

REVIEW PROSES PERENCANAAN JANGKA PANJANG SISTEM TENAGA LISTRIK

Handrea Bernardo Tambunan¹, Anindita Satria Surya², Dhandis Rito Jintaka³, Brian Bramantyo S.D.A. Harsono⁴, Denny Haryanto Sinaga⁵, Aryo De Wibowo Muhammad Sidik⁶, Adeguna Ridlo Pramurti⁷

^{1,2,3,4}PT. PLN (Persero) Puslitbang Ketenagalistrikan

^{1,2,3,4}Jl. Duren Tiga Raya No.102, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 12760, Indonesia

⁵Universitas Negeri Medan

⁵Jl. Willem Iskandar, Medan, 20221, Indonesia

^{1,6,7}Nusa Putra University

⁶Jl. Raya Cibatuh Cisaat No.21, Sukabumi, 43155, Indonesia

⁸Tanri Abeng University

⁷Jl. Swadarma Raya No.58, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12250, Indonesia

¹handrea.tambunan@pln.co.id, ²anindita.satria@pln.co.id, ³dhandis.jintaka@pln.co.id,
⁴brian.adiputro@pln.co.id, ⁵denny.sinaga@unimed.ac.id, ⁶aryo.dewibowo@nusaputra.ac.id,
⁷adegunapramurti@tau.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 01-06-2021
revisi : 10-06-2021
diterima : 22-06-2021
dipublish : 30-06-2021

ABSTRAK

Salah satu tugas utama dari pemerintah kepada PT PLN (Persero) adalah melakukan pembangunan ketenagalistrikan yang bertujuan untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup, kualitas yang baik, dan harga yang wajar. Untuk melaksanakan tugas tersebut maka disusunlah dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) yang meliputi rencana pengadaan tenaga listrik yang mulai dari pembangkitan, transmisi hingga distribusi untuk jangka waktu sepuluh tahun. Dikarenakan durasi yang sangat panjang maka diperlukan metode dan proses yang tepat, efisien dan optimal dalam merencanakan sistem tenaga listrik sehingga dapat terhindar dari deviasi yang tinggi antara perencanaan dan realisasi. Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan *review* terhadap model perencanaan eksisting melalui metode komparasi sebagai alternatif perbaikan untuk mengoptimalkan proses perencanaan. Komparasi dilakukan pada beberapa negara seperti Austria, Belgium, Denmark, France, Germany, Italy, The Netherlands, Switzerland, United Kingdom, dan United States. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan sistem tenaga listrik secara tipikal terdiri dari tiga fase mulai dari fase penentuan asumsi dan skenario, pemodelan, hingga persetujuan pemerintah. Fase awal dapat diperkuat dengan penambahan parameter negasi berupa pertumbuhan *prosumer* hingga efisiensi peralatan tenaga listrik, fase *modeling* dapat melibatkan akademisi, grup ekspert hingga lembaga riset, dan fase terakhir dapat diperkuat dengan peranan publik dan *stakeholder* yang terkait sehingga deviasi antara perencanaan jangka panjang dan realisasi dapat lebih rendah.

Kata kunci : Perencanaan; Sistem Tenaga Listrik; RUPTL; PLN

ABSTRACT

Review The Process of Long-Term Power System Planning.

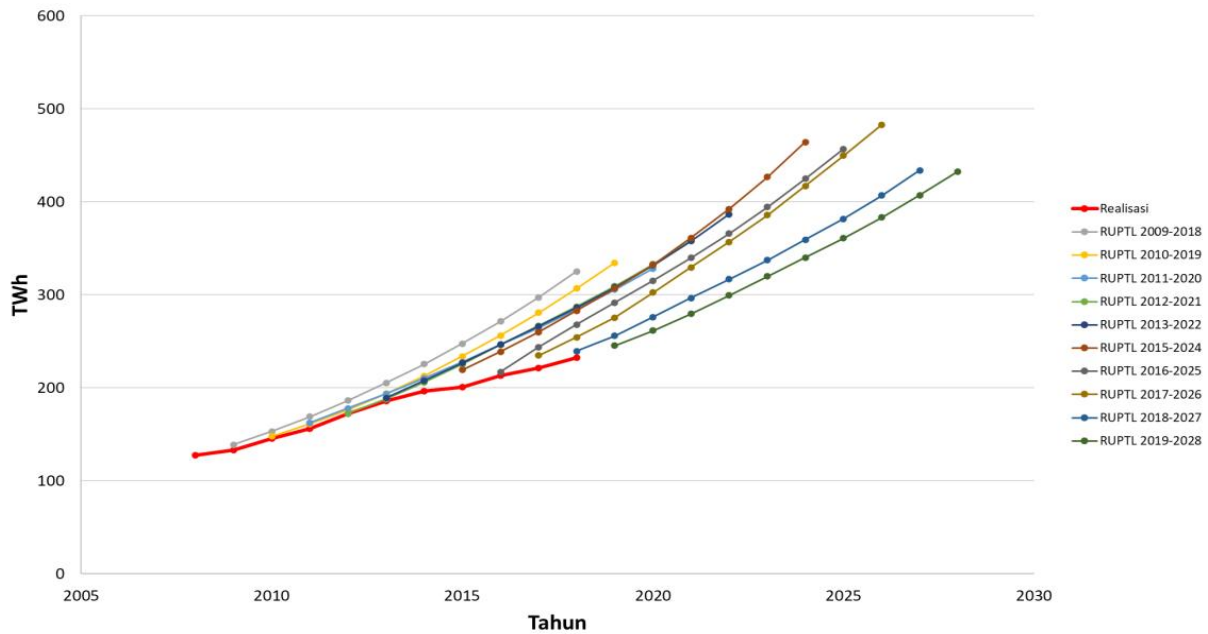
One of the main tasks of PT PLN (Persero) from the Indonesia government is to carry out electricity development which aims to ensure the availability of electricity in sufficient quantities, good quality, and at a reasonable price. Electricity Supply Business Plan (RUPTL) document is compiled which includes plans for electricity supply starting from generation, transmission to distribution in ten years periods. Due to the very long duration, appropriate, efficient and optimal methods and processes are needed in long-term planning so deviations between planning and realization can be avoided. This paper aims to review the existing planning model through the comparison method as an alternative to optimize the planning process. Comparisons were made in several countries such as Austria, Belgium, Denmark, France, Germany, Italy, The Netherlands, Switzerland, United Kingdom, dan United States. The results show that the planning of a power system typically consists of three phases, from terminating assumptions and scenarios, modeling, and government approval. The initial phase can be strengthened by adding negation parameters in the form of photovoltaic or prosumer growth to the efficiency of electric power equipment. The modeling phase can involve academics, expert groups to research institutes. The last phase can be strengthened by the role of the public and related stakeholders so the deviation between long-term planning and realization significantly decreases.

Keywords : Power System; Planning; RUPTL; PLN

PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-Undang (UU) nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan disebutkan bahwa PT PLN (Persero) mendapatkan mandat dari pemerintah melakukan pembangunan ketenagalistrikan yang bertujuan untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup, kualitas yang baik, dan harga yang wajar dalam rangka meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat secara adil dan merata serta mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan (*Undang Undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan*, 2009). Dengan tersedianya listrik maka dapat menopang

kehidupan serta menggerakkan perekonomian masyarakat Indonesia. Untuk melaksanakan mandat berupa pembangunan ketenagalistrikan yang berkelanjutan sekaligus memenuhi Peraturan Menteri (Permen) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) nomor 10 tahun 2019 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) maka disusunlah dokumen perencanaan sistem tenaga listrik untuk jangka waktu yang panjang. Perencanaan tersebut meliputi rencana pengadaan tenaga listrik yang terdiri dari bidang pembangkitan, transmisi, distribusi, dan atau penjualan tenaga listrik kepada konsumen dalam suatu wilayah usaha.



Gambar 1. Perencanaan VS realisasi RUPTL (PT PLN (Persero), 2019)

Untuk mengakomodir hal tersebut maka PT PLN (Persero) menyusun RUPTL dalam jangka waktu 10 (sepuluh) tahun (KESDM, 2019). Hal tersebut disebabkan oleh pembangkit konvensional membutuhkan waktu pembangunan yang sangat lama. Selain itu pemilihan teknologi pembangkit juga perlu dipertimbangkan dikarenakan waktu operasinya yang sangat panjang bahkan mencapai lebih dari 30 tahun. Dikarenakan waktu yang sangat panjang inilah maka diperlukan metode yang tepat, efisien, dan optimal dalam merencanakan sistem tenaga listrik sehingga dapat terhindar dari kekurangan pasok atau bahkan deviasi antara perencanaan dan realisasi yang sangat tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Selain memiliki tugas untuk melistriki masyarakat Indonesia dalam jumlah yang cukup, kualitas yang baik, dan harga yang wajar, PT PLN (Persero) juga mendapatkan tugas secara langsung dari pemerintah untuk diselesaikan dalam beberapa waktu

kedepan. Hal tersebut disesuaikan dengan berbagai kondisi mulai dari kesepakatan internasional untuk penurunan emisi karbon hingga program strategis pemerintah bagi masyarakat Indonesia. Setidaknya pada saat ini terdapat tiga mandat pemerintah yang harus diselesaikan oleh PT PLN (Persero) diantaranya adalah program 100% rasio elektrifikasi, program pembangkit 35 GW Indonesia, 2017), dan target energi baru terbarukan (EBT).

Mandat pemerintah yang pertama didasarkan pada RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) bahwa tercapainya rasio elektrifikasi sebesar 85% pada tahun 2015 dan mendekati sebesar 100% pada tahun 2020 (Indonesia, 2017). Target kedua adalah program “35.000 MW Listrik Untuk Indonesia” pada tahun 2015. Tugas yang ketiga adalah target nasional EBT yang didasarkan pada dokumen KEN (Kebijakan Energi Nasional), RUEN, hingga RUKN (Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional) yang telah ditetapkan oleh pemerintah (Indonesia, 2014; KESDM,

2019). Target tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan EBT dalam bauran energi nasional. Dalam dokumen RUPTL disebutkan bahwa target bauran energi pembangkit mulai akhir tahun 2025 adalah energi baru terbarukan sebesar 23% (dua puluh tiga persen) (Indonesia, 2016). Dengan semakin tingginya integrasi EBT khususnya dengan karakteristik variabel, intermiten, dan tersebar maka terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan mulai dari kapasitas, fleksibilitas, perencanaan saluran transmisi, hingga perencanaan sistem distribusi (Bebic, 2008). Oleh sebab itu setiap penugasan seharusnya dapat selaras dengan perencanaan jangka panjang yang disusun oleh PT PLN (Persero).

Dalam proses perencanaan sistem tenaga listrik didasarkan pada asumsi-asumsi dasar dan berasal dari eksternal yang digunakan dalam tahap proyeksi (*forecasting*) energi seperti proyeksi pertumbuhan ekonomi nasional, proyeksi pertumbuhan penduduk, dan angka inflasi. Asumsi tersebut menjadi dasar dalam memperkirakan kebutuhan beban dimasa yang akan datang. Hasil dari konversi proyeksi energi (GWh) menjadi beban puncak (MW) inilah yang digunakan sebagai basis dalam perencanaan pembangkit, gardu induk hingga transmisi. Dikarenakan dana investasi yang terbatas, maka kelebihan peramalan (*over forecasting*) akan berpotensi kelebihan kebutuhan investasi (*over investment*). Oleh sebab itu diperlukan review agar metode yang digunakan tepat dan fit untuk kondisi sistem tenaga listrik di Indonesia.

Hingga saat ini, perencanaan sistem tenaga listrik yang digunakan dalam dokumen RUPTL dimungkinkan untuk dilakukan revisi apabila terjadi perubahan

pada nilai asumsi dasar (KESDM, 2019a). Tujuan dari proses revisi adalah untuk mengkalibrasi kembali perencanaan sistem tenaga listrik sesuai dengan kondisi terkini. Terdapat beberapa hal yang dapat mendasari adanya revisi dokumen RUPTL diantaranya adalah terjadinya penurunan pertumbuhan penjualan, penurunan pertumbuhan penjualan, pemutakhiran jadwal operasi proyek akibat proyek mundur dari jadwal semula, adanya kebijakan pemerintah untuk menambah porsi pembangkit, hingga adanya penambahan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) dan kawasan industri baru.

Beberapa studi menunjukkan isu perencanaan sistem tenaga listrik berkembang pesat dalam 20 tahun terakhir dikarenakan semakin berkembangnya teknologi ketenagalistrikan. Perencanaan jangka panjang menjadi semakin kompleks dimana tidak hanya berfokus bagaimana mengembangkan sistem dan menghubungkan secara interkoneksi saja akan tetapi mulai bergerak kearah kesetimbangan (*balance*), konstruksi, digitalisasi, masuknya pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), tingkat emisi, skema pertahanan (*defense scheme*), hingga analisis dan evaluasi metode perencanaan (CIGRE, 2017; Henderson et al., 2009; Seifi & Sepasian, 2011).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan maka dalam penelitian ini perlu dilakukan analisis dan komparasi terhadap proses perencanaan jangka panjang di berbagai negara sehingga didapatkan alternatif perbaikan yang dapat mengoptimalkan proses perencanaan ketenagalistrikan eksisting di PT PLN (Persero).

METODOLOGI

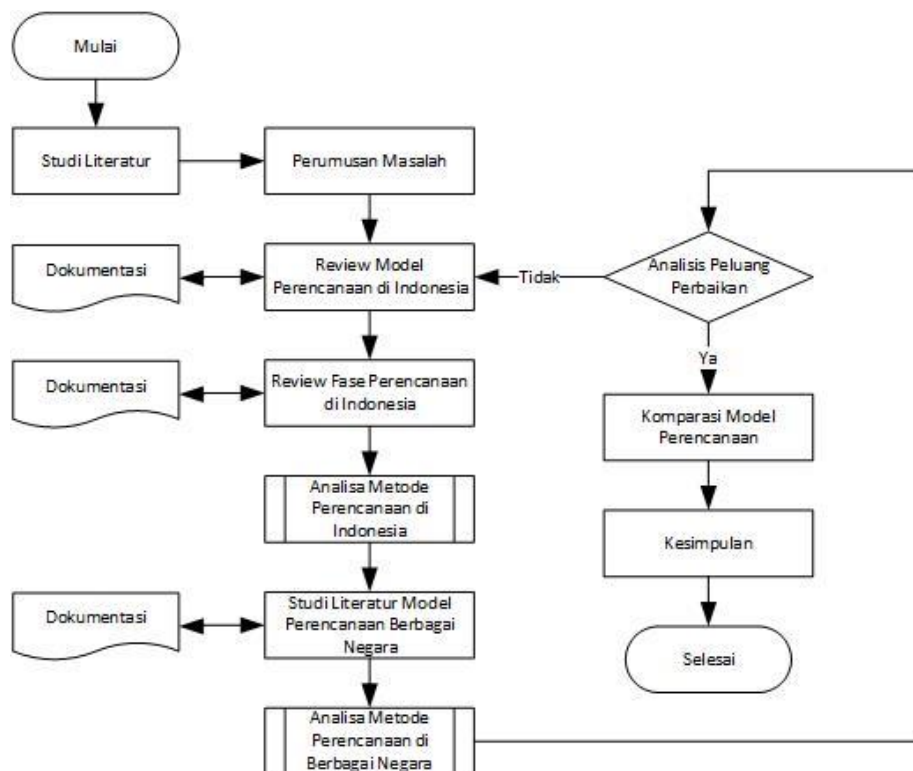
Pada penelitian ini akan dibatasi pada proses perencanaan jangka panjang milik PT PLN (Persero) melalui dokumen RUPTL untuk rentang waktu 10 tahun. Penelitian ini dibuat dengan alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Peluang dan alternatif perbaikan didapat melalui komparasi studi literatur dari berbagai negara.

Review proses dan alur perencanaan dimulai dari mengacu pada model perencanaan tipikal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 sehingga komparasi metode dan alur proses perencanaan di berbagai negara dapat dilakukan. Perencanaan sistem tenaga listrik dapat diidentifikasi dari aspek teknis (*technical elements*) dan proses perencanaan jaringan (*network planning process*) (Weber et al., 2013). Beberapa negara yang dimaksud

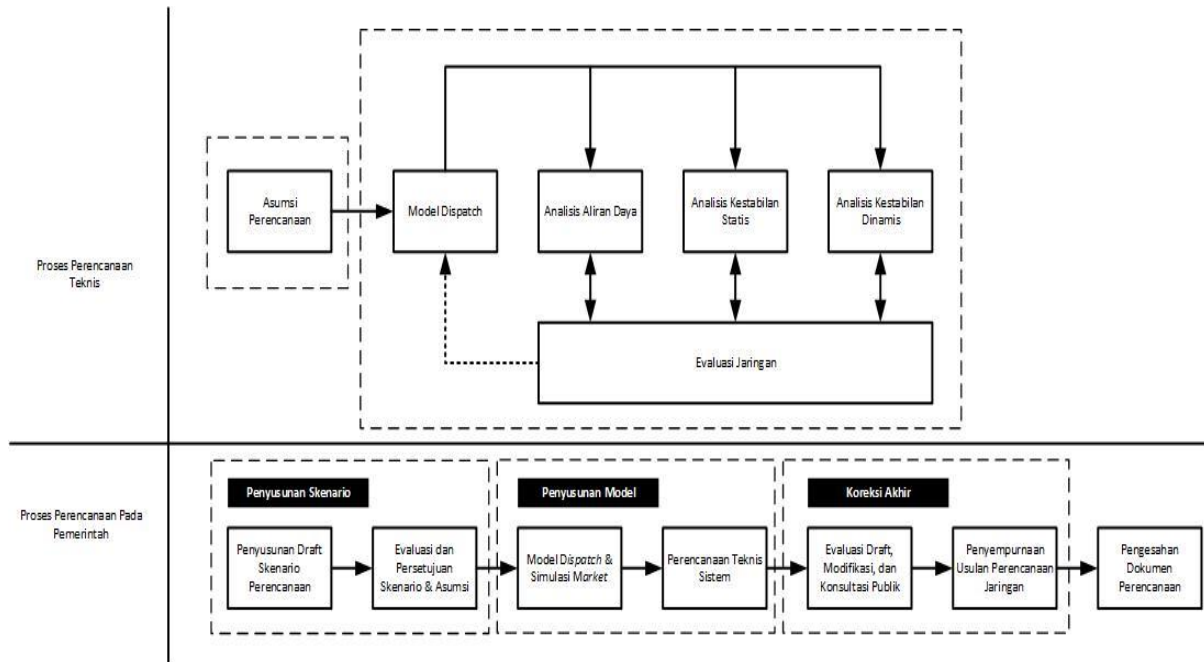
diantaranya adalah Austria, Belgium, Denmark, France, Germany, Italy, The Netherlands, Switzerland, United Kingdom, dan United States.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan sistem tenaga listrik merupakan aktivitas pengembangan sistem yang berhubungan dengan desain dan konstruksi dari suatu sistem tenaga listrik beserta komponennya untuk memenuhi asumsi kebutuhan dimasa mendatang (Demir & Hadžijahić, 2018). Pengembangan sistem tenaga listrik disuatu negara pada umumnya didasarkan pada perkembangan *socio-economic*, total kebutuhan energi (*total energy consumptions*), sumber energi primer, aliran daya (*power flows*), hingga pengembangan teknis yang berdampingan dengan pengembangan energi.



Gambar 2. Alur penelitian



Gambar 3. Proses perencanaan sistem tenaga listrik tipikal

Berdasarkan horizon waktu terdapat berbagai jenis perencanaan diantaranya adalah perencanaan *multiyears* dan jangka waktu yang panjang (satu hingga sepuluh tahun), perencanaan sistem operasi (rentang waktu satu minggu hingga satu tahun), komitmen unit (rentang waktu menit hingga satu minggu), aliran daya dan *automatic generation control* (rentang waktu menit hingga jam), dinamika sistem (rentang milidetik hingga detik) sampai dengan kondisi transien (rentang nanodetik hingga mikrodetik) (Seifi & Sepasian, 2011).

Proses perencanaan jangka panjang sangat penuh dengan ketidakpastian (CIGRE, 2017). Secara khusus dinegara berkembang, perencanaan sistem tenaga listrik menghadapi tantangan seperti pertumbuhan beban dimasa yang akan datang yang tidak pasti, kendala investasi, jenis dan ketersediaan energi primer, elektrifikasi, hingga interkoneksi daerah-daerah terpencil. Selain itu tantangan selanjutnya adalah bagaimana menjamin

tingkat keandalan yang optimal dari aliran daya yang berkelanjutan dengan harga yang sesuai (Al-Shaalan, 2011).

Austira

Kondisi sistem tenaga listrik di Austria mayoritas sahamnya dimiliki oleh pemerintah melalui perusahaan Verbund AG. Pengelolaan jaringan transmisi sebagian besar dilakukan oleh *Austrian Power Grid* (APG). APG setidaknya mengelola dua jaringan besar yaitu *Vorarlberger Übertragungsnetz GmbH* dan *Tiroler Wasserkraft AG* (TIWAG). Undang-undang Negara Austria berupa “*The Austrian Electricity Act atau Elektrizitätswirtschafts-und-organisationsgesetz*” mengharuskan APG sebagai *Transmission System Operator* (TSO) nasional membuat dokumen perencanaan dengan *horizon* waktu 10 tahun. Perencanaan negara Austria tertuang dalam dokumen APG *masterplan 2020* yang dipublikasikan pada tahun 2009 dan telah diupdate pada tahun 2012 menjadi APG

“*masterplan 2030*”. Revisi dilakukan akibat perubahan ekonomi kelistrikan Eropa seperti penghentian produksi nuklir di Germany dan Switzerland serta mulai semakin banyak pembangkit EBT seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Dokumen *masterplan* tersebut dibuat dengan asistensi lembaga penelitian dari *University of Vienna*. Bentuk asistensi diketahui mulai dari simulasi pasar (*market simulation*) sampai dengan model jaringan (*grid modelling-network planning*). Setidaknya terdapat tiga skenario yang disusun diantaranya adalah skenario *Best Estimate*, *Energiewende*, dan *Green*. Lebih lanjut, peran dari lembaga riset tidak terbatas pada tahap menyusun skenario perencanaan awal saja akan tetapi melakukan review dan evaluasi seperti yang dilakukan oleh *University of Graz*.

Tahap selanjutnya setelah dilakukan review dan evaluasi adalah TSO mengkompilasi setiap proyek dalam perencanaan tahunan dalam dokumen *Netzentwicklungsplan* (NDP). Setiap partisipan yang terhubung dalam jaringan tersebut (*relevant market participant*) diwajibkan secara hukum memberikan data yang relevan seperti proyeksi beban, konfigurasi jaringan beserta perubahannya, data perekaman, serta dokumen-dokumen lainnya. Sebelum diserahkan kepada pemerintah atau disebut juga dengan NRA (*national regulatory authority*) untuk disahkan secara hukum, pemerintah melakukan konsultasi yang hasilnya dipublikasikan secara resmi dan transparan kepada publik. Hasil simulasi seperti simulasi pasar, perhitungan aliran daya (*load flow calculation*), dan proyek ekspansi jaringan dibuka secara umum. Konsiderasi dari dokumen APG *masterplan* adalah pertumbuhan konsumsi energi listrik,

interkoneksi (*exchange*) dengan negara tetangga, dan juga produksi energi listrik nasional. Apabila telah sah secara hukum (*legally binding*) maka proses implementasi akan dimonitor oleh NRA melalui *E-control*.

Belgium

Di Belgium, proses perencanaan saluran transmisi dan pembangkit dilakukan dalam horison waktu 10 tahun melalui dokumen “*le plan d’équipement*”. Perencanaan sistem di negara ini memiliki sejarah yang panjang mulai dari 1988-1998 hingga 1995-2005. Perencanaan sistem tenaga listrik dan transportasi berada dibawah satu komite “*le plan de développement du réseau de transport d’électricité*”. Otoritas jaringan di Belgium yaitu Elia yang memiliki tanggung jawab dalam merencanakan sistem tenaga listrik. Elia memegang lisenensi selama 20 tahun dan dapat diperbaharui jika masanya berakhir. Proseses pembuatan *draft* berangkat dari asumsi awal berupa perencanaan pembangkit yang dikoordinasikan dengan dua otoritas negara yaitu “*Direction générale de l’Energie*” dan “*Bureau fédéral du Plan*”. Skenario yang disusun harus mencerminkan perkembangan tertentu yang tertuang dalam skenario.

Asumsi tersebut kemudian ditindaklanjuti dan dibuat simulasi pasar dan model jaringan oleh TSO. Hasil dari simulasi tersebut menjadi *draft* awal yang sebelum diusulkan kepada pemerintah dilakukan konsultasi ke lembaga *Commission de Régulation de l’Électricité et du Gaz* (CREG). Konsen dari lembaga konsultan seperti CREG adalah mengevaluasi beberapa hal terkait jaringan terkait PLTB lepas pantai (*offshore wind parks*), regulasi terkait EBT, serta isu

lingkungan yang mengacu pada dokumen “EU climate”. Level EBT dalam sistem juga disinggung dalam dokumen *National Renewable Energy Action Plan (NREAP) for Belgium*. Tahap selanjutnya adalah informasi spesifik dan aspek teknis terkait simulasi pasar dan model jaringan dibuka untuk konsumsi publik. Jika tidak ditemui kendala dan diterima oleh CREG dan “*Diréction générale*” maka akan disahkan secara hukum.

Denmark

Perencanaan di Denmark disusun oleh Danish TSO Energinet.dk yang dipublikasi setiap tahunnya melalui dokumen “*Systemplan*”. TSO ini tidak hanya memiliki tanggung jawab untuk melakukan perencanaan ketenagalistrikan saja akan tetapi juga operasi jaringan di level tegangan rendah dan juga transmisi gas. Skenario perencanaan disusun oleh TSO melalui kalaborasi dengan *expert* yang mereka tunjuk. Hal tersebut menegaskan bahwa simulasi pasar dan pemodelan jaringan dilakukan oleh TSO secara internal. Output dari simulasi yang mereka lakukan adalah proyek pengembangan jaringan. *Draft* perencanaan kemudian diserahkan ke pemerintah dalam hal ini adalah *Fanish Ministry of Climate, Energy and Buildings (MoCEB)* untuk dilakukan *review*. MoCEB memiliki tugas melakukan *review* namun jika hasilnya tidak disetujui maka proyek yang tidak mengikat (*non binding*) dapat tetap berjalan selang 6 minggu setelah *draft* diserahkan.

Denmark memiliki target energi untuk tahun 2025 yaitu menurunkan penggunaan energi fosil setidaknya mencapai 15% dan meningkatkan porsi EBT setidaknya mencapai 30% dari total konsumsi energi. Untuk mencapai target tersebut maka

Minister for Climate, Energy and Buildings bersama dengan Ministry of Transport and Energy, Ministry of Finance, the Ministry of the Environment, National Association of Local Authorities, dan Danish Energy Authority membentuk komite bernama “*elinfrastrukturudvalget*” yang diketuai oleh Energinet.dk. Setidaknya terdapat empat skenario yang dikembangkan untuk mencapai target tersebut dengan memperhatikan asumsi dan parameter ekonomi.

France

Réseau de Transport d'Electricité S.A. (RTE) merupakan TSO di *France* yang berada dibawah *Électricité de France (EdF)*. RTE bertugas menyusun perencanaan sistem tenaga listrik untuk horizon waktu 10 tahun. Dalam dokumen perencanaannya harus menjelaskan detail daftar dari proyek untuk tiga tahun kedepan. *Draft* perencanaan disusun berdasarkan asumsi yang sudah dipersiapkan setiap dua tahun oleh RTE dan pemerintah (NRA) melalui *Energy Regulatory Commission (CRE)*. Skenario disiapkan untuk pengembangan regional melalui *Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE)* dan juga pengembangan EBT melalui *Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables (S3REnR)*. Setelah dilakukan simulasi pasar dan pemodelan jaringan maka RTE melakukan konsultasi kepada user yang tergabung dalam *Comité des clients utilisateurs du Réseau de Transport d'Electricité (CURTE)*. Jika terdapat masukan, maka *draft* revisi tersebut akan diserahkan ke konsultan publik yang hasilnya kemudian diserahkan ke NRA dalam hal ini pemerintah. Tahap selanjutnya adalah membuat perencanaan investasi untuk jangka waktu tiga tahun dimana implementasi setiap tahunnya diusulkan

oleh RTE. Berdasarkan skenario pengembangan regional SRCAE dan pengembangan EBT S3RenR dengan empat skenario dengan mempertimbangkan asumsi utama seperti demografi, efisiensi energi, energi nuklir, EBT, dan interkenoksi.

Germany

Perencanaan sistem tenaga listrik di Germany dikelola oleh empat TSO besar diantaranya adalah 50 Hertz Transmission GmbH (Berlin), Amprion GmbH (Dortmund), TSO GmbH (Bayreuth), dan TransnetBW GmbH (Stuttgart) melalui dokumen *Energiewirtschaftsgesetz* (EnWG). Namun semenjak tahun 2011 proses perencanaan sistem diamankan dengan prosedur baru melalui dokumen "*Netzentwicklungsplan*". Perencanaan di Germany sedikit berbeda dikarenakan skenario dan asumsi dibuat oleh TSO namun tujuannya harus sejalan dengan kebijakan energi nasional. Meskipun skenario dan asumsi sifatnya tidak mengikat namun dapat diperdebatkan dan disetujui oleh pemerintah (NRA). Skenario *draft* awal disusun oleh TSO dan dikonsultasikan kepada *stakeholder* terkait termasuk kepada publik sehingga didapatkan *draft* final perencanaan. Asumsi teknis secara spesifik pada fase ini tidak diberikan kepada publik. Setidaknya terdapat empat skenario untuk 10 tahun mendatang dimana satu skenario (*expected scenario*) dipersiapkan untuk 20 tahun mendatang. Skenario yang disusun sudah mempertimbangkan aturan terkait energi yang ditetapkan pemerintah Federal serta mengakomodir asumsi-asumsi politis, pembangkit, beban, hingga *exchanges*.

Setelah didapatkan *draft* final. Proses awal, kembali TSO melakukan perencanaan dari aspek teknis mulai seperti simulasi pasar dan simulasi jaringan sehingga didapatkan *draft* kedua yang juga

dikonsultasikan kepada *stakeholder* dan publik umum. Simulasi teknis mengacu pada standar nasional (*copper plate*). Proses terakhir adalah submisi kepada regulator (NRA) dalam hal ini adalah Bundesnetzagentur. NRA dapat memberikan komentar dan melakukan modifikasi yang kemudian dilakukan konsultasi kembali apakah sudah sesuai ataupun terdapat masukan. Proses *draft* dilakukan setiap tahun namun rencana pengembangan diserahkan ke pemerintah Federal setiap tiga tahun untuk disahkan.

Tahap awal perencanaan dimulai dari skenario menggunakan *nodal time series of load* dan *in-feed* dari model dispatch. Selanjutnya dibuat fungsi untuk skenario B 2032 dan C 2022 untuk identifikasi kebutuhan transmisi jarak jauh. Selanjutnya dilakukan analisis aliran daya dengan mempertimbangkan berbagai aspek teknis seperti *thermal limits*. Simulasi dilakukan untuk menganalisa kondisi sistem 8.760 jam kedepan atau skema tahunan. Setidaknya dalam proses simulasi dilakukan analisa stabilitas statis dan dinamis.

Italy

TERNA S.p.A merupakan TSO yang bertanggung jawab dalam penyusunan perencanaan sistem tenaga listrik untuk sepuluh tahun kedepan bersama dengan *Italian Ministry of Economic Development* (MoED) atau "*Ministero dello Sviluppo Economico dan Regulatory Authority for Electricity and Gas* atau *Autorità per l'energia elettrica e il gas*". TERNA sahamnya mayoritas dimiliki oleh "*Italian Cassa Depositi e Prestiti bank*" sebesar 29.85%. Skenario awal disusun berdasarkan data yang diberikan oleh operator sistem, Italian *railway*, asumsi internal, serta studi yang dilakukan oleh lembaga riset TERNA.

Skenario secara tercantum pada *grid code* dimana tidak terbatas hanya pada kapasitas pembangkit akan tetapi proyeksi ekspor. Didalam setiap skenario sudah mempertimbangkan target EBT yang ditentukan oleh MoED yaitu sebesar 17% dari konsumsi energi. Asumsi yang digunakan mengacu pada parameter makroekonomi diantaranya adalah proyeksi GDP, *employment*, *investment*, dan *consumption*. Pertumbuhan energi juga dianalisis dan diupdate secara periodik.

Setelah disetujui oleh *board of directors* (BoD) TERNA maka dilakukan konsultasi kepada publik dan melaporkan evaluasinya untuk disetujui oleh MoED. Kedua skenario yang dipagai juga ditampilkan pada *website* sehingga dapat diakses oleh publik.

The Netherlands

Perencanaan di Netherlands disusun oleh TSO yang dimiliki oleh pemerintah yaitu TenneT B.V untuk jangka waktu sampai dengan 2030 melalui “*National Electricity Supply Structure Plan*” atau *Structuurschema Elektriciteitsvoorziening* (SEV). TenneT merupakan operator TSO *cross-border* pertama di Eropa yang mengatur operasi sampai dengan Jerman. TSO harus memberikan estimasi kebutuhan kapasitas pembangkit sekali setiap dua tahun. TenneT sendiri bekerja sama dengan lembaga riset *Energy Research Centre of the Netherlands* (ECN) yang bertugas melakukan studi dan mengestimasi beban puncak dan kapasitas pembangkit hingga terhubungnya berbagai aplikasi seperti *heat pumps*, AC, *plug-in hybrid electric vehicles*, energi angin (*onshore and offshore*), fotovoltaik, hingga biomasa. Terdapat empat skenario yang dibuat sampai dengan tahun 2030 berdasarkan orientasinya terhadap

energi fosil dan energi terbarukan serta fokus regional maupun global. Hal menarik adalah selain mengacu pada dokumen perencanaan hingga tahun 2030, dibuat juga “*direct translation*” berupa dua skenario tambahan untuk mengantisipasi jika tidak tercapai secara kualitatif ataupun kuantitatif. Kedua skenario tersebut adalah skenario impor dengan asumsi 2,500 MW diimpor dari Belgia dan Jerman. Skenario yang kedua adalah skenario ekspor untuk mengantisipasi kenaikan permintaan ekspor dari 2,000 MW menjadi 6,000 MW dari Belgia dan Jerman. Secara khusus untuk skenario ekspor dipersiapkan empat tambahan variasi skenario dimana tiga diantaranya terkait skema produksi dari berbagai regional dan satu skenario untuk menganalisis FIT dari offshore PLTB.

Berbicara target EBT, setiap skenario mempunyai asumsi tersendiri berdasarkan nilai pertumbuhan ekonomi. Secara khusus untuk PLTB perkembangannya mengacu pada dokumen *Governance Agreement for the National Development of Wind Power* (BLOW). *Draft* tersebut kemudian disubmit ke pemerintah yang dalam hal ini adalah *Nederlandse Mededingingsautoriteit* (NMa).

Switzerland

Perencanaan jaringan di Switzerland disusun oleh TSO nasional untuk jangka waktu 5 tahun kedepan melalui dokumen *Sachplan Übertragungsleitungen* (SÜL). *Draft* awal pada mulanya disusun oleh TSO namun kini mengalami perubahan dimana studi dan asumsi disusun oleh *Bundesamt für Energie* (BFE) sebagai otoritas energi federal yang bekerjasama dengan *Sachplan Übertragungsleitungen* (SÜL) sebagai otoritas spasial federal. Proses perencanaan pada awalnya mengacu pada strategi atau kebijakan energi nasional atau

“*Energiestrategie*” melalui studi untuk pengembangan 5 tahun kedepan melalui “*Energiestrategie*”. Namun pemerintah Switzerland menerbitkan “*Energy Strategy 2050*” sehingga model perencanaan baru perlu dilakukan pembaharuan.

Pada alur perencanaan yang baru terdapat legitimasi politik dalam pembuatan skenario awal atau disebut dengan “*Szenariorahmen*”. Skenario tersebut diusulkan sebagai subjek dalam konsultasi publik oleh BFE. Secara administratif otoritas tertinggi dalam perencanaan sistem adalah *Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation* (UVEK). Terdapat empat otoritas dibawah UVEK selain BFE yaitu EICom (*Eidgenössische Elektrizitätskommission*), EICom (*Eidgenössische Elektrizitätskommission*), dan *Bundesamt für Raumentwicklung* (ARE). Terdapat empat skenario utama yang digunakan dalam perencanaan sistem.

United Kindom

Perencanaan sistem di *Great Britain* diatur oleh *Office of Gas and Electricity Markets* (Ofgem) melalui dokumen *National Grid's "Electricity Ten Year Statement"* (ETYS). Terdapat tiga TSO dibawah National Grid yang harus mensubmit justifikasi pengembangan kepada Ofgem yaitu *National Grid Electricity Transmission*, *Scottish Power Transmission Limited*, dan *Scottish Hydro-Electric Transmission Limited*. TSO membuat dan mempublikasikan multipel skenario dalam bentuk *future energy scenario* (FES) setiap tahunnya. Proses publikasi dan konsultasi dilakukan pada pertemuan bilateral, *workshops*, dan kuisisioner. Setelah *draft* skenario awal dibuat, maka simulasi pasar dan jaringan dilakukan oleh *National Grid*

untuk rentang waktu 10 tahun kedepan. *Draft ETYS* kemudian kembali direview oleh *National Grid* bersama dengan *stakeholder* terkait. Hasil *review* tersebut menjadi *input* untuk fase selanjutnya yaitu perencanaan *Revenue Incentives Innovation Outputs* (RIIO).

United Kingdom memiliki target nasional penurunan gas rumah kaca (GRK) setidaknya 80% dengan *baseline* tahun 1990 pada tahun 2050 (Henderson et al., 2009). Target interim adalah memangkas emisi GRK setidaknya 34% pada tahun 2020 dan 60 % pada tahun 2030. Target tersebut tentu membutuhkan biaya (*carbon budget*) untuk memenuhi target tersebut. Untuk mencapai target tersebut maka dibuat tiga skenario yaitu *slow progression*, *gone green*, dan *accelerated growth*. Skenario *slow progression* mengasumsikan bahwa pertumbuhan EBT rendah, skenario *gone green* menunjukkan pertumbuhan EBT kompatibel dengan target, sedangkan skenario *accelerated growth* merupakan kondisi dimana melebihi target.

United States

Sistem di United States terdiri dari tiga area yang terhubung interkoneksi melalui *DC coupling* yaitu *Western Interconnection*, *Eastern Interconnection*, dan *Texas Interconnection*. Setiap *Independent System Operators* (ISOs) dan *Regional Transmission Operators* (RTOs) diatur melalui regulasi oleh *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC). Perencanaan sistem fokus pada pengembangan secara *inter-regional* melalui suatu kesepakatan (*planning agreements*).

Karena sangat banyak *stakeholder* yang terlibat dalam suatu proses

perencanaan, maka dibahas mengenai proses perencanaan di *Western Interconnection* yang dibuat oleh *Western Electricity Coordinating Council* (WECC). WECC disatu sisi mempunyai grup yang disebut dengan *Transmission Expansion Planning Policy Committee* (TEPPC) yang membawahi dua sub-komite yaitu *Loads and Resources* (LRS) dan *Variable Generation* (VGS). LRS fokus pada perencanaan terkait beban dan resource sedangkan VGS fokus pada perencanaan PLT EBT yang bersifat variabel. Disisi lainnya TEPPC memiliki subkomite teknis diantaranya adalah *Technical Advisory Subcommittee* (TAS), *Studies* (SWG), *Modelling* (MWG), dan *Data* (DWG). Masing-masing sub-komite memiliki tugas dan fungsinya masing-masing dalam tahap pemodelan jaringan. Secara paralel TEPPC juga memiliki sub-komite lain dari berbagai macam *stakeholder* (pemerintah, *transmission providers*, dan *utilities*) diantaranya adalah *State Provincial Steering Committee* (SPSC), *Scenario Planning Steering Group* (SPSG), dan *Subregional Planning Groups* (SPGs). Group tersebut berkoordinasi dibawah SPG *Coordination Group* (SCG). Dilevel pemerintahan terdapat beberapa aktor utama mulai dari *Western Governors Association* (WGA), *Western Interstate Energy Board* (WIEB), dan *Committee on Regional Electric Power Cooperation* (CREPC).

Proses perencanaan sistem tenaga listrik dimulai dari studi dengan asumsi dan skenario yang dibuat oleh SPSG ataupun sub-komite di TEPPC. Semua input dari setiap komite TEPPC di susun prioritas melalui TAS, direview kembali oleh SPSG serta publik sehingga didapat studi berdasarkan prioritas untuk WECC. Tahap

selanjutnya adalah melakukan analisis oleh semua sub-komite yang direview oleh TAS dan SPSG yang kemudian kembali dianalisis, dikonsultasikan, dan didiskusikan secara umum kepada publik.

Indonesia

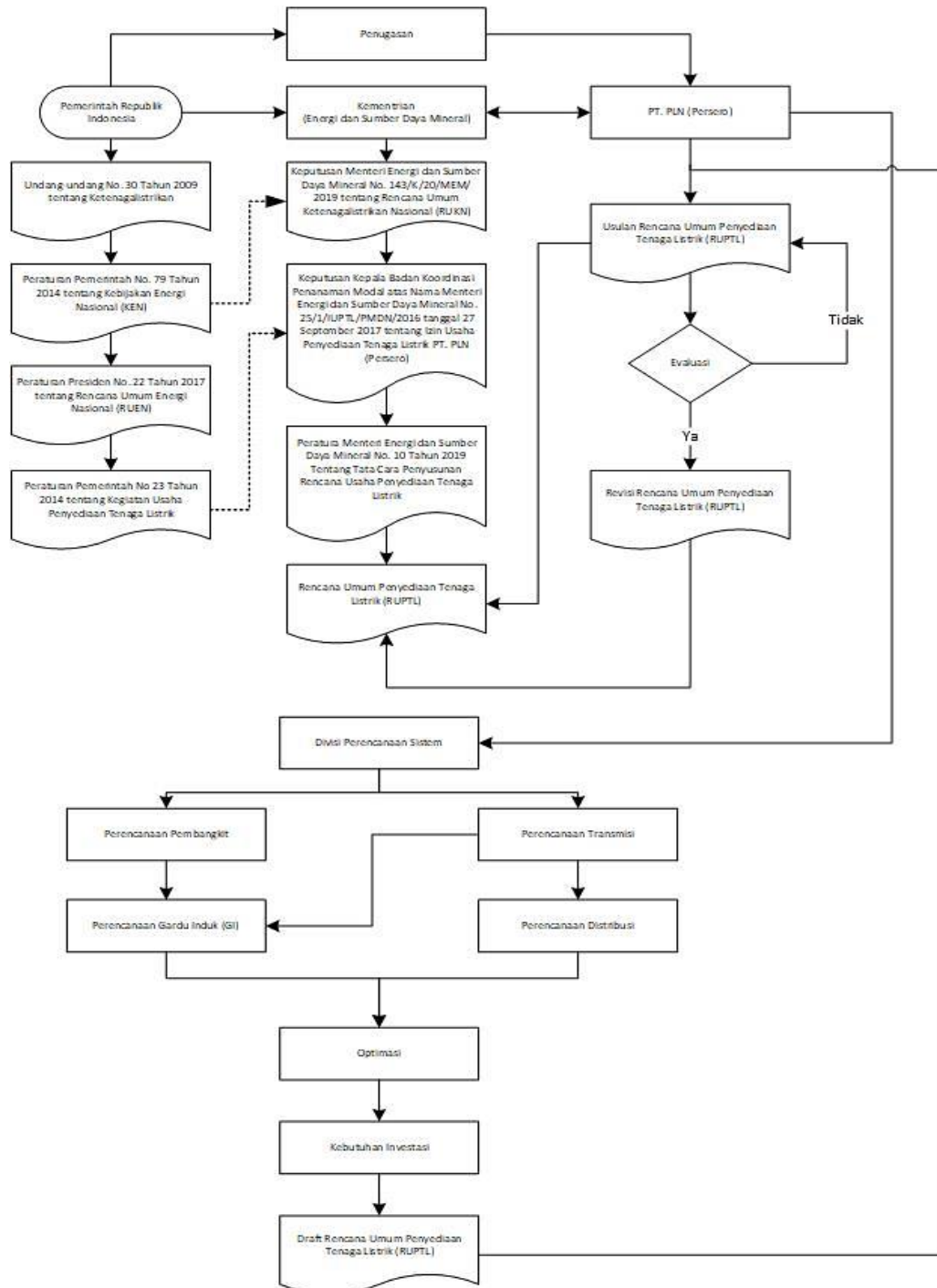
Secara khusus untuk proses perencanaan sistem tenaga listrik di PT PLN (Persero) terbagi menjadi tiga tahapan utama diantaranya adalah (IRENA, 2018):

1) Perencanaan Umum

Tahapan ini merencanakan dan mengembangkan sistem tenaga listrik (*capacity expansion planning*) untuk rentang waktu 10 tahun mendatang. Jangka waktu yang panjang tersebut disebabkan oleh pembangunan pembangkit dengan teknologi konvensional seperti PLTA, PLT Panas Bumi, PLTU, dan beberapa tipe pembangkit lainnya membutuhkan waktu yang sangat lama. Proses perencanaan meliputi beberapa aspek utama yaitu pemilihan tipe teknologi, penentuan kapasitas pembangkit, jumlah pembangkit, perkiraan lokasi, titik koneksi, hingga fungsi pembangkit dalam sistem seperti *baseload*, *intermediate*, *peaker*, ataupun *variable*.

2) Perencanaan Teknis

Tahap ini melakukan perencanaan sistem dari sisi teknis dalam bentuk studi kelayakan bisnis (*feasibility study*) yang meliputi berbagai aspek seperti teknologi pembangkit, desain, jenis dan sumber energi primer, lokasi, tata ruang dan wilayah, ketersediaan lahan, kondisi teknis dari tanah, aspek sosial dan lingkungan, hingga aspek alam.



Gambar 4. Proses Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Pada RUPTL

3) Perencanaan Operasi

Tahap ini melakukan perencanaan terkait produksi energi melalui *dispatch* dari pembangkit (Jay Dho, n.d.), Tujuan dari perencanaan ini adalah meminimumkan

biaya untuk keseluruhan sistem, menjadwalkan pemeliharaan pembangkit, serta perencanaan operasi harian hingga tahun. Dalam tahap perencanaan PT PLN (Persero) dibagi menjadi tiga fase yaitu:

1. *Demand forecast energi (annual energy demand)* yang merupakan fase awal perencanaan yang berhubungan dengan target penjualan yang mengacu pada target pertumbuhan ekonomi yang ditetapkan oleh pemerintah.
2. *Demand forecast beban puncak (annual peak load demand)* yang merupakan fase kedua perencanaan yang berhubungan dengan perhitungan kebutuhan pembangkit dan gardu induk serta transmisi untuk proses penyaluran tenaga listrik.
3. *Demand forecast gardu induk* yang merupakan fase terakhir perencanaan yang berhubungan dengan menghitung kebutuhan gardu induk dan pemenuhan kebutuhan listrik pelanggan. Pada tahap ini dibagi proyeksi pertumbuhan energi di suatu provinsi ke masing-masing area atau gardu induk.

PT PLN (Persero) melakukan penyediaan tenaga listrik berdasarkan pada Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) yang mewajibkan membuat dokumen perencanaan berupa RUPTL (*Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014 Tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*, 2014). Pada RUPTL dimulai dengan tahap perencanaan beban yang kemudian diikuti dengan perencanaan pembangkit, perencanaan transmisi, perencanaan gardu induk, dan perencanaan distribusi. *Output* dari keempat tahapan tersebut adalah seberapa besar kebutuhan investasi yang harus dipersiapkan untuk membangun. Secara lengkap alur perencanaan PT PLN (Persero) ditunjukkan pada Gambar 4.

Dalam tahapan asumsi, khususnya parameter internal sudah mulai

memperhitungkan parameter negasi seperti mulai bertumbuhnya prosumer khususnya PV *rooftop* baik yang berasal dari pelanggan *residensial* sampai dengan industri. Pada saat ini jumlahnya tergolong belum tinggi, namun *trend* pertumbuhan cenderung meningkat setiap tahunnya. Selain itu peralatan elektronik pada masa kini cenderung lebih efisien dan hemat energi. Hal tersebut merupakan paradigma baru dalam perencanaan, tidak hanya parameter yang memperkirakan kebutuhan energi pada masa yang akan datang akan tetapi mengakomodir penurunan penggunaan energi listrik.

KESIMPULAN

Secara tipikal proses perencanaan dibagi menjadi tiga fase yaitu tahap asumsi dan skenario, pemodelan, dan pengesahan. Untuk fase asumsi dan skenario dapat mempertimbangkan multi skenario dengan mempertimbangkan kondisi dimasa mendatang yang mungkin terjadi. Fase pemodelan dapat melibatkan grup atau komite ekspert, akademisi, hingga lembaga riset untuk mengembangkan asumsi dan skenario yang dibuat serta pemodelan jaringan. Asumsi dasar dapat diperkuat menggunakan data dan parameter terkini seperti mulai bertumbuhnya *prosumer* hingga semakin efisiennya peralatan elektronik. Setiap fase dapat dioptimalkan dengan melibatkan akademisi, grup *expert* hingga lembaga riset hingga melibatkan publik dan *stakeholder* yang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shaalan, A. M. (2011). Essential aspects of power system planning in developing countries. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 23(1), 27–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ksues.2009.12.002>

- Bebic, J. (2008). *Power System Planning: Emerging Practices Suitable for Evaluating the Impact of High-Penetration Photovoltaics*. <https://doi.org/10.2172/924647>
- CIGRE. (2017). *Planning criteria for future transmission networks in the presence of a greater variability of power exchange with distribution systems*.
- Demir, A., & Hadžijahić, N. (2018). *Power System Planning: Part I—Basic Principles BT - Advanced Technologies, Systems, and Applications II* (M. Hadžikadić & S. Avdaković (Eds.); pp. 178–188). Springer International Publishing.
- Henderson, M., Wong, P., & Platts, J. (2009). Power system planning process and issues. *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PES.2009.5275314>
- Indonesia, P. R. (2014). *Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014 Kebijakan Energi Nasional (KEN)*.
- Indonesia, P. R. (2016). *Undang-Undang Republik Indonesia nomor 16 tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konveksi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim)*.
- Indonesia, P. R. (2017). *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)*.
- IRENA. (2018). *Insights on planning for power system regulators*.
- Jay Dho. (n.d.). *Power System Planning And Design - Chapter 7*. Darshan.
- KESDM. (2019). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 143K/20/MEM/2019*.
- KESDM. (2019). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 39K/20/MEM/2019 Tentang Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2020*.
- KESDM. (2019). *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2018-2037*.
- Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014 Tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*. (2014).
- Presiden. (2017). *Peraturan Presiden Nomor 14 Tahun 2017 tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan*.
- PT PLN (Persero). (2019). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Tahun 2019 s.d 2028*.
- Seifi, H., & Sepasian, M. (2011). *Electric Power System Planning: Issues, Algorithms and Solutions* (Vol. 49). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17989-1>
- Undang Undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan*. (2009).
- Weber, A., Beckers, T., Behr, P., Bieschke, N., Fehner, S., & Hirschhausen, C. von. (2013). *Long-term Power System Planning in the Context of Changing Policy Objectives – Conceptual Issues and Selected Evidence from Europe*. Berlin University of Technology.