

Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan

Denny Haryanto Sinaga¹, Riz Rifai Oktavianus Sasue², Harvei Desmon Hutahaean³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

² Politeknik Transportasi Darat Bali

³ Program Studi Pendidikan Teknologi Informatika dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan

¹denny.sinaga@unimed.ac.id, ²riz@poltradabali.ac.id, ³harvei11@unimed.ac.id

Abstract — Nowadays Indonesia is facing the challenges with the very high growth of electrical energy needs. The increased has not been followed by the growth of power generation. Various policies have been carried out by the government include the use of renewable energy, which refers to Presidential Decree No. 5 in 2006 on National Energy Policy by setting the contribution target of renewable energy in the national primary energy mix by 17% in 2025 and electricity projects of 35,000 MW. However the focus of policy is not to touch the electricity management sector that actually has a large contribution in performing electrical energy savings. One of them is the implementation of smart grid systems. Smart grid is a continuation of the current system to the next generation vision that combines the use of sensors, communications, computing and control capabilities in some form to improve the overall functioning of the electricity distribution system. Smart grid technologies is the key to use energy resources efficiently distributed. Moreover the smart grid may encourage the application of renewable energy through distributed generation massively. The main focus in this paper is to discuss the prospects, opportunities and challenges in the implementation of smart grid in power distribution systems to improve efficiency and accelerate the use of renewable energy in Indonesia.

Keyword— *Power system, Distribution networks, Smart grids, Distributed generation, Renewable energy.*

Abstrak — Saat ini Indonesia sedang menghadapi tantangan dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik yang sangat tinggi. Peningkatan ini belum diikuti oleh pertumbuhan pembangkit listrik. Berbagai kebijakan telah dilakukan oleh pemerintah antara lain penggunaan energi terbarukan yang mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dengan menetapkan target kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional sebesar 17% pada tahun 2025 serta proyek listrik 35.000 MW. Namun fokus kebijakan tersebut belum menyentuh kepada sektor manajemen pengelolaan energi listrik yang justru memiliki andil yang sangat besar dalam melakukan penghematan energi listrik. Salah satunya adalah penerapan *smart grid*. *Smart grid* adalah kelanjutan dari sistem saat ini menuju visi generasi berikutnya yang memadukan penggunaan sensor, komunikasi, kemampuan komputasi dan kontrol dalam beberapa bentuk untuk meningkatkan fungsi keseluruhan dari sistem distribusi tenaga listrik. Teknologi *smart grid* merupakan kunci untuk menggunakan sumber daya energi yang didistribusikan secara efisien. Selain itu smart grid dapat mendorong penerapan energi terbarukan melalui pembangkit terdistribusi secara masif. Fokus utama dalam makalah ini adalah untuk

membahas prospek serta peluang dan tantangan penerapan smart grid dalam sistem distribusi tenaga listrik untuk melakukan efisiensi dan juga mendorong percepatan penggunaan energi terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci— *Sistem tenaga listrik, Jaringan distribusi, Smart grid, Pembangkit terdistribusi, Energi terbarukan*

I. Pendahuluan

Sistem kelistrikan dunia saat ini telah mengalami perubahan yang sangat besar, terutama dibagian teknologi pembangkitan dan distribusi. Perubahan ini terjadi untuk memerangi perubahan iklim dan meningkatkan keamanan energi. Dalam meresponi hal tersebut dilakukan berbagai upaya antara lain dengan menggunakan sumber energi terbarukan, mengurangi emisi gas rumah kaca dan membangun ekonomi yang berkelanjutan untuk memastikan ketersediaan energi di masa sekarang dan akan datang [1].

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari sekitar 17.000 pulau pada area 1.904.569 km² yang terdiri dari 1.811.569 km wilayah tanah dan 93,000 km² wilayah lautan. Secara administratif dibagi menjadi 33 provinsi, yang terdiri dari 440 kabupaten. Indonesia adalah negara ke empat dunia yang paling padat penduduknya serta merupakan ekonomi terbesar di Asia Tenggara dan anggota dari negara ekonomi utama G-20 [2].

Penduduk Indonesia mencapai 205 juta jiwa pada tahun 2000 dan meningkat menjadi lebih dari 254 juta jiwa pada 2013 dengan rata-rata sebesar 1,66% per tahun. Pertumbuhan ekonomi nasional meningkat pada tahun 2013 menjadi sebesar 5.78% per tahun dan Pada tahun 2015 Bank Indonesia memprediksi pertumbuhan ekonomi sekitar 5.4% - 5.8% per tahun [3]. Pertumbuhan ekonomi Indonesia yang kuat menyebabkan permintaan energi lebih cepat meningkat.

Kebutuhan energi khususnya energi listrik akan terus bertambah baik dari pelanggan industri, perkantoran, dan perumahan. Proyeksi rasio elektrifikasi Indonesia berdasarkan RUPTL PLN terus ditingkatkan dari 84 % pada 2015 menjadi 97% pada 2019 [3]. Peningkatan rasio elektrifikasi di wilayah kepulauan yang masih kecil otomatis akan menambah kebutuhan energi listrik Indonesia secara keseluruhan, sementara itu untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit di Jawa dan Sumatera ke wilayah

kepulauan akan membutuhkan jaringan transmisi yang sangat besar.

Dalam menghadapi kebutuhan energi yang semakin meningkat, pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan sebuah solusi ditengah krisis energi yang terjadi saat ini untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Sampai saat ini implementasi dari pembangkit EBT masih terbatas pada sistem yang *isolated*, belum banyak pembangkit EBT yang terkoneksi langsung ke jaringan listrik yang sudah ada. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya sumber beberapa pembangkit listrik EBT sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca sehingga output yang dihasilkannya tidak stabil dan berubah sesuai dengan kondisi cuaca.

Untuk mengatasi hal tersebut perlu diterapkan jaringan kelistrikan cerdas, yaitu jaringan yang menggabungkan teknologi ICT (*Information and Control Technologies*) untuk memonitor dan mengendalikan jaringan kelistrikan sehingga mampu mengintegrasikan pembangkit EBT yang terdistribusi.

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan EBT dalam sistem smart grid telah meningkat. Sejumlah besar program telah dilaksanakan di berbagai belahan dunia yang sebagian besar berada di negara maju dan berkembang. Beberapa studi menunjukkan bahwa teknologi ini dapat memberikan layanan listrik murah yang handal dan relatif rendah [4]. Makalah ini bertujuan untuk mempelajari peluang dan tantangan mengintegrasikan energi terbarukan dalam sistem smart grid sebagai jaringan listrik masa depan di Indonesia.

II. Kondisi Ketenagalistrikan Indonesia

Sektor ketenagalistrikan merupakan bagian yang sangat penting bagi pembangunan sosial-ekonomi sebuah negara. Pada bagian ini, gambaran umum ketenagalistrikan Indonesia meliputi sektor pembangkitan, transmisi, distribusi hingga pelanggan akan diberikan.

A. Pembangkitan

Sampai akhir tahun 2014 kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia mencapai 53.065,50 MW yang terdiri dari pembangkit PLN sebesar 37.379,53 MW dan Non PLN sebesar 15.685,97 MW [5] dengan jenis pembangkit yang dapat kita lihat pada tabel 1. Dibandingkan dengan tahun 2013 sebesar 50.898,51 MW, maka kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik naik sebesar 2.166,99 MW atau 4,25%. Jumlah ini akan bertambah seiring dengan dicanangkannya program listrik 35.000 MW.

Tabel 1. Kapasitas Terpasang Pembangkit listrik Indonesia [5]

JENIS	TOTAL KAPASITAS (MW)
PLTU (uap)	25,104.23
PLTG (gas)	4,310.50
PLTGU (gas uap)	10,146.11
PLTMG (mesin gas)	610.74
PLTD (diesel)	6,206.99
PLTA (air)	5,059.06
PLTM (mini hidro)	139.87
PLTMH (mikro hidro)	30.46
PLTP (panas bumi)	1,405.40
PLTB (bayu / angin)	1.12
PLTS (surya)	9.02
PLTGB (gasifikasi batubara)	6.00
PLTSa (sampah)	36.00
TOTAL	53,065.50

B. Transmisi

Indonesia mengalami peningkatan jaringan transmisi. Pada akhir tahun 2014 total panjang jaringan transmisi naik menjadi 40.331,73 kms, terdiri dari JTET (Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi) sepanjang 5.053 kms dan JTT (Jaringan Tegangan Tinggi) sepanjang 35.278,73 kms.

Untuk gardu induk, terjadi kenaikan sebesar 5.127 MVA atau 6,30 % yaitu dari 81.345 MVA pada tahun 2013 menjadi 86.472 MVA pada akhir tahun 2014 [5].

C. Distribusi

Total jaringan distribusi naik menjadi 925.311,58 kms yang terdiri dari JTM (Jaringan Tegangan Menengah) 339.558,02 kms dan JTR (Jaringan Tegangan Rendah) 585.753,56 kms

Gardu distribusi juga mengalami kenaikan sebesar 3.595,02 MVA atau 8,32% dari 43.183,67 MVA pada tahun 2013 menjadi 46.778,69 MVA pada akhir tahun 2014. Jumlah gardu distribusi mengalami kenaikan sejumlah 26.565 unit atau sebesar 7,32 % yaitu dari 362.746 unit di tahun 2013 menjadi 389.311 unit di tahun 2014.

Susut jaringan (*losses*) PLN tahun 2014 sebesar 21.423,30 GWh terdiri dari susut transmisi sebesar 5.224,63 GWh dan susut distribusi sebesar 16.198,66 GWh. Dibandingkan dengan produksi netto sebesar 220.712,66 GWh maka susut transmisi adalah 2,37% dan susut distribusi 7,52% [5].

