

Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI XI) 2017
Riset Multidisiplin untuk Menunjang Pengembangan Industri Nasional
Lombok, 27-29 April 2017

No.	Waktu	Penulis	Judul	Kode Makalah
6	22.00-22.15	Sulaiman Ali, Djarmiko Ichani	Studi Simulasi Numerik Pengaruh Penambahan <i>Fins</i> Setengah Silinder Disusun Secara <i>Staggered</i> Terhadap Kinerja Kolektor Surya Pemanas Udara dengan Plat Penyerap <i>V-Corrugated</i>	TM-21

BIDANG : Teknik Mesin (Konversi Energi)

RUANG : II

MODERATOR : Mirmanto, S.T., M.T., Ph.D.

SESI : II

No.	Waktu	Penulis	Judul	Kode Makalah
1	20.45-21.00	Mirza Yusuf	Rancang Bangun dan Analisis Performa Sistem Pendingin Ramah Lingkungan untuk Kabin Mobil City Car Menggunakan Modul Termo Electric Cooler (TEC)	TM-26
2	21.00-21.15	Eli Kumolosari, Sudarja, Indarto, Deendarlianto, Dian Indra Siregar	Karakteristik Pola Aliran Dua-Fase Udara-Campuran Akuades Dan Butanol 4% Pada Saluran Mini Horizontal	TM-27
3	21.15-21.30	Toto Supriyono	Optimum Disain PLTS Hybrid 10 MW dengan Turbin Gas	TM-36
4	21.30-21.45	Heru Harsono, Zahratul Jannah AR, Darminto	Karakteristik Energi Gap dan Sifat Magnetik Nanopartikel $Zn_{0,80}Mn_{0,20}O$ sebagai Bahan <i>Diluted Magnetic Semiconductors</i>	TM-37
5	21.45-22.00	Gunawan	Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Pola Aliran dan Fluktuasi Tekanan pada Aliran <i>Kerosene-Air</i> di <i>T-Junction</i>	TM-38
6	22.00-22.15	Puji Saksono, Pandu Prastiyo Utomo	Analisis Pengaruh Pembebanan <i>Engine</i> Terhadap Emisi Gas Buang dan <i>Fuel Consumption</i> Menggunakan Bahan Bakar Solar dan Biodiesel B10 pada <i>Engine Cummins QSK 45 C</i>	TM-44

BIDANG : Teknik Industri

RUANG : III

MODERATOR : Dr. Lamto Widodo, S.T., M.T.

SESI : II

No.	Waktu	Penulis	Judul	Kode Makalah
1	20.45-21.00	Hanky Fransiscus, Cyntiarani Karyoko, Bagus Made Arthaya	Penentuan Parameter <i>Embossing</i> Kulit Sintetis PVC dengan Menggunakan <i>High Frequency Welding</i> Shenzen Hipower	TI-06
2	21.00-21.15	Yurida Ekawati, Filemon Widjaja dan Sunday Noya	Perencanaan Proses Produksi Kemasan Sirup Wortel Menggunakan Metode Quality Function Deployment	TI-07
3	21.15-21.30	Wawan Kurniawan, Dedy Sugiarto, Ricky Saputera	Usulan Penerapan Metode Six Sigma untuk Meningkatkan Mutu Crude Palm Oil (CPO) di PT. X	TI-09
4	21.30-21.45	Sukanta, Reza Setiawan	Rencana Tindak Lanjut Terhadap Potensi Bahaya Kecelakaan pada PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia	TI-11
5	21.45-22.00	Arminas, Nurulinzany	Penerapan Sistem Antrian Model Multiple Channel Query Sistem (M/M/s) pada Proses Pelayanan Head Truck di Pintu Masuk Terminal Petikemas Makassar	TI-12

OPTIMUM DISAIN PLTS HYBRID 10 MW DENGAN TURBIN GAS

Toto Supriyono

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan
Jalan Dr. Setiabudi No. 193 Bandung, Telp. 022-2019352,
email: toto_supriyono@yahoo.com

