

Literatur Review Tantangan dan Teknologi dalam Pengembangan Advance Metering Infrastructure (AMI)

I Made Agus Artha Putra¹, Ida Bagus Gede Manuaba²

[Submission: 26-01-2024, Accepted: 09-05-2025]

Abstract— *The fundamental challenges related to the inability of traditional metering infrastructure to provide accurate and fast data and the lack of visibility to manage electricity usage information have driven the development of smart metering solutions. Smart metering, which is part of the smart grid architecture, has evolved over the years along with the needs of the electric power system infrastructure that requires efficient energy management initiatives. Advanced Metering Infrastructure (AMI) is one of the technologies being developed as a smart metering infrastructure. AMI consists of systems and networks, which are responsible for collecting and analyzing data received from smart meters. In addition, AMI also manages various electricity-related applications and services based on data collected from smart meters. The implementation of AMI has been proven to provide various positive results for both energy service providers and consumers. AMI is able to increase the accuracy of energy consumption recording by up to $\pm 0.5\%$ and reduce billing errors by up to 95%. Therefore, AMI plays an important role in the smooth functioning of the smart grid. In developing AMI technology, of course, there are challenges. Therefore, this paper provides an overview of smart metering technology, its design requirements, protocols and challenges, and policy issues.*

Intisari— Tantangan mendasar terkait ketidakmampuan infrastruktur metering tradisional dalam memberikan data yang akurat dan cepat serta minimnya visibilitas untuk mengelola informasi penggunaan energi listrik telah mendorong pengembangan solusi pengukuran cerdas. Pengukuran cerdas, yang merupakan bagian dari arsitektur jaringan pintar, telah berkembang selama bertahun-tahun seiring dengan kebutuhan infrastruktur sistem tenaga listrik yang memerlukan inisiatif manajemen energi yang efisien. *Advanced Metering Infrastructure (AMI)* merupakan salah satu teknologi yang sedang dikembangkan sebagai infrastruktur smart metering. AMI terdiri dari sistem dan jaringan, yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan dan menganalisis data yang diterima dari *smart meter*. Selain itu, AMI juga mengelola berbagai aplikasi terkait kelistrikan dan layanan berdasarkan data yang dikumpulkan dari *smart meter*. Penerapan AMI telah terbukti memberikan berbagai hasil positif baik bagi penyedia layanan energi maupun konsumen. AMI mampu meningkatkan akurasi pencatatan konsumsi energi hingga $\pm 0,5\%$ dan mengurangi kesalahan tagihan hingga 95%. Oleh karena itu, AMI memainkan peran penting dalam kelancaran fungsi jaringan pintar. Dalam mengembangkan teknologi AMI tentunya

memiliki tantangan tersendiri. Oleh karena itu, makalah ini memberikan gambaran umum tentang teknologi pengukuran cerdas, persyaratan desainnya, protokol dan tantangannya, serta masalah kebijakannya.

Kata Kunci— *Advanced Metering Infrastructure; Smart Meter; Smart Grid; Metering Infrastructure; Policy; Energy.*

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan dasar manusia dan merupakan alat penting bagi pembangunan manusia. Karena pentingnya sumber daya ini dalam kehidupan kita sehari-hari dan seberapa besar pengaruhnya terhadap produktivitas, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengetahui cara terbaik mengelola sumber daya penting ini [1]. Salah satu cara pengelolaan listrik adalah inisiatif *smart grid* (SG) [2]. Alat penting yang dapat digunakan untuk mencapai inisiatif *smart grid* adalah penerapan infrastruktur pengukuran cerdas; ini juga bisa disebut infrastruktur pengukuran lanjutan atau *Advance Metering Infrastructure (AMI)* [3]. Mengingat tren global yang berkembang dalam teknologi pintar; rumah pintar, perangkat, infrastruktur, layanan, dan tata kelola telah menjadi ciri khas perubahan global. Komponen utama dalam rumah pintar adalah meteran pintar yang dibangun dengan kemampuan untuk mengelola kebutuhan utilitas dan konsumen.

Meskipun terdapat manfaat yang diperoleh dari penerapan smart meter dalam hal efisiensi dan manajemen energi, terdapat kekhawatiran yang semakin besar dalam mengembangkan kebijakan untuk memandu terhadap intrusi sistem yang tidak beralasan, privasi dan keamanan data konsumen dan utilitas, serta ancaman-ancaman lainnya [4] - [7]. Penerapan teknologi pintar untuk pengelolaan energi tidak bisa terlalu ditekankan dalam mengatur perubahan iklim global dan perlindungan lingkungan [8] bersamaan dengan Perjanjian Perubahan Iklim PBB [9], disebutkan juga bahwa perilaku konsumen dapat dimodelkan menjadi teknologi pintar melalui modul kecerdasan buatan karena konsumen tidak boleh berubah hanya untuk menghemat energi [8]. Terdapat usulan terkait integrasi layanan meteran cerdas ke dalam kehidupan sehari-hari konsumen dengan menunjukkan gambaran yang lebih besar dalam jangka panjang dibandingkan jangka pendek yang selanjutnya akan melahirkan agenda efisiensi energi sekaligus meningkatkan kenyamanan konsumen [9]. Selain itu, penambahan respons permintaan cerdas (*smart demand respond*) diusulkan karena cara tersebut merupakan sebuah teknik untuk mendorong perubahan konsumsi energi dengan memberikan insentif harga dengan tujuan mengurangi permintaan puncak dan

