrik. Teknologi PLC bukan teknologi baru, pada awalnya teknologi ini digunakan untuk tujuan pengendalian, dengan frekuensi *carrier* yang digunakan umumnya pada orde KHz (10 KHz sampai 450 KHz), dan hanya menawarkan kapasitas transmisi data yang sederhana dengan kecepatan kurang dari orde kilobit per second (kbps). Pada tahun 1920, dimulai penelitian penggunaan powerline untuk tujuan komunikasi data dengan menggunakan frekuensi *carrier* yang lebih tinggi yaitu pada orde MHz^[1]. Saat ini frekuensi *carrier* yang digunakan antara 1,7 hingga 30 MHz^[2].



Gambar 1. Spektrum PLC

Secara teori kapasitas kanal access dapat mencapai 250 Mbps, sedangkan kapasitas kanal indoor dapat mencapai 200 Mbps.^[3] Namun, secara prakteknya kapasitas kanal tersebut dapat dimaksimalkan menggunakan teknik modulasi. Pemilihan teknik modulasi untuk suatu sistem komunikasi sangat bergantung pada sifat dan karakteristik media komunikasi yang akan dipakai.^[3] Kanal jaringan listrik mempunyai sifat yang berlawanan dengan transmisi sinyal komunikasi, karena terdapat berbagai macam gangguan seperti *noise*, *multipath* dan *channel*

selective yang besar. Berikut ini karakteristik kanal jaringan listrik :

- *Mismatches Impedance* menyebabkan terjadinya multipath spread.^[4]
- Noise pada saluran listrik tegangan menengah^[5]
 - o *Background noise* yang disebabkan oleh kondisi lingkungan (cuaca, geografi, dan lain-lain)
 - o *Narrowband noise* yang disebabkan oleh interferensi dari perangkat komunikasi radio
- Noise pada saluran listrik tegangan rendah^[5]
 - o *Narrowband noise* yang disebabkan oleh interferensi dari perangkat komunikasi radio
 - o *Colored background noise berasal dari sumber noise dengan daya yang rendah*
 - o *Synchronous periodic impulsive noise yang disebabkan oleh lampu dimmer*
 - o *Asynchronous periodic impulsive noise yang disebabkan oleh switching power supply*
 - o *Burst impulsive noise yang disebabkan oleh berbagai macam jenis motor listrik*
- Atenuasi disebabkan oleh^[3]
 - o Beban listrik : pada lingkungan rumah berkisar antara 20 dB - 60 dB.
 - o Frekuensi sinyal : untuk frekuensi diatas 100kHz atenuasi bertambah sekitar 0,25 dB/kHz.
 - o Jarak antara transmiter dengan receiver :
 - Pada JTR dapat mencapai 100 dB/km.
 - Pada JTM dapat mencapai 10 dB/km

Teknik modulasi yang akan digunakan pada kanal jaringan listrik harus mempunyai sifat : mampu untuk mengatasi karakteristik kanal non-linear, mampu untuk mengatasi multipath spread, mampu untuk menyesuaikan diri secara dinamis sesuai dengan karakteristik saluran yang selalu berubah-ubah secara dinamis misalnya beban yang bervariasi dan mampu untuk melindungi frekuensi tertentu. Jenis modulasi yang mempunyai semua sifat yang diharapkan pada saluran listrik adalah orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)^[3].

II.1. Uji Coba Teknologi PLC

Pertengahan tahun 2004, lebih dari 100 uji coba teknologi PLC pada 40 negara diseluruh dunia oleh 600 perusahaan telah berhasil dilaksanakan. Uji coba tersebut dilakukan untuk memperjelas viability jaringan PLC dan mengkomersialkan layanan teknologi PLC. Saat ini, teknologi PLC telah siap dikomersialkan dengan berbagai layanan yang ditawarkan seperti untuk keperluan telekomunikasi dan broadband internet di beberapa negara Eropa. Beberapa negara Eropa sudah mengkomersialkan layanan teknologi PLC. Negara-negara tersebut yaitu : Jerman, Spanyol, Prancis, Inggris, Italia, Portugal, Swiss, Austria dan Skotlandia. Implementasi PLC terbesar di Jerman dilakukan oleh perusahaan PPC (Power Plus Communications). PPC adalah market leader di Jerman dengan lebih dari 200.000 pelanggan rumah tangga. Saat ini PPC melayani 90.000 pelanggan rumah tangga di Mannheim.^[6] Instalasi kabel listrik di Mannheim terdiri dari 70 % kabel listrik underground, dan sisanya 30 % kabel listrik shielded overhead.^[7] Lebih dari 5.000 subscriber menikmati layanan internet berkecepatan tinggi melalui PLC (sampai 400 kbps). PPC mengkombinasikan powerline dan WLAN sebagai jaringan PLC yang digunakan untuk jaringan yang besar dengan banyak pelanggan. PPC berhasil menawarkan

