

JARINGAN MIKRO ARUS SEARAH (*DC MICROGRID*) SEBAGAI UPAYA KETERSEDIAAN ENERGI LISTRIK DALAM PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN

Budiyanto¹

yan.budiyanto@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Jakarta

Rudy Setiabudy²

rudy@eng.ui.ac.id

Jurusan Teknik Elektro

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Pengembangan sumber energi terbarukan merupakan pengembangan sumber energi yang potensial, seperti tenaga angin, matahari, dan sel bahan bakar hidrogen. Pembangkit listrik terdistribusi memberikan solusi atas penggunaan jaringan listrik mikro arus searah (JLMAS), Pengembangan JLMAS akan memberikan kontribusi dalam pengembangan distribusi pembangkitan dari beberapa energi terbarukan dalam mengatasi ketersediaan energi listrik. JLMAS merupakan gabungan dari beberapa energi terbarukan yang menyuplai ke jaringan mikro, yang dapat bekerja bersamaan dengan jaringan distribusi utama melalui konverter dua arah (Bidirectional Converter DC-AC) maupun bekerja sendiri dalam jaringan listrik mikro arus searah, makalah ini menjelaskan konsep JLMAS yang dapat diterapkan dalam sistim jaringan distribusi dari beberapa energi terbarukan

Kata kunci : jaringan listrik mikro arus searah, energi terbarukan, pembangkit listrik terdistribusi, konverter dua arah, energi listrik

I. Pendahuluan

Seiring dengan peningkatan kebutuhan energi listrik maka perlu adanya sumber energi yang memadai, lebih – lebih mengingat kandungan sumber energi fosil tidak dapat diperbaharui, energi terbarukan akan menjadi solusi untuk mengatasi keberlangsungan akan kebutuhan energi listrik, hal ini juga akan berdampak pada pengurangan gas emisi (CO₂). Pengembangan sumber energi terbarukan merupakan sumber energi potensial seperti angin, matahari, dan sel bahan bakar hal ini dapat memberikan kontribusi dalam ketersediaan tenaga listrik.

Ekonomi, teknologi, dan lingkungan telah mengubah pola pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Pola pembangkitan energi listrik sudah mulai berubah dari pola sentralisasi menjadi pola yang lebih kecil, yaitu pola terdistribusi, hal ini untuk mengurangi adanya rugi-rugi secara ekonomi yang cukup besar.

Jaringan listrik mikro (*Microgrid*) merupakan salah satu pola pembangkitan terdistribusi yang bisa melingkupi berbagai macam sumber energi, mulai dari sumber fosil, maupun sumber energi terbarukan seperti angin, matahari, biogas.

Konsep jaringan listrik mikro (*microgrid*) pertama dikembangkan oleh R.H.Lassete pada 2002, yaitu merupakan pola pembangkitan terdistribusi yang melingkupi berbagai macam sumber energi, mulai dari sumber energi fosil, maupun sumber energi terbarukan seperti: sel surya, angin, dan biogas. Jaringan listrik mikro merupakan sistem jaringan interkoneksi dari berbagai macam sumber energi yang terdistribusi kedalam suatu jaringan kecil yang dapat beroperasi secara mandiri maupun terhubung ke jaringan jaringan utama (PLN) [1,2].

Jaringan listrik mikro arus searah (JLMAS) adalah suatu jaringan yang disuplai oleh beberapa pembangkit terdistribusi (*distributed generation/DG*) yang berskala kecil, jaringan listrik mikro terletak di sekitar pusat beban, yang dapat memenuhi kebutuhan sendiri dan dapat mensuplai ke jaringan utama dengan memperhatikan kesetabilan dan

keandalan sistem yang ada [3]. Beberapa tahun terakhir jaringan listrik mikro arus searah telah diusulkan untuk menandingi jaringan listrik arus bolak balik [4]. Beberapa keuntungan dari jaringan listrik mikro arus searah [5]:

- Efisiensi yang tinggi; Jaringan listrik mikro arus searah dapat mengurangi tahap konversi dari konverter sehingga mempunyai efisiensi yang tinggi.
- Stabilitas yang lebih baik; Tidak dibutuhkan sinkronisasi yang menyebabkan osilasi seperti pada jaringan listrik mikro arus bolak – balik.
- Kualitas daya yang baik; Jaringan listrik mikro arus searah tidak mengirimkan daya reaktif sehingga kualitas daya lebih baik.
- Kehandalan yang tinggi; Jaringan listrik mikro arus searah mempunyai komponen yang lebih sedikit, sehingga memiliki waktu yang lebih singkat bila sistem mengalami kegagalan hal ini menjadikan sistem mempunyai keandalan yang tinggi.

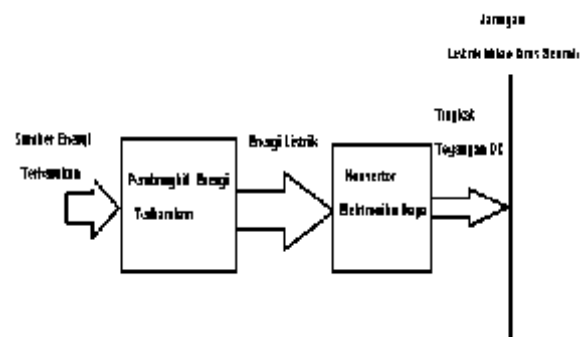
Jaringan listrik mikro arus searah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang meningkat seiring dengan pengembangan sistem jaringan mikro. Jaringan listrik mikro akan ekonomis bila digunakan untuk memasok daya listrik di daerah yang terisolasi seperti, pegunungan dan daerah terpencil. Jaringan listrik mikro arus searah dapat menghilangkan konverter DC-AC atau AC –DC sehingga didapat efisiensi yang tinggi, biaya yang rendah dan jarak jaringan yang pendek.

JLMAS menggunakan pembangkit yang ramah lingkungan dengan menggunakan sumber arus searah, demikian juga pada peralatan – peralatan beban juga menggunakan arus searah seperti pada peralatan elektronik dan digital. Sistem jaringan

listrik mikro arus searah dibangun seperti layaknya sistem tenaga listrik yang ada, bagian dari sistem jaringan listrik mikro terdiri dari [6]:

- Pembangkit tenaga atau pembangkit terdistribusi
- Konverter
- Beban
- Unit penyimpanan energi
- Jaringan transmisi
- Sistem pengendali dan saluran komunikasi

Diagram jaringan listrik mikro arus searah dapat dilihat seperti pada Gambar 1. di bawah ini



Gambar 1. Diagram Jaringan Listrik Mikro Arus Searah [6]

2. Pembangkit Terdistribusi

Kebijakan tentang lingkungan terhadap utilitas listrik pada abad 21 merupakan sebuah tantangan dan sebuah kesempatan untuk pengembangan teknologi dan operasi kerja utilitas listrik. Hal ini akan memicu minat terhadap pembangkit terdistribusi (*distributed generation/DG*) untuk tahun-tahun mendatang. Perubahan struktur utilitas listrik telah membuka pintu persaingan pasar pembangkit dan pendistribusian tenaga listrik. Utilitas listrik sekarang mencari teknologi terbaru untuk menyediakan kualitas daya yang bagus dan handal untuk para pelanggannya. Pilihan pada pembangkit tenaga listrik non-konvensional skala kecil sekarang menjadi lebih menarik perhatian bagi utilitas listrik karena teknologi ini menghasilkan energi listrik dengan dampak pencemaran lingkungan yang rendah, mudah penggunaannya dilapangan, dan sangat efisien.

Model pembangkit terdistribusi seperti sel surya, turbin angin, sel bahan bakar, dan mikro turbin dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam sistem tenaga listrik, jenis pembangkit distribusi tidak membutuhkan investasi yang besar, rugi – ruginya kecil, efisiensi tinggi dan kehandalan yang tinggi. Pembangkit ini dapat digunakan pada jaringan listrik mikro yang dianggap sebagai teknik penyelesaian struktur jaringan utama yang rumit, dan merupakan bagian dari penyalur daya ke jaringan utama. Pembangkit terdistribusi mempunyai kelemahan yaitu kapasitas pembangkitnya kecil dibanding dengan pembangkit konvensional. Kelemahan ini dapat dipecahkan dengan memasang beberapa pembangkit distribusi kedalam jaringan listrik mikro yang dapat dihubungkan ke jaringan utama. Jaringan listrik mikro bukan bagian dari jaringan utama, karena bila jaringan utama di suplai oleh pembangkit distribusi maka akan timbul hubung singkat, persolan monitoring real-time, dan pengendali sistem. Untuk mengatasi persoalan tersebut dibuatlah bus arus searah (DC bus) untuk menggabungkan suplai pembangkit terdistribusi, gabungan dari beberapa pembangkit distribusi kedalam jaringan kecil disebut jaringan listrik mikro arus searah. [7].

Sistem DG dapat menggunakan sumber energi terbarukan maupun sumber energi konvensional. Teknologi yang menggunakan sumber-sumber energi konvensional antara lain turbin gas, dan mikro-turbin. Perhatian terhadap perubahan iklim global, efek rumah kaca, dan dampak lingkungan yang bersih menjadikan ketertarikan terhadap sistem DG dari energi terbarukan banyak diminati. Saat ini kemajuan teknologi membuat persaingan harga antara teknologi energi terbarukan dengan teknologi konvensional. Banyak macam

teknologi baru dari DG yang menggunakan sumber energi terbarukan, saat ini sumber energi terbarukan yang mempunyai prospek menjanjikan yaitu sistem konversi tenaga angin ke listrik (*Wind electric conversion system* WECS), sistem geotermal (panas bumi), sistem *solar-thermal-electric*, sistem *photovoltaic* (PV), dan sistem sel bahan bakar.[8].

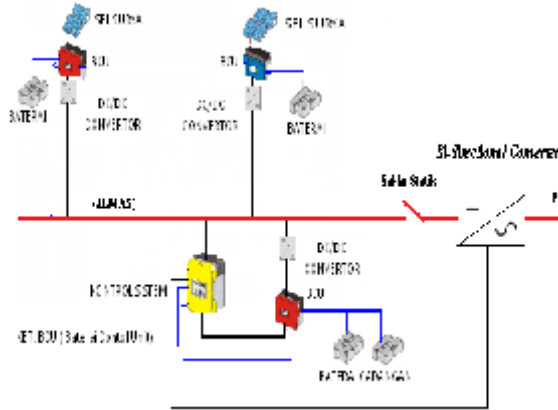
Penggunaan sistem pembangkit DG pada jaringan distribusi yang ada, akan memberikan keuntungan terhadap utilitas listrik, pelanggan, dan masyarakat [9]

- a. Keuntungan terhadap utilitas listrik adalah antara lain mengurangi rugi-rugi pada jaringan dan rugi-rugi pada transformator serta mengurangi dampak terhadap lingkungan, mengurangi gangguan pada sistem transmisi dan distribusi, meningkatkan kehandalan sistem, meningkatkan kualitas daya, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.
- b. Keuntungan terhadap pelanggan atas penggunaan sistem DG adalah mendapatkan kualitas daya yang baik dan handal dengan biaya yang lebih murah dan dengan dampak polusi terhadap lingkungan yang sedikit.

Dan keuntungan terhadap masyarakat secara keseluruhan dari penggunaan DG yaitu lingkungan yang lebih baik, produktivitas yang tinggi, dan efisien dalam menggunakan sumber energi yang tersedia

3. Perancangan JLMAS

Penelitian ini membuat suatu rancang bangun (prototype) jaringan listrik mikro arus searah (JLMAS) yang dilengkapi dengan sistem pengendali terkoordinasi dari masing – masing pembangkit, pembangkit yang digunakan terdiri dari dua sumber energi terbarukan dan satu buah unit baterai cadangan (storage battery), sedangkan apabila baterai cadangan mengalami kekurangan energi maka PLN mensuplai JLMAS dan baterai cadangan. Diagram JLMAS dapat dilihat pada Gambar 2

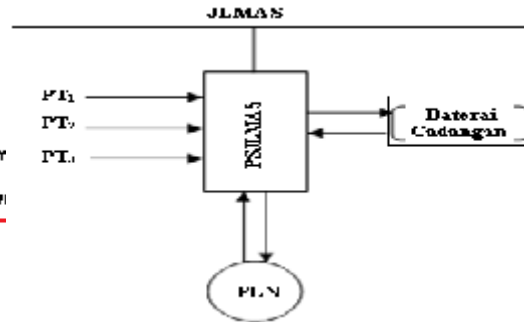


Gambar 2. Diagram JLMAS

Sistem ini terdiri dari :

- 2 (dua) pembangkit energi terbarukan yaitu sel surya.
- 3 (tiga) unit pengendali pengisi baterai (*battery control unit*).
- 1 (satu) unit pengendali jaringan listrik mikro arus searah (PSJLMAS)
- 1 (satu) unit baterai cadangan (*battery storage*)
- 3 (tiga) unit konverter DC-DC
- 1 (satu) unit konverter dua arah (*Bi-directional converter*)

Dalam penelitian ini energi terbarukan yang digunakan sebagai pembangkit adalah sel surya dimana fungsinya sebagai pembangkit listrik tenaga matahari, untuk mengatur pengisian baterai dan suplai beban digunakan unit pengendali baterai (*battery control unit*), sedangkan untuk menaikkan tegangan arus searah digunakan konverter DC-DC dari 12 Vdc- 254 Vdc, bila baterai cadangan mengalami kekurangan pasokan dari energi terbarukan maka melalui konverter dua arah akan disuplai dari PLN sedangkan bila kelebihan pasokan energi akan dikirim ke PLN. Sistem kerja JLMAS dapat dikendalikan secara terintegrasi sehingga keandalan sistem dapat terjamin dari pasokan daya listrik. Kerja dari JLMAS dapat dilihat pada blok diagram Gambar 3.

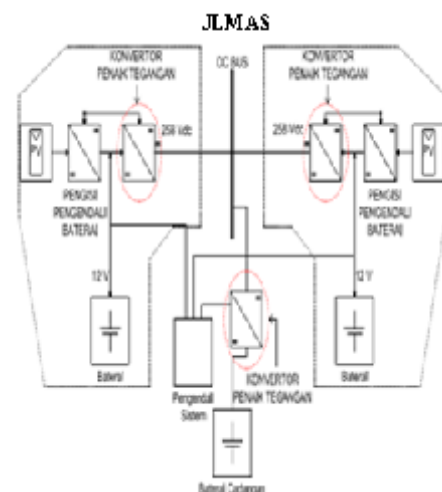


Gambar 3. Sistem Kerja JLMAS

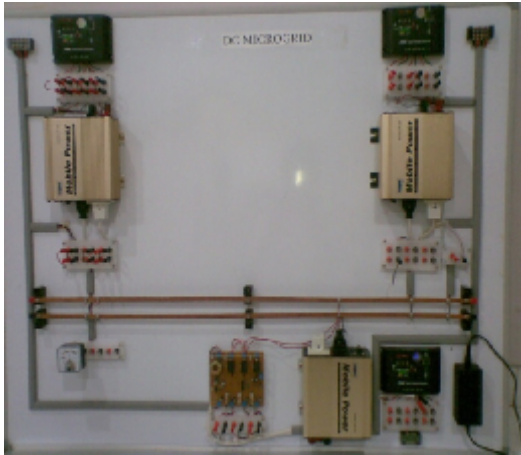
Dimana :

- PT₁ = Keluaran tegangan baterai sel surya 1
- PT₂ = Keluaran tegangan baterai sel surya 2
- PT₃ = Keluaran tegangan baterai cadangan
- PSJLMAS = Pengendali sistem jaringan listrik mikro arus searah

Sistem Jaringan JLMAS dibangkitkan oleh dua buah sumber energi terbarukan yaitu sel surya dan satu baterai cadangan. Sistem JLMAS ini dilengkapi dengan sistem pengendali agar pasokan daya listrik pada JLMAS tetap mendapat suplai daya, walaupun salah satu atau dua sumber energi terbarukan mengalami penurunan pasokan energi atau kegagalan. Sistem JLMAS akan tetap tersuplai oleh baterai cadangan sehingga JLMAS tetap beroperasi. Bilamana baterai cadangan mengalami kekurangan pasokan energi maka PLN akan mensuplai JLMAS, implementasi dari sistem JLMAS dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5



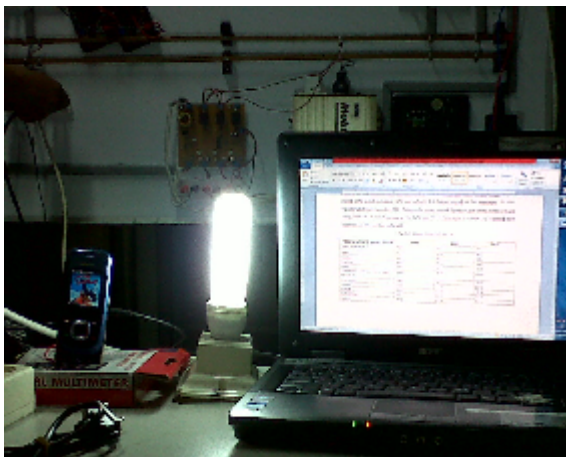
Gambar 4. Skema rangkaian JLMAS



Gambar 5. Prototype JLMAS

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Beban yang digunakan dalam pengujian JLMAS adalah beban yang di gunakan dalam sistem arus bolak – balik yaitu beban jenis adaptor swiching (*switch mode power supply* /SMPS), beban – beban ini bekerja dalam batas tegangan 100 – 240 Vac, seperti Gambar 6. Hasil pengamatan jenis beban- beban dapat bekerja dengan baik pada tegangan konstan



Gambar 6. Beban – beban SMPS

Dalam experimen ini sel surya disimulasikan dengan menggunakan power suplai yang mensuplai beban dan mengisi baterai melalui unit pengisi baterai (BCU), beban yang digunakan adalah lampu hemat energi yang dinaikan arusnya mulai dari 0,03 A sampai 0,35 A, Hasil tegangan dan arus pada masing – masing pembangkit sel surya 1 dan sel surya

2, serta pada baterai cadangan dapat di lihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

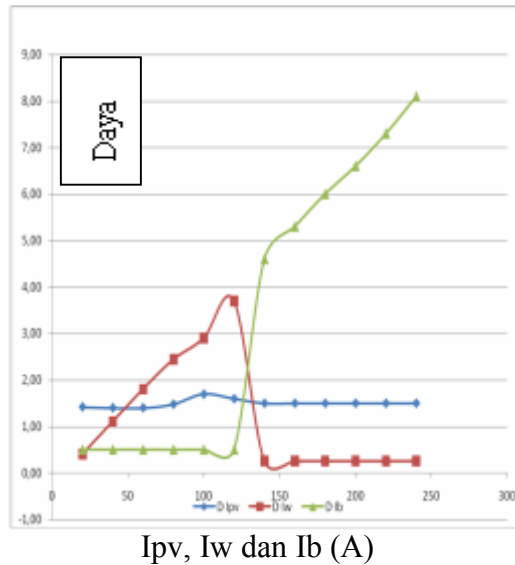
Tabel 1. Arus dan Tegangan Baterai Cadangan

Beban (W)		Baterai Cadangan	
Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
0,03	253,4	0,5	13
0,06	253,4	0,5	13
0,09	253,4	0,5	13
0,11	253,4	0,5	13
0,15	253,4	0,5	13
0,17	253,4	0,5	13
0,2	254,7	4,6	13
0,23	254,7	5,3	13
0,26	254,6	6	13
0,29	254,6	6,6	13
0,32	254,6	7,3	13
0,35	254,6	8,1	13

Tabel 2. Arus dan Tegangan Pada Sel Surya

Sel surya 1		Sel surya 2	
Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1,42	12,51	0,4	13,54
1,4	12,52	1,1	12,8
1,4	12,53	1,8	12,4
1,48	12,49	2,44	12,15
1,7	12,61	2,9	12,15
1,6	12,58	3,7	11,8
1,5	12,62	0,25	13,05
1,5	12,62	0,25	13,32
1,5	12,59	0,25	13,4
1,5	12,57	0,25	13,43
1,5	12,56	0,25	13,41
1,5	12,55	0,25	13,36

Dari hasil simulasi tersebut didapatkan Grafik dari ketiga sumber, sel surya 1 (I_p), sel surya 2 (I_w) dan baterai cadanga (I_{bc}), seperti terlihat dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik P Vs Ipv,Iw, Ibc

Dari hasil eksperimen yang ditunjukkan dalam Tabel 2, dan Gambar 7 bahwa sel surya 1 mensuplai beban relatif konstan, hal ini dikarenakan kemampuan dari power suplai konstan, dan kapasitas baterai juga maksimum, sehingga mampu untuk mensuplai beban dan baterai. Pengendali akan bekerja apabila baterai pada sel surya mengalami penurunan sampai 10 V, sehingga baterai cadangan akan bekerja.

Sedangkan pada sel surya 2 kemampuan dari power suplai mengalami penurunan, dan beban bertambah besar melebihi kemampuan power suplai, sehingga baterai pada turbin juga mensuplai beban, saat penurunan tegangan baterai mencapai 10 V, maka terdeteksi oleh sensor tegangan meskipun waktunya relatif singkat, sehingga baterai cadangan bekerja. Baterai cadangan tetap akan mensuplai ke JLMAS sampai tegangan pada baterai turbin angin mencapai batas atas dari setting yaitu sebesar 13,6 V.

Tegangan dari JLMAS yang dihasilkan dalam Tabel 1. relatif konstan dari berbagai kondisi hal ini dikarenakan pada konverter DC tegangan masukan 10 – 13 Vdc menghasilkan tegangan keluaran

konstan sebesar 254 Vdc, sehingga perlu dijaga tegangan sisi masukan konverter. Dengan adanya sistem pengendali yang menjaga tegangan masukan pada konverter maka tegangan keluaran atau JLMAS menjadi konstan.

5. Simpulan

Sistem JLMS akan membuka peluang dalam pengembangan energi terbarukan, mengingat sumber energi terbarukan lebih banyak menghasilkan tegangan arus searah.

Penggunaan konverter dc-dc akan menghemat luasan sel surya yang dibutuhkan karena berfungsi menaikkan tegangan sel surya yang lebih besar.

Tegangan arus searah yang dihasilkan dari pembangkit energi terbarukan akan lebih mudah di paralel dengan jaringan listrik mikro arus searah, sehingga tidak perlu sinkronisasi. Dengan adanya konverter dua arah maka JLMAS dapat bekerja berdampingan dengan sistem jaringan listrik mikro arus bolak-balik. Tegangan yang dihasilkan dalam sistem JLMAS konstan, yaitu sebesar 254 Vdc, karena dijaga oleh keluaran konverter dc-dc.

6. Daftar Pustaka

1. Lasseter, R.,(2002), MicroGrids. IEEE PES Winter Meeting,. Vol.1, pp.305-308
2. Lasseter, R.H.; Paigi, P.,(2004), Microgrid: A Conceptual Solution. Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual. German 20-25 June 2004. Vol.6, pp.4285-4290
3. Xiaofeng Sun; Zhizhen Lian;Baocheng Wang; Xin Li," A Hybrid Renewable DC Microgrid Voltage Control" . Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPERC '09. IEEE 6th International, 2009. Page(s): 725 - 729
4. Kakigano, H.; Miura, Y.; Ise, T.; Configuration and control of a DC microgrid for residential houses "Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009 Digital Object Identifier:10.1109/TDASIA.2009.5356837 Publication Year: 2009 , Page(s): 1 – 4

5. DC zonal micro-grid architecture and control, IEEE,2008
6. Piotr Biczal; Lukas Michalski," Simuling Model of Power Electronic Converters for DC Microgrid Simulation, ' . Power Quality, Alternative Energy and Distributed System, IEEE 2009
7. Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise and Ryohei Uchida,DC Micro-grid for Super HighQualityDistribution-System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices". 37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Korea, 2006, pp. 3148-3154
8. Ramakumar.R.Chiradeja.P.,”Distri buted Generation and Renewable Energy Systems,” Energy Conversion Engineering Conference, 2002. IECEC '02. 2002 37th .
9. Chiradeja, P.. and Ramakumar, R. "Benefits of Distributed Generation-A Simple Case Study." Paper presented at 32* Annual Frontiers of Power Conference, Stillwater, OK, pp. X 1-9, October 1999