¹Mahasiswa, Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Udayana, Jalan PB Sudirman Denpasar 80232 INDONESIA (telp: 0361-239599; fax: 0361-239599); e-mail : agusarthap@gmail.com

²Dosen, Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Udayana, Jalan PB Sudirman Denpasar 80232 INDONESIA (telp: 0361-239599; fax: 0361-239599); ibgmanuaba@unud.ac.id



meningkatkan fleksibilitas sistem tenaga listrik [10]. Hal ini akan berdampak pada penurunan biaya layanan energi yang dihasilkan dengan pengurangan biaya pasokan. Usulan lainnya terkait skema penetapan harga (tarif) energi dinamis untuk efisiensi energi. Dengan meningkatnya minat terhadap pengukuran cerdas dan peluncuran teknologi cerdas lainnya untuk manajemen energi, beragam kebijakan dan rencana kebijakan telah diusulkan untuk memastikan penerapan yang lancar [12]. Terdapat beberapa kebijakan yang ditargetkan untuk mencapai tujuan tertentu; seperti; mendorong pengurangan konsumsi energi, penyediaan penagihan yang akurat, pengurangan biaya layanan ES dan *overhead* serta mengelola permintaan puncak melalui penerapan tarif waktu penggunaan [13]. Keterlibatan pembuat kebijakan dalam perumusan kebijakan AMI perlu dipertimbangkan. Beberapa faktor penting tersebut antara lain, layanan teknis dan non-teknis, masalah penerapan dan biaya infrastruktur, risiko, manfaat dan tindakan pengendalian serta dampak terhadap konsumen, operator pasar dan industri teknologi. Mengembangkan kebijakan yang terintegrasi dan inklusif akan menghasilkan penerapan dan penggunaan AMI yang efisien yang selanjutnya akan membantu menjaga kepentingan semua pemangku kepentingan terkait [14].

II. STUDI PUSTAKA

Meteran pintar memiliki banyak kesamaan dengan meteran gas, air, dan energi tradisional yang dipasang di rumah tangga dan bangunan. Baik meteran pintar maupun meteran tradisional melakukan komputasi, pengukuran, dan penghitungan besaran yang akan diukur seperti tegangan, arus, suhu, kecepatan, laju aliran, dll. Perbedaan mendasar antara kedua sistem meteran ini adalah bahwa meteran pintar mengukur besaran secara instan. yaitu dalam jangka waktu kecil, beberapa menit atau jam, bukan konsumsi lebih dari sebulan. Selain itu, AMI menyediakan komunikasi dua arah antara meteran, pengumpul data, dan utilitas dan juga mendukung pemantauan jarak jauh [15].

A. AMI (Advance Metering Infrastructure)

Agar *smart grid* dapat diaktualisasikan, harus ada sistem pengumpulan data. Di sinilah peran AMI; ini juga bisa disebut sebagai pengukuran cerdas. Menurut definisinya, pengukuran cerdas mengacu pada penggunaan meteran listrik yang menyediakan komunikasi dua arah antara konsumen dan pemasok [16]. Komunikasi dua arah merupakan fitur utama dan mungkin fitur paling menarik dari AMI karena memiliki banyak keuntungan bagi konsumen, distributor, dan pemasok. AMI dapat dibagi menjadi beberapa komponen yang masing-masing bergantung satu sama lain. Salah satu komponennya adalah *smart meter* yang berperan sebagai titik terminal AMI. Komponen utama lain dari AMI adalah struktur komunikasi yang penting untuk mencapai transfer data dalam *grid* atau jaringan. Komponen terakhir adalah *Data Management System* (DMS), yaitu komponen yang bertanggung jawab atas analisis data yang dikumpulkan dari meter [17].

B. Smart Meter

Smart Meter mengacu pada perangkat pengguna akhir yang digunakan untuk mengukur konsumsi daya pengguna serta memberikan profil beban peralatan di rumah yang akurat atau hampir akurat, sekaligus dapat mengirimkan data tersebut ke distributor dan konsumen (melalui tampilan di rumah). Oleh karena itu, *smart meter* mempunyai dua fungsi utama; pengukuran dan komunikasi. Terlepas dari desain, kuantitas yang diukur atau jenisnya, *smart meter* harus memiliki fungsi penting berikut [18]:

- Pengukuran Kuantitatif

Ini mungkin fungsi yang paling penting, karena fungsi meteran yang paling penting namun mendasar adalah mengukur besaran tertentu secara akurat, dalam kasus *smart meter* kuantitas yang diukur sangat penting tidak hanya bagi konsumen, namun juga bagi distributor dan pemasok. Inilah sebabnya mengapa aspek pengukuran *smart meter* harus dilakukan dengan cermat dan dengan tingkat akurasi yang tinggi.

