

Analisa Pemilihan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Berdasarkan Kebutuhan Beban Jangka Menengah

Analysis of the Selection of Geothermal Power Plants Based on Medium Term Needs

Adib Chumaidy

Program Studi Teknik Elektro - FTI, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa – Jakarta Selatan 12640, Telp. : (021) 7270090
E-mail : adib.chumaidy@gmail.com

Abstrak--- *Konsumsi tenaga listrik di Provinsi Bali tiap tahunnya mengalami peningkatan, hal ini dapat dibuktikan dari data besar beban puncak pada tahun 2008 – 2017. Kondisi sistem kelistrikan di Bali yang disupply oleh sistem Jawa-Bali melalui kabel laut dan ketersediaan pembangkit dengan sumber minyak bumi dan batu bara sebesar 1278 MW, untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan listrik perlu dilakukan pembangunan pembangkit baru untuk mencukupi kebutuhan energi listrik. Perencanaan tersebut berdasarkan pada perhitungan proyeksi beban pada 5 (lima) tahun mendatang, dimana pada tahun 2021 perkiraan beban mencapai 1343,30 MW melebihi kapasitas pemasok daya. Dengan memanfaatkan sumber energi primer panas bumi di Bali, yang diketahui berada di 6 (enam) titik lokasi terduga. Dari hasil perhitungan sumber daya spekulatif di masing-masing titik lokasi, pada daerah Buyan-Beratan dapat menghasilkan potensi listrik dari panas bumi sebesar 282,3 MW, dimana besar potensi ini dapat mencukupi defisit energi hingga tahun 2022.*

Kata kunci : *Beban Puncak, Prakiraan Beban, Energi Panas Bumi, PLTP*

Abstract--- *Electricity consumption in Bali Province increases every year, this can be proven from the peak load data in 2008 - 2017. With the condition of the electricity system in Bali supplied by the Java-Bali system through the sub marine cable and the availability of plants with petroleum sources and coal of 1278 MW, so to anticipate the increase in electricity demand needs to be done the construction of new plants to meet the needs of electrical energy. The planning is based on the load projection calculation in the next 5 (five) years, where in 2021 the estimated load reaches 1343.30 MW exceeds the capacity of the power supplier. By utilizing the primary energy source of geothermal in Bali, which is known to be in 6 (six) points of unexpected location. From the calculation of speculative resources at each location point, Buyan-Beratan area can generate electricity potential from geothermal of 282.3 MW, where this potential can be sufficient to deficit energy until 2022 year.*

Keywords : *Peak Load, Demand forecast, Geothermal energy, Geothermal Power Plant*

1. PENDAHULUAN

Penyaluran sistem kelistrikan di provinsi Bali terinterkoneksi dengan jaringan Jawa-Bali dari pembangkitan ke konsumen melalui transmisi tegangan tinggi 150 kV, jaringan tegangan menengah 20 kV, dan jaringan tegangan rendah 400 V. Persediaan energi listrik di Provinsi Bali ber sumber dari pasokan pembangkit dari Jawa yang dialiri melalui 4 kabel laut dengan daya mampu 400 MW dan dipasok juga oleh pembangkit yang ada di Provinsi Bali sendiri yaitu PLTD/PLTG Pesanggaran, PLTG Gilimanuk, PLTG Pamaran, dan PLTU Celukan Bawang dengan total daya mampu adalah 362 MW.

Seiring dengan perkembangan pariwisata di daerah Bali yang cukup pesat dengan karakteristik pemakaian beban yang fluktuatif dari golongan pemakaian beban rumah tangga, industri, komersial, dan publik, maka kebutuhan listrik khususnya di pulau Bali tiap tahun mengalami peningkatan. Jika

keadaan ini terus bertahan, berarti diperlukan pula pengadaan sistem pembangkit energi listrik tambahan guna mengantisipasi peningkatan kebutuhan tersebut.

Dalam perencanaan pengadaan sistem pembangkit tentunya harus memperhatikan faktor-faktor berikut :

1. Efektif dan Efisien, dimana energi primer yang diperlukan seminimal mungkin dikurangi oleh ketergantungan terhadap energi fosil, khususnya minyak bumi.
2. Dapat menyediakan energi listrik dalam skala lokal regional.
3. Mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat.
4. Ramah lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.

Selain itu perhitungan kebutuhan beban listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam

perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik, tujuannya adalah agar permintaan listrik dan penyediaannya seimbang, sehingga harapannya dalam investasi yang telah dilakukan dapat digunakan secara efektif dan efisien. Untuk itu, diperlukan analisis dalam perencanaan pengadaan sistem pembangkit dan pemilihan pembangkit yang cocok di provinsi Bali untuk mengantisipasi kebutuhan energi listrik.

2. METODA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Untuk mengantisipasi perkembangan kebutuhan beban, manajemen operasi sistem tenaga listrik harus memperhatikan penyediaan tenaga listrik dikarenakan daya listrik yang dibangkitkan harus dapat mencukupi kebutuhan konsumen. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyediaan tenaga listrik antara lain :

1. Perkiraan beban (*load forecast*)
2. Syarat-syarat pemeliharaan peralatan
3. Keandalan yang diinginkan
4. Alokasi beban & produksi pembangkit yang ekonomis

Pengembangan kapasitas pembangkit tenaga listrik terutama berdasarkan pertumbuhan permintaan tenaga listrik pada suatu daerah.

2.2 Energi Panas Bumi

Energi panas bumi, adalah energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung didalamnya berupa air panas atau uap yang terbentuk melalui pemanasan secara alami. Dari sudut pandang geologi, sumber energi panas bumi berasal dari magma yang berada di dalam bumi, magma tersebut menghantarkan panas secara konduktif pada batuan disekitarnya. Ketika temperatur dan tekanan menjadi cukup tinggi, beberapa batuan yang mencair (*mantle rock melts*), menjadi magma.

Karena mempunyai *density* yang lebih ringan dari batuan sekitar, magma bertambah dan mengalir secara perlahan ke atas menuju lapisan kerak bumi yang membawa panas dari bawah. Tetapi sangat sering magma yang tersisa di bawah lapisan kerak bumi memanasi batuan sekitar dan air (air hujan yang telah mengendap ke dalam tanah), mempunyai temperatur sekitar 700°F.

Beberapa dari air panas bumi ini merambat mengalir melalui celah dan retak-retak dan mencapai permukaan tanah sebagai *hot spring* atau *geysers*, tetapi kebanyakan tetap mengendap di dalam tanah, terperangkap dalam retak-retak dan pori-pori batuan. Kumpulan alami dari air panas ini dinamakan sebagai *Geothermal Reservoir*.



Gambar 1. Peta Potensi Panas Bumi di Indonesia

Dari gambar 1 tersebut, dapat dilihat peta sebaran potensi panas bumi di Indonesia dengan total keseluruhan energi listrik yang dapat dihasilkan sebesar 28.910 MW. Pada dasarnya sistem panas bumi jenis hidrothermal terbentuk sebagai hasil perindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan konveksi.

Dalam usaha pengembangan panas bumi untuk menemukan sumber daya panas bumi sampai dengan pemanfaatannya baik secara langsung maupun tidak langsung melalui beberapa tahapan, antara lain :

1. Survei Pendahuluan

Adalah kegiatan yang meliputi pengumpulan, analisis dan penyajian data yang berhubungan dengan informasi kondisi geologi, geofisika, dan geokimia untuk memperkirakan letak dan adanya sumber daya Panas Bumi serta Wilayah Kerja.

2. Eksplorasi

Adalah rangkaian kegiatan yang meliputi penyelidikan geologi, geofisika, geokimia, pengeboran uji, dan pengeboran sumur eksplorasi yang bertujuan untuk memperoleh dan menambah informasi kondisi geologi bawah permukaan guna menemukan dan mendapatkan perkiraan potensi Panas Bumi.

3. Studi Kelayakan

Adalah tahapan kegiatan usaha pertambangan Panas Bumi untuk memperoleh informasi secara rinci seluruh aspek yang berkaitan untuk menentukan kelayakan usaha pertambangan Panas Bumi, termasuk penyelidikan atau studi jumlah cadangan yang dapat dieksploitasi.

4. Eksploitasi

Adalah rangkaian kegiatan pada suatu wilayah kerja tertentu yang meliputi pengeboran sumur pengembangan dan sumur reinjeksi, pembangunan fasilitas lapangan dan operasi produksi sumber daya Panas Bumi.

2.3 Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi

Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan *boiler*, sedangkan pada PLTP uap berasal dari *reservoir* panas bumi. Apabila *fluida* di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat dialirkan langsung ke turbin, dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik.

Jenis-jenis PLTP antara lain :

1. *Direct Dry Steam Cycle*

Merupakan jenis yang paling umum dari pembangkit listrik tenaga panas bumi. PLTP ini memanfaatkan uap kering langsung dari sumur produksi yang dibor ke dalam *reservoir* panas bumi. Uap kering bertekanan tinggi keluar dari sumur produksi dan melalui *rock catcher*, yaitu serangkaian *mesh filter* yang berfungsi menangkap bongkahan batu, kerikil atau sampah lainnya yang dapat merusak suhu turbin. Uap tersebut kemudian menggerakkan turbin uap yang dikopel dengan sebuah generator listrik.

Uap keluar dari turbin masuk ke kondensor yang berada dalam kondisi vakum sehingga ter kondensasi menjadi air kondensat. Dari sini kondensat dipompa melalui serangkaian *scrubbing tower* yang berfungsi untuk menghilangkan *non-condensable gas* (NCG). Kondensat tersebut kemudian dipompa ke *cooling tower* dan mengalami proses pendinginan. Kondensat yang masih mengandung *non-condensable gas* (NCG) dialirkan kembali ke *scrubber* sebelum disuntikkan ke *reservoir* panas bumi melalui sumur injeksi.