Indeks SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) Indonesia pada tahun 2014 adalah 5,81 jam/pelanggan sedangkan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) 5,58 kali/pelanggan [6].

D. Pelanggan

Jumlah pelanggan tahun 2014 mengalami kenaikan dari tahun 2013 dan saat ini mencapai 57.493.234 pelanggan. Dengan kenaikan sebesar 3.497.026 pelanggan atau 6,48% dari jumlah pelanggan seluruhnya. Kelompok rumah tangga

merupakan jumlah pelanggan terbesar yaitu 53.309.325 pelanggan atau 92,72 %.

Rasio elektrifikasi adalah perbandingan rumah tangga berlistrik dengan jumlah rumah tangga. Rasio elektrifikasi pada akhir tahun 2014 mencapai 84,35%. Dibandingkan dengan tahun 2013 mencapai 80,51%, rasio elektrifikasi Indonesia naik sebesar 3,84% [5]. Ini berarti 15,65 % penduduk Indonesia belum dialiri listrik.

Kebijakan Energi Nasional menargetkan rasio elektrifikasi mendekati 100% pada tahun 2025. Pembangkit listrik diharapkan dapat mencapai sekitar 115 GW pada tahun 2025 dan 430 GW pada tahun 2050. Sedangkan konsumsi energi per kapita pada tahun 2025 ditargetkan sekitar 1,4 TOE/kapita (10,07 SBM/kapita) dan 3,2 TOE/kapita (23,02 SBM/kapita) pada tahun 2050 [3].

Hal ini menunjukkan bahwa harus ada perencanaan dan manajemen yang tepat dalam pembangkitan, transmisi dan distribusi. Dari banyak penelitian dan beberapa perusahaan sektor ketenagalistrikan menyarankan bahwa solusi yang mungkin adalah penerapan teknologi smart grid.

III. Energi Terbarukan di Indonesia

A. Potensi Energi Terbarukan

Energi fosil masih mendominasi penggunaan energi Indonesia. Mengingat cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan emisi bahan bakar yang merugikan, penggunaan energi berkelanjutan dan terbarukan tidak dapat dihindari. Meskipun negara telah menerapkan dan memperluas pemanfaatan energi terbarukan, kontribusi energi terbarukan di pembangkit listrik hanya sekitar 3%

Tabel 2. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia[3]

No	Jenis Energi	Sumber Daya	Cadangan	Kapasitas Terpasang
1	Panas Bumi	12,386 MWe	16,524 MWe	1,343 MW
2	Hidro	75,000 MW	-	8,671 MW
3	Biomassa	32,654 MWe	-	1,626 MWe (Off Grid) 90.5 Mwe (On Grid)
4	Energi Surya	4.80 kWh/m ² /hari	-	19.2 MW
5	Energi Angin	970 MW	-	1.96 MW
6	Uranium	3000 MW	-	30 MW
7	Gas Metana Batubara	456.7 TSCF (Potensi Praktis)	-	-
8	Shale gas	574 TSCF	-	-
9	Gelombang laut	1.995.2 MW (Potensi Praktis)	-	-
10	Energi Panas Laut	41.012 MW (Potensi Praktis)	-	-
11	Pasang Surut	4.800 MW (Potensi Praktis)	-	-

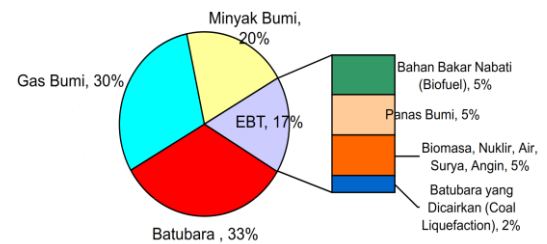
Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar yang dapat dilihat pada tabel 2. Potensi tersebut dapat dimanfaatkan untuk menopang kebutuhan listrik dimasa depan.

B. Target Penggunaan Energi Terbarukan

Perubahan paradigma pengelolaan energi yang mengedepankan diversifikasi dan konservasi energi diperlukan agar peran energi baru terbarukan lebih maksimal. EBT diharapkan dapat menjadi penopang utama penyediaan energi nasional di masa depan.

Untuk mendukung upaya dan program pengembangan EBT, pemerintah sudah menerbitkan kebijakan dan regulasi yang mencakup Perpres No. 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, UU No. 30/2007 tentang Energi, UU. No. 15/1985 tentang Ketenagalistrikan, Permen ESDM No. 002/2006 tentang Pengusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Energi Terbarukan Skala Menengah, dan Kepmen ESDM No.1122K/30/MEM/2002 tentang pembangkit skala kecil tersebar.

Pemerintah menetapkan target kontribusi energi terbarukan terhadap bauran energi primer nasional sebesar 17 % di tahun 2050 (Sesuai Perpres No 5/2006) Bauran energi tersebut dapat kita lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bauran energi primer nasional 2050

Langkah yang akan diambil Pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Mikro Hidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025, kapasitas terpasang biomassa 180 MW pada tahun 2020, kapasitas terpasang angin (PLT Bayu) sebesar 0,97 GW pada tahun 2025, surya 0,87 GW pada tahun 2024, dan nuklir 4,2 GW pada tahun 2024. Total investasi yang diserap pengembangan EBT sampai tahun 2025 diproyeksikan sebesar 13,197 juta USD [7].

IV. Konsep Smart Grid

Listrik berkualitas tinggi merupakan suatu keharusan di dunia modern. Hal ini dikarenakan ada banyak bidang yang menuntut kualitas daya, seperti manufaktur elektronik, mikroprosesor, dan banyak perangkat sensitif yang digunakan oleh manusia. Oleh karena itu, sangat penting bagi perusahaan utilitas untuk menyediakan daya listrik yang lebih terjangkau, handal, dan berkualitas untuk semua. Smart grid merupakan solusi yang dapat diterapkan untuk menjawab kebutuhan tersebut [8].

Smart Grid pada dasarnya melapisi sistem tenaga listrik secara fisik dengan sistem informasi yang menghubungkan berbagai peralatan dan aset bersama-sama dengan sensor untuk membentuk platform layanan pelanggan. Hal ini memungkinkan utilitas dan konsumen untuk terus memantau dan menyesuaikan penggunaan listrik [9].

A. Definisi smart grid

Dalam pengembangannya, tidak ada definisi baku untuk menjelaskan konsep smart grid. Hal ini terjadi karena pengembangannya yang berbeda-beda di setiap kasus dan negara. Ada beberapa definisi yang dibuat untuk menjelaskan smart grid. Menurut *International Electrotechnical Commission* (IEC), smart grid adalah konsep modernisasi jaringan listrik. Melalui penambahan teknologi smart grid, jaringan menjadi lebih fleksibel, interaktif dan mampu memberikan umpan balik secara *real time*. Ini adalah jaringan listrik cerdas yang dapat mengintegrasikan tindakan dari semua pengguna yang terhubung pada pembangkit, konsumen dan para pelaku baik dalam rangka penyediaan yang berkelanjutan secara efisien, ekonomis dan pasokan listrik yang aman. [10].

Menurut *International Energy Agency* (IEA), smart grid merupakan jaringan listrik yang menggunakan teknologi canggih digital untuk memantau dan mengelola transportasi listrik dari semua sumber pembangkit untuk memenuhi kebutuhan listrik yang bervariasi dari pengguna akhir. smart grid mengkoordinasikan kebutuhan dan kemampuan semua generator, operator jaringan, pengguna akhir dan *stakeholder* pasar listrik untuk mengoperasikan semua bagian dari sistem secara efisien, meminimalkan biaya dan dampak lingkungan sekaligus memaksimalkan keandalan sistem, ketahanan dan stabilitas [11].

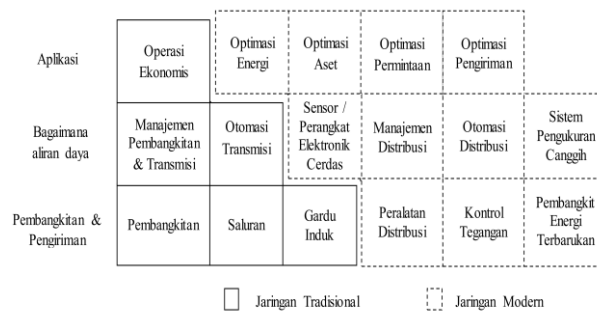
Terlepas dari pemahaman umum dari smart grid, visi spesifik smart grid berbeda secara substansial dari kasus ke kasus dan dari satu negara ke negara. Teknologi yang termasuk dalam satu konsep smart grid belum tentu termasuk dalam konsep yang lain [12].

B. Teknologi smart grid

Tujuan utama dari smart grid adalah untuk mempromosikan partisipasi pelanggan aktif dan pengambilan keputusan serta menciptakan lingkungan operasi di mana kedua utilitas dan pengguna listrik mempengaruhi satu sama lain.[4].

Sebuah smart grid menggunakan produk dan layanan yang inovatif bersama dengan monitoring cerdas, kontrol, komunikasi, dan teknologi pemulihan diri untuk [10]: Memfasilitasi koneksi dan pengoperasian generator dari semua ukuran dan teknologi; Memungkinkan konsumen untuk berperan dalam mengoptimalkan pengoperasian sistem; Menyediakan konsumen dengan informasi dan pemilihan pasokan yang lebih besar; Secara signifikan mengurangi dampak lingkungan dari seluruh sistem tenaga listrik; Memberikan peningkatan keandalan dan keamanan pasokan.