- Pengendalian dan Kalibrasi

Sistem tenaga listrik tidak bisa lepas dari variasi, ketidakstabilan dan gangguan, namun faktor-faktor ini tidak boleh mempengaruhi meteran dengan cara yang dapat mengganggu kemampuan pengukurannya. Oleh karena itu, pengendalian dan kalibrasi *smart meter* sangat penting agar *smart meter* mampu mengkompensasi gangguan kecil dan variasi pada sistem.

- Komunikasi

Pengendalian dan pemantauan yang efisien harus ada *firmware* komunikasi yang baik di *smart meter*, tanpa ini *smart meter* akan terisolasi dari jaringan listrik dan hal itu akan menggagalkan seluruh tujuan pembuatan meteran 'SMART'.

- Manajemen Daya

Smart meter harus memiliki sumber listrik cadangan yang memungkinkannya mempertahankan fungsinya meskipun terjadi kehilangan daya utama. Hal ini penting terutama di negara-negara berkembang dimana pemadaman listrik sering terjadi.

- Tampilan

Harus ada antarmuka yang berfungsi sebagai jendela di mana pelanggan dapat mengakses konsumsi daya serta informasi penagihan. Tampilan ini bisa sesederhana layar LCD atau serumit antarmuka yang terintegrasi ke dalam ponsel pintar. Dengan demikian, fitur utama *smart meter* meliputi: penetapan harga berdasarkan waktu, penyediaan data konsumsi kepada konsumen, pemberitahuan kegagalan dan pemadaman, perintah jarak jauh (menghidupkan, mematikan) operasi, pembatasan beban untuk tujuan respons permintaan, pemantauan kualitas daya, deteksi pencurian energi dan komunikasi dengan perangkat cerdas lainnya [19].

C. Komunikasi

Tanpa jaringan komunikasi, data tidak dapat ditransfer antara perangkat terminal *smart meter* dan DMS. Jaringan komunikasi harus dapat diandalkan dan aman. Namun agar saluran komunikasi menjadi efektif, maka harus dipecah menjadi beberapa jaringan, yaitu: *Home Area Network* (HAN) dan jaringan *backhaul*. Saat ini, belum ada jaringan tertentu

yang dapat dipilih sebagai jaringan ideal yang cocok untuk memikul beban struktur komunikasi AMI. Namun demikian, banyak teknologi jaringan yang dapat diimplementasikan, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Jaringan yang paling umum digunakan adalah: jaringan nirkabel tidak bergerak, jaringan mesh nirkabel atau kombinasi keduanya [20].

D. Sistem Tenaga

Switched Mode Power Supply (SMPS) menyediakan daya ke sirkuit digital meter pintar dengan mengubah tegangan AC saluran utama menjadi tegangan DC. Cadangan baterai AC/DC juga tersedia dan dilengkapi dengan saklar untuk beroperasi kapan pun tidak ada daya listrik. Selama pengoperasian normal ketika ada listrik di sumber listrik, baterai tetap terputus. Daya untuk rangkaian pengukur energi diperoleh langsung dari saluran listrik tiga fasa. Untuk daya peralatan lain, pasokannya harus disediakan dari sumber listrik atau baterai internal. Baterai yang dapat diisi ulang dengan sel surya untuk diisi ulang pada siang hari juga dapat digunakan di beberapa wilayah tergantung pada lokasi meteran [21].

E. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah otak dari meteran pintar dan karenanya merupakan pusat terpenting yang dirancang untuk mengintegrasikan blok fungsional lainnya. Semua fungsi di dalam smart meter dilakukan oleh *Micro Chip Unit* (MCU). Ini dianggap sebagai inti meteran. Ini mengontrol fungsi-fungsi berikut:

- Komunikasi dengan chip pengukuran energi.
- Perhitungan berdasarkan data yang diterima.
- Menampilkan parameter kelistrikan, tarif dan biaya listrik.
- Pembacaan kartu pintar.
- Deteksi kerusakan.
- Manajemen data dengan EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*)
- Komunikasi dengan perangkat komunikasi lainnya.
- Manajemen daya.

Mikrokontroler dapat melakukan perhitungan pengukuran kinerja tinggi dan pengukuran utilitas. Fitur penting lainnya dari MCU yang digunakan dalam smart meter adalah ketersediaan memori *flash* dalam chip dan konektivitas dalam jumlah besar. Ini juga dapat disediakan oleh MSP430 dengan perangkat *flash* hingga 256 KB [21].