solusi PLC-WLAN untuk hotel. Dengan solusi tersebut, masalah interferensi yang diakibatkan oleh PLC dapat dikurangi. Di Swiss terdapat 250.000 rumah yang menggunakan PLC dan 1.500 pelanggan aktif di Fribourg, instalasi PLC di Fribourg terdiri dari 30% overhead dan 70% underground, namun penggunaan PLC hanya diijinkan untuk kabel bawah tanah.^[7] Di Amerika, terdapat 50 hingga 70 lokasi uji coba dan diperkirakan terdapat 2000 pelanggan PLC yang telah menjadi pelanggan layanan teknologi PLC secara komersial. Penggunaan teknologi PLC ini terus diperluas di beberapa tempat oleh beberapa perusahaan di Amerika.^[6] Di Asia beberapa negara yang melakukan uji coba teknologi PLC seperti China, Korea, Hongkong, Singapura dan Indonesia.^[7] Uji coba teknologi PLC di Indonesia dilakukan oleh PT.ICONplus yaitu anak perusahaan PLN. Lokasi uji coba di Komplek PLN Duren Tiga, Jakarta Selatan pada 20 rumah. Hasil uji coba PLC dilapangan sangat bagus, namun infrastruktur yang dibutuhkan masih sangat mahal. Hal ini disebabkan karena belum adanya jalur komunikasi yang digunakan antara gardu ke network provider-nya. Artinya, harus terlebih dahulu dipasang fiber optic dari gardu ke network provider. Jika ini dilakukan, secara perhitungan cost-nya masih terlalu besar. Saat ini teknologinya masih cukup mahal sehingga belum bisa dinikmati oleh masyarakat secara umum.^[8] PT.ICONplus meningkatkan uji coba teknologi PLC menjadi 400 unit tambahan di kota Jakarta, Bandung, Semarang dan kota lainnya. Untuk Jakarta, wilayah tambahannya mencakup Kelapa Gading, Klender, Cawang, Duren Tiga, Kalibata, Senayan, Pluit dan Pondok Indah.^[9]

III. KRITERIA KELAYAKAN IMPLEMENTASI

Kelayakan suatu implementasi teknologi telekomunikasi diukur dari kemampuannya untuk menghasilkan arus dana yang lebih besar dari yang telah diinvestasikan sehingga memberikan tingkat pengembalian yang pantas atau sepadan dengan yang diinginkan investor. Selain itu, implementasi sistem telekomunikasi layak jika sistem tersebut menguntungkan dan bermanfaat bagi penggunaanya. Kelayakan implementasi PLC di Indonesia harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut :

- Aspek Ekonomi dan Peluang pasar : memperlihatkan adanya potensi keuntungan yang akan didapatkan baik oleh *system owener/operator* maupun *end user* serta memperlihatkan potensi pasar yang besar.
- Aspek regulasi : memperlihatkan adanya jaminan kekuatan hukum atas penggunaan teknologi.
- Aspek teknis : memperlihatkan adanya standarisasi teknologi peralatan untuk menjamin *interoperability* dan *compatibility*.

IV. STUDI KASUS KELAYAKAN IMPLEMENTASI PLC

Dalam studi kasus ini, daerah yang dipilih adalah daerah Dayeuh Kolot, Bandung. Alasan pemilihan daerah Dayeuh Kolot, karena daerah ini terletak dipinggiran kota Bandung, dimana infrastruktur internet dan telekomunikasi belum banyak tersedia.

UPJ Dayeuh Kolot mempunyai satu gardu induk distribusi dan 76 transformator distribusi tegangan rendah. Panjang kabel listrik tegangan menengah kurang lebih sepanjang 100 km. Sedangkan panjang kabel listrik tegangan rendah yang menghubungkan transformator distribusi

dengan rumah-rumah pelanggan rata-rata sepanjang 2,4 km. Gardu induk distribusi Dayeuh Kolot melayani pelanggan sebanyak 37.865 pelanggan, sehingga:

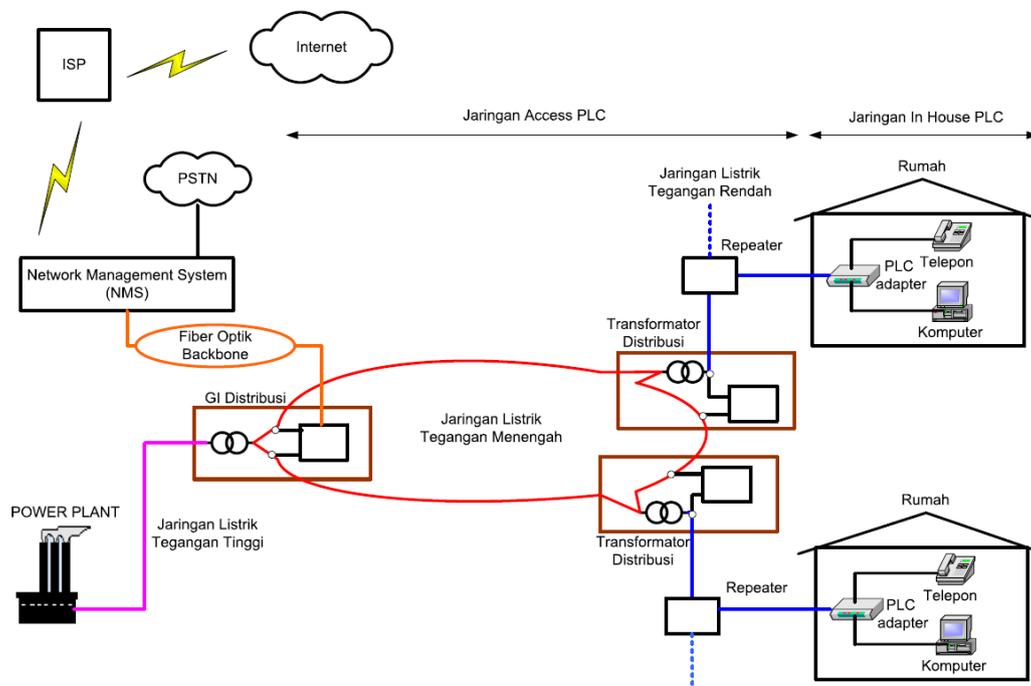
Jarak antar trafo pada kabel listrik tegangan menengah = $100 : 75 = 1,3$ Km

Jumlah pelanggan listrik/trafo = $37.865 : 76 = 498$ pelanggan

Dalam sistem PLC, jaringan listrik tegangan rendah dalam satu transformator distribusi dinyatakan sebagai Local Area Network (LAN).^[10]

IV.1. Perancangan Jaringan PLC

Rancangan jaringan PLC untuk akses telekomunikasi dan internet pada daerah Dayeuh Kolot, Bandung dapat dilihat pada Gambar 2. Arsitektur jaringan PLC dibagi menjadi dua bagian utama yaitu jaringan access broadband dan jaringan in-house broadband.



Gambar 2. Rancangan Jaringan PLC

IV.2. Perhitungan Biaya PLC

Diasumsikan penetrasi layanan internet dan telekomunikasi melalui PLC sekitar 2 % dari 37.865 pelanggan listrik, jadi pelanggan PLC sekitar 760 pelanggan atau sekitar 10 pelanggan per transformator.

– Capital Expenditure

Biaya yang dikeluarkan sekali yaitu biaya untuk peralatan regenerator, coupling dan konsentrator. *Capital expenditure* untuk membangun sistem PLC dapat dilihat pada Tabel 1.

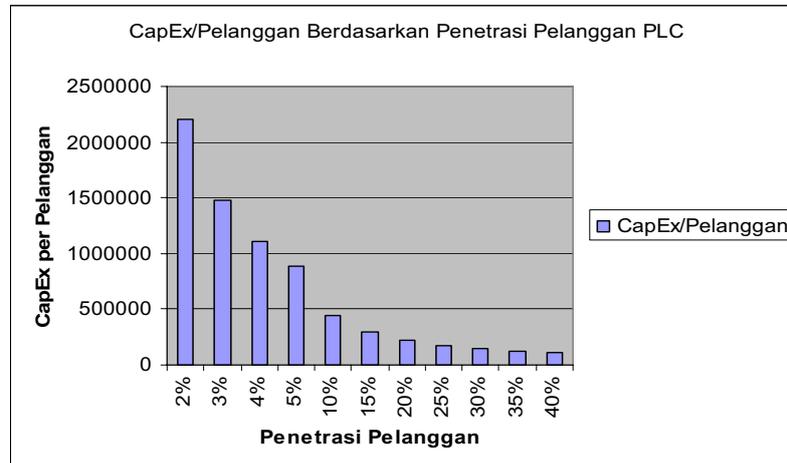
TABEL 1. CAPITAL EXPENDITURE

No	Keterangan	Unit	Harga Satuan	Jumlah
1	MV/LV Regenerator + Coupling	76	11.960.000	908.960.000
2	Konsentrator + peralatan coupling LV	76	10.120.000	769.120.000
Total Capital Expenditure				1.678.080.000

Total Capital Expenditure mencapai Rp.1.678.080.000,-

Capital Expenditure /pelanggan = (Rp. 1.678.080.000,-) / 760 = Rp.2.208.000,-

Capital Expenditure per pelanggan berdasarkan jumlah penetrasi pelanggan PLC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Capital Expenditure* per Pelanggan

Sedangkan Biaya yang dikeluarkan oleh pengguna secara individual (unshared) seperti Powerline Adapter (CPE) kira-kira sebesar Rp. 1.150.000,- hingga Rp. 1.462.800,-.