2. *Flash Steam Cycle*

Pada PLTP jenis ini fluida yang keluar dari sumur produksi harus berada pada suhu tinggi 360°F. Proses yang terjadi pada PLTP jenis ini adalah uap dari sumur produksi dipompa melalui serangkaian *pressure vessel* yang tekanannya lebih rendah dari tekanan fluida panas bumi. Hal ini menyebabkan fluida mengalami *flash off* dan terbagi menjadi uap tekanan rendah, tekanan menengah, dan tekanan tinggi. Uap kemudian melewati turbin uap, mengalami kondensasi dan mengalami perlakuan yang sama seperti pada PLTP *Dry Steam* yakni kembali ke *reservoir* panas bumi bersama dengan *non-condensable gas* (NCG) melalui sumur injeksi.

3. *Binary Cycle*

Pada PLTP jenis ini fluida panas bumi yang digunakan merupakan fluida bersuhu tinggi yang nantinya akan digunakan untuk memanaskan fluida sekunder yang memiliki titik didih lebih rendah. Fluida sekunder (biasanya isobutene atau

isopentana) dipanaskan oleh fluida panas bumi melalui *heat exchanger* dan mengalami *flash off* sehingga terbentuk uap. Uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin. Uap yang telah digunakan untuk memutar turbin uap akan dikondensasikan dalam kondenser dan dialirkan kembali ke *heat exchanger* untuk memulai siklus kembali. Karena fluida panas bumi hanya berpindah dari sumur produksi menuju *heat exchanger* dan kembali diinjeksikan ke *reservoir* melalui sumur injeksi dalam sistem tertutup maka dalam PLTP jenis ini tidak ada jalur keluar bagi gas berbahaya (*noxious gas*). Selain itu juga tidak diperlukan peralatan untuk proses *gas scrubbing*.

2.4 Peramalan Kebutuhan Tenaga Listrik

Salah satu faktor yang sangat menentukan dalam membuat rencana operasi sistem tenaga listrik adalah peramalan atau prakiraan kebutuhan beban tenaga listrik di masa mendatang. Peramalan kebutuhan energi listrik dapat dikelompokkan menurut jangka waktunya menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Peramalan Jangka Panjang

Peramalan jangka panjang merupakan peramalan untuk jangka waktu di atas 5 (lima) tahun. Dalam peramalan jangka panjang masalah-masalah makro ekonomi seperti pendapatan domestik regional bruto merupakan masalah ekstern perusahaan listrik yang merupakan faktor utama untuk menentukan arah peramalan kebutuhan energi.

2. Peramalan Jangka Menengah

Peramalan jangka menengah merupakan peramalan untuk jangka waktu dari satu tahun sampai dengan lima tahun. Dalam peramalan jangka menengah faktor-faktor manajerial perusahaan merupakan faktor utama yang menentukan. Masalah-masalah manajerial misalnya ke kemampuan teknis proyek pembangkit, kemampuan teknis penyaluran pada transmisi, dan kemampuan teknis memperluas jaringan distribusi.

3. Peramalan Jangka Pendek

Peramalan jangka pendek merupakan peramalan untuk jangka beberapa waktu tertentu dari bulanan hingga satu tahun. Peramalan jangka pendek dapat dimisalkan seperti peramalan beban gardu distribusi yang selanjutnya dapat digunakan sebagai jadwal pemeliharaan/tindakan preventif.

Adapun metode yang dapat digunakan untuk meramalkan proyeksi kebutuhan tenaga listrik, antara lain :

1. Metode Kuadrat Terkecil (Least Square)

Metode peramalan beban dengan menggunakan data *history* beban dimasa yang lalu dan kemudian menarik garis extrapolasi sedemikian

hingga memperoleh nilai minimum. Metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan beban puncak yang akan terjadi di sistem tenaga listrik untuk beberapa tahun.

2. Metode Eksponensial

Metode eksponensial adalah metode yang menggambarkan tingkat pertumbuhan yang bertambah dengan cepat. Metode ini biasanya digunakan untuk membuat ramalan jumlah penduduk, konsumsi energi listrik, dan faktor beban dengan adanya suatu target kenaikan penjualan yang digariskan.

3. Metode Gompertz

Metode Gompertz adalah metode yang biasa digunakan untuk mewakili data yang menggambarkan perkembangan/pertumbuhan yang mula-mula tumbuh dengan cepat sekali, akan tetapi lambat laun agak lambat, kecepatan pertumbuhannya makin berkurang sampai tercapai suatu titik jenuh (*saturation point*). Metode ini sangat cocok diterapkan dalam meramalkan rasio elektrifikasi dimasa yang akan datang, karena rasio elektrifikasi berkembang sangat cepat sekali pada saat sekarang, dan akan mencapai suatu harga kejenuhan di waktu yang akan datang.

4. Metode Koefisien Beban

Metode ini digunakan untuk memperkirakan beban harian dari suatu sistem tenaga listrik. Beban untuk setiap jam diberi koefisien yang menggambarkan besarnya beban pada jam tersebut dalam perbandingannya terhadap beban puncak. Beban puncak dapat diperkirakan dengan melihat beban puncak mingguan, bulanan, atau tahunan yang kemudian dengan menggunakan koefisien-koefisien tertentu bisa diperkirakan grafik beban harian untuk satu minggu yang akan datang.

2.5 Kondisi Sistem Kelistrikan Provinsi Bali

Sistem kelistrikan di Provinsi Bali bersumber dari pasokan dari kabel laut Jawa-Bali 400 MW dan pembangkit 150 kV sebesar 998 MW yang terdapat atas pembangkit BBM 566 MW, dan PLTU Celukan Bawang 380 MW yang baru beroperasi pada tahun 2015. Berikut rincian kapasitas daya pembangkit tenaga listrik di Provinsi Bali yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daya Pembangkit Terpasang di Bali

| No | Pemasok Tenaga Listrik | Jenis | | Tahun Operasi | Daya Terpasang (MW) | Daya Mampu (MW) |
|---------------|------------------------|-------|----------|---------------|---------------------|-----------------|
| 1 | KIT Pesanggaran | PLTG | BBM | 1994 | 126 | 106 |
| 2 | KIT Gilimanuk | PLTG | BBM | 1997 | 133 | 130 |
| 3 | Kabel Laut 1 | | | 1997 | 100 | 85 |
| 4 | Kabel Laut 2 | | | 1998 | 100 | 85 |
| 5 | KIT Pemaron | PLTG | BBM | 2004 | 98 | 80 |
| 6 | KIT Pesanggaran BOT | PLTD | BBM | 2012 | 67 | 46 |
| 7 | Kabel Laut 3 | | | 2014 | 100 | 85 |
| 8 | Kabel Laut 4 | | | 2014 | 100 | 85 |
| 9 | KIT Pesanggaran | PLTD | BBM | 2015 | 200 | 196 |
| 10 | Celukan Bawang | PLTU | Batubara | 2015 | 380 | 380 |
| JUMLAH | | | | | 1404 | 1278 |

Provinsi Bali sebagai pulau pariwisata, dituntut agar selalu dapat melayani kebutuhan pelanggan baik komersil, industri, maupun rumah tangga. Tingkat keandalan dan mutu pelayanan harus selalu terus ditingkatkan seiring dengan pertumbuhan kebutuhan masyarakat Bali dan investor akan energi listrik. PT PLN (Persero) berupaya mewujudkan Bali Mandiri dari sisi pembangkit listrik secara bertahap. Mengingat pasokan listrik di Provinsi Bali yang cukup besar dipasok dari Jawa, maka keandalan penyaluran sistem ketenaga listrikannya sangat bergantung pada keandalan sistem penyaluran listrik dari pulau Jawa.

Ketika salah satu unit terbesar keluar dari sistem maka akan terjadi defisit energi listrik yang kemudian berdampak terhadap pelayanan listrik ke konsumen. Untuk itu perlu adanya penambahan unit pembangkit baru, yang diharapkan mampu mengatasi masalah kelistrikan di Bali kedepannya dan sebagai cadangan pemasok tenaga listrik di Provinsi Bali, untuk mengantisipasi pada saat beban puncak dan gangguan sistem baik dari faktor internal maupun eksternal, sehingga kebutuhan tenaga listrik masih dapat di-backup oleh pembangkit yang terinterkoneksi.

Dalam perencanaan pengembangan pembangkit baru, perlu menjamin ketersediaan sumber energi primer untuk pembangkitan tenaga listrik di Bali dengan meminimalisir penggunaan sumber energi fosil, khususnya minyak bumi. Untuk pemilihan pembangkit listrik maka diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat, dengan kewajiban menggunakan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Potensi energi primer untuk pembangkit tenaga listrik yang terdapat di wilayah provinsi Bali diantaranya yaitu potensi energi panas bumi, potensi energi surya, dan potensi bio-massa sesuai referensi pada Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional tahun 2015-2034.

Namun berdasarkan kajian terkait potensi energi surya dan biomassa, apabila dikembangkan menjadi pembangkit listrik maka hanya dapat mencukupi kebutuhan listrik dalam skala lokal tertentu. Provinsi Bali memiliki potensi energi yang dapat dikembangkan untuk pembangkit tenaga listrik

dengan luas prospek yang cukup besar terdapat di 6 lokasi yaitu Banyuwedang Buleleng, Seririt Buleleng, Batukao Tabanan, Penebel Tabanan, Buyan-Bratan Buleleng dan Kintamani-Batur yang dapat dilihat pada Tabel 2, sebagai berikut :

Tabel 2. Potensi Sumber Panas Bumi Provinsi Bali

| No. | Titik Lokasi | Luas Prospek (km ²) | Temperatur (°C) |
|-----|------------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1 | Batukao – Tabanan | 9,6 | 190 |
| 2 | Penebel – Tabanan | 9,4 | 215 |
| 3 | Buyan – Beratan | 85,5 | 200 |
| 4 | Banyuwedang – Buleleng | 7,8 | 125 |
| 5 | Batur – Kintamani | 8,0 | 230 |
| 6 | Seririt - Buleleng | 5,6 | 170 |

2.6 Proyeksi Pertumbuhan Beban Listrik

Perhitungan proyeksi pertumbuhan beban dengan menggunakan metode regresi linier yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$y = a + b x \dots\dots\dots (1)$$

dengan : y = besar beban puncak untuk tahun ke - x
dimana nilai a dan b diperoleh dengan penjabaran sebagai berikut :

$$a \sum x + b \sum x = \sum y \dots\dots\dots (2)$$

dan

$$a \sum x + b \sum x^2 = \sum xy \dots\dots\dots (3)$$

x = perkiraan beban tahun ke-n

Untuk melakukan estimasi potensi energi panas bumi dalam kelas sumber daya spekulatif dihitung dengan rumus :

$$H_e = A h [(1 - \eta) \rho_r C_r T \dots\dots\dots (4)$$

Untuk melakukan estimasi potensi energi panas bumi dalam kelas sumber daya hipotesis sampai dengan cadangan terbukti digunakan metode volumetrik dengan rumus^[3] :

$$H_e = A h [(1 - \eta) \rho_r C_r T + \eta (\rho_L U_L S_L + \rho_V U_V S_V)] \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

- H_e = kandungan energi panas (kJ)
- A = luas daerah panas bumi prospek (km²)
- h = tebal reservoir (m)
- T = temperatur reservoir (°C)

- S_L = saturasi air (%)
- S_V = saturasi uap (%)
- U_L = energi dalam air (kJ/kg)
- U_V = energi dalam uap (kJ/kg)
- C_r = kapasitas panas batuan (kJ/kg °C)
- ρ_r = densitas batuan (kg/m³)
- ρ_L = densitas air (kg/m³)
- ρ_V = densitas uap (kg/m³)
- η = porositas batuan reservoir (%)

Dalam melakukan estimasi potensi energi panas bumi dibutuhkan parameter-parameter fisis yang selanjutnya digunakan dalam rumus-rumus di atas. Parameter tetap dapat ditentukan dengan asumsi berdasarkan statistik data hasil penyelidikan di berbagai lapangan/daerah panas bumi, sedang kan variabel ditentukan berdasarkan pengukuran langsung dan atau hasil pengolahan data lapangan.

Status parameter pada suatu kelas sumber daya/cadangan tertentu dapat berubah dari suatu parameter tetap menjadi variabel, apabila pada kelas tersebut angka parameter dapat ditentukan dengan pengukuran langsung dilapangan atau dapat dihitung berdasarkan data lapangan yang ada. Asumsi angka parameter untuk perhitungan estimasi panas bumi terlihat pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Asumsi Angka Parameter Estimasi Potensi Panas Bumi

| Parameter | Temp. Tinggi (>225°C) | Temp. Sedang (125°C - 225°C) | Temp. Rendah (<125°C) |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Tebal reservoir (meter) | 2000 | 2000 | 2000 |
| Saturasi air (%) | 100 | 100 | 100 |
| Porositas batuan (%) | 10 | 10 | 10 |
| Kapasitas panas batuan (kJ/kg°C) | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Densitas batuan (kg/m ³) | 2,5 x 10 ³ | 2,6 x 10 ³ | 2,7 x 10 ³ |
| Faktor konversi listrik (%) | 10 | 10 | 10 |

Setelah diketahui kandungan energi panas bumi pada lokasi sumber terduga, maka dapat di hitung besarnya potensi listrik panas bumi yaitu besarnya energi listrik yang dapat dibangkitkan selama periode waktu 1 (satu) tahun, dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$H_{el} = \frac{H_e \cdot \eta}{365 \times 24 \times 3600} \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

- 1 joule = 1 watt detik
- H_{el} = potensi listrik panas bumi (kJ/s) atau (MWe)
- η = faktor konversi listrik (%)

3. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Seiring dengan pertumbuhan konsumsi energi listrik provinsi Bali yang dapat dilihat pada Tabel 4, maka akan mempengaruhi pula besar beban maks-

mal konsumen atau beban puncak pemakaian energi listrik.

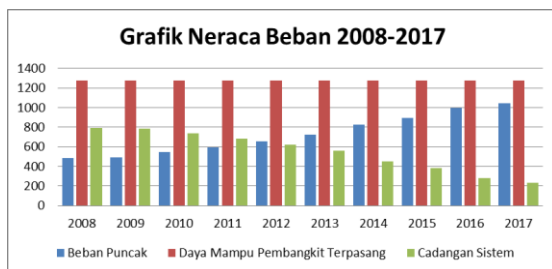
Tabel 4. Neraca Daya Listrik Provinsi Bali Tahun 2008-2017

| Tahun | Beban Puncak (MW) | Daya Mampu (MW) | Cadangan Daya Pembangkit (MW) |
|-------|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| 2008 | 485,8 | 1278,2 | 792,4 |
| 2009 | 493,2 | 1278,2 | 785,0 |
| 2010 | 542,9 | 1278,2 | 735,3 |
| 2011 | 596,7 | 1278,2 | 681,5 |
| 2012 | 658,1 | 1278,2 | 620,1 |
| 2013 | 721,7 | 1278,2 | 556,5 |
| 2014 | 824,4 | 1278,2 | 453,8 |
| 2015 | 894,7 | 1278,2 | 383,5 |
| 2016 | 995,6 | 1278,2 | 282,6 |
| 2017 | 1044,0 | 1278,2 | 234,2 |

Suatu sistem tenaga listrik harus memperhatikan pemasok energi listrik pada daerah tersebut agar penyediaan energi selalu mencukupi pemakaian konsumen. Berdasarkan neraca daya listrik di Bali dengan acuan data tahun 2008 sampai dengan 2017, dan melihat daya mampu pembangkit terpasang di Bali sesuai dengan Tabel 1, maka dapat dilihat cadangan daya pembangkit pada Tabel 4 di atas.

Pada Tabel 4 dapat dilihat beban puncak di Provinsi Bali dari tahun 2008 sampai dengan 2017 terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Dari sumber pemasok energi listrik di Bali ditambah pasokan kabel laut dari Jawa dengan daya mampu total pemasok tenaga listrik sebesar 1278 MW, beban listrik di Bali masih dapat disupply oleh pemasok terpasang.

Pertumbuhan beban puncak serta cadangan daya pembangkit dapat kita lihat sesuai pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Grafik Neraca Daya

3.1 Perhitungan Proyeksi Pertumbuhan Beban

Berdasarkan acuan data *history* beban puncak di Tabel 4, untuk mengetahui proyeksi pertumbuhan beban di Provinsi Bali dalam jangka waktu 5 (lima) tahun mendatang, maka digunakan metode peramalan beban yaitu teknik regresi linier sederhana (metode *least square line*) dengan melakukan perhitungan berdasarkan data *history*

beban puncak sesuai pada Tabel 4, dengan mensubstitusikan pada persamaan 1, 2, dan 3, maka per hitungan proyeksi pertumbuhan beban bisa dilakukan.

Tabel 5. Perhitungan nilai x, y, x² dan xy

| x | y | x ² | xy |
|---------|-------------|-------------------------|---------------|
| 1 | 485,8 | 1 | 485,8 |
| 2 | 493,2 | 4 | 986,4 |
| 3 | 542,9 | 9 | 1628,7 |
| 4 | 596,7 | 16 | 2386,8 |
| 5 | 658,1 | 25 | 3290,5 |
| 6 | 721,7 | 36 | 4330,2 |
| 7 | 824,4 | 49 | 6244,8 |
| 8 | 894,7 | 64 | 7157,6 |
| 9 | 995,6 | 81 | 8960,4 |
| 10 | 1044,0 | 100 | 10440,0 |
| Σx = 55 | Σy = 7257,1 | Σx ² = 385,0 | Σxy = 45911,2 |

Dari hasil yang diperoleh, dengan memasukkan nilai Σx, Σy, Σx², dan Σxy ke dalam persamaan 2 dan 3, maka penjabarannya diperoleh :

$$10 a + 55 b = 7257,1$$

$$55 a + 385 b = 45911,2$$

maka nilai a menjadi:

$$70 a + 385 b = 50779,7$$

$$55 a + 385 b = 45911,2$$

$$15 a = 4888,5$$

$$a = 325,90$$

sedangkan untuk nilai b :

$$550 a + 3025 b = 399140,5$$

$$550 a + 3850 b = 459112$$

$$-825 b = -59971,5$$

$$b = 72,69$$

Jadi dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai a sebesar 325,90 dan nilai b sebesar 72,69; yang selanjutnya untuk menghitung proyeksi besarnya beban puncak untuk 5 (lima) tahun mendatang dengan mensubstitusikan nilai a dan b pada persamaan 1, sehingga persamaannya menjadi $y = 325,90 + 72,69 x$, dan hasilnya pada Tabel 6.

Tabel 6. Proyeksi Pertumbuhan Beban 2018-2022

| Tahun | Besarnya Beban (MW) | Daya Mampu Pembangkit (MW) | Cadangan Pembangkit | |
|-------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------|
| | | | Daya (MW) | % |
| 2018 | 1125,52 | 1278,20 | 152,68 | 11,94 |
| 2019 | 1198,21 | 1278,20 | 79,99 | 6,26 |
| 2020 | 1270,91 | 1278,20 | 7,29 | 0,57 |
| 2021 | 1343,60 | 1278,20 | -65,40 | -6,54 |
| 2022 | 1416,29 | 1278,20 | -138,09 | -10,80 |

Dari hasil perhitungan proyeksi pertumbuhan beban sesuai yang terlihat pada Tabel 6, maka dapat diprediksi beban puncak di Provinsi Bali tiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Peningkat

an beban tersebut mempengaruhi persediaan pemasok tenaga listrik, dimana dari hasil per hitungan pada tahun 2021 prediksi besar beban mencapai pada angka sebesar 1343,60 MW atau - 6,54% yaitu melebihi besar daya mampu pem bangkit yang sebesar 1278,20 MW.

3.2 Potensi Energi Panas Bumi di Provinsi Bali

Dari sebaran potensi sumber daya panas bumi di Indonesia, diketahui Bali memiliki potensi sumber daya panas bumi yang tersebar di 6 titik lokasi dengan rincian yang dapat dilihat pada Tabel 2. Potensi tersebut dapat dikembangkan dengan melakukan penelitian lebih lanjut, sehingga dapat menjadi rekomendasi untuk rencana pembangunan pembangkit listrik baru dengan sumber daya panas bumi. Kenampakan gejala panas bumi di daerah Bali sebanyak 6 titik potensi yang diketahui dengan manifestasi panas bumi rata-rata berupa mata air panas. Sistem panas bumi di Provinsi Bali ber asosiasi dengan sistem vulkanik. Batuan reservoir diperkirakan berada pada satuan lava prakaldera pegunungan dengan kedalaman belum dapat ditentukan.

Data spesifikasi kandungan panas bumi di Provinsi Bali dapat diketahui sesuai dengan referensi hasil penelitian Tim Survey Pusat Sumber Daya Geologi (2012) dan asumsi angka parameter estimasi potensi panas bumi sesuai pada Tabel 3, sehingga dapat dilihat data spesifikasi pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7. Data Spesifikasi Potensi Panas Bumi

| No. | Titik Lokasi | Luas Prospek (km ²) | Temperatur (°C) | Densitas Batuan (kg/m ³) | Kapasitas Panas Batuan (kJ/kg°C) |
|-----|------------------------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Batur – Kintamani | 8 | 230 | 2500 | 1 |
| 2 | Batukao – Tabanan | 9,6 | 190 | 2600 | 0,9 |
| 3 | Penebel – Tabanan | 9,4 | 215 | 2600 | 0,9 |
| 4 | Buyan – Beratan | 85,5 | 200 | 2600 | 0,9 |
| 5 | Banyuwedang – Buleleng | 7,8 | 125 | 2700 | 0,8 |
| 6 | Seririt - Buleleng | 5,6 | 170 | 2600 | 0,9 |

3.3 Perhitungan Energi Panas dan Potensi Listrik

Sesuai dengan data spesifikasi pada Tabel 7 yang diduga memiliki sumber daya potensi panas bumi, selanjutnya berdasarkan data tersebut dilaku kan perhitungan untuk mengetahui sumber daya spekulatif energi panas yang terdapat pada masing-masing titik lokasi sampel. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 4, sehingga diper oleh :

Sumber daya spekulatif energi panas bumi dan estimasi energi listrik di Batur Kintamani :

$$A = 8 \text{ km}^2$$

$$H = 2000 \text{ m}$$

$$\phi = 10 \%$$

$$\rho_r = 2,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$C_r = 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\eta = 10 \%$$

Berdasarkan data tersebut, maka kandungan energi panas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 berikut:

$$H_e = A h [(1 - \hat{\eta}) \rho_r C_r T$$

$$= 8.10^6 \times 2 \times 10^3 \times (1-0,1) \times 2,5 \times 10^3 \times 1 \times 230$$

$$= 8,28 \times 10^{15} \text{ kJ}$$

Dari hasil perhitungan, sumber daya spekulatif potensi panas bumi pada titik lokasi Batukao Tabanan diperoleh kandungan panas (H_e) sebesar 8,28 x 10¹⁵ kJ, dari hasil tersebut selanjutnya dapat dihitung estimasi besar potensi energi listrik yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan 6, diperoleh :

$$H_{el} = \frac{H_e \cdot \eta}{365 \times 24 \times 3600}$$

$$= \frac{8,28 \times 10^{15} \times 0,1}{365 \times 24 \times 3600}$$

$$= 26255708 \text{ W}$$

$$= 26,3 \text{ MW}$$

Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama untuk mengetahui estimasi energi listrik yang dapat dihasilkan disetiap titik lokasi potensi panas, maka hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8 berikut :

Tabel 8. Hasil Perhitungan Kandungan Energi Panas dan Estimasi Potensi Energi Listrik

| No. | Titik Lokasi | Kandungan Energi Panas (kJ) | Estimasi Potensi Energi Listrik (MW) |
|--------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Batur – Kintamani | 8,28 x 10 ¹⁵ | 26,3 |
| 2 | Batukao – Tabanan | 7,68 x 10 ¹⁵ | 24,4 |
| 3 | Penebel – Tabanan | 7,68 x 10 ¹⁵ | 27 |
| 4 | Buyan – Beratan | 72,08 x 10 ¹⁵ | 228,6 |
| 5 | Banyuwedang – Buleleng | 3,79 x 10 ¹⁵ | 12 |
| 6 | Seririt - Buleleng | 4,01 x 10 ¹⁵ | 12,7 |
| TOTAL | | | 331 |

3.4 Analisis Perhitungan

Hasil perhitungan proyeksi pertumbuhan beban di Provinsi Bali yang dilakukan untuk tahun 2018 – 2022 sesuai pada Tabel 4, jika dilihat dari total daya mampu pembangkit yang terpasang untuk memasok energi listrik di Bali sampai dengan tahun 2017 diketahui sebesar 1278 MW, besar estimasi beban pada tahun 2021 sebesar 1343,60 MW. Besar beban ini telah melebihi daya mampu pembangkit terpasang, sehingga perlu pasokan energi listrik di Bali dengan prosentase 6,54%.

Dengan kondisi tersebut, perlu direncanakan pembangunan pembangkit untuk dapat mencukupi kebutuhan energi listrik dan mengantisipasi partum buhan beban. Pemilihan pembangkit listrik tentu nya diperlukan pertimbangan tertentu, terutama faktor sumber daya energi setempat yang dapat digunakan, faktor teknis, faktor ekonomi, dan faktor lingkungan. Jenis pembangkit yang dapat dikembangkan di Bali yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi karena diketahui Bali memiliki sumber panas energi di 6 (enam) lokasi titik sumber panas, sehingga apabila dikembangkan dapat meminimalisir penggunaan sumber energi dari minyak bumi atau batubara.

Setelah dilakukan perhitungan kandungan panas dengan sumber daya spekulatif dan estimasi potensi listrik yang dapat dihasilkan pada masing-masing titik lokasi sesuai yang terlihat pada Tabel 8, maka berdasarkan hasil tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai rekomendasi pemanfaatan energi panas untuk pembangunan pembangkit listrik di Bali dengan melakukan tindakan lebih lanjut untuk memastikan daerah titik potensi yang menjadi prioritas untuk pembangunan PLTP.

Besar potensi energi listrik tertinggi yang dapat dihasilkan yaitu pada daerah Buyan Beratan dengan estimasi potensi listrik sebesar 228,6 MW. Apabila sumber panas bumi ini menjadi prioritas untuk dapat dikembangkan dalam pembangunan pembangkit, maka besar potensi listrik yang dihasilkan mampu mencukupi defisit energi sampai dengan tahun 2022. Dengan hasil perencanaan ini, total kapasitas daya di Bali menjadi sebesar 1506,6 MW dengan tetap disupply oleh sistem Jawa-Bali melalui 4 kabel laut dengan kapasitas 380 MW. Sistem kelistrikan di Bali masih tetap terinter koneksi dengan sistem Jawa-Bali, yang masih menghasilkan cadangan daya pembangkit (*reverse margin*) untukantisipasi pertumbuhan beban di tahun mendatang dan sebagai *backup* pemasok di Provinsi Bali apabila terjadi gangguan kabel laut dari Jawa atau pemeliharaan pada pembangkit lain.

4. SIMPULAN

1. Berdasarkan data *history* beban puncak pemakaian energi listrik di Provinsi Bali dari tahun 2008-2017, dapat dihitung proyeksi pertumbuhan beban 5 (tahun) mendatang pada tahun 2018-2022 diketahui daya mampu pembangkit sebesar 1278 MW tidak mencukupi untuk menyuplai beban pada tahun 2021 dengan proyeksi beban sebesar 1343,60 MW.
2. Pemilihan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) untuk dikembangkan di Provinsi Bali dikarenakan terdapat 6 (enam) titik potensi panas bumi yang dapat digunakan sebagai sumber energi primer. Dari hasil perhitungan sumber daya spekulatif panas bumi

dan estimasi besar energi listrik yang dapat dihasilkan, diketahui estimasi terbesar energi listrik pada daerah Buyan Beratan dapat menghasilkan 228,6 MW yang dapat mencukupi kebutuhan beban.

3. Dari hasil analisis, apabila PLTP dapat dikembangkan total kapasitas daya di Bali menjadi sebesar 1506,6 MW dengan tetap disupply oleh sistem Jawa-Bali melalui 4 kabel laut, sehingga masih menghasilkan cadangan daya pembangkit (*reverse margin*) untukantisipasi pertumbuhan beban dan sebagai *backup* apabila terjadi gangguan kabel laut dari Jawa atau pemeliharaan pada pembangkit lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adib Chumaidy. 2010. “*Jurnal Kebutuhan Beban Listrik Jangka Menengah Jakarta-Banten Tahun 2010-2014*”, Jurnal Sainstech ISTN, ISSN : 1410-7104.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 1999. Standar Nasional : *Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia*. No SNI 03-50-12-1999.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2000. Standar Nasional : *Angka Parameter Dalam Estimasi Potensi Energi Panas Bumi*. No SNI 13-6482-2000.
- [4] Bayu Permana Putra. 2008. “*Jurnal Studi Pembangunan Pembangkit Listrik IPP-PLT Panas Bumi Pada Proyek Percepatan 10 GW Pada Tahun 2018*”, ITS, Surabaya.
- [5] Ditjen EBTKE. 2017. “*Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*”, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- [6] Divisi Perencanaan Korporat. 2015. “*Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2016-2025*”, PT PLN (Persero), Jakarta.
- [7] Djiteng Marsudi. 2011. “*Pembangkit Energi Listrik Edisi Kedua*”, Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- [8] Hasan Basri. 1997. “*Sistem Distribusi Daya Listrik*”, Balai Penerbit Humas ISTN Bhumi Srengseng Indah ISTN, Jakarta.
- [9] Muhammad Rauhansyah. 2011. “*Jurnal Studi Analisa Kapasitas Energi Listrik Panas Bumi Gunung Seulawah Agam Aceh*”, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Banda Aceh.
- [10] Murdani. 2014. “*Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*”, PT PLN (Persero), Jakarta.
- [11] Sudirman Said. 2015. “*Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2015-2034*”, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- [12] Suswanto, Daman. 2009. “*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*”, Diterbitkan oleh Humas Universitas Negeri Padang, Padang.
- [13] Zuhail. 1995. “*Ketenagalistrikan Indonesia*”, PT Ganeca Prima Indonesia.