F. Pemilihan Modul GSM/GPRS

Komunikasi transceiver dapat diperoleh dengan menggunakan berbagai teknologi dan standar. Komunikasi antara penyedia tenaga listrik dan pelanggan akan dilakukan melalui jaringan GSM/GPRS dengan bantuan modul GSM/GPRS. Dengan menggunakan Telit GE865-QUAD yang merupakan salah satu modul *Ball-Grid-Array* (BGA) GSM/GPRS terkecil, komunikasi dua arah dapat diperoleh [21].

G. IC Pengukur Energi

I Made Agus Artha Putra : Literatur Review Tantangan dan ...

Pengkondisian sinyal, ADC, dan komputasi dilakukan di dalam unit pengukuran energi. Unit pengukuran energi dapat berupa chip pengukuran energi standar atau sistem MCU itu sendiri. Mereka memberikan informasi energi aktif, reaktif, dan semu sebagai keluaran data atau frekuensi (pulsa) [21].

III. METODOLOGI



Gambar 1: Flowchart Literature Review

A. Tahapan 1

Proses review artikel diawali dengan mencari artikel penelitian atau review yang terkait langsung atau tidak dengan *Advance Metering Infrastructure*. Sumber yang digunakan adalah basis data dari Google Scholar, IEEE Explore, dll.

B. Tahapan II

Melakukan studi dan review literature untuk mendapatkan pembahasan yang lebih terfokus terkait topik paper. Studi dilakukan untuk memahami segala persoalan tentang AMI.

C. Tahapan III

Merangkum hasil review sebagai landasan untuk membuat paper.

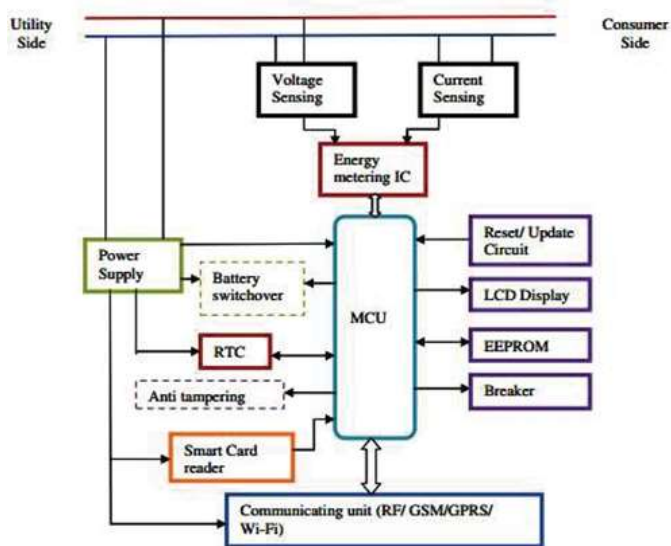
Desain *smart meter* bergantung pada tiga area internal utama yaitu sumber/sistem listrik, mikrokontroler, dan antarmuka komunikasi. Kebutuhan utama sumber listrik adalah rangkaian listrik utama meteran selalu mendapat aliran listrik meskipun saluran utama terputus. Untuk menjamin kelangsungan pasokan listrik, sistem meteran pintar telah beralih dengan *Switched Mode Power Supply* (SMPS) dan cadangan baterai. Mikrokontroler diperlukan dalam smart meter untuk melakukan pekerjaan komputasi karena mikrokontroler diprogram dengan detail yang diperlukan. Mikrokontroler memberikan kecerdasan pada meteran, yang berisi unit *Analog to Digital Control* (ADC) dan *Digital to Analog Control* (DAC). Komponen terakhir dari meteran

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



9 772503 237160

pintar adalah sistem antarmuka komunikasi yang menyediakan komunikasi dua arah antara meteran pintar dan jaringan utilitas, yang merupakan fitur unik dalam meteran pintar yang membedakannya dari meteran tradisional [22]. Bagian utama dan tambahan dari desain *smart meter* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2: Smart Meter Infrastructure Block Diagram

Pengukur pintar biasanya terdiri dari komponen perangkat keras berikut:

- Unit penginderaan tegangan dan arus
- Catu daya
- Satuan pengukuran energi (IC pengukuran)
- Mikrokontroler
- Jam waktu nyata
- Sistem komunikasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

AMI adalah sistem yang memiliki banyak manfaat dan pada akhirnya dipandang sebagai solusi terhadap masalah pengelolaan sumber daya energi yang langka. Ada beberapa aplikasi, tantangan, dan kebijakan yang berkaitan dengan implementasi AMI seperti:

A. *Consumer Profiling, Segmentasi dan Analisis Klaster*

Ini bertujuan untuk menemukan pola dalam kumpulan data yang besar. Alat yang efisien untuk analisis cluster adalah algoritma k-mean atau kombinasi dari k-mean dan jaringan saraf tiruan seperti SOM [23]. Alat-alat ini juga dapat digunakan untuk memuat profil. Pemahaman tentang pola penggunaan pelanggan akan membantu dalam perancangan untuk meningkatkan skema tarif respons permintaan, menurut sebuah penelitian yang dilakukan pada sekelompok 12.000 konsumen listrik Finlandia [24].

B. *Perkiraan Beban*

Informasi yang disediakan oleh *smart grid* memungkinkan untuk memprediksi pola beban. Fitur baru ini memungkinkan DSO (*Days Sales Outstanding*) untuk membuat keputusan yang lebih baik dan tepat mengenai operasi jangka pendek

serta penjadwalan jangka menengah. Namun untuk dapat mengambil keputusan yang baik dalam perencanaan jangka panjang, diperlukan pemahaman yang mendalam terhadap perilaku konsumen. Dalam hal efisiensi energi, perilaku konsumen tidak dapat dinilai melalui pendekatan pembuat kebijakan yang berfokus pada peralatan rumah tangga yang hemat energi karena hal ini dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi [25]. Sedangkan penegakan kebijakan nasional dalam hal efisiensi energi, substitusi dan pembangunan energi terbarukan adalah indikator untuk normalisasi medan energi [26]. Ada sejumlah literatur yang menjelaskan teknologi statistik dan pembelajaran mesin yang dapat dimanfaatkan untuk mencapai perkiraan beban yang akurat [27] – [31].

C. *Kecerdasan Penetapan Harga*

Penerapan AMI akan memunculkan skema tarif yang fleksibel. Konsumen akan mengambil keuntungan dari hal ini dengan memilih skema tarif yang fleksibel dan sesuai dengan kebutuhan mereka sehingga akan membantu meringankan permasalahan harga yang dihadapi oleh sektor tenaga listrik [32]. Hal ini mempunyai banyak keuntungan; pengurangan permintaan, pengurangan biaya dan peningkatan efisiensi ekonomi [33], [34]. Namun hal ini hanya dapat dicapai melalui 'penetapan harga real-time' yang merupakan salah satu keunggulan AMI.

D. *Menangkap Penyimpanan*

Karena teknik penambangan data (akuisisi dan analisis terperinci atas data yang diperoleh) mampu memberikan DSO perilaku konsumsi konsumen, ketidakaturan; yang dapat timbul karena meteran yang rusak, penipuan atau pencurian listrik dapat dengan mudah diidentifikasi.

E. *Operasi Waktu Nyata*

Dengan ketersediaan data waktu yang sering dikumpulkan dari smart meter, DSO dapat memperoleh persepsi sistem tenaga listrik secara real-time. Hal ini memungkinkan DSO untuk memantau secara dekat beberapa parameter variabel secara real-time. Parameter tersebut meliputi: distorsi tegangan, ketidakseimbangan tegangan, dll. Hal ini juga memungkinkan DSO bereaksi dengan segera dan tepat waktu terhadap variasi parameter ini. Ini penting untuk stabilitas sistem.

F. *Keamanan Smart Meter*

Pemeliharaan keamanan informasi dalam *smart grid* lebih kompleks dibandingkan dengan sistem tenaga listrik tradisional karena penggunaan protokol komunikasi terintegrasi dengan jaringan sistem lain dalam kasus *smart grid*. Banyak informasi pribadi dan profesional dikirimkan melalui infrastruktur ICT (*Information and Communication of Technology*) publik seperti Internet dan untuk menjaga privasi mereka, banyak pemantauan dan pengendalian dilakukan secara berkala yang berkontribusi terhadap pola lalu lintas yang teratur dalam jaringan komunikasi *smart grid*.

Langkah-langkah keamanan harus memastikan hal-hal berikut:

- Privasi yang hanya pengirim dan penerima yang dituju yang dapat memahami isi pesan.
- Integritas bahwa pesan tiba tepat waktu di penerima dengan cara yang persis sama seperti saat dikirim.
- Otentikasi pesan sehingga penerima dapat yakin akan identitas pengirim dan pesan tersebut tidak berasal dari penipu.
- Non-penyangkalan dimana penerima dapat membuktikan bahwa suatu pesan datang dari pengirim tertentu dan pengirim tidak dapat menolak pengiriman pesan tersebut.

Pengembangan protokol keamanan merupakan kebutuhan terpenting sistem ICT. Oleh karena itu, terdapat beberapa teknologi mapan yang memberikan keamanan data terhadap sebagian besar ancaman dunia maya.

G. Tantangan dalam Pemasangan Smart Meter dan Beberapa Perbaikan

Dengan bantuan teknologi dan otomasi yang berkembang, Industri Tenaga Listrik memerlukan peralihan total ke generasi berikutnya. Satu-satunya cara industri ketenagalistrikan bertahan adalah dengan berevolusi menuju sistem jaringan listrik yang lebih baik dan lebih cerdas, dilihat dari meningkatnya permintaan listrik dan kompetensi pasar. Perubahan sistem ketenagalistrikan tradisional menjadi jaringan listrik pintar (*smart grid*) dan sistem meteran cerdas (*smart metering system*) bukanlah tugas yang mudah karena sektor ketenagalistrikan biasanya menghadapi sejumlah permasalahan yang menantang seperti meminimalkan kerugian transmisi dan distribusi, pencurian listrik, infrastruktur jaringan listrik yang tidak memadai, rendahnya meteran listrik, efisiensi dan kurangnya kesadaran.

TABEL 1
MERANGKUM SOLUSI DALAM MENANGGAPI BERBAGAI TANTANGAN Sambil MENINGKATKAN SISTEM AMI DALAM JANGKA WAKTU YANG RELATIF SINGKAT [35].

Tantangan	Solusi
Ketersediaan meteran pintar dan logistik inventaris	- Mempertahankan cadangan penyangga yang cukup untuk meteran dan pengumpul pintar sambil menerapkan pendekatan logistik tepat waktu. - Mengadopsi sistem genggam untuk meningkatkan/menyederhanakan proses instalasi, inventaris, dan logistik.
Ketersediaan infrastruktur jaringan dan potensi kemacetan jaringan	- Pertahankan buffer yang cukup dalam desain jaringan. - Terapkan rekayasa lalu lintas untuk mengatur lalu lintas jaringan. - Membangun <i>dashboard</i> kinerja untuk mengidentifikasi

	hambatan. - Sempurnakan rasio kolektor terhadap meter. - Pertimbangkan teknologi komunikasi <i>smart meter</i> lainnya, seperti komunikasi saluran listrik. - Pertimbangkan untuk memiliki penyedia jaringan seluler alternatif untuk meningkatkan jangkauan.
Peningkatan skala sistem backend	- Tinjau penyimpanan data yang tersedia untuk peningkatan. - Pertimbangkan pendekatan <i>cloud</i> untuk meningkatkan fleksibilitas.
Peningkatan sistem headend dan perangkat keras server	- Tinjau kapasitas sistem dan kekuatan pemrosesan untuk peningkatan. - Lakukan tes dan simulasi tegangan beban. - Tinjau lalu lintas data antar sistem untuk ditingkatkan.
Penerapan firmware baru	- Evaluasi kinerja <i>firmware</i> rilis baru apakah layak untuk diterapkan. - Membangun meter farm untuk memfasilitasi evaluasi <i>firmware</i> baru dan uji penerapan sebelum benar-benar diterapkan ke lingkungan produksi.
Antarmuka beralih rencana untuk sistem lama	- Tinjau proses dan antarmuka sistem yang diperlukan untuk sistem lama. - Manajemen perubahan yang tepat untuk menyederhanakan proses.
Persyaratan pengoperasian dan pemeliharaan	- Menetapkan manajemen perubahan yang tepat untuk menyederhanakan proses operasi dan pemeliharaan - Tingkatkan dasbor kinerja untuk pemantauan sistem yang lebih baik. - Rekayasa ulang proses untuk mengubah proses O&M yang ada untuk memenuhi AMI baru.

H. Penerapan Kebijakan

Formulasi kebijakan yang beragam telah divalidasi dengan baik dalam literatur untuk mendukung inovasi teknologi selama beberapa waktu. Mendefinisikan tujuan kebijakan



yang jelas untuk mengidentifikasi tindakan kebijakan tidak dapat terlalu ditekankan karena, tujuan kebijakan inti adalah keamanan, daya saing dan perlindungan lingkungan sebagai indikator tindakan kebijakan dan kemitraan [36]. Selain itu tersaji lima perspektif terhadap target kebijakan, yaitu; metrik pengambilan keputusan sosial, teknis, ekonomi, lingkungan hidup dan politik dengan cakupan target/tujuan kebijakan yang semakin luas, model pengambilan kebijakan yang beragam telah dikembangkan dan diadopsi dalam inovasi teknologi yang terus berkembang di zaman modern [37]. Peta jalan nasional merupakan sebuah model yang telah diusulkan untuk mengidentifikasi permasalahan energi di masa depan, mengenai konsekuensinya dan panduan pengambilan kebijakan dalam mencegah dampak buruk [38]. Senada dengan itu, proses hierarki analitis (AHP) untuk analisis multi-perspektif yang digunakan dalam perumusan kebijakan energi, perencanaan alokasi sumber daya telah dibahas [39]. Perhatian utama dalam pembuatan kebijakan adalah menjaga keamanan, privasi, dan efisiensi energi [40]. Model untuk meningkatkan formulasi kebijakan dalam hal ini adalah model hierarki. Sistem manajemen kebijakan yang hierarkis dan terdistribusi mengadopsi entitas pembuat kebijakan yang terdesentralisasi di mana kewenangan didelegasikan ke beberapa badan untuk memastikan kebijakan yang spesifik [41]. Dalam model hierarki, ruang lingkup kebijakan dipecah menjadi beberapa zona kewenangan untuk memastikan cakupan kebijakan pribadi, kebijakan lokal, kebijakan nasional dan global yang tepat. Penerapan model hierarki dalam teknologi pengukuran cerdas akan mendorong integrasi dan inklusi dalam inovasi yang muncul dan berkembang di bidang energi sekaligus melindungi kepentingan semua pemangku kepentingan yang terlibat.