– Biaya Operasional

Biaya operasional terdiri dari biaya pemeliharaan, customer support, manajemen dan biaya uplink. Biaya uplink merupakan komponen biaya terbesar pada biaya operasional. Biaya uplink yaitu biaya yang dibayarkan kepada upstream provider dan tergantung asumsi jumlah statistical multiplexing ratio dan rate bandwidth per user.

Diasumsikan rasio bandwidth 1 : 10, artinya jika bandwidth sebesar 384 kbps dibagi ke 10 orang pelanggan, sehingga pada kondisi semua pelanggan sedang mengakses maka satu orang pengguna internet mendapatkan bandwidth sebesar 1/10 dari yang disebutkan yaitu 384 kbps x 1/10 = 38,4 kbps. Jadi besarnya bandwidth yang didapatkan pengguna adalah rata-ratanya 38,4 kbps, namun kadang-kadang bisa mencapai 384 kbps, jika pelanggan yang diajak berbagi akses internet tidak menggunakan koneksi internetnya sama sekali.

Rancangan biaya akses internet PLC yang ditawarkan kepada pelanggan ditunjukkan pada Tabel 2, dengan asumsi 10 pelanggan PLC/trafo distribusi.

TABEL 2. BIAYA LANGGANAN AKSES INTERNET PLC UNTUK 10 PELANGGAN/TRAFO

No.	Jenis Layanan	Kecepatan (Kbps)	PSB Aktifasi (Rp.)	Monthly Fee (Rp.)
1.	Unlimited	64	2.208.000	470.000
2.	Unlimited	128	2.208.000	800.000
3.	Unlimited	256	2.208.000	1.350.000
4.	Unlimited	384	2.208.000	1.850.000
4.	Unlimited	512	2.208.000	2.420.000

Biaya akses internet melalui PLC bersifat flat, download/upload tidak dibatasi, pelanggan

dapat menikmati layanan akses broadband internet sepuasnya dengan biaya yang tetap. Sedangkan biaya akses internet melalui Speedy yang merupakan produk layanan internet access end-to-end dari PT. TELKOM dengan basis teknologi Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) dapat dilihat pada Tabel 3. Layanan ini memberikan jaminan kecepatan sesuai dengan paket layanan yang digunakan pelanggan sampai ke BRAS (*Broadband Remote Acces Server*) dengan pilihan kecepatan akses mulai dari 384 kbps hingga 3 Mbps per line. Tersedia berbagai pilihan paket layanan sesuai dengan kebutuhan di rumah maupun bisnis baik paket jenis *time based* maupun *unlimited* dengan pilihan kecepatan yang bervariasi.^[11]

TABEL 3. BIAYA LANGGANAN AKSES INTERNET SPEEDY^[11]

No	Paket	Line Speed	Registrasi	Bulanan	Kuota	Excess Usage	Batas Tagihan Maksimum
1	Mail	1 Mbps	75.000	75.000	15 jam	75/menit	995.000
2	Chat	1 Mbps	75.000	145.000	50 jam	25/menit	995.000
3	Socialia	384 kbps	75.000	195.000	Semi Unlimited		
4	Load	512 kbps	75.000	295.000	Semi Unlimited		
5	Familia	1 Mbps	75.000	645.000	Unlimited		
6	Executive	2 Mbps	75.000	995.000	Unlimited		
7	Biz	3 Mbps	75.000	1.695.000	Unlimited		

Dari table di atas biaya akses internet melalui PLC masih sangat mahal jika dibandingkan dengan biaya akses internet melalui speedy.

IV.3. Masalah Interferensi

Kabel listrik merupakan sistem terbuka sehingga jaringan listrik dapat menjadi suatu antenna dimana sinyal bisa keluar, selain itu band frekuensi yang digunakan untuk PLC sama dengan band frekuensi yang digunakan untuk sistem komunikasi short wave radio seperti: broadcasting, komersial, militer, komunikasi maritime, navigasi dan stasiun radio amatir. Sehingga hal ini akan menimbulkan *Electro Magnetic Interference* (EMI) yang dapat mengganggu sistem komunikasi radio.^[12] Percobaan di Jepang menunjukkan bahwa pengaruh emisi akibat penggunaan frekuensi carrier 1,7 hingga 30 MHz pada jaringan listrik, dapat diterima pada jarak 100 hingga 400 m dari kabel listrik. Emisi tersebut sangat besar pengaruhnya terhadap sistem komunikasi radio ketika kabel listrik berada pada jarak 3 m dari peralatan komunikasi radio.^[10] Di Australia diadakan pengukuran interferensi yang diakibatkan oleh jaringan PLC, hasil pengukuran dapat dilihat pada hasil pengukuran interferensi yang dilakukan oleh ACMA (Australian Communications and Media Authority) pada tanggal 14 Juli 2006 pada Tabel 4.^[13]

TABEL 4. HASIL PENGUKURAN INTERFERENSI OLEH ACMA

Freq (MHz)	Pengukuran 14/07/06	
	dBuV/m	MHz
3.5-3.7	34.1	3.53
	64.0	3.56
7.0-7.3	51.1	7.22
	42.4	7.25
14.0-14.35	40.3	14.28
	43.9	14.34
21.0-21.45	46.5	21.44
	34.3	21.44
28.0-29.7	52.6	29.1
	53.3	29.0

Hasilnya ternyata interferensi yang diakibatkan oleh jaringan PLC melebihi batas radiasi gelombang elektromagnetik yang ditentukan pada Federal Communications Commission (FCC) part 15.209.^[14]

TABEL 5. BATAS RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK FCC PART 15.209

Frekuensi (MHz)	Kuat medan (microvolts/meter)	Jarak pengukuran (meter)
0.009-0.490	2400/F(kHz)	300
0.490-1.705	24000/F(kHz)	30
1.705-30.0	30	30
30-88	100	3
88-216	150	3
216-960	200	3
above 960	500	3

Maka, untuk mengatasi masalah interferensi, dilakukan dua cara, yaitu :

- Regulasi
 1. Pengaturan ulang spektrum frekuensi 1,7 – 30 MHz
Perlu dilakukan pengaturan ulang penggunaan band frekuensi tersebut untuk mencegah interferensi antara sistem PLC dengan sistem komunikasi radio.
 2. Standarisasi EMC
- Teknik
 1. Menggunakan kabel listrik *shielded cable* atau menggunakan kabel listrik bawah tanah. Di Indonesia jaringan listrik tegangan menengah yang terpasang pada tiang listrik menggunakan *unshielded cable* dan sebagian besar jaringan listrik tegangan rendah telah menggunakan *shielded cable*. Jika solusi ini dilakukan maka semua *unshielded cable* harus diganti oleh *shielded cable*, maka hal ini akan membutuhkan biaya investasi yang sangat mahal.^[10]
 2. Menggunakan jaringan wireless sebagai backhaul. Kombinasi jaringan wireless dan saluran listrik tegangan rendah (*shielded cable*) lebih aman terhadap interferensi.
 3. Mengurangi daya transmisi. Namun, solusi ini akan menyebabkan jarak transmisi sinyal menjadi berkurang dan sinyal menjadi rentan terhadap noise pada jaringan distribusi listrik.
 4. Pengaturan daya sendiri (*self power adjustment*). Membuat peralatan PLC yang mempunyai kemampuan pengaturan daya sendiri. Modem akan mengukur daya yang diterima dan akan mengatur sendiri sampai daya yang cukup untuk kembali ke jalur komunikasi yang sesuai. Cara ini akan mengurangi interferensi.^[7]
 5. *Frequency "notching"*. Sistem PLC harus memiliki kemampuan dan keistimewaan untuk mengubah frekuensi operasi secara adaptive untuk mengurangi interferensi.^[7]

IV.4. Alokasi Frekuensi

Perlu adanya pengaturan ulang penggunaan frekuensi pada band 1,7 hingga 30 MHz oleh Direktorat Frekuensi Radio dan Orbit Satelit, Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi untuk menghindari interferensi antara system PLC dengan sistem komunikasi radio. Saat ini regulasi yang mengatur penggunaan spektrum frekuensi radio yaitu Peraturan Pemerintah No.53 Tahun 2000 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio dan Orbit Satelit serta Keputusan Menteri No.5 Tahun 2001 tentang penyempurnaan tabel alokasi spektrum frekuensi radio Indonesia.^[15]

IV.5. Standarisasi

Usaha pembuatan standarisasi PLC terus dilakukan oleh beberapa organisasi standarisasi baik nasional maupun internasional serta forum-forum industri. Kebanyakan usaha standarisasi yang dilakukan berfokus pada aspek layer physical dan MAC. Berikut ini standarisasi PLC yang dibuat oleh IEEE yaitu :

1. IEEE P1675 standarisasi mengenai *hardware* yang berhubungan dengan saluran distribusi dimana sinyal diinjeksikan. Cakupan standar ini bertujuan untuk menyediakan standar pengetesan dan verifikasi untuk hardware yang umum digunakan, terutama coupler. Standar IEEE P1675 juga menyediakan standar metoda instalasi. Standar ini tidak mencakup repeater/node hardware, transmisi data, protokol, atau aspek internal teknologi PLC.^[16]
2. IEEE P1901 standarisasi mengenai peralatan komunikasi berkecepatan tinggi melalui saluran listrik (dengan kecepatan lebih dari 100 Mbps pada layer physical).^[16]
3. IEEE P1775 standarisasi mengenai peralatan PLC, keperluan EMC (*Electromagnetic Compatibility*) serta metoda pengetesan dan pengukuran.^[16]

IV.6. Potensi Pasar

Pelanggan listrik yang ada di semua wilayah Indonesia merupakan potensi pasar yang potensial bagi layanan akses broadband internet dan telekomunikasi melalui PLC. Realisasi jumlah pelanggan selama tahun 1999 - 2004 mengalami peningkatan dari 25.825.088 pelanggan menjadi 31.055.673 pelanggan atau bertambah rata-rata sebesar 1.046.177 pelanggan tiap tahunnya.^[17] Tabel 6 dan Gambar 4 menunjukkan perkembangan jumlah pelanggan PLN dalam lima tahun terakhir.

TABEL 6. PERKEMBANGAN JUMLAH PELANGGAN LISTRIK (JUTA UNIT)

Pelanggan\Tahun	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2009
Rumah Tangga	25,83	26,79	27,89	28,90	29,99	31,06	37,114
Komersil	0,98	1,06	1,17	1,25	1,31	1,37	1,755
Publik	0,67	0,69	0,73	0,76	0,79	0,84	1,356
Industri	0,04	0,044	0,046	0,047	0,047	0,046	0,0478
Total	27,52	28,59	29,83	30,95	32,15	33,32	40,2728
Delta	1,09	1,07	1,2	1,12	1,19	1,17	6,9528

Pada tahun 2009 jumlah pelanggan PLN sudah mencapai 40,2728 juta dengan rumah tangga merupakan pelanggan utama PLN yaitu sebanyak 37,114 juta pelanggan, sedangkan sisanya yaitu Komersil 1,755 juta, Industri 0,0478 juta, dan Publik 1,356 juta pelanggan.^[18]

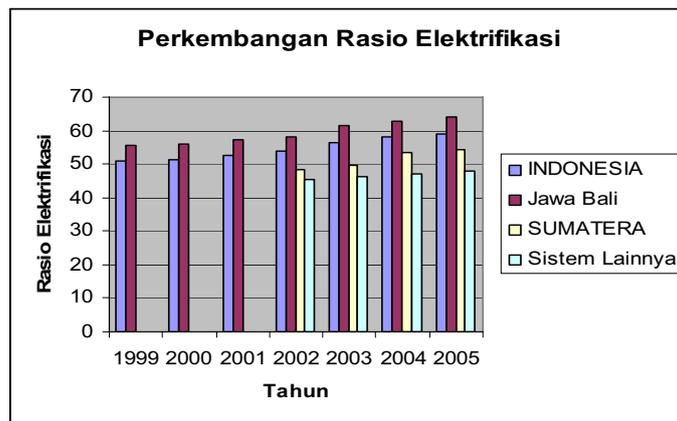


Gambar 4. Jumlah Pelanggan Listrik^[18]

Sedangkan jika dilihat dari rasio elektrifikasi yaitu jumlah rumah tangga yang sudah berlistrik dengan jumlah rumah tangga yang ada. Perkembangan rasio elektrifikasi dari tahun ke tahun mengalami kenaikan yaitu dari 50,8% tahun 1999 menjadi 59,0% pada tahun 2005.^[17] Perkembangan rasio elektrifikasi Indonesia dapat dilihat pada Table 7 dan Gambar 5.

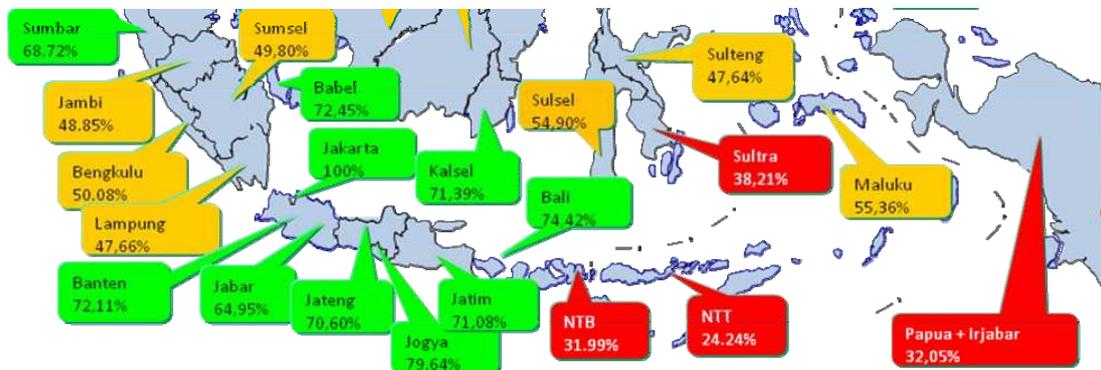
TABEL 7. PERKEMBANGAN RASIO ELEKTRIFIKASI

Daerah/Tahun	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Indonesia	50,8	51,5	52,6	53,7	56,4	58,3	59,0
Jawa Bali	55,4	55,9	57,1	58,3	61,4	63,0	63,9
Sumatera				48,5	49,6	53,5	54,2
Sistem Lainnya				45,4	46,3	47,2	47,8



Gambar 5. Rasio Elektrifikasi^[17]

Data Rasio Elektrifikasi Nasional pada tahun 2009 menunjukkan baru 65%, rasio elektrifikasi tiap propinsi dapat dilihat pada Gambar 6^[19] di bawah ini.

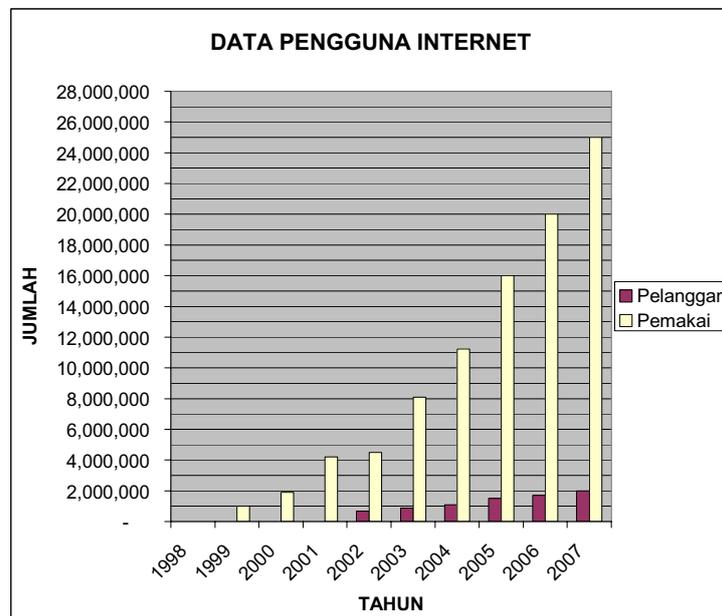


Gambar 6. Rasio Elektrifikasi Nasional Tahun 2009 (Sumber: ESDM)

Trafik demand dapat dilihat dari data pengguna internet. Menurut perkiraan resmi dari APJII terhadap jumlah pelanggan dan pemakai internet selama ini dan perkiraan sampai akhir tahun 2007 adalah sesuai dengan Tabel 8 dan Gambar 7 berikut ini:

TABEL 8. PENGGUNA INTERNET^[20]

Tahun	Pelanggan	Pemakai
1998		512.000
1999		1.000.000
2000		1.900.000
2001		4.200.000
2002		4.500.000
2003	865.706	8.080.534
2004	1.087.428	11.226.143
2005	1.500.000	16.000.000
2006	1.700.000	20.000.000
2007	2.000.000	25.000.000

Gambar 7. Data Pengguna Internet^[20]

Meningkatnya jumlah pelanggan/pemakai listrik dan internet, merupakan kesempatan bagi teknologi PLC untuk menyediakan akses telekomunikasi dan internet melalui jaringan listrik.

IV.7. Perbandingan Teknologi PLC dengan Teknologi lain

Perbandingan teknologi PLC dengan teknologi broadband lain ditunjukkan pada Tabel 9.

TABEL 9. PERBANDINGAN PLC DENGAN TEKNOLOGI BROADBAND LAIN

	PLC	ADSL	HFC	FWA
CAPEX per Client	Rendah-Tinggi	Rendah-Sedang	Tinggi	Tinggi
Kapasitas dan layanan	Baik	Baik	Baik	Baik
<i>Speed of roll out</i>	Baik	Baik	Kurang	Baik
<i>Provisioning</i>	Cukup	Cukup	Cukup	Kurang
Regulasi	Kurang	Baik	Sangat Baik	Cukup
Kedewasaan teknologi dan standarisasi	Kurang	Cukup	Baik	Cukup