Abstrak

Kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat sesuai dengan kemajuan masyarakat. Kebutuhan energi dalam negeri selama ini dipasok dari produksi dalam negeri dan sebagian dari impor, yang pangannya cenderung meningkat. Komponen terbesar dari impor energi adalah minyak bumi (BBM). Penggunaan energi terbarukan (EBT) belum besar, kecuali tenaga air, karena biaya produksinya belum kompetitif dibandingkan dengan energi konvensional. Pada umumnya harga listrik yang dibangkitkan dari PLTS, PLTB, Geothermal dan PLT energi terbarukan lainnya masih lebih tinggi daripada yang dibangkitkan dengan BBM (bersubsidi) kecuali PLTMH. Sampai dengan tahun 2016, kapasitas terpasang energi baru dan terbarukan hanya sekitar 3,0 % dari potensi yang tersedia. Kapasitas terpasang dari PLTS sebesar sekitar 15 MW, sedikitnya. Makalah ini menjelaskan hasil kajian disain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dikombinasikan dengan Turbin Gas (GT) dengan kapasitas sebesar 10 MW. Kriteria disain PLTS Hybrid ini mempertimbangkan pemilihan besar kapasitas PLTS, pemilihan turbin gas dan penentuan harga gas agar diperoleh besar profit yang diinginkan. Optimasi disain dilakukan dengan bantuan aplikasi khusus yang dikembangkan sendiri dengan mempertimbangkan rincian biaya kapital, operasional dan pemeliharaan pembangkit. Pemilihan spesifikasi atau konfigurasi PLTS Hybrid memperhatikan parameter-parameter berikut: CAPEX, OPEX, Payback period, Net Present Value, dan Internal Rate of Return (IRR). Simulasi telah dilakukan dengan mengkaji beberapa konfigurasi kombinasi sebagai berikut: (a) GT 10 MW dan PLTS 10 MWp, (b) GT 10 MW dan PLTS 5 MWp, (c) GT 10 MW dan PLTS 1MWp, dan (d) PLTS 10 MW tanpa baterai dan PLTS 10 MWp dengan baterai. Optimasi disain telah dilakukan dengan asumsi OPEX sebesar 6.18 cents/kWh, interest 5%, harga gas 6 USD/mmBTU, dan masa operasi pembangkit 20 tahun.

Keywords: PLTS, Turbin Gas, PLTS Hybrid, CAPEX, OPEX, Studi Kelayakan

1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia selalu meningkat seiring berjalannya waktu demikian juga kebutuhan akan pasokan listrik. Listrik merupakan kebutuhan pokok yang dapat menunjang jalannya roda perekonomian suatu daerah dan dapat meningkatkan kesejahteraan manusia. Kebutuhan listrik di setiap daerah berbeda-beda tergantung dari struktur wilayah dan kebutuhan untuk mendukung aktifitas perekonomian di daerah tersebut, karena itu diperlukan suatu strategi yang dapat membantu PLN sebagai pemasok listrik di Indonesia untuk menyeimbangkan pasokan listrik yang tersedia dan permintaan pelanggan akan listrik. Selain PLN, diharapkan pengembang listrik swasta (*Independent Power Producer/IPP*) dapat berpartisipasi untuk membangun pembangkit listrik di seluruh Indonesia. Sesuai dengan Undang-Undang No. 30 tahun 2009 tentang Ketenaga Listrik bahwa penyediaan tenaga listrik tidak hanya dilaksanakan oleh PLN dan namun menjadi tanggung jawab pemerintah baik pusat dan daerah ataupun swasta dan badan usaha lainnya.

Kebutuhan energi dalam negeri selama ini dipasok dari produksi dalam negeri dan sebagian dari impor, yang pangannya cenderung meningkat. Komponen terbesar dari impor energi adalah minyak bumi (BBM). Penggunaan energi terbarukan (EBT) belum

besar, kecuali tenaga air, karena biaya produksinya belum kompetitif dibandingkan dengan energi konvensional. Pada umumnya harga listrik yang dibangkitkan dari PLTS, PLTB, Geothermal dan PLT energi terbarukan lainnya masih lebih tinggi daripada yang dibangkitkan dengan BBM (bersubsidi) kecuali PLTMH. Sampai dengan tahun 2016, kapasitas terpasang energi baru dan terbarukan hanya sekitar 3,0 % dari potensi yang tersedia. Kapasitas terpasang dari PLTS sebesar sekitar 15 MW, sedikitnya.