V. KESIMPULAN

Kebijakan energi terutama berfokus pada peningkatan kapasitas untuk memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat, elektrifikasi pedesaan, dan optimalisasi penggunaan listrik melalui manajemen beban dan peningkatan efisiensi operasional. Pengembangan sistem meteran cerdas merupakan bagian penting dari jaringan pintar. Oleh karena itu, diperlukan studi menyeluruh tentang persyaratan smart meter, ketersediaan teknologi, dan tantangan dalam mengembangkan smart meter. Penekanan lebih besar harus diberikan pada keamanan data, komunikasi yang andal, serta pengembangan perangkat lunak dan perangkat keras yang canggih.

REFERENSI

- [1] Oladipo, M.A. and Olusesan, T.K. (2017) 'A model unavailability perspective of existing nigerian township electricity distribution', *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 7, No. 1, pp.77–85.
- [2] Sanni, T.F., Ayo, O.O., Adoghe, A.U. and Ibaze, A.E. (2017) 'A hybrid thermo-electric solar based system for energy efficiency in microgrids', *IEEE PES PowerAfrica*, pp.518–522.
- [3] Hart, G. (1989) 'Residential energy monitoring and computerized surveillance via utility power flows', *IEEE Technol. Soc. Mag.*, Vol. 8, No. 2, pp.12–19.
- [4] Chan, M., Campo, E., Estève, D. and Fourniols, J-Y. (2009) 'Smart homes – current features and future perspectives', *Maturitas*, Vol. 64, No. 2, pp.90–97.
- [5] AlAbdulkarim, L. and Lukszo, Z. (2011) 'Impact of privacy concerns on consumers' acceptance of smart metering in the Netherlands', *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, pp.287–292.
- [6] McKenna, E., Richardson, I. and Thomson, M. (2012) 'Smart meterdata: balancing consumer privacy concerns with legitimate applications', *Energy Policy*, Vol. 41, pp.807–814.
- [7] Wilson, C., Hargreaves, T. and Hauxwell-Baldwin, R. (2017) 'Benefits and risks of smart home technologies', *Energy Policy*, Vol. 103, pp.72–83.
- [8] Bhati, A., Hansen, M. and Chan, C.M. (2017) 'Energy conservation through smart homes in a smart city: a lesson for Singapore households', *Energy Policy*, Vol. 104, pp.230–239.
- [9] PBB (2015) Paris Agreement, United Nations.
- [10] Buchanan, K., Banks, N., Preston, I. and Russo, R. (2016) 'The British public's perception of the UK smart metering initiative: threats and opportunities', *Energy Policy*, Vol. 91, pp.87–97.
- [11] Guo, P., Li, V.O.K. and Lam, J.C.K. (2017) 'Smart demand response in China: challenges and drivers', *Energy Policy*, Vol. 107, pp.1–10.
- [12] Faruqi, A., Harris, D. and Hledik, R. (2010) 'Unlocking the h53 billion savings from smart meters in the EU: how increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment', *Energy Policy*, Vol. 38, pp.6222–6231.
- [13] Jennings, G.M. (2013) 'A smarter plan? A policy comparison between Great Britain and Ireland's deployment strategies for rolling out new metering technologies', *Energy Policy*, Vol. 57, pp.462–468.
- [14] McHenry, M.P. (2013) 'Technical and governance considerations for advanced metering infrastructure/smart meters: technology, security, uncertainty, costs, benefits, and risks', *Energy Policy*, Vol. 59, pp.834–842.
- [15] Hossein Shahrinadeh, Ayla Hasanalizadeh-Khosroshahi, "Implementation of Smart Metering Systems: Challenges and Solutions", *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, Vol.12, No.7, pp. 5104 ~ 5109, July 2014.
- [16] Sören, F. and Ingmar, B. (2015) 'Privacy-aware smart metering: a survey', *IEEE*, pp.1088–1101.
- [17] Augustus Ehiremen Ibaze. (2020) 'A Review on Smart Metering Infrastructure', *International Journal of Energy Technology and Policy*, Vol. 16, No. 3.
- [18] Labs, S. (n.d.) Smart Metering Brings Intelligence and Connectivity to Utilities, Green Energy and Natural Resource Management [online] <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Designing-Low-Power-Metering-Applications.pdf> (accessed 4 April 2017).
- [19] Mohassel, R.R., Fung, A.S., Mohammadi, F. and Raahemifar, K. (2014) 'A survey on advanced metering infrastructure and its application in smart grids', *CCECE*, pp.1–8.
- [20] Lipošak, Z. and Boškovi, M. (2013) 'Survey of smart metering communication technologies', *EUROCON, 2013 IEEE*, pp.1391–1400.
- [21] Ajay Kumar Chakraborty and Navonita Sharma. (2016) 'Advance Metering Infrastructure: Technology and Challenges', *IEEE*, 978-1-5090-2157.
- [22] K.S.K Waranga, Sisil Kumarawadu, D.P Chandima, "Smart Metering Design and Applications", *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, DOI 10.1007/978-981-4451-82-6, 2014.
- [23] Espinoza, M., Joye, C., Belmans, R. and DeMoor, B. (2005) 'Short-term load forecasting, profile identification, and customer segmentation: a methodology based on periodic time series', *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 20, No. 3, pp.1622–1630.
- [24] Liu, H., Yao, Z., Eclund, T. and Back, B. (2012) 'From Smart Meter Data to Pricing Intelligence: Real time BI for pricing intelligence.
- [25] Sorrell, S., Dimitropoulos, J. and Sommerville, M. (2009) 'Empirical estimates of the direct rebound effect: a review', *Energy Policy*, Vol. 37, pp.1356–1371.
- [26] Taouil, K., Jellad, T. and Chtourou, Z. (2014) 'Community-coupled microgrids for the implementation of a smart grid in Tunisia', *International Journal of Energy Technology and Policy*, Vol. 10, Nos. 3–4, pp.183–199.
- [27] Kim, K.H., Youn, H.S. and Kang, Y.C. (2000) 'Short-term load forecasting for special days in anomalous load conditions using neural

- networks and fuzzy inference method', IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 2, pp.559–565.
- [28] Verdu, S.V. et al. (2006) 'Classification, filtering, and identification of electrical customer load patterns through the use of self-organizing maps', IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 4, pp.1672–1682.
- [29] Pao, H. (2007) 'Forecasting electricity market pricing using artificial neural networks', Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 3, pp.907–912.
- [30] Liao, H. and Niebur, D. (2003) 'Load profile estimation in electric transmission networks using independent component analysis', IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 2, pp.707–715.
- [31] Nagi, J., Yap, K.S., Tiong, S.K. and Ahmed, S.K. (2008) 'Electrical power load forecasting using hybrid self-organizing maps and support vector machines', The 2nd International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO 2008), Shah Alam, Selangor, Malaysia, June.
- [32] Kanakasabapathy, P. and Shanti Swarup, K. (2009) 'Market operations in future Indian restructured power system scenario', International Journal of Energy Technology and Policy, Vol. 7, No. 1, pp.78–94.
- [33] Farouqui, A. (2010) 'Ethics of dynamic pricing', The Electricity Journal, Vol. 23, No. 6, pp.13–27.
- [34] Moutinho, V.M.F. (2015) 'Evaluating the strategic supply per power plant: evidence from the Spanish wholesale electricity market', International Journal of Energy Technology and Policy, Vol. 11, No. 2, pp.97–126.
- [35] John Chan, Ricky Ip, K. W. Cheng and Ken S.P. Chan. (2019) 'Advance Metering Infrastructure Deployment and Challenges', IEEE. 978-1-5386-7434-5.
- [36] Kagiannas, G.A., Flamos, A., Askounis, D.T. and Psarras, J. (2004) 'Energy policy indicators for the assessment of the Euro-Mediterranean energy cooperation', International Journal of Energy Technology and Policy, Vol. 2, No. 4, pp.301–322.
- [37] Abotah, R. and Daim, T.U. (2007) 'Towards building a multi perspective policy development framework for transition into renewable energy', Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 21, pp.66–88.
- [38] Amer, M. and Daim, T.U. (2010) 'Application of technology roadmaps for renewable energy sector', Technological Forecasting and Social Change, Vol. 77, No. 8, pp.1355–1370.
- [39] Amer, M. and Daim, T.U. (2011) 'Selection of renewable energy technologies for a developing county: a case of Pakistan', Energy for Sustainable Development, Vol. 15, No. 4, pp.420–435.
- [40] Visessanchok, T. (2016) 'Detection and introduction of emerging technologies for green buildings in Thailand', International Journal of Energy Technology and Policy, Vol. 12, No. 1, pp.2–19.
- [41] Misra, S., Maheswaran, M. and Hashmi, S. (2017) Security Challenges and Approaches in Internet of Things, in: SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering, Springer International Publishing AG, Switzerland.



{ Halaman ini sengaja di kosongkan }