

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan judul tugas akhir yang diambil, terdapat beberapa referensi-referensi serupa yang telah diteliti sebelumnya. Referensi-referensi yang telah diambil lalu digunakan untuk jadi bahan pertimbangan masalah-masalah yang nanti akan muncul. Adapun referensi yang telah ambil adalah sebagai berikut

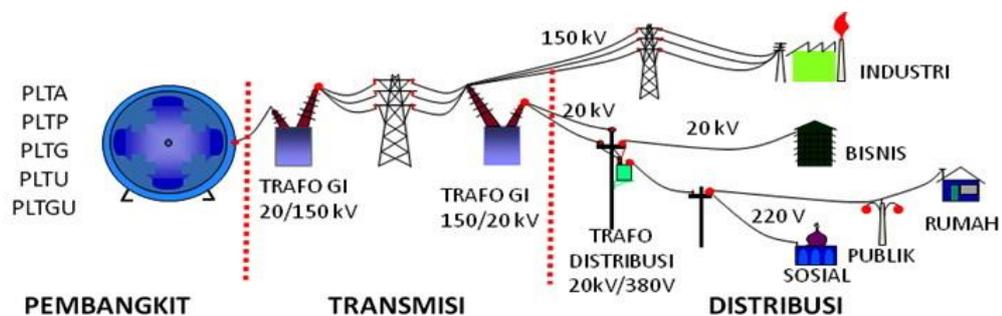
1. Henki Projo Wicaksono, dkk ITS (2012) *Analisis Keandalan Sistem Distribusi Di PT. PLN (PERSERO) APJ Kudus Menggunakan Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program) Dan Metode Section Technique*. Menjelaskan tentang SAIFI, SAIDI dan CAIDI yang mana ketiganya ialah teknik perhitungan yang digunakan untuk menentukan keandalan suatu sistem distribusi.
2. Aditya Teguh Prabowo, dkk UNDIP *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pekalongan 8 dan 11*. Menjelaskan bahwa Frekuensi Gangguan (*Failure Rate*) Dalam masa kerjanya, suatu komponen atau sistem akan mengalami berbagai kerusakan atau kegagalan dalam pengoperasiannya. Kerusakan-kerusakan tersebut akan memberi dampak pada performa kerja dan efisiensinya.
3. Rizky Pratama Putra, dkk ITS (2012) *Analisa Penempatan Distributed Generation Pada Jaringan Distribusi 20 kV*. Menjelaskan bahwa penggunaan Distributed Generation pada jaringan dapat mempengaruhi faktor daya pada jaringan serta gangguan apa saja bisa terjadi agar dapat dilakukan pencegahan
4. Sam, Alimuddin, dkk Universitas Tadulako (2005) *Studi Potensi Energi Angin di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik*. Menjelaskan bahwa energi angin adalah salah satu dari beberapa energi terbarukan, dan menjelaskan berapa besar potensi energi angin untuk membangkitkan tenaga listrik di kota Palu

5. Sunanda, Wahri Universitas Bangka Belitung (2013) *Perbaikan Keandalan Sistem distribusi Melalui Pemasangan Distributed Generation*. Menjelaskan bahwa perbaikan keandalan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya ialah dengan membangun pembangkit-pembangkit skala kecil dan menengah pada sistem distribusi.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa bagian, bagian yang pertama yaitu pembangkitan. Pada pembangkitan terjadi konversi energi dari sumber energi tertentu menjadi energi listrik, sumber energi itu terbagi lagi menjadi dua yaitu sumber energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi, dan batu bara lalu ada sumber energi yang dapat diperbaharui seperti energi angin, energi air, dan cahaya matahari. Bagian selanjutnya adalah saluran transmisi, saluran transmisi adalah penghubung antara pusat pembangkitan listrik dan saluran distribusi, pada saluran transmisi energi listrik disalurkan dengan media penghantar kabel, terdapat dua macam saluran transmisi yaitu transmisi saluran udara, dan transmisi saluran bawah tanah. Untuk saluran udara, penghantar kabel digantungkan pada menara transmisi. Lalu terdapat saluran distribusi yang berfungsi sebagai media penyalur energi listrik dari saluran transmisi menuju konsumen atau beban.



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

2.2.2 Gardu Induk

Gardu induk adalah sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan mempertimbangkan pertimbangan teknis, estetika, serta ekonomis.

Gardu induk berdasarkan pemasangan peralatan, yaitu:

1. Gardu Induk Pasangan Luar

Gardu induk jenis ini peralatan tegangan tinggi yang ditempatkan atau dipasang di luar bangunan, tetapi terdapat beberapa peralatan yang tetap berada di dalam bangunan seperti baterai, dan panel kontrol. Gardu induk pasang luar tidak membutuhkan banyak biaya konstruksi.

2. Gardu Induk Pasangan Dalam

Gardu induk jenis ini memiliki peralatan tegangan tinggi yang ditempatkan di dalam suatu bangunan, seperti transformator, switchgear, baterai, dan panel kontrol. Penggunaan gardu induk pemasangan dalam bertujuan untuk menyelaraskan dengan daerah sekitar, khususnya di daerah perkotaan.

3. Gardu Induk Setengah Pasangan Luar (*Semi Outdoor Substation*)

Sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar hal ini dilakukan karena mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe gardu induk ini disebut juga gardu induk semi pasangan dalam.

Berdasarkan tegangan, gardu induk dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

1. Gardu induk transmisi

Gardu induk transmisi ialah gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban. Tegangan nominal

pada gardu induk transmisi ini adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 70 KV.

2. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi ialah gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, atau 6 kV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V).

Menurut fungsinya, gardu induk dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu:

1. Gardu induk penaik tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (*generator*) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

2. Gardu induk penurun tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan dilayani.

3. Gardu induk pengatur tegangan

Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi jatuh tegangan transmisi yang cukup besar. Oleh karena itu diperlukan alat penaik tegangan seperti capacitor bank, sehingga profil tegangan dapat diperbaiki.

4. Gardu induk pengatur beban

Berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau beban.

5. Gardu distribusi

Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

2.2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik ialah sistem yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik besar ke konsumen. Sistem jaringan distribusi dibagi menjadi 2 yaitu jaringan distribusi primer dengan tegangan kerja 20 kV dan jaringan distribusi sekunder dengan tegangan kerja 380 V atau 220 V. Sistem distribusi tenaga listrik harus dapat menyalurkan tenaga listrik secara kontinu dan juga handal, dan terdapat beberapa faktor pemilihan penyaluran tenaga listrik yang harus diperhatikan, faktor tersebut ialah:

1. Faktor kelayakan
2. Faktor tempat
3. Kelayakan

2.2.3.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer adalah bagian dari sistem tenaga listrik. Proses penurunan tegangan pada sistem jaringan distribusi primer awalnya terjadi pada gardu induk sub transmisi, yang mana level tegangan diturunkan dari tegangan 500kV ke tegangan 150kV atau ke sistem 70kV setelah itu tegangan kembali diturunkan ke level tegangan 20kV, level tegangan inilah yang disebut sebagai level tegangan distribusi primer. Jaringan distribusi primer memiliki penyaluran daya listrik yang diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)
2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)
3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Saluran distribusi SKTM dan SUTM memiliki perbedaan yaitu jika SKTM dipasang di dalam tanah, sedangkan SUTM dipasang menggunakan tiang-tiang atau melalui udara. Terdapat beberapa pertimbangan untuk melakukan pemasangan atau pembangunan SKTM, pertimbangannya yaitu:

1. Pertimbangan estetika Kota
2. Pertimbangan pemilihan ruang kosong

2.2.3.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder ialah bagian dari jaringan distribusi primer, jaringan distribusi sekunder rating tegangannya diturunkan dari 20kV ke tegangan rendah 380 V atau 220 V. Terdapat dua jenis sistem penyaluran daya pada jaringan distribusi sekunder, dua jenis sistem penyaluran tersebut adalah:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Penghantar yang digunakan pada saluran ini ialah kawat yang memiliki isolasi yang mirip dengan LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Transmisi SUTR langsung memasok kebutuhan listrik tegangan rendah ke konsumen, tegangan nominal SUTR di Indonesia saat ini ialah 220/380 Volt.

2. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Saluran ini memiliki fungsi yang sama seperti SUTR yaitu untuk memasok kebutuhan listrik tegangan rendah ke konsumen, perbedaannya dengan SUTR ialah jika menggunakan SUTR sebenarnya dari segi jarak aman/ ruang bebas (ROW) tidak ada masalah, hal ini karena SUTR menggunakan kabel atau penghantar yang memiliki isolasi. Namun SKTR dapat digunakan karena mempertimbangkan:

1. Sistem transmisi tegangan menengah yang ada, misalnya karena menggunakan transmisi SKTM.
2. Faktor estetika.

2.2.4 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi

Konfigurasi jaringan distribusi primer adalah salah satu faktor untuk menentukan baik buruknya mutu pelayanan yang diberikan ke pelanggan, terutama kontinuitas pelayanan. Terdapat beberapa jenis konfigurasi jaringan primer yang dapat digunakan pada jaringan distribusi, jenis jenis konfigurasi tersebut ialah:

1. Jaringan Distribusi Pola Radial.

Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.

2. Jaringan Distribusi Pola Loop

Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial).

3. Jaringan Distribusi Pola Mesh

Jaringan distribusi pola mesh biasanya digunakan di kota-kota besar, hal ini dikarenakan kota-kota besar memiliki beban yang cukup rapat. Pola mesh mempunyai saklar yang berfungsi untuk memutus beban, serta pola mesh memiliki penyulang cadangan yang berfungsi untuk menyuplai energi listrik jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang.

4. Jaringan Distribusi Pola Spindle

Jaringan distribusi pola spindle adalah hasil modifikasi dari pola loop dan pola radial. Pola ini memiliki beberapa penyulang yang disuplai oleh suatu gardu induk dan ujung dari penyulang tersebut terhubung oleh gardu hubung. Penyulang pada jaringan pola spindle dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Penyulang kerja

Penyulang ini berfungsi untuk memasok daya listrik dari sumber pembangkit ke konsumen, maka dari itu penyulang ini beroperasi dalam keadaan sudah terbebani oleh beban dari konsumen.

b. Penyulang cadangan

Penyulang ini menghubungkan gardu induk langsung ke gardu hubung dan tidak dibebani oleh gardu distribusi. Pada keadaan normal, penyulang cadangan hanya beroperasi untuk menyuplai penyulang yang mengalami gangguan melalui gardu hubung

2.2.5 Gangguan Sistem Distribusi

Sistem distribusi memiliki kendala-kendala yang dapat mengganggu kualitas juga kontinuitas pelayanan ke pelanggan, hal ini menyebabkan rele proteksi melakukan tugasnya yaitu membuka rangkaian circuit breaker yang mengakibatkan suplai tenaga listrik ke pelanggan terputus. Gangguan pada saluran distribusi yang sering terjadi ialah pada saluran distribusi yang melewati udara bebas, hal ini terjadi karena pada umumnya saluran distribusi yang

melewati udara ini tidak menggunakan isolasi. Ada dua jenis gangguan pada sistem distribusi, kedua jenis gangguan itu ialah:

1. Gangguan yang bersifat temporer

Gangguan ini terjadi dalam kurun waktu tertentu sebelum sistem normal kembali. Gangguan ini akan hilang dengan cara memutuskan bagian-bagian yang terkena gangguan dari sumber tegangan, lalu dapat dilakukan penutupan dari bagian peralatan hubungannya. Jika gangguan temporer ini terjadi secara terus menerus nantinya akan menyebabkan kerusakan permanen pada peralatan. Adapun contoh gangguan temporer adalah gangguan yang disebabkan oleh binatang, layang layang yang tersangkut pada jaringan, ranting pohon yang tumbuh menjulang disekitar jaringan.

2. Gangguan yang bersifat permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang tidak dapat teratasi sebelum penyebab dari gangguan permanen tersebut dihilangkan. Gangguan ini biasanya terjadi karena adanya kerusakan alat-alat, maka dari itu sebelum alat-alat tersebut diperbaiki gangguan permanen tidak bisa diatasi. Contoh yang sangat sering terjadi ialah gangguan hubung singkat, kawat fasa yang tertimpa dahan pohon, rusaknya peralatan proteksi.

2.2.6 Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik yang dikatakan andal ialah sistem tenaga listrik yang memiliki tingkat kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang dapat dijaga dengan baik, jika penyaluran tenaga listrik tidak tersalurkan dengan baik maka proses pelayanan ke konsumen akan terganggu khususnya konsumen pelanggan besar seperti industri. Kualitas pelayanan penyaluran energi yang baik dapat dikaitkan dengan rendahnya frekuensi serta durasi pemadaman listrik pada sistem. Terdapat parameter yang menjadi acuan untuk menganalisa keandalan sistem jaringan distribusi, parameter tersebut ialah waktu pemadaman rata-rata, waktu pemadaman tahunan, angka kegagalan rata-rata.

Keandalan yang dimaksud ialah standar yang ada pada suatu jaringan distribusi harus bekerja sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan, standar tersebut meliputi bagaimana suatu sistem atau peralatan sistem distribusi meminimalisir kegagalan yang terjadi. Nantinya tingkat keandalan dapat menjadi pembandingan sistem atau peralatan yang satu dengan yang lain.

Terdapat teori mengenai keandalan suatu sistem tenaga listrik, teori tersebut ialah SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), teori ini berguna untuk mengetahui tingkat keandalan dari suatu sistem jaringan distribusi.

Menurut Pulungan (2012) Berdasarkan beberapa definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan dari suatu sistem untuk dapat bekerja pada kondisi dan jangka waktu operasi yang ditentukan.

Menurut Surya Wibowo (2007) terdapat empat faktor yang penting dalam keandalan tersebut yaitu :

1. Probabilitas

Probabilitas adalah nilai yang menyatakan jumlah suatu kejadian kemungkinan akan terjadi dari sejumlah operasi tertentu yang dilakukan terhadap suatu peralatan.

2. Unjuk Kerja

Unjuk kerja adalah penampilan perakitan untuk menyatakan peralatan atau sistem bekerja secara memuaskan.

3. Periode Waktu

Yaitu faktor yang menyatakan ukuran dari periode waktu yang digunakan didalam pengukuran probabilitas. Bila tidak terdapat periode waktu ini maka nilai keandalan tidak dapat diperoleh secara akurat.

Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan. (SPLN 52, 1983). Tingkat-tingkat tersebut adalah :

Tingkat 1 : Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan

Tingkat 2 : Padam beberapa jam, yaitu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir kerusakan dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3 : Padam beberapa menit, yaitu manipulasi oleh petugas yang stand by di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan 30 pelaksanaan manipulasi jarak jauh dengan bantuan DCC (Distribution Control Center).

Tingkat 4 : Padam beberapa detik, yaitu pengamanan dan manipulasi secara otomatis dari DCC.

Tingkat 5: Tanpa padam yaitu jaringan dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis secara penuh dari DCC.