Smart grid sebagai jaringan listrik modern memiliki beberapa perubahan terhadap jaringan tradisional. Beberapa perubahan tersebut diilustrasikan pada gambar 2 [8].



Gambar 2. Perubahan jaringan tradisional menuju jaringan modern

Signifikansi smart grid terdapat pada fitur teknologi cerdas dan sensor yang digunakan dalam mengelola sistem tenaga listrik dan melakukan optimasi operasi di beberapa bagian serta hadirnya sumber energi terbarukan pada sistem pembangkitan.

Dalam penerapannya, smart grid memiliki beberapa komponen kunci [13]. Hal tersebut meliputi: *Smart metering*, yang memungkinkan komunikasi dua arah antara utilitas dan pelanggan (termasuk fasilitas penyimpanan energi seperti baterai isi ulang dan kendaraan listrik) atau pembangkitan tersebar (DG); Teknologi informasi, yang memungkinkan kontrol optimal dari total jaringan bahkan di mana sangat banyak unit DG terintegrasi; Sistem manajemen energi, yang mungkin menerapkan penggunaan energi listrik paling efisien untuk pelanggan; Kontrol canggih dan sistem proteksi, yang meningkatkan keamanan dan keandalan kedua jaringan listrik skala kecil dan besar.

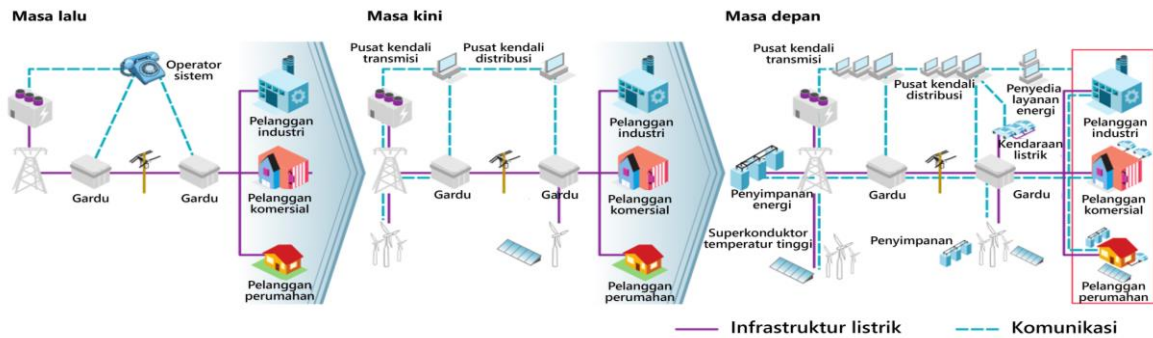
Teknologi smart grid menyediakan berbagai solusi yang dapat disesuaikan dengan spesifik kebutuhan masing-masing daerah. *Smart grid* tidak hanya akan membantu mengurangi pencurian, tetapi juga meningkatkan efisiensi jaringan, efisiensi penggunaan, dan dapat memanfaatkan sumber daya energi pembangkitan tersebar pada kapasitas optimalnya [14].

V. Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan di Indonesia

A. Jaringan Listrik Masa Depan

Jaringan listrik masa depan memiliki kebutuhan yang harus dipenuhi yaitu: Pemulihan diri secara otomatis; Reliabilitas yang tinggi; Tahan terhadap serangan atau gangguan; Penggabungan semua pembangkit dan pilihan penyimpanan; Optimisasi terhadap aset dan peralatan; Pemantauan cerdas [1].

Smart grid memiliki beberapa kemampuan yang dapat diandalkan sebagai jaringan masa depan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Konsep *smart grid* sebagai jaringan masa depan dapat dilihat melalui ilustrasi yang ditampilkan pada gambar 3. Beberapa perbedaan smart grid terhadap jaringan tradisional dapat dilihat pada tabel 3 [1], [8], [15], [16].



Gambar 3. Peningkatan jaringan listrik dari masa lalu ke masa depan [11]

Tabel. 3 Perbandingan Jaringan Listrik Tradisional dan Smart Grid

Jaringan Tradisional	Smart Grid
Elektromekanis	Digital
Komunikasi Satu Arah	Komunikasi <i>real-time</i> dua arah
Interkoneksi terbatas	Perdagangan energi listrik lintas batas dari layanan listrik dan jaringan
Jaringan radial	Jaringan tersebar
Pembangkit listrik skala besar dan terpusat	Integrasi pembangkit tersebar dan sumber energi terbarukan bersama pembangkit terpusat skala besar
Sedikit data terlibat	Banyak data yang terlibat
Menggunakan sedikit sensor	Seluruhnya menggunakan sensor
Kurang memperhatikan keamanan dan privasi	Perlindungan adaptif
Produksi dan konsumsi energi secara simultan	Menggunakan sistem penyimpanan energi
Respons yang lambat untuk keadaan darurat	Respons yang cepat untuk keadaan darurat
Buta	Dapat dimonitor
Pemulihan manual	Pemulihan otomatis (Self Healing)
Gangguan dan pemadaman	Adaptif dan <i>Islanding</i>
Kontrol Terbatas	Kontrol menyeluruh
Sedikit pilihan pelanggan	Banyak pilihan pelanggan

Mengacu pada NIST, IEEE membagi smart grid menjadi delapan domain yang terdiri dari Pembangkit Massal dan Non-massal, Pelanggan, Distribusi, Sistem pendukung dasar, Pasar, Operasi, Penyedia layanan dan Transmisi.

Akhirnya ketika smart grid diterapkan, ada beberapa manfaat langsung yang akan diperoleh, antara lain [17]:

- Mengurangi biaya operasi pembangkit dan distribusi
- Penanguhan modal investasi pembangkitan, transmisi dan distribusi
- Kerusakan peralatan dan pemeliharaan distribusi
- Berkurangnya kerugian (*losses*) listrik
- Mengurangi biaya listrik kepada konsumen
- Mengurangi pencurian listrik, pemadaman besar dan pemadaman sesaat serta pengurangan beban puncak

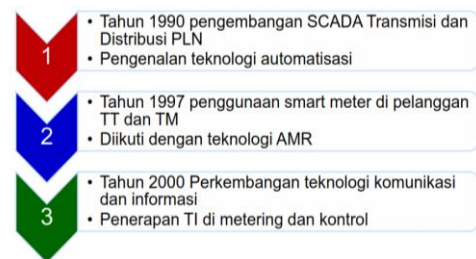
B. Indikator Kinerja Utama

Faktor penggerak utama dalam menerapkan smart grid di Indonesia [18] dapat dilihat dari indikator berikut:

- 1) Peningkatan Efisiensi Energi. Menurunkan rugi-rugi (*losses*) teknis dan non-teknis ; Meningkatkan penyaluran energi di sistem jaringan tenaga listrik; Mengintegrasikan informasi kebutuhan daya dan *smart metering*; Memungkinkan partisipasi pelanggan secara dinamis.
- 2) Peningkatan Keandalan dan Stabilitas Suplai. Mencegah terjadinya *black-out* dan meminimalkan pemadaman penyulang; Memperkirakan kondisi aset jaringan secara *real-time*;
- 3) Pengurangan Emisi Karbon dioksida. Memungkinkan partisipasi pembangkit *renewable & hybrid* dalam sistem tenaga listrik; Mengintegrasikan sumber-sumber pembangkitan terpisah (*distributed generation*) dan *eco-buildings*.

C. Pengembangan Smart Grid Di Indonesia

Inisiasi pengembangan smart grid di Indonesia telah dimulai sejak lama. Hal ini dimulai dari penggunaan teknologi SCADA pada sistem transmisi hingga penerapan teknologi komunikasi dan informasi pada infrastruktur jaringan listrik yang diilustrasikan pada gambar 4.



Gambar 4. Tahapan Inisiasi Pengembangan Smart Grid PLN [18]

Saat ini, terdapat sekitar 10 proyek smart grid sedang dalam tahap implementasi yang dilakukan PLN, sebagian proyek berfokus pada pengembangan integrasi pembangkit *renewable energy* dengan sistem tenaga listrik, dan sebagian lainnya terkait pada pengembangan smart grid *energy management* dan *power quality* [18].

Beberapa dari proyek smart grid yang saat ini ada antara lain:

- 1) Implementasi Pembangkit Energi Terbarukan Terintegrasi Nusa Penida
- 2) *Smart Micro Grid* di Pulau Sumba - NTT
- 3) Implementasi Proyek *Smart Community* di Kawasan Industri Karawang
- 4) Smart Grid Karimunjawa
- 5) *Advance Metering Infrastructure* (AMI) di PLN cabang Solo Jawa Tengah
- 6) *Advance Metering Infrastructure* (AMI) di Residential Pondok Indah oleh PLN Disjaya
- 7) *Automated Demand Response* oleh Honeywell
- 8) Smart Grid PLN Grant untuk Pengembangan Road Map
- 9) Implementasi Layanan *Smart Grid* dan Pemasangan Infrastruktur Meteran Berkelanjutan untuk Wilayah Jawa dan Bali

VI. Tantangan Pengembangan Smart Grid di Indonesia

Indonesia sebagai negara berkembang akan menghadapi tantangan terkait penerapan smart grid sebagai konsep baru dari jaringan listrik. Tantangan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan antara operasi, penyedia layanan dan pelanggan. Tantangan dalam mengembangkan smart grid di Indonesia dibagi menjadi 4 sektor, yaitu teknologi, kebijakan dan regulasi, pelanggan serta sumber daya manusia.

A. Teknologi

Masuknya sumber energi terbarukan melalui pembangkitan tersebar kedalam jaringan memiliki masalah karena sifatnya yang tidak stabil dan tergantung pada cuaca. Kondisi ini menyebabkan frekuensi jaringan akan terganggu [19] dan terjadinya fluktuasi tegangan, transient dan harmonik pada sistem tenaga, daya reaktif serta interferensi elektromagnetik [20]. Koneksi dengan jaringan dan transmisi juga menjadi masalah karena terletak jauh dari pusat beban dan akan menjadi masalah terkait kualitas daya.

Infrastruktur jaringan yang mengakomodir sistem dua arah beserta perangkat otomasi, proteksi serta kontrol harus dibangun. Hal itu membutuhkan investasi yang cukup besar dan membutuhkan desain dengan kemampuan tinggi [14].

Smart grid harus bergantung pada jaringan komunikasi yang kuat dan dapat diandalkan [21]. Indonesia belum memiliki jaringan komunikasi yang merata di tiap daerah. Ketersediaan jaringan masih hanya mencakup kota besar namun masih cukup mahal, sedangkan di kota kecil belum tersedia dengan memadai. Jaringan komunikasi antara seluruh pembangkit, gardu induk transmisi dan distribusi serta unit kendali dan monitor juga harus dipersiapkan. Teknologi nirkabel juga dibutuhkan pada daerah yang terpencil atau pulau kecil [19].

Begitu juga dengan infrastruktur pengukuran canggih/AMI yang saat ini masih terbatas pada konsumen besar serta perangkat elektronik cerdas/ IED. Solusi yang dapat dilakukan

adalah membangun infrastruktur jaringan yang merata di setiap daerah dan memperbanyak *smart meter* serta melakukan investasi dalam konversi perangkat elektromekanik menjadi statis seperti perangkat elektronik cerdas/ IED.

B. Kebijakan dan Regulasi

Pemahaman pentingnya penerapan *smart grid* untuk masa depan merupakan salah satu faktor penentu. Dukungan melalui kebijakan dari pemerintah dan investasi dibutuhkan untuk mendorong penerapan *smart grid* [22].

Smart grid menawarkan tarif yang dinamis untuk memotivasi pengguna melakukan penghematan. Hal itu membutuhkan kebijakan pendukung oleh pemerintah terkait penyesuaian tarif antara lain, tarif dinamis, tarif variabel, tarif *time of the day* (ToD), tarif *rule-based* dan lainnya termasuk program respon permintaan (DR) [23]. Kebijakan *feed-in tariff* juga dibutuhkan untuk mengakomodir jual beli energi listrik dari sumber energi baru dan terbarukan (EBT).

Pemberian insentif terhadap pengguna EBT juga harus dilakukan dalam rangka percepatan pemanfaatan EBT [24].

Standarisasi merupakan isu penting dalam penerapan smart grid, oleh karena itu pemerintah melalui Badan Standarisasi Nasional (BSN) harus membuat standarisasi smart grid atau mengadopsi standar yang sudah digunakan secara internasional.

C. Pelanggan

Pelanggan sebagai pengguna akhir merupakan unsur penting dalam terlaksananya penerapan *smart grid*. Kendala saat beradaptasi terhadap perubahan mungkin akan terjadi pada pelanggan. Penelitian menunjukkan responden cenderung mendukung teknologi *smart grid* sebagai solusi untuk perubahan iklim dan masalah energi namun tidak terhadap kenaikan atau penyesuaian tarif [24].

Jumlah aplikasi bangunan cerdas juga masih sangat sedikit di Indonesia, hal ini akibat kesadaran akan efisiensi energi masih sangat kurang serta mahal biaya investasi. Kesadaran akan peran serta pelanggan harus ditingkatkan serta insentif dalam penerapan bangunan cerdas harus diberikan agar dapat mengatasi masalah tersebut.

D. Sumber daya manusia

Sumber daya manusia yang memiliki kemampuan tinggi dalam smart grid sangat dibutuhkan. Hal ini dikarenakan akan banyak infrastruktur yang dibangun diberbagai daerah dan membutuhkan tenaga ahli dalam mengoperasikan serta memeliharanya.

Investasi dalam Penelitian dan Pengembangan (*R & D*) diperlukan sebagai pelatihan dan peningkatan kapasitas untuk pembuatan pusat sumber daya yang memadai dalam mengembangkan dan menerapkan smart grid di Indonesia serta alih pengetahuan tentang *smart grid*, produk dan layanan [23].

VII. Kesimpulan

Smart grid akan menjadi tren jaringan listrik generasi berikutnya dalam meningkatkan kualitas energi listrik yang sempurna dalam setiap jaringan listrik. Hal ini juga digunakan untuk meningkatkan efisiensi sistem energi secara keseluruhan. Makalah ini mengulas konsep dan karakteristik dari smart grid serta perbandingan antara jaringan saat ini dan masa depan. Hal ini akan menunjukkan faktor pendorong yang sangat diperlukan dalam sistem tenaga listrik Indonesia.

Dorongan yang kuat dari pemerintah untuk menggunakan energi terbarukan secara luas, potensi energi terbarukan yang besar serta inisiatif pengembangan *smart grid* yang telah dimulai menjadi peluang sekaligus kekuatan dalam penerapan *smart grid*. Tantangan terkait pengembangan smart grid telah ditinjau dan diprediksi dalam berbagai sektor. Kerjasama antara perusahaan listrik, pemerintah, industri dan akademisi menjadi unsur penting dalam pengembangan dan pelaksanaan *smart grid* di Indonesia.

VIII. Daftar Pustaka

- [1] M. Biabani, M. A. Golkar, A. H. Z. Kasiry, and M. Akbari, "Smart grid in Iran: Driving factors, evolution, challenges and possible solutions," in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*, 2011, pp. 1–4.
- [2] S. Mujiyanto and G. Tiess, "Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy," *Energy Policy*, vol. 61, pp. 31–41, Oct. 2013.
- [3] BPPT, *Indonesia Energy Outlook 2015*. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2015.
- [4] N. Phuangpornpitak and S. Tia, "Opportunities and Challenges of Integrating Renewable Energy in Smart Grid System," *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 282–290, 2013.
- [5] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2014." Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Nov-2015.
- [6] PT.PLN (Persero), "Statistik PLN 2014." Sekretariat Perusahaan PT.PLN (Persero), Apr-2015.
- [7] ESDM, "Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia." [Online]. Available: <http://www.esdm.go.id/berita/37-umum/1962-potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia.html?tmpl=component&print=1&page=>. [Accessed: 14-Jul-2016].
- [8] M. S. Thomas and J. D. McDonald, *Power System SCADA and Smart Grids*. CRC Press, 2015.
- [9] J. Lu, D. Xie, and Q. Ai, "Research on Smart Grid in China," *IEEE TD Asia 2009*.
- [10] "IEC - Smart grid > Background - What is Smart Grid?" [Online]. Available: <http://www.iec.ch/smartgrid/background/explained.htm>. [Accessed: 04-Jul-2016].
- [11] International Energy Agency (IEA), *Technology Roadmap Smart Grids*. Paris: International Energy Agency, 2011.
- [12] G. Brunekreeft, T. Luhmann, T. Menz, S.-U. Müller, and P. Recknagel, Eds., *Regulatory Pathways For Smart Grid Development in China*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [13] IEC, "Smart electrification – The key to energy efficiency." International Electrotechnical Commission, 2010.
- [14] G. N. Jadhav and A. A. Dharme, "Technical Challenges for Development of Smart Grid in India," presented at the 2012 International Conference on Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM 2012), Nagapattinam, Tamil Nadu, India, 2012.
- [15] M. L. Tuballa and M. L. Abundo, "A review of the development of Smart Grid technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 710–725, Jun. 2016.
- [16] Europäische Kommission, Ed., *European technology platform SmartGrids: vision and strategy for Europe's electricity networks of the future*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
- [17] A. Sinha, S. Neogi, R. N. Lahiri, S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and N. Chakraborty, "Smart grid initiative for power distribution utility in India," in *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011, pp. 1–8.
- [18] Tim Smartgrid PT PLN (Persero), "Inisiatif PLN dalam Pengembangan dan Implementasi Smartgrid," Jakarta, Jan-2016.
- [19] N.-K. C. Nair and L. Zhang, "SmartGrid: Future networks for New Zealand power systems incorporating distributed generation," *Energy Policy*, vol. 37, no. 9, pp. 3418–3427, Sep. 2009.
- [20] G. M. Shafiullah, A. M. Oo, D. Jarvis, A. S. Ali, and P. Wolfs, "Potential challenges: Integrating renewable energy with the smart grid," in *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian*, 2010, pp. 1–6.
- [21] S. Li, Y. Chen, J. He, Y. Fu, B. Li, H. Hou, J. Zhou, and Y. Zhang, "Discussion on Smart Grid Development in China," in *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific*, 2011, pp. 1–4.
- [22] M. Fadaeenejad, A. M. Saberian, M. Fadaee, M. A. M. Radzi, H. Hizam, and M. Z. A. AbKadir, "The present and future of smart power grid in developing countries," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 828–834, Jan. 2014.
- [23] A. Datta, P. Mohanty, and M. Gujar, "Accelerated deployment of Smart Grid technologies in India-Present scenario, challenges and way forward," in *Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), 2014 IEEE PES*, 2014, pp. 1–5.
- [24] D. N. Mah, J. M. van der Vleuten, P. Hills, and J. Tao, "Consumer perceptions of smart grid development: Results of a Hong Kong survey and policy implications," *Energy Policy*, vol. 49, pp. 204–216, Oct. 2012.