Biaya *capital expenditure* per client tergantung jumlah pelanggan PLC. Kapasitas dan layanan, *speed of roll out* dan *provisioning* PLC tergolong baik dan cukup. Namun dari segi regulasi, kedewasaan teknologi dan standarisasi tergolong kurang.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- PLC mempunyai potensi pasar yang sangat besar dengan jangkauan yang luas, karena pelanggan PLC berasal dari pelanggan listrik. Pelanggan listrik di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, pelanggan listrik pada akhir tahun 2009 sudah mencapai 40,2728 juta pelanggan. Selain itu trafik demand dapat dilihat dari data pengguna internet yang terus meningkat dari tahun ke tahun, dimana pada akhir tahun 2007 pemakai internet mencapai 25 juta.
- Perhitungan biaya untuk 10 pelanggan per trafo dilakukan dengan hanya memperhitungkan biaya peralatan PLC dan biaya uplink. Dari hasil perhitungan, biaya *capital expenditure per* pelanggan sebesar Rp.2.208.000,- dan biaya *operational expenditure per* pelanggan dengan bandwidth 384 kbps sebesar Rp. 1.850.000,-. Biaya akses telekomunikasi dan internet melalui PLC masih sangat mahal jika dibandingkan dengan teknologi broadband lain. Faktor kunci supaya akses internet melalui jaringan PLC dapat berjalan dengan baik yaitu dari segi jumlah pelanggan PLC per transformator dan biaya peralatan PLC.
- Saat ini interferensi masih menjadi permasalahan utama. Radiasi gelombang elektromagnetik yang diakibatkan oleh sistem access PLC masih melebihi batas radiasi yang ditetapkan pada FCC part 15.209. FCC part15.209 menetapkan batas radiasi untuk sistem access PLC yang bekerja pada band frekuensi 1,7 hingga 30 MHz melalui jaringan listrik tegangan menengah sebesar 30 uV/m, sedangkan radiasi yang diakibatkan oleh sistem access PLC lebih besar dari 30 uV/m. Namun masalah interferensi masih bisa diatasi melalui pengaturan alokasi frekuensi dan secara teknik yaitu dengan menggunakan kabel listrik *shielded cable* atau menggunakan kabel listrik bawah tanah, serta menggunakan jaringan wireless sebagai *backhaul*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____, Powerline Communications Primer, <http://www.lonestarbroadband.org/technology/powerlines.htm>, diakses tanggal 8 Maret 2007.
- [2] _____, Introduction to Powerline Communications, Powerline Networking, <http://plc.qcslink.com/IntroPLC/PLCmain.htm>, diakses tanggal 8 Maret 2007.
- [3] K. Dostert, *Powerline Communications*, New Jersey: Prentice Hall PTR, 2001
- [4] D.W.I. Raden, "Simulasi Teknik Modulasi OFDM untuk aplikasi Powerline Communication menggunakan prosesor DSP TMS 320C6701", Tugas Akhir S1, Institut Teknologi Bandung, 2003.
- [5] A. P. Shirazi, (2006), "Broadband Access and Home Networking Through Powerline Networks", A thesis in Electrical Engineering, The Pennsylvania State University, 2006.
- [6] A. D. Little, White Paper on PowerLine Communications (PLC) 2004.
- [7] _____, Deployment of Powerline Communications Systems in Malaysia, Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia, 2005.
- [8] <http://10layers.com>, diakses tanggal 21 April 2007.
- [9] <http://www.komputeraktif.com>, diakses tanggal 5 Agustus 2006.

- [10] A. Sakai, *Internet Service over Power Lines in Japan: Costs and Policy Implications*, Technology and Policy, MIT, 2003.
- [11] <http://www.telkomspeedy.com>, diakses tanggal 10 Desember 2010.
- [12] <http://www.arrl.org>, diakses tanggal 10 Desember 2010.
- [13] <http://reast.asn.au>, diakses tanggal 10 Desember 2010.
- [14] T. Cokenias, *Networking over powerlines: EMC Considerations*, IEEE SCV EMC Society, 2004.
- [15] <http://www.postel.go.id>, diakses tanggal 23 Maret 2007.
- [16] J. L. Jae, S. H. Choong, M. K. Joon, and W. K. H. James, *Power line communication network trial and management in Korea*, *International journal of network Management*, 2006.
- [17] <http://www.pln.co.id>, diakses tanggal 10 Desember 2010.
- [18] <http://kadekadokura.wordpress.com>, diakses tanggal 16 Desember 2010.
- [19] F. Mochtar, *Tantangan dan Kendala Pemenuhan Kebutuhan Tenaga Listrik Nasional*, Materi Kuliah Umum Di Institut Teknologi Bandung, 2009
- [20] <http://www.apjii.or.id>, diakses tanggal 10 Desember 2010.