Pembangkit listrik hybrid memiliki sumber energi lebih banyak daripada pembangkit listrik konvensional dan dapat meningkatkan keandalan dan daya tahan sistem pembangkit listrik. Sistem hybrid ini sangat menguntungkan untuk mengatasi kelemahan dari satu sistem individu. Fitur sistem hybrid juga lebih handal dan murah dibandingkan dengan sistem konvensional, karena sumber energi surya atau angin tidak tersedia selama 24 jam sehari. Listrik yang dihasilkan dari energi angin atau surya akan terputus atau berkurang bergantung dari ketersediaan energi surya atau angin, pada saat ini listrik yang dihasilkan oleh generator lainnya akan beroperasi. Sistem hybrid dilengkapi dengan sistem kontrol yang mengatur aliran listrik ke beban dari berbagai komponen dari sistem hybrid selama beroperasi. Pada sistem hybrid, ketika listrik yang dihasilkan dari energi surya atau angin beroperasi, maka subsistem lainnya dalam kondisi siaga (*standby*).

Makalah ini menguraikan hasil optimasi desain pembangkit listrik hybrid untuk wilayah Indonesia bagian timur yang telah dilakukan oleh penulis. Pembangkit listrik ini merupakan partisipasi swasta untuk membangun pembangkit listrik di Indonesia, khususnya untuk wilayah Indonesia bagian timur. Pembangkit listrik yang menjadi kajian adalah Pembangkit Tenaga Listrik Surya (PLTS) Hybrid dengan turbin gas. PLTS Hybrid identik dengan PLTS konvensional yang menghasilkan listrik arus searah (*direct current*, DC) dan dilengkapi oleh *inverter* untuk mengubah DC menjadi arus bolak balik (*alternating current*, AC) serta generator yang menghasilkan listrik AC. Pada PLTS Hybrid yang dikaji ini, keluaran daya listrik AC dari *inverter* dan generator dihubungkan ke beban melalui panel bus AC menggunakan saklar transfer *internal* atau *external* (*internal or external automatic transfer switches*).

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

Seperti telah diuraikan di atas bahwa PLTS Hybrid menghasilkan listrik AC melalui inverter dan generator. Dalam makalah ini, PLTS Hybrid yang dimaksud adalah keluaran listrik AC dihasilkan oleh inverter yang dihubungkan dengan PLTS dan generator yang digerakan oleh turbin gas (PLTG). PLTS Hybrid ini dilengkapi dengan sistem kontrol yang mengatur aliran listrik ke beban. Besar kapasitas PLTS adalah sebesar 10 MWp dan besar kapasitas PLTG sebesar 10 MW. Konfigurasi pembangkit listrik diuraikan sebagai berikut:

- a. PLTS kapasitas 10 MWp,
- b. PLTG kapasitas keluaran daya listrik sebesar 10 MW, yang terdiri atas 3 (tiga) unit PLTG dengan kapasitas 5 MW (satu unit *standby* untuk cadangan, jika salah satu unit PLTG tidak dapat beroperasi).

Evaluasi pada konfigurasi pembangkit di atas telah dilakukan untuk memastikan apakah konfigurasi dan spesifikasi peralatan yang dipilih mempertimbangkan kriteria teknis dan komersial. Pertimbangan teknis yang dilibatkan adalah:

- a. Lokasi pembangkit dan luas lahan yang ada,
- b. Kondisi sekeliling lokasi pembangkit,
- c. Efisiensi peralatan/mesin yang akan digunakan,
- d. Heat Rate Turbin gas,
- e. Ketersediaan bahan bakar gas,
- f. Ketersediaan air bersih,

Sedangkan pertimbangan komersial untuk memutuskan pemilihan keputusan investasi yang terbaik untuk pembangunan pembangkit listrik ini adalah dengan cara mengevaluasi profitabilitas rencana investasi, yaitu metode konvensional dan metode non-konvensional (*discounted cash flow*). Dalam metode konvensional dipergunakan dua macam tolok ukur untuk menilai profitabilitas rencana investasi, yaitu *payback period* dan *accounting rate of return*, sedangkan dalam metode non-konvensional konvensional dikenal tiga macam tolok ukur profitabilitas, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), dan *Internal Rate of Return* (IRR). Keputusan investasi merupakan keputusan manajemen keuangan yang paling penting, karena selain penanaman modal pada bidang usaha yang membutuhkan modal yang besar, juga keputusan tersebut mengandung risiko, serta berpengaruh langsung pada perusahaan. Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pengambilan keputusan investasi adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji usulan investasi (proposal investasi).
2. Mempelajari arus kas (cash flow) dari usulan investasi tersebut.
3. Mengevaluasi profitabilitas investasi dengan menggunakan beberapa metode penilaian kelayakan investasi.
4. Memutuskan menerima atau menolak usulan investasi tersebut.

