

Modul 1 Perencanaan Sistem Tenaga Listrik dengan Mempertimbangkan VRE

Submodul 1.1 Pengenalan Perencanaan Sistem Tenaga Listrik

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Dr. Ir. Nanang Hariyanto, M.T.
Dr. Ir. Kevin Marojahan B N, S.T., M.T.

LAPI ITB



Overview Perencanaan Sistem Tenaga Listrik

Perencanaan **Sistem Tenaga Listrik**

Perencanaan sistem tenaga listrik bertujuan untuk memutuskan penambahan kapasitas pembangkit dan/atau saluran transmisi untuk memenuhi kebutuhan beban yang bertumbuh di masa mendatang (s.d. 10 tahun) secara optimal (*least cost*) dan memenuhi standar keandalan dan kualitas penyediaan tenaga Listrik tertentu.

Terminologi dalam bahasa Inggris adalah *capacity expansion planning*.

Dari proses perencanaan ini akan dihasilkan rencana investasi pengembangan pembangkit listrik baru secara cukup jelas dan detail, yaitu menyangkut jenis teknologi (PLTGU, PLTG, PLTA, PLTS dll), jenis bahan bakar, ukuran unit dan jumlah unit pembangkit, indikasi lokasi dan titik koneksi di *grid*, waktu COD proyek dan kebutuhan investasi yang diperlukan.

Proses ini juga menghasilkan rencana pengembangan saluran transmisi, baik berupa transmisi interkoneksi antar grid maupun transmisi untuk menyalurkan listrik ke pusat beban atau untuk evakuasi listrik dari pusat pembangkit.

Perencanaan **Sistem Tenaga Listrik (2)**

Komponen yang Kapasitasnya Dikembangkan atau direncanakan baru

- Pusat Pembangkit termasuk energy storage seperti *hydro pumped storage* (HPS) dan *battery energy storage system* (BESS) untuk fungsi '*energy arbitrage*'
- Gardu induk tegangan tinggi atau ekstra tinggi
- Saluran Transmisi HVAC atau HVDC, meliputi transmisi interkoneksi antar grid, dan penguatan sistem transmisi menuju ke pusat beban atau pembangkit baru
- *Grid Support* yaitu
 - Kapasitor dan reaktor untuk *voltage control*,
 - BESS untuk VRE *smoothing* atau *fast frequency control*,
 - FACTS untuk fungsi tertentu

Catatan: *Grid support* bukan merupakan bagian dari *capacity expansion planning*, melainkan proses lanjutan yang dilakukan dengan *power system analysis* untuk memastikan kualitas dan stabilitas sistem tenaga listrik

Keputusan hasil perencanaan

Pembangkit:

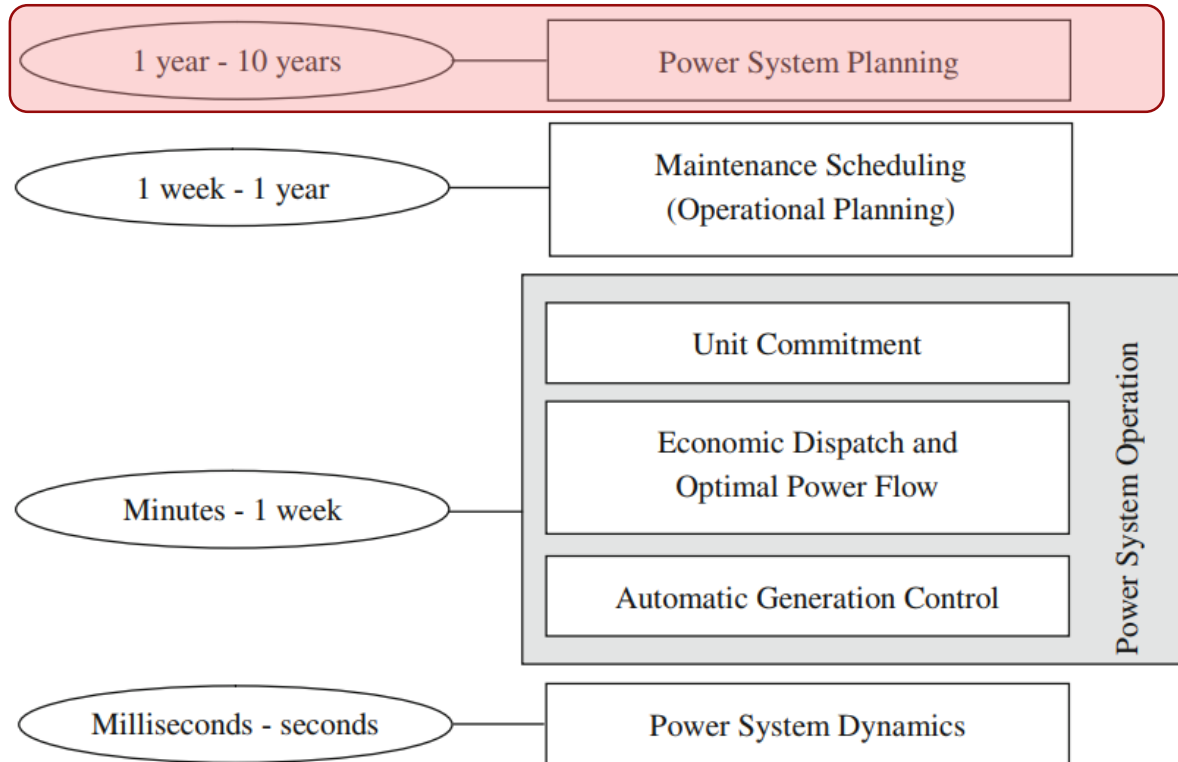
- Kapasitas: unit size dan banyaknya unit
- Jenis pembangkit/Teknologi: PLTGU, PLTG, PLTS, PLTA dll
- Jenis Bahan bakar

Saluran Transmisi dan Gardu Induk:

- Kapasitas MVA,
- Jenis Teknologi : OHL/ *overhead line*, Kabel bawah tanah, HVAC atau HVDC
- Level tegangan
- Tipe konduktor, tipe kabel

• Kapan dibangun
• Lokasi pemasangan

Horizon Waktu Kajian Sistem Tenaga Listrik



- Sesuai maksud dan kebutuhannya, beberapa kajian sistem tenaga Listrik mempunyai horizon waktu yang sangat bervariasi, mulai dari milliseconds hingga puluhan tahun.
- Kajian *power system dynamics* menyangkut perilaku *electro-mechanical* dari sistem tenaga Listrik dalam horizon waktu antara *milliseconds* hingga *seconds*.
- Kajian *power system operation* yang mencakup AGC, ED & Optimal PF serta UC, mempunyai horizon waktu dari *minutes* hingga *week*, bahkan hingga 1 tahun seperti pada pembuatan ROT/ Rencana Operasi Tahunan
- Kajian *power system planning* dilakukan hingga perioda 10 tahun yang diperinci setiap tahun.
- Kajian masterplan atau *roadmap* pengembangan sistem tenaga listrik menjangkau lebih dari 10 tahun, dengan rincian diberikan sesuai kebutuhan, misalnya setiap 5 tahun.

Ref: *Electric Power System Planning Issues, Algorithms, and Solutions*, Springer, 2011

Tahapan dalam Perencanaan Sistem Jangka Panjang

(*Long-term Capacity Expansion Planning*)

- Energi
- Beban puncak
- Load Factor
- Kurva Beban

- Pemilihan:
- Pembangkitan
 - Transmisi Backbone

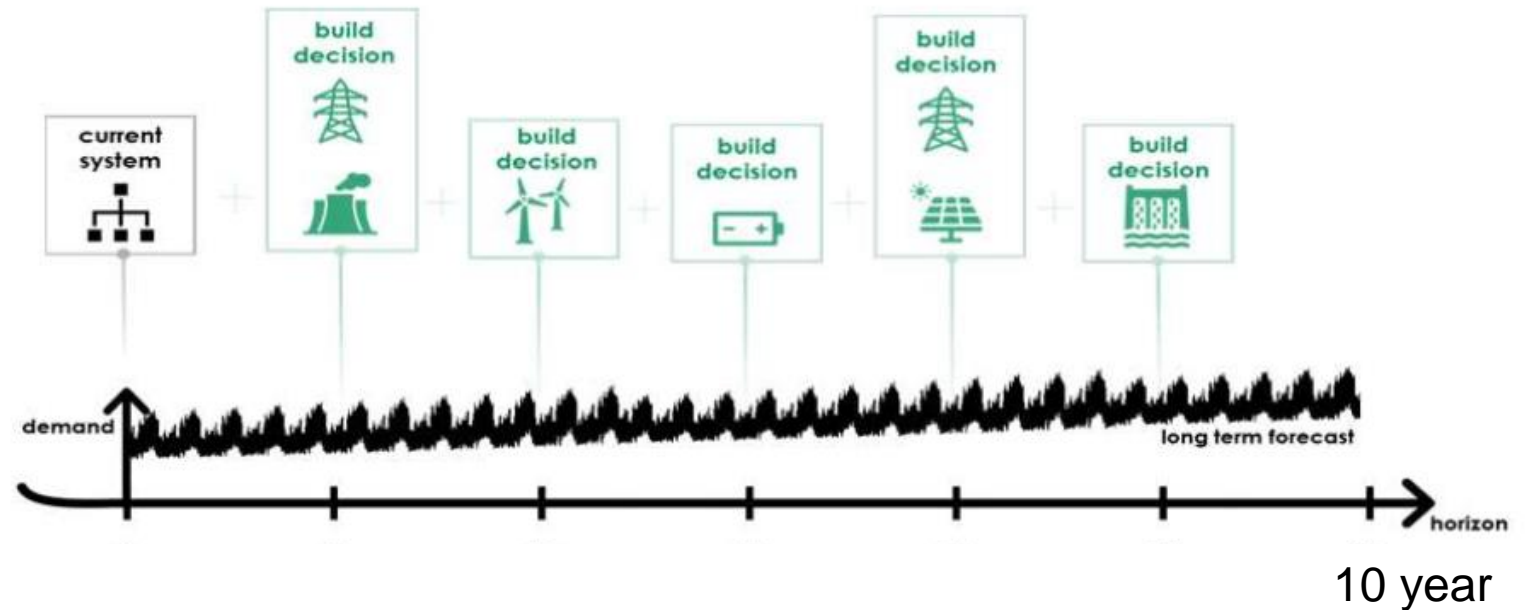
- Unit Commitment
- Economic Dispatch
- Flexibility Assessment

- Aliran Daya
- Kontingensi
- Kestabilan



- Tahapan proses perencanaan sistem dimulai dari pembuatan proyeksi kebutuhan beban hingga 10 tahun atau lebih tergantung horizon waktu yang dipilih. Proyeksi beban ini mencakup kebutuhan energi (MWh), beban puncak (MW), dan *load curve & load factor*.
- Proyeksi beban menjadi dasar untuk dilakukan kajian *capacity expansion* pembangkit dan transmisi *backbone*/interkoneksi. Jika proyeksi beban berubah, maka semua proses perencanaan akan berubah.
- Di dalam *proses capacity expansion* juga dilakukan perhitungan biaya produksi (*production costing*) karena proses ini akan mengoptimalkan capex (dari *capacity additions*) dan opex (dari terutama biaya bahanbakar) dari banyak alternatif konfigurasi tambahan pembangkit. Proses ini akan memilih konfigurasi pengembangan pembangkit yang memberikan nilai capex + opex paling rendah (*least cost*).
- Komponen *production costing* dalam proses *capacity expansion planning* biasanya dilakukan dengan metoda *probabilistic* untuk mempercepat komputasi, kecuali jika dibutuhkan modeling yang *chronological* (misalnya jika merencanakan VRE/ variable renewable energy) dapat dilakukan beberapa cara yang mendekati *chronological* (namun belum *full chronology*).

Ilustrasi Hasil *Expansion Planning*



Kapan, teknologi apa, dan dimana
Terkait komponen pembangkitan dan transmisi

Referensi: *plexos power point*



Proses Perencanaan Sistem Tenaga Listrik

Proyeksi Beban

- Pembangunan pembangkit tenaga listrik dan saluran transmisi membutuhkan waktu yang lama dan investasi yang sangat besar. Proses perencanaan kapasitas pembangkit dan transmisi menggunakan proyeksi beban sebagai dasar, dan ini berlanjut hingga pengambilan keputusan investasi yang akan dilakukan. Jika prakiraan beban tidak dilakukan dengan baik dapat mengakibatkan:
 - *Surplus* kapasitas, *over supply* – investasi berlebihan
 - Defisit kapasitas, – keandalan pasokan memburuk, kemungkinan padam beban meningkat
- Langkah pertama pada perencanaan sistem adalah membuat proyeksi beban untuk periode perencanaan (10 tahun), karena selanjutnya semua proses perencanaan pengembangan kapasitas akan didasarkan pada hal ini.
- Proyeksi beban dapat dilakukan dengan beberapa metoda, seperti ekonometri yang mempertimbangkan parameter seperti laju pertumbuhan jumlah penduduk, laju pertumbuhan ekonomi, dan lain-lain.
- Hasil proyeksi beban yang dijadikan sebagai input untuk *capacity expansion planning* adalah:
 - Energi, beban puncak, kurva beban per region untuk *Generation Expansion Planning* dan *interconnection /backbone transmission planning yang dilakukan secara simultan*)
- Topik proyeksi beban akan dijelaskan lebih lanjut pada modul terpisah yang khusus mengenai ini.

Objektif, Kriteria, dan kebijakan dalam *Generation Expansion Planning*

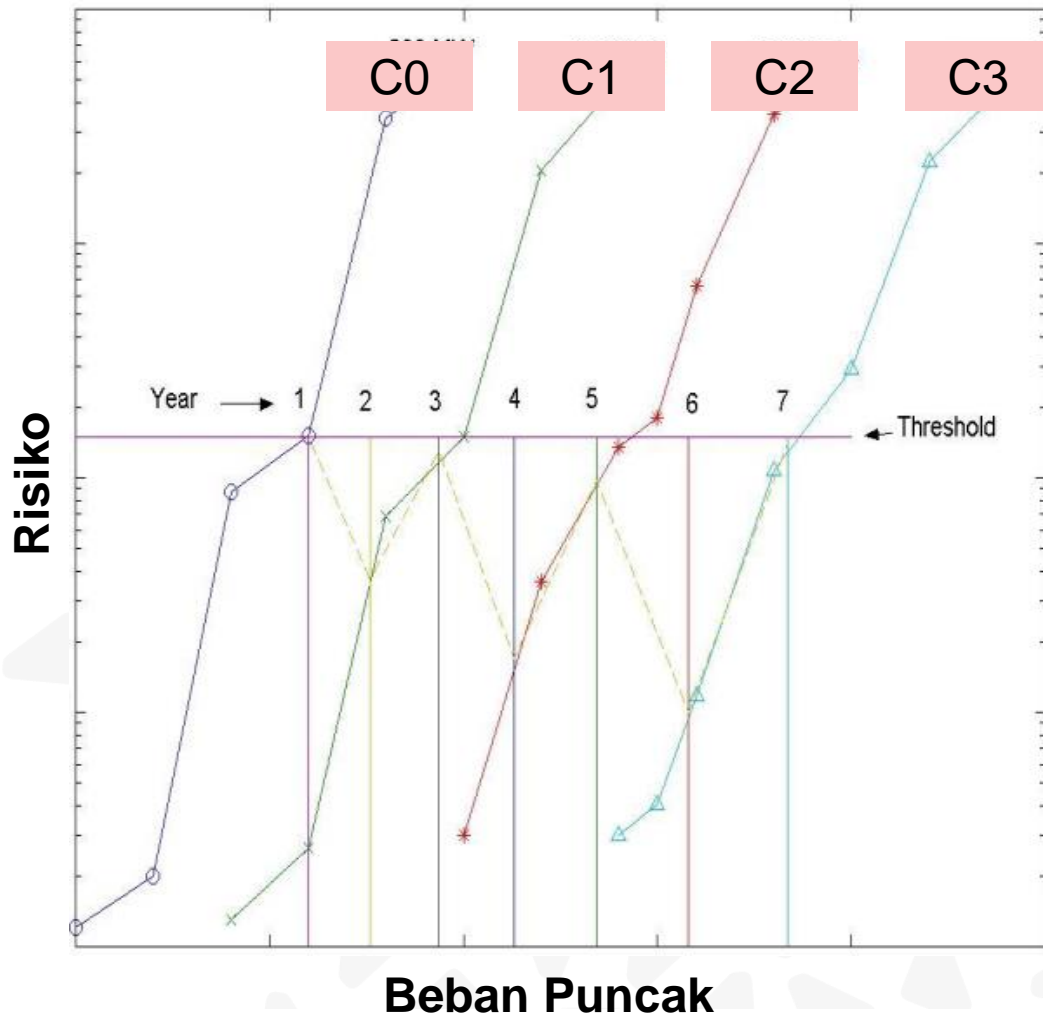
Obyektif: memperoleh konfigurasi pengembangan sistem pembangkit yang memberikan *total system cost* yang minimal (*least cost*). Total system cost disini mencakup biaya total (investasi /capex dan operasi/ opex) sistem tenaga Listrik dalam perioda perencanaan.

Semua biaya capex dan opex yang terjadi setiap tahun dalam perioda perencanaan akan didiskon ke nilai saat ini (net present worth, net present value) dengan menggunakan discount rate tertentu.

Kriteria: Kriteria yang umum digunakana adalah syarat keandalan yang diukur dengan LOLE (Loss of Load Expectation) yang merupakan ukuran risiko padam beban. Kriteria lainnya adalah *Reserve Margin* maksimum dan minimum, **Kriteria Batasan Lingkungan**.

Kebijakan: misalnya *kebijakan energi nasional, kebijakan umum pemerintah mengenai pengembangan ketenagalistrikan sebagaimana dinyatakan dalam RUKN*, moratorium pengembangan PLTU baru, target nasional untuk mencapai porsi energi terbarukan (RE) tertentu dalam generation mix, target penurunan emisi, pemberlakukan *carbon pricing*, dll.

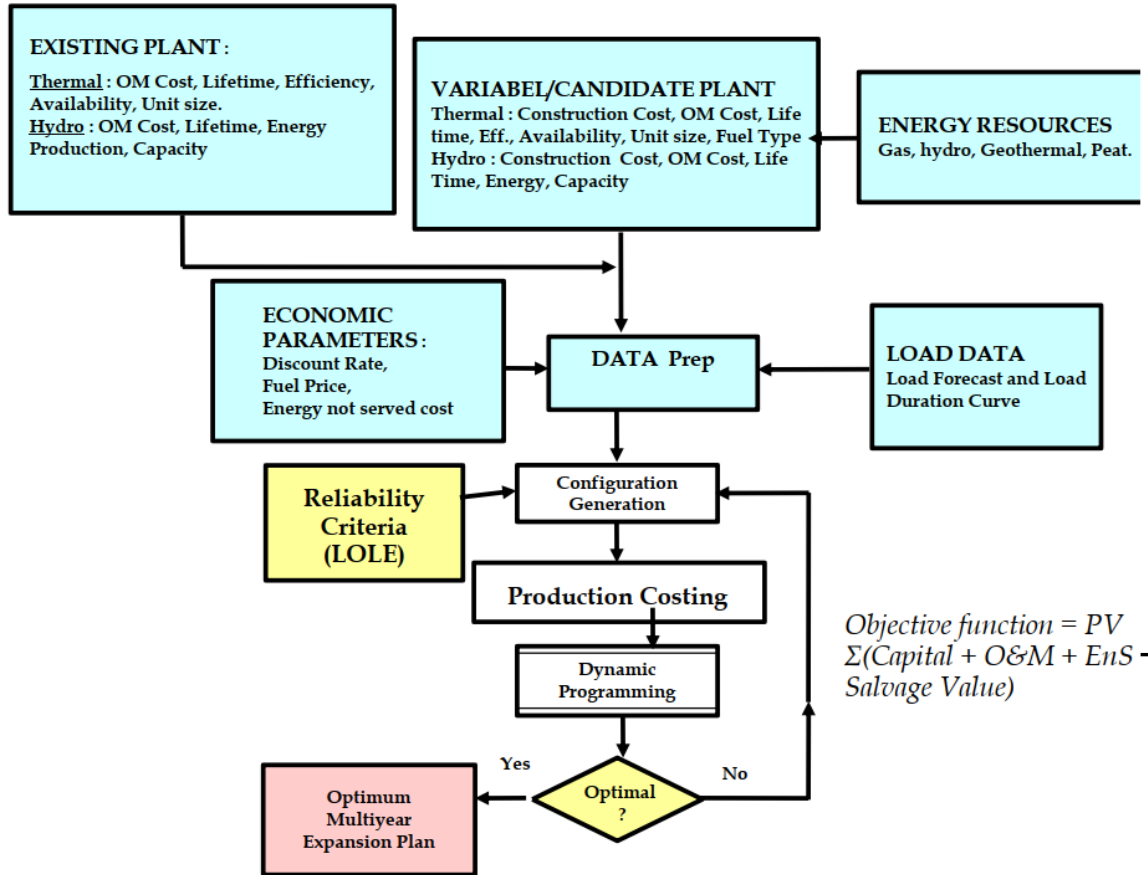
Ilustrasi Dampak dari Tambahan Kapasitas terhadap Keandalan (**Risiko Padam**)



- Beban puncak terus bertumbuh setiap tahunnya. Jika kapasitas tetap /tidak ditambah, maka risiko terjadi padam beban akan meningkat.
- Misalnya, pada tahun ke-1, dengan kapasitas C0 dan beban puncak yang ada, risiko telah mencapai batas (*threshold*) yang dapat diterima.
- Jika tidak ada penambahan kapasitas (tetap C0), maka pada tahun kedua dimana beban puncak telah bertambah besar akan timbul risiko melampaui batas yang diizinkan. Karenanya, perlu dilakukan penambahan kapasitas menjadi C1, agar risiko turun di bawah ambang batasnya.
- Kapasitas C1 masih memenuhi ambang batas risiko pada tahun ketiga, namun perlu penambahan kapasitas menjadi C2 untuk memenuhi ambang batas risiko di tahun ke-4. Demikian seterusnya.

Ref: Module PE.PAS.U19.5 Generation adequacy evaluation, iastate.edu

Flowchart dari *Generation Expansion Planning*



- Chart ini sudah lama ada di PLN
- Tool yang digunakan: WASP
- Grid dimodelkan sebagai single busbar
- LOLE (ekspektasi kehilangan beban) sebagai kriteria risiko
- Tidak dilakukan kajian *operating performance* dengan *chronological dispatch simulation*
- VRE (dengan generation profile yang berfluktuasi) tidak dapat dimodelkan

Ref: Djoko Prasetyo, paparan IATKI Engineering Lecture July 2021

Generation Expansion Planning: Busbar tunggal atau Multi-Busbar/Region?

Model Busbar Tunggal (*Single Busbar*)

- Pada model *Single Busbar*, semua unit pembangkit dan semua pusat beban dianggap konek pada busbar yang sama. Situasi ini merefleksikan suatu sistem tenaga listrik yang kompak dengan jaringan transmisi yang tidak terbatas.
- Tenaga Listrik dianggap dapat mengalir dari semua generator ke semua pusat beban tanpa ada kendala
- Model ini cocok untuk sistem tenaga yang tidak memiliki *bottleneck* saluran transmisi (*copper plate*)
- Lokasi untuk pembangunan pembangkit baru akan ditetapkan dalam proses terpisah.

Model *Multi-Busbar* atau *Multi-Region*

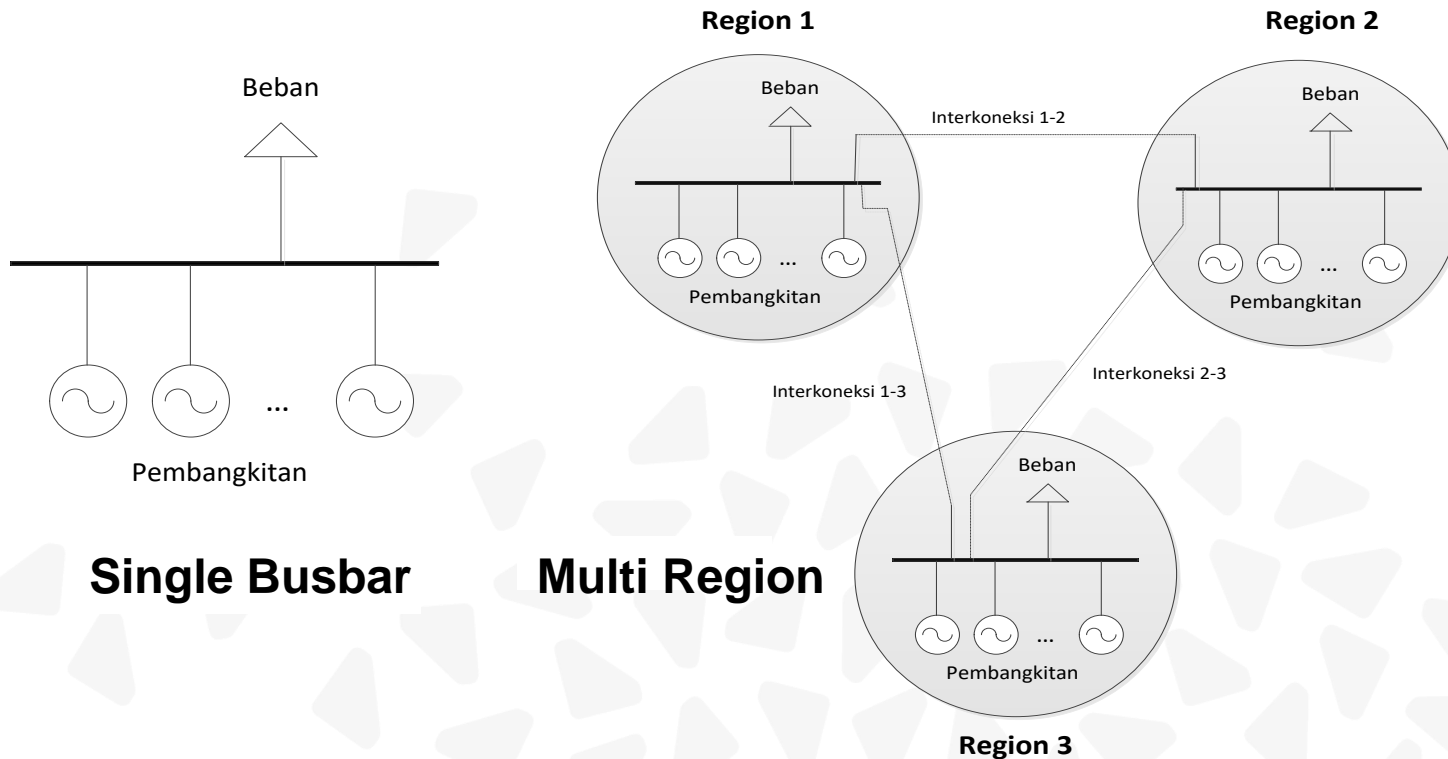
- Model ini digunakan untuk merepresentasikan suatu sistem interkoneksi yang terdiri atas beberapa *region*, dan transmisi interkoneksi antar *region* mempunyai kapasitas yang terbatas. Sistem tenaga listrik di Sumatra yang mencakup kawasan geografis yang luas dengan interkoneksi yang meluas lebih tepat dimodelkan dengan *multi-busbar/multi-region*.
- Interkoneksi antar pulau termasuk dalam model ini.
- Lokasi pembangkit baru dapat dioptimisasi untuk setiap region. Kapasitas **interkoneksi** dapat dioptimalkan secara simultan dengan **generation capacity expansion planning**. Pendekatan ini diperlukan untuk perencanaan interkoneksi antar region.

Ref: Djoko Prasetyo, paparan IATKI Engineering Lecture July 2021

Ilustrasi Model **Single Busbar dan Multi Region**

Pada model *Multi-region*:

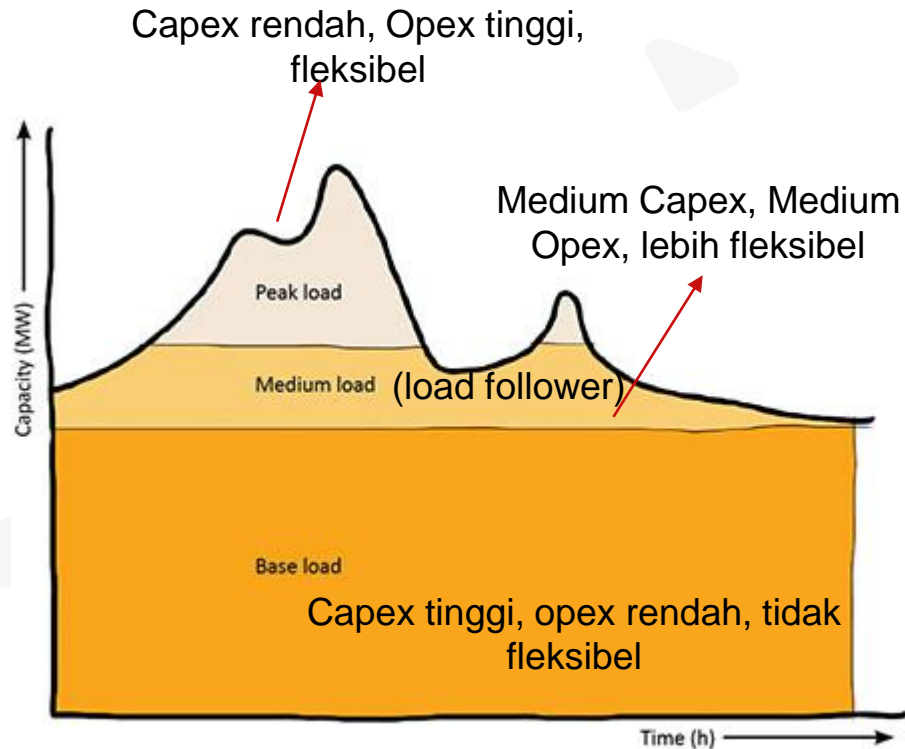
- Setiap region direpresentasikan dengan model single busbar
- Interkoneksi antar region memiliki batasan kapasitas transfer daya
- Kapasitas dan *timing* yang optimal dari transmisi interkoneksi dapat direncanakan secara simultan dengan *generation capacity expansion planning* di setiap region





Jenis Pembangkit Konvensional Berdasarkan Perannya dan Dampak VRE

Perencanaan Kapasitas Pembangkitan: 3 Jenis Pembangkit



- Perilaku konsumen dalam memakai Listrik yang tidak konstan dari jam ke jam (juga dari hari kerja ke hari libur) menyebabkan beban sistem kelistrikan selalu berubah. Hal ini menciptakan kurva beban (*load curve*) yang mencerminkan perilaku konsumen.
- Untuk melayani kebutuhan beban konsumen yang terus berubah setiap saat, diperlukan 3 jenis pembangkit sbb:
- **Pembangkit Beban Puncak (*Peaker*)**: beroperasi pada beban puncak selama 3-4 jam secara start-stop: PLTG (OCGT, *open-cycle gas turbine*) dengan BBM atau LNG, PLTD /*Gas engine* dengan BBM atau gas, PLTA dengan kolam reservoir/*Pondage*
- **Pembangkit Medium (*Load follower*)**: beroperasi terus menerus namun dengan *output* yang naik-turun mengikuti kurva beban: PLTGU (CCGT, *combined cycle gas turbine*) dengan gas pipa atau LNG, beberapa PLTU Batubara
- **Pembangkit Beban Dasar (*baseload*)**: beroperasi terus menerus dengan *output* yang relatif stabil sepanjang hari: PLTU batubara, PLTP, PLTA ROR, dan beberapa PLTGU.

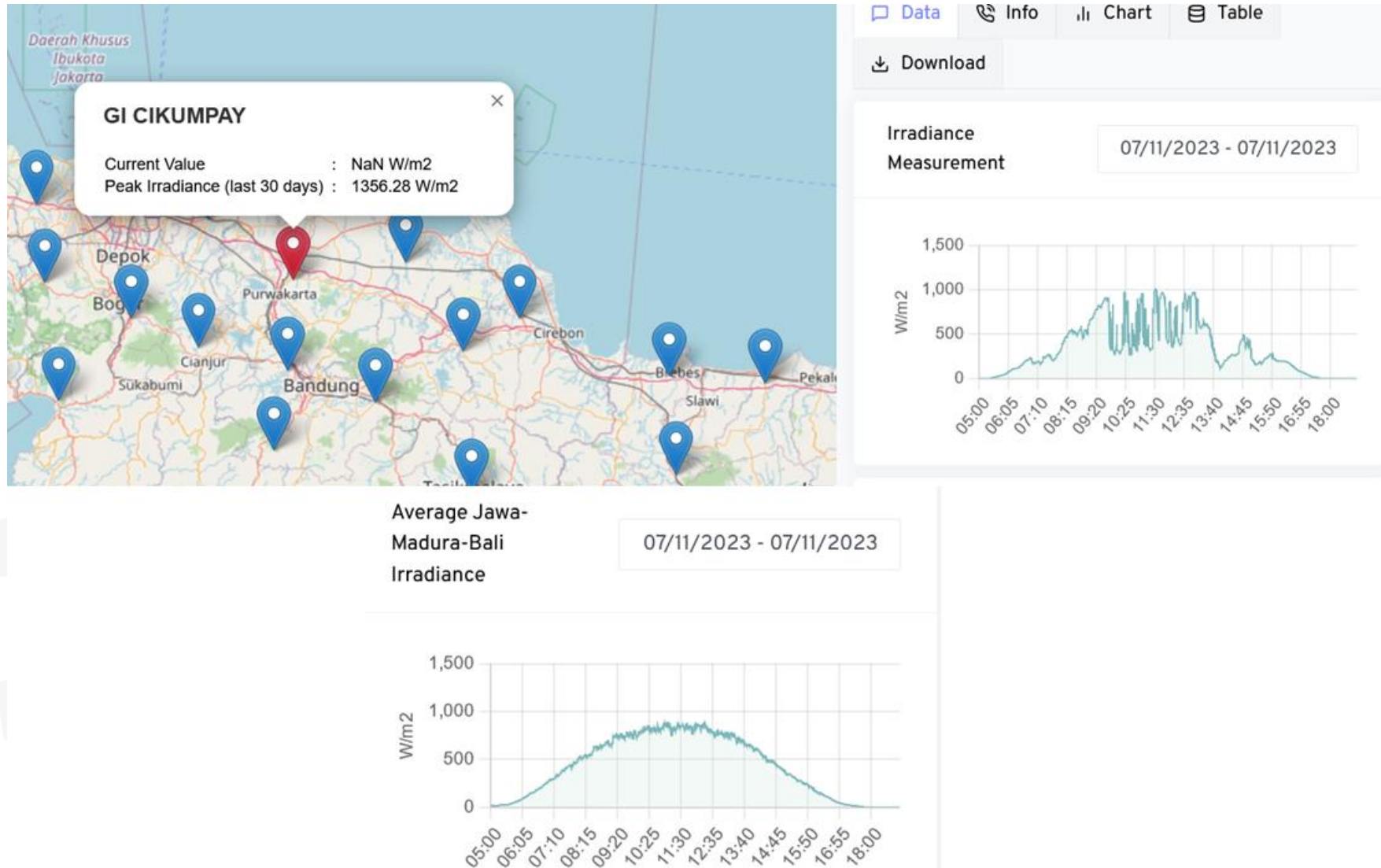
Sifat-sifat VRE (*variable renewable energy*): **PLTS, PLTB**

Berbeda dengan pembangkit *baseload*, *medium* dan *peaker* konvensional yang mempunyai *firm capacity*, PLTS dan PLTB mempunyai *intermittency* dan *variability* dengan beberapa sifat sbb:

- **Output VRE mempunyai Ketidakpastian**
 - *Intermitten*: *Outputnya* berubah naik-turun secara random mengikuti keadaan dan perubahan meteorologi/cuaca (pergerakan awan, kecepatan angin). Namun apabila pada suatu sistem interkoneksi VRE dibangun pada lokasi-lokasi yang tersebar meluas secara geografis, dampak *intermittency* secara agregat akan berkurang. Jaringan transmisi interkoneksi berfungsi sebagai agregator VRE yang efektif.
 - Variabel → Profil *output* VRE yang berubah setiap saat (per jam, per hari, per musim) memiliki pola (pattern) yang relatif dapat dikenali/ diprediksi walaupun tetap ada ketidakpastian
- **Potensi VRE bersifat spesifik lokasi (*location-constrained*)**, dapat terkonsentrasi di lokasi tertentu
- VRE murni tanpa energy storage system adalah pembangkit yang non-dispatchable (Tidak dapat didispatch). Satu-satunya kontrol yang dapat dilakukan terhadap VRE adalah dengan *curtailment*.
- **VRE** mempunyai CAPEX yang tinggi, namun OPEX –nya sangat rendah.
- Pembangkit konvensional menggunakan mesin berputar yang mempunyai inersia yang diperlukan untuk menjaga stabilitas dan frekuensi, sedangkan mayoritas pembangkit VRE adalah *inverter-based* dan menggunakan **teknologi non-sinkron**, sehingga tidak mempunyai inersia. Hal ini memunculkan tantangan baru dalam menjaga kestabilan sistem tenaga Listrik.
- VRE **PLTB dan PLTS bersifat modular**, yang memungkinkan pengembangan pembangkit terdistribusi yang lebih mudah.

Ref: IRENA, *Re-Organising Power Systems for the transition*

Ilustrasi Dampak Penyebaran Lokasi EBT - PLTS



Dampak VRE terhadap **Cost dan Keandalan**

No	Sifat VRE	Dampak
1	Biaya Investasinya relatif tinggi, namun <i>variable cost</i> -nya sangat rendah	Semakin kompetitif sejalan dengan kecenderungan penurunan harga VRE
2	Sifat <i>variable</i> atau intermiten	<p>Variability: Kurang berkontribusi pada keandalan sistem karena nilai kapasitasnya yang tidak firm. Kontribusinya dalam menentukan LOLE pada waktu beban puncak memerlukan evaluasi nilai kapasitas (<i>capacity value</i>) dari VRE. Hal ini perlu dinilai secara khusus dalam proses <i>generation capacity expansion planning</i>.</p> <p>Intermittency: Perlu penyediaan pembangkit reaksi cepat (dan mitigasi lainnya seperti <i>energy storage system</i>) untuk mengimbangi variabilitas dan intermitensi tersebut</p>

Dampak VRE pada Proses **Perencanaan Sistem Tenaga**

VRE tidak signifikan (tanpa penetrasi VRE)



Production costing biasanya *probabilistic* untuk mempercepat komputasi biaya produksi

Ada penetrasi VRE

Production simulation harus *chronological*

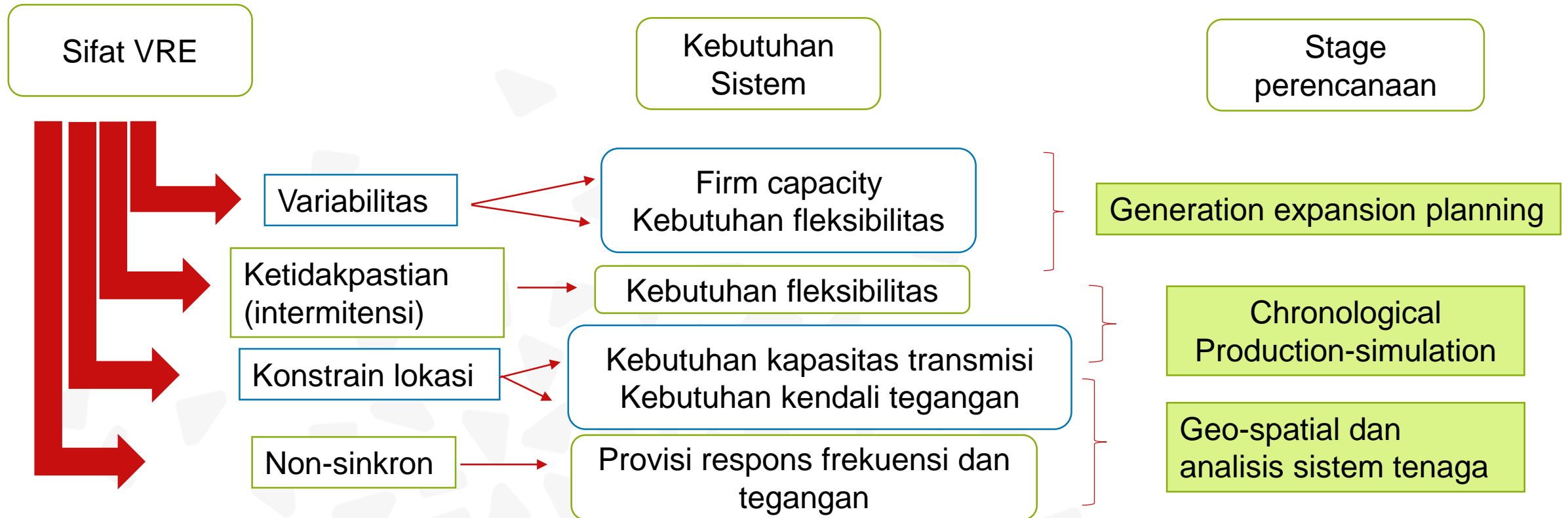


Catatan: Siklus dapat memiliki feedback (umpan balik) jika diperlukan

* Di dalamnya termasuk perhitungan biaya operasi, menggunakan RE resource assessment sebagai input

Contoh: Analisis kondisi ekstrim, contohnya terjadi badai yang membuat wind farm trip

Dampak VRE pada Proses **Perencanaan Sistem Tenaga** (2)



Referensi: IRENA, *Planning for the Renewable Future*

Ilustrasi Kebijakan dalam Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Terkait **Transisi Energi Menuju *Net Zero Emission***

- **Modeling Approach untuk Geothermal dan Hydro Power Development:** Jika terdapat kandidat proyek *geothermal* dan *hydro power* yang sudah *proven* dan diketahui *estimated COD*-nya, kandidat akan diperlakukan sebagai *fixed plans* tanpa menjalani proses optimisasi.
- **Kebijakan tidak merencanakan PLTU baru:** Tidak ada kandidat PLTU modeling *capacity expansion*.
- **Kebijakan retirement PLTU:** Tahun retirement unit-unit PLTU ditetapkan di luar proses perencanaan dan dijadikan sebagai input modeling *capacity expansion*. Proses perencanaan akan menghasilkan pembangkit pengganti untuk memenuhi kriteria keandalan, mungkin berupa pembangkit gas, nuklir atau biomass sesuai kebijakan energi nasional..
- **Kebijakan carbon pricing.** Emisi karbon dan *carbon pricing* (dapat berbentuk *tax* maupun *cap and trade*) dapat dimodelkan sebagai penambahan *cost (externalities)* yang akan meningkatkan OPEX dari pembangkit fosil yang dapat berakibat menurunkan *competitiveness* terhadap *renewable energy*.

Rekapitulasi

Proses perencanaan sistem tenaga listrik bertujuan untuk memastikan bahwa **kapasitas** sistem tenaga akan mampu menyuplai listrik kepada semua pelanggan secara cukup, ekonomis, dan andal.

Aspek penting dari *capacity expansion planning* adalah

- Proses optimisasi ekonomi untuk memperoleh pilihan teknologi, tahun masuk, dan kapasitas dari pembangkit dan transmisi interkoneksi/*backbone* secara optimal
- Menghasilkan *total system cost* terendah (*least cost*) dengan tetap menjaga keandalan
- Dengan masuknya VRE, diperlukan kajian yang lebih rinci dibandingkan tanpa VRE menyangkut kontribusi *capacity value* VRE dalam keandalan sistem tenaga listrik.

The background of the slide is filled with a dense pattern of small, colorful triangles in various shades including red, orange, yellow, green, blue, and purple. The triangles are scattered across the entire page, creating a vibrant and textured effect.

THANK YOU