2.2.7 Indeks Keandalan

Indeks keandalan adalah metode yang digunakan untuk mengetahui serta mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik, parameter yang dievaluasi ialah frekuensi dan durasi pemadaman yang terjadi pada pelanggan pertahunnya, indeks yang digunakan antara lain adalah:

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI merupakan parameter atau indeks yang menunjukkan berapa frekuensi rata-rata pemadaman atau kegagalan pasokan listrik per pelanggan di dalam suatu daerah yang telah ditentukan. Perhitungan nilai SAIFI didapatkan dengan membagi jumlah interupsi atau kegagalan yang terjadi dengan jumlah total pelanggan yang dilayani. Di bawah ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung indeks SAIFI:

$$\mathbf{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total yang dilayani}}$$

$$\mathbf{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_{LP} \cdot N_{LP}}{\sum N}$$

Keterangan:

λ_{LP} = Frekuensi gangguan peralatan pada *load point*

N_{LP} = Jumlah Pelanggan *load point*

N = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI merupakan parameter yang menunjukkan berapa rata-rata lama durasi pasokan listrik yang hilang ke pelanggan. Perhitungan nilai SAIDI didapatkan dengan membagi jumlah waktu yang dibutuhkan pasokan listrik untuk dapat kembali memasokkan listrik dengan jumlah total pelanggan yang dilayani. Di bawah ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung indeks SAIDI:

$$\mathbf{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian durasi kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total yang dilayani}}$$

$$\mathbf{SAIDI} = \frac{\sum U_{LP} \cdot N_{LP}}{N}$$

Keterangan:

U_{LP} = Durasi gangguan pada *load point*

N_{LP} = Jumlah pelanggan pada *load point*

N = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

2.2.8 Standar Nilai Indeks Keandalan

Standar nilai indeks kegagalan ialah suatu cara untuk mengetahui serta mengevaluasi kinerja sistem tenaga listrik dalam pelayanan terhadap konsumen. Berikut adalah standar yang telah digunakan sebagai acuan kualitas jaringan distribusi.

2.2.8.1 Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68-2 : 1986

SPLN adalah standar perusahaan PT. PLN (Persero) yang ditetapkan Direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, intruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar berhasil dirampungkan. 61 standar bidang pembangkit, 71 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi dan 33 standar bidang umum. Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menerapkan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Tujuannya ialah untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menilai penampilan dan menentukan tingkat keandalan dari sistem distribusi dan juga sebagai tolak ukur terhadap kemajuan atau menentukan proyeksi yang akan dicapai PLN.

Berikut ini adalah Tabel yang menunjukkan tingkat keandalan yang telah ditetapkan dalam SPLN

Tabel 2.1 Indeks Standar Keandalan SPLN 68-2 : 1986

Indeks Kerja	Standar Indeks	Satuan
SAIFI	3.2	Kali/Pelanggan/Tahun
SAIDI	21.09	Jam/Pelanggan/Tahun

2.2.8.2 Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366 – 2003

Di bawah ini adalah tabel 2.2 yang menunjukkan nilai indeks yang telah ditentukan dalam IEEE std 1366 -2003

Tabel 2.2 Indeks Standar Keandalan IEEE std 1366 – 2003

Indikator Kerja	Standar Indeks	Satuan
SAIFI	1.45	Kali/Pelanggan/Tahun
SAIDI	2.3	Jam/Pelanggan/Tahun
CAIDI	1.47	Jam/Gangguan
ASAI	99.92	Persen

2.2.8.3 Standar Nilai Indeks Keandalan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*)

Berikut ini adalah tabel 2.2 yang menunjukkan nilai indeks yang telah ditentukan WCS (*World Class Service*) dan WCC (*World Class Company*)

Tabel 2.2 Indeks Standar Keandalan WCS dan WCC

Indikator Kerja	Standar Indeks	Satuan
SAIFI	3	Kali/Pelanggan/Tahun
SAIDI	1.66	Jam/Pelanggan/Tahun

2.2.9 *Distributed Generation* (Pembangkit Terdistribusi)

Distributed Generation merupakan suatu pembangkit sisipan yang bersifat renewable yang diletakkan di dekat area beban. Pemasangan DG pada suatu jaringan distribusi dapat memberikan dampak yang positif terhadap karakteristik sistem. Pembangkit terdistribusi ialah bagaimana mengintegrasikan pembangkit-

pembangkit listrik energi terbarukan dengan jaringan listrik yang sudah ada, yang dikenal dengan istilah interkoneksi sistem tenaga listrik (Romadoni Syahputra, 2012).

Kapasitas pembangkitan tersebar atau *Distributed Generation* diklasifikasikan menjadi empat, keempat klasifikasi itu ialah:

- a. *Micro Distributed Generation* dengan rating daya $1 \text{ Watt} < 5 \text{ kW}$
- b. *Small Distributed Generation* dengan rating daya $5 \text{ kW} < 5 \text{ MW}$
- c. *Medium Distributed Generation* dengan rating daya $5 \text{ MW} < 50 \text{ MW}$
- d. *Large Distributed Generation* dengan rating daya $50 \text{ MW} < 300 \text{ MW}$

Teknologi *Distributed Generation* diklasifikasikan menurut sumber energi pembangkitannya, dua klasifikasi tersebut ialah energi terbarukan dan tidak terbarukan. Contoh energi terbarukan ialah, energi angin, panas bumi, energi matahari, dan biomassa. Sedangkan untuk energi yang tidak terbarukan ialah energi yang menggunakan energi fosil sebagai sumber pembangkitannya. Pembangkit tersebar terbarukan banyak menggunakan energi terbarukan seperti energi mikro hidro, energi angin atau energi cahaya matahari karena dinilai menghasilkan energi yang ramah lingkungan (Sheila Bower).

Menurut Apt dan Morgan (2005) bahwa beberapa analisis menunjukkan bahwa jaringan yang terdistribusi (*distributed network*) dengan sumber-sumber daya yang lebih kecil dapat menghasilkan tingkat kecukupan yang lebih besar dibandingkan dengan sistem yang tersentralisasi dengan sumber-sumber daya yang jumlahnya lebih sedikit, sehingga dapat mengurangi besar dan durasi kegagalan. Akan tetapi, perlu dicatat bahwa unit terdistribusi yang berdiri sendiri tanpa backup dari grid dapat menurunkan tingkat *adequacy* ini secara signifikan.

Penelitian mengenai pembangkit tersebar terbarukan telah banyak dilakukan, dengan pemasangan pembangkit tersebar terbarukan pada jaringan distribusi dinilai memberi dampak positif. Mithulananthan (2004) menjelaskan

bahwa *Distributed Generation* memiliki tiga manfaat, ketiga manfaat tersebut ialah dari segi teknis, segi lingkungan dan ekonomi. Dampak positif *Distributed Generation* dari segi teknis ialah:

1. DG dapat memperbaiki kualitas daya
2. DG dapat memperbaiki kualitas rating tegangan
3. DG dapat memperbaiki keandalan sistem distribusi
4. Membantu menyuplai energi listrik untuk beban-beban yang terletak jauh dari pusat pembangkit

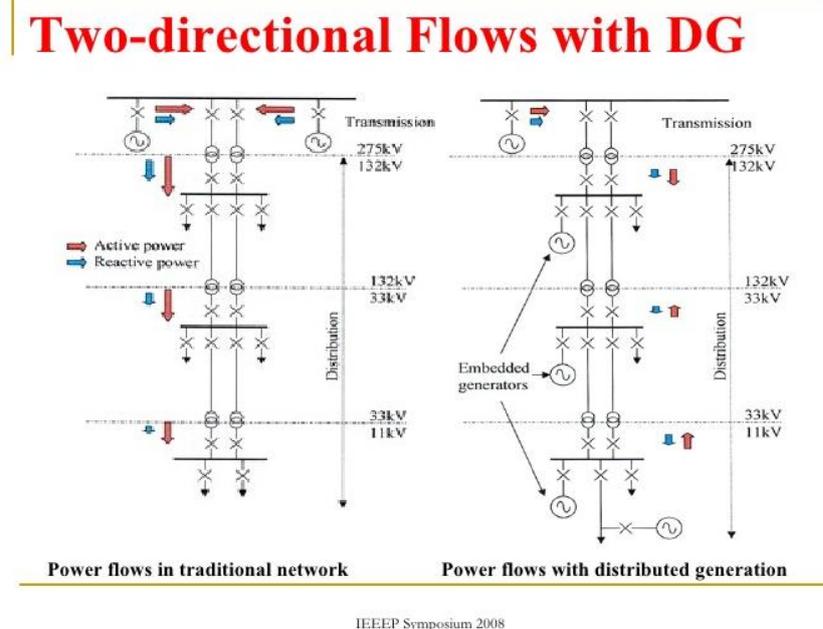
Manfaat dari segi ekonomi ialah

1. Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil
2. Mengurangi biaya pada sistem transmisi maupun distribusi

Lalu, manfaat *Distributed Generation* dari segi lingkungan ialah emisi atau gas buang dari pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil dapat diminimalisir.

2.2.9.1 Integrasi Pembangkit Tersebar Terbarukan Dengan Jaringan Distribusi

Beberapa tahun belakangan ini penggunaan pembangkit tersebar terbarukan mengalami peningkatan, penggunaan pembangkit tersebar terbarukan ini dihubungkan dengan jaringan distribusi untuk dapat terintegrasi dengan jaringan. Sistem kelistrikan konvensional dan sistem kelistrikan *Distributed Generation* memiliki struktur yang berbeda, sistem kelistrikan keduanya ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Sistem Kelistrikan Tradisional dan Sistem Kelistrikan *Distributed Generation*

Untuk menjaga kontinuitas pelayanan ke pelanggan serta memperbesar kapasitas daya sistem kerja paralel dapat diterapkan pada sisi pembangkitan, kerja paralel pada sisi pembangkitan dapat dilakukan misalnya antara jala-jala PLN dengan Wind Turbine, atau antara PLTD dengan Wind Turbine. Hal hal yang harus diperhatikan dalam memparalelkan dua generator 3 fasa adalah sebagai berikut:

1. Rating tegangan kedua generator harus sama besar
2. Urutan fasa kedua generator harus sama
3. Frekuensi generator harus sama

2.2.10 Energi Angin

Angin adalah udara bergerak yang diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya yang mana udara bergerak dari tempat yang memiliki tekanan udara tinggi ke tekanan udara rendah, dan juga karena adanya rotasi

bumi. Energi angin ini nantinya akan memutar turbin angin, selanjutnya energi kinetis inilah yang akan digunakan untuk memutar bilah bilah turbin angin. Terdapat persamaan untuk mengetahui energi kinetis ini, persamaannya yaitu sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m V^2$$

Keterangan:

E = Energi Kinetis (Joule)

m = Massa udara (kg)

V = Kecepatan angin (m/s)

Sedangkan untuk energi yang dihasilkan persatuan waktu ialah:

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot V^3 \cdot \rho$$

Keterangan:

P = Daya

A = Penampang Udara (m²)

V = Kecepatan Angin (m/detik)

ρ = Kerapatan Udara (Kg/m³)

Lalu, menurut Brown,C.K. dan Warne (1975) bahwa daya efektif yang memungkinkan untuk dihasilkan dari suatu kincir angin dapat dihitung dengan formula:

$$Ea = \frac{1}{2} \cdot cp \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V^3$$

Keterangan:

Ea = Daya Efektif yang Dihasilkan Kincir Angin (watt)

$c_p = \text{Koefisien Daya} = 0,4$

$D = \text{Diameter Kincir Angin (m)}$

$\rho = \text{Kerapatan Udara (Kg/m}^3\text{)}$