Parameter profitabilitas

NET PRESENT VALUE, NPV merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini. Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/benefit dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan NPV mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan. Langkah-langkah menghitung NPV:

- a. Tentukan nilai sekarang dari setiap arus kas, termasuk arus masuk dan arus keluar, yang didiskontokan pada biaya modal proyek,
- b. Jumlahkan arus kas yang didiskontokan ini, hasil ini didefinisikan sebagai NPV proyek,
- c. Jika NPV adalah positif, maka proyek harus diterima, sementara jika NPV adalah negatif, maka proyek itu harus ditolak. Jika dua proyek dengan NPV positif adalah *mutually exclusive*, maka salah satu dengan nilai NPV terbesar harus dipilih .

NPV sebesar nol menyiratkan bahwa arus kas proyek sudah mencukupi untuk membayar kembali modal yang diinvestasikan dan memberikan tingkat pengembalian

yang diperlukan atas modal tersebut. Jika proyek memiliki NPV positif, maka proyek tersebut menghasilkan lebih banyak kas dari yang dibutuhkan untuk menutup utang dan memberikan pengembalian yang diperlukan kepada pemegang saham perusahaan.

INTERNAL RATE OF RETURN, IRR merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana dan lain-lain). IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana dan lain-lain). Penerimaan atau penolakan usulan investasi ini adalah dengan membandingkan IRR dengan tingkat bunga yang disyaratkan (*required rate of return*). Apabila IRR lebih besar dari pada tingkat bunga yang disyaratkan maka proyek tersebut diterima, apabila lebih kecil diterima.

Payback Period, PP adalah parameter untuk menentukan berapa lama investasi akan kembali atau periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cash investment*) dengan menggunakan aliran kas, dengan kata lain *payback period* merupakan rasio antara *initial cash investment* dengan *cash flow*-nya yang hasilnya merupakan satuan waktu. Suatu usulan investasi akan disetujui apabila *payback period*-nya lebih cepat atau lebih pendek dari *payback period* yang disyaratkan oleh perusahaan.

Net Benefit-Cost Ratio (Net B/C), Untuk mengkaji kelayakan proyek sering digunakan pula kriteria yang disebut *benefit cost ratio*. Penggunaannya amat dikenal dalam mengevaluasi proyek-proyek untuk kepentingan umum atau sektor publik. Perhitungan proyek dengan *benefit cost ratio* menghasilkan perhitungan selama umur ekonomis proyek. Jika $Net\ B/C \geq 1$, berarti usulan investasi layak dilaksanakan, karena arus benefit yang diperoleh lebih besar dari pada arus biaya. Jika $Net\ B/C < 1$, berarti usulan investasi tidak layak dilaksanakan, karena arus *benefit* yang diperoleh lebih kecil dari pada arus biaya .

Metoda pemilihan konfigurasi pembangkit listrik

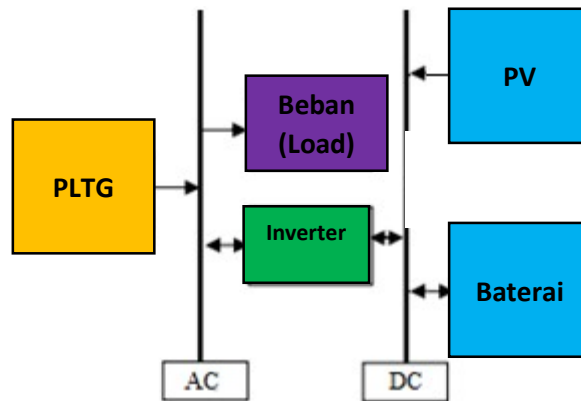
Untuk memilih konfigurasi pembangkit listrik yang handal, dan layak secara komersial dikaji beberapa konfigurasi kasus pembangkit listrik hybrid sebagai berikut, dengan mempertimbangkan aspek teknis dan aspek komersial.

Tabel 1. Kasus/Konfigurasi pembangkit listrik yang dikaji

Kasus	Kode	Kapasitas		Catatan
		PLTS (MWp)	PLTG (MW)	
1	10 PV 0GT Bat	10	-	Baterai
2	10PV 10GT 5ST	10	10	Combined Cycle
3	10PV 10GT	10	10	
4	5PV 10GT	5	10	
5	10PV 0GT	10	-	PLTS konvensional
6	1PV 10GT	1	10	
7	0PV 10GT	-	10	PLTG konvensional
8	10PV 15GT	10	15	
9	10PV 5GT	10	5	

3. Spesifikasi Pembangkit Listrik Hybrid (PLTS dan PLTG)

Tipikal Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Hybrid yang dikaji secara skematis diperlihatkan pada blok diagram pada gambar 1 di bawah ini. PLTS Hybrid terdiri atas PV, Baterai, inverter, PLTG. PLTS hybrid dilengkapi dengan sistem control yang mengatur keluaran daya listrik dari inverter dan generator PLTG. Listrik DC yang dihasilkan oleh Photovoltaic (PV) dan baterai dihubungkan pada bus DC, kemudian dihubungkan ke inverter untuk diubah menjadi listrik AC. Keluaran listrik AC dari generator PLTG dan inverter dihubungkan ke bus AC dan selanjutnya didistribusikan ke beban.



Gambar 1. Blok diagram pembangkit listrik hybrid

Tabel 2. Spesifikasi turbin gas yang akan dipilih

Parameter	5.1 version	5.4 version	5.7 version
Power output, MW	5.1	5.4	5.7
Fuel	Dual fuel: NG, Liquid		
Frequency, Hz	50	50	50
Efficiency, %	30.2	31.0	32.9
Heat rate, kJ/kWh	11,914	11,613	10,948
Turbine speed	17,384	17,384	13,000
Pressure ratio	14.0	15.6	14.9
Exhaust mass flow, kg/s	19.5	20.6	19.7
Exhaust temperature, C	545	531	543
Nox emissions	<= 25 ppmvd @15% O2 on fuel gas		

Spesifikasi komponen utama PLTS dan PLTG disajikan pada tabel 2 dan tabel 3. Tabel 2 memperlihatkan beberapa jenis versi turbin gas dengan kapasitas nominal sebesar 5 MW yang tersedia. Turbin gas yang akan disediakan berjumlah 3 (tiga) unit di mana 2 (dua) unit akan beroperasi kontinyu, dan sisanya 1 (satu) unit untuk cadangan dalam kondisi siaga (*standby*). Model turbin gas yang dipilih adalah turbin gas versi 5.4 yang dapat menghasilkan daya listrik maksimum 5.4 MW.

Tabel 2 memperlihatkan komponen utama PLTS, yaitu PV utama yang akan mensuplai listrik di hari ketika matahari bersinar, dan PV backup untuk mengisi baterai yang nantinya akan mensuplai listrik di malam hari atau saat matahari tidak optimal bersinar.

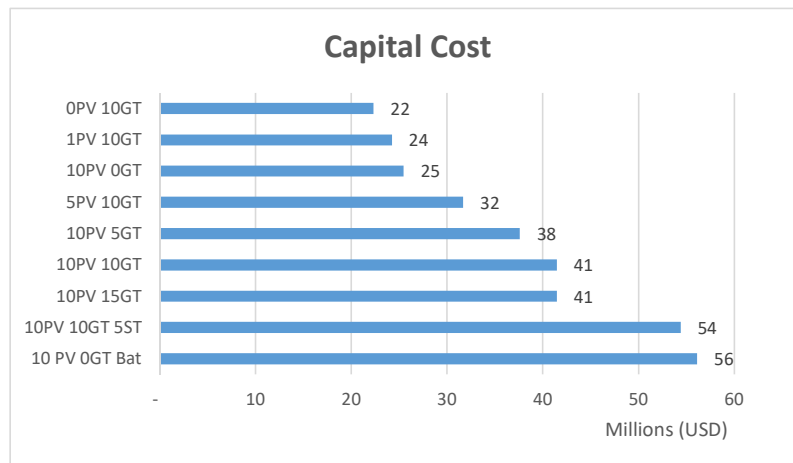
Tabel 3. Spesifikasi PLTS (Komponen utama)

No.	KOMPONEN UTAMA PLTS	SPESIFIKASI	
A	PV-ARRAY	Main Array	Backup Array
	Material:	Poly	Poly
	NOCT:	45	45
	Daya nominal Pmax, W:	315	315
	Tegangan MPP Vmpp, V:	36.9	36.9
	Arus MPP Impp, A:	8.54	8.54
	Tegangan open-circuit Voc, V:	45.4	45.4
	Arus short-circuit Isc, A:	9.06	9.06
	Rentang suhu operasi, C:	-40...+85	-40...+85
	Tegangan maksimum, V:	1000	1000
	Berat, kg:	22.3	22.3
	Dimensi, mm:	1948x982x42	1948x982x42
B	INVERTER, AC- GRID		
1	Bidirectional-Inverter		
	Daya nominal (1 fasa), kW:	6	
	Tegangan DC nominal, V:	48	
	Tegangan AC nominal, V:	230	
	IP-Protection:	IP54	
	Berat, kg:	63	
	Dimensi, mm:	467x612x242	
2	PV-Inverter		
	Daya DC nominal, W:	20440	
	Tegangan DC max., V:	1000	
	Tegangan MPP, V:	320 - 800	
	Jumlah MPP-Tracker:	2	
	Jumlah string per MPP-Tracker:	3	
	Arus max. per MPP-Tracker, A:	33	
	Sambungan AC fasa:	3, tanpa trafo	
	Daya AC nominal, VA:	2000	
	Tegangan AC nominal, V:	230	
	Arus nominal/max. AC: 29 A		
	Berat: 61 kg	62	
	Dimensi: 661 mm x 682 mm x 264 mm	661x682x264	
	IP-Protection: IP 65	IP65	
3	AC-Distribution Panel		
	Tipe:	Multi cluster box	
	Power class, kW:	60	
	Berat, kg:	55	
	Dimensi, mm:	760x760x210	
	IP-Protection:	IP65	
4	Solar Charge Controller		
	Tegangan input maksimum, V:	600	
	Daya input maksimum, W:	3200	
	Tegangan output, Vout, V:	16 - 72	
	Arus Output maksimum, A:	60	
	IP-Protection: IP20	IP20	
	Berat: 8,98 kg	8.98	
	Dimensi, mm:	542x221x149	
C	PENYIMPANAN ENERGI (Batterai)		
	Tegangan nominal, V:	12	
	Kapasitas nominal, Ah:	1000	
	Dimension, mm:	471x171x326	
	Berat, kg:	65	
D	Trafo	1000V/20kV	

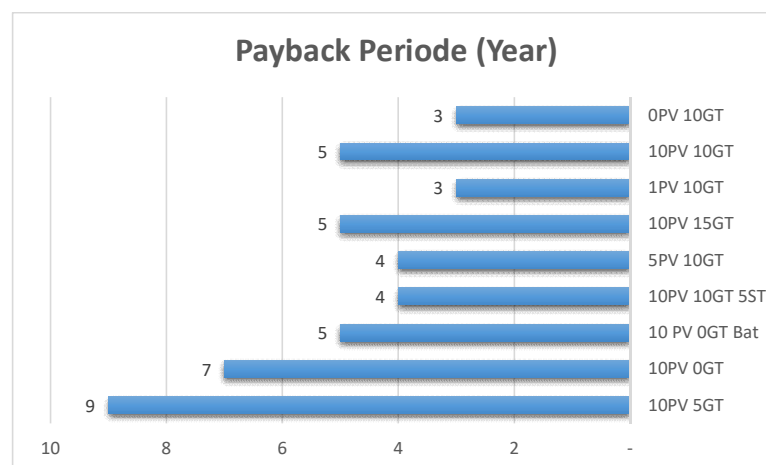
4. Analisis

Pemilihan spesifikasi PLTS dan PLTG untuk sub-sub sistem PLTS Hybrid telah dilakukan dan hasilnya disajikan pada tabel 2 dan tabel 3. Pemilihan spesifikasi turbin gas telah mempertimbangkan kebutuhan kapasitas daya yang diperlukan, efisiensi, heat rate, harga dan ketersediaan barang di pasar. Demikian juga untuk PLTS, pemilihan komponen utama PLTS seperti PV, inverter, baterai telah mempertimbangkan lahan yang tersedia, ketersediaan barang di pasar, dan harga, serta metode konstruksi yang akan dilakukan.

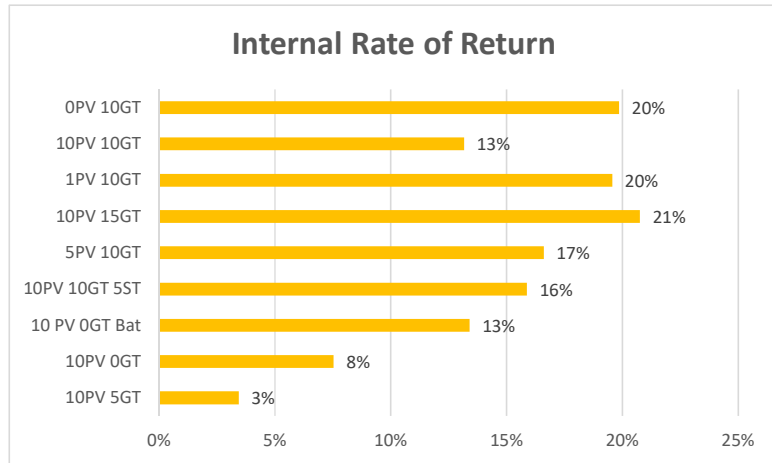
Evaluasi profitabilitas untuk berbagai konfigurasi pembangkit listrik telah dilakukan pada 9 (Sembilan) kasus konfigurasi seperti ditampilkan pada tabel 1 di atas. Tolok ukur untuk menilai profitabilitas rencana investasi yang telah dievaluasi adalah *capital cost*, *payback period*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Net Present Value (NPV)* dan *benefit cost ratio*. Hasilnya ditampilkan pada gambar-gambar dan tabel berikut.



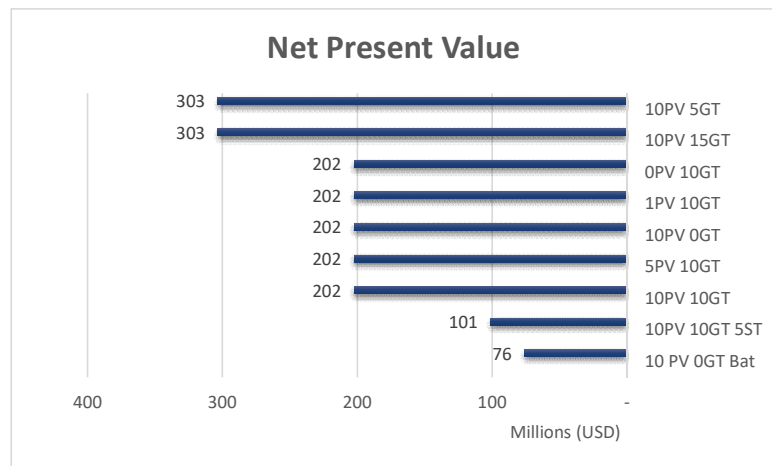
Gambar 2. *Capital cost* untuk berbagai konfigurasi



Gambar 3. *Payback period* untuk berbagai konfigurasi



Gambar 4. *Internal Rate of Return* untuk berbagai konfigurasi



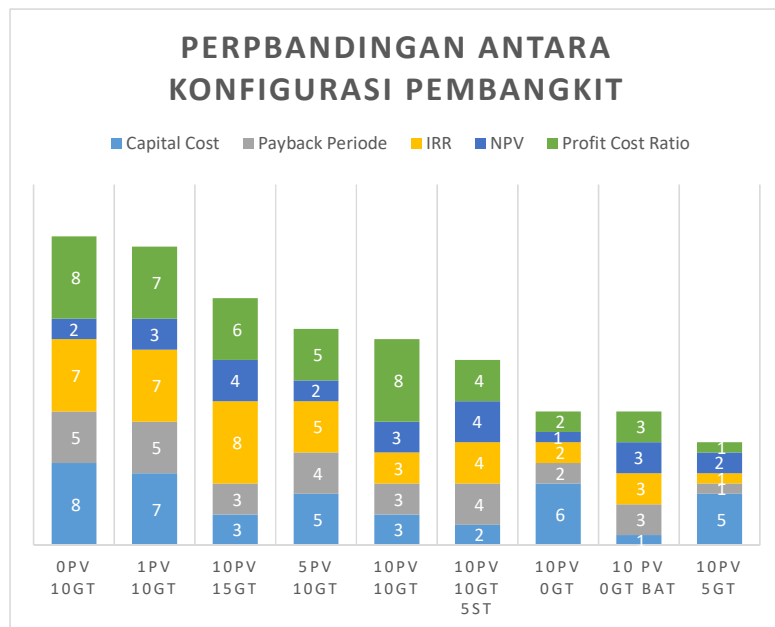
Gambar 5. *Net Present Value* untuk berbagai konfigurasi



Gambar 6. *Rasio profit dan investasi* untuk berbagai konfigurasi

Tabel 3. Evaluasi tolok ukur komersial

No	Konfigurasi Pembangkit	Capital Cost (USD)	Payback Periode (tahun)	IRR	NPV (USD)	Rasio Profit/Investasi
1	10PV 5GT	37,610,868	9	3%	101,082,373	1.64
2	10PV 0GT	25,489,460	7	8%	75,811,780	2.56
3	10 PV 0GT Bat	56,107,460	5	13%	202,164,746	4.11
4	10PV 10GT 5ST	54,387,522	4	16%	303,247,118	5.04
5	5PV 10GT	31,681,116	4	17%	202,164,746	5.24
6	10PV 15GT	41,450,022	5	21%	303,247,118	5.98
7	1PV 10GT	24,265,920	3	20%	202,164,746	6.65
8	10PV 10GT	41,450,022	5	13%	202,164,746	6.74
9	0PV 10GT	22,325,478	3	20%	202,164,746	6.74



Gambar 7. Perbandingan tolok ukur komersial berbagai konfigurasi

Gambar 2 dan Tabel 3 memperlihatkan *capital cost* untuk berbagai konfigurasi pembangkit hybrid. Semakin besar kapasitas PLTSnya, maka investasi yang diperlukan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa untuk membangun PLTS konvensional membutuhkan investasi besar. Diperlihatkan pada tabel 3 dan gambar 4, bahwa IRR yang besar diberikan oleh konfigurasi PLTS 10 MWp dan PLTG 15 MW. Selain itu, konfigurasi tersebut memberikan payback period sebesar 5 (lima) tahun, rasio profit investasi sebesar 5.98, berarti konfigurasi ini memberikan pendapatan yang cukup besar dibandingkan dengan konfigurasi lain yang menerapkan kapasitas PLTS sebesar 10 MWp. Para investor umumnya menghendaki IRR yang lebih besar dari pada dana nya disimpan di bank dan waktu pengembalian investasi maksimum 5 (lima tahun). Konfigurasi PLTS Hybrid yang terdiri atas PLTS 10 MWp dan gas turbin atau PLTG dengan kapasitas 15 MW merupakan pilihan yang terbaik di antara konfigurasi lainnya.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. PLTS Hybrid 10 MW terdiri atas PLTS dengan kapasitas 10 MWp dan 2x5 MW turbin gas.
- b. PLTS Hybrid yang memiliki tolok ukur komersial yang menguntungkan adalah PLTS Hybrid yang terdiri atas PLTS 1 MWp dan PLTG sebesar 10 MW.
- c. PLTS Hybrid yang memiliki tolok ukur komersial yang kurang menguntungkan adalah PLTS Hybrid yang terdiri atas PLTS 10 MWp dan PLTG 5 MW atau tanpa PLTG, karena IRRnya yang sangat kecil. Dengan kata lain, tolok ukur komersial untuk PLTS konvensional kurang menguntungkan.
- d. Sub sistem PLTS memberikan sumbangan besar terhadap besarnya investasi yang PLTS Hybrid yang direncanakan. Semakin besar kapasitas PLTS semakin besar *capital cost*-nya. Semakin kecil kapasitas PLTS-nya, maka semakin kecil *capital cost*-nya.
- e. Waktu pengembalian investasi (*payback period*) semakin cepat, seiring dengan besarnya rasio profit dan investasi.
- f. PLTS Hybrid lebih handal dan menguntungkan dibandingkan dengan PLTS konvensional.
- g. PLTS Hybrid yang terdiri atas PLTS 10 MWp dan gas turbin atau PLTG dengan kapasitas 15 MW merupakan pilihan yang terbaik di antara konfigurasi lainnya, karena memberikan IRR yang besar dan *payback period*-nya sekitar 5 (lima) tahun.

6. Daftar Pustaka

1. PT PLN (PERSERO). (2016). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2016-2025*. Direktorat Perencanaan Korporat PT PLN (PERSERO).
2. El Wakil. (1988). *Power Plant Technology*. Second Edition. Mc Graw Hill Book Co. Singapore.
3. Muppe, M. (2015). *Hybrid high solar share gas turbine systems with innovative gas turbine cycle*. Energy Procedia 69 (2015) 1393 – 1403. International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems, SolarPACES 2014. ELSEVEIR Science.
4. Bataineh, Ahmad. (2014). *Optimal Design of Hybrid Power Generation System to Ensure Reliable Power Supply to Health Center at Umm Jamal, Mafrag, Jordan*. Energy and Environment Research; Vol. 4, No. 3; 2014. ISSN 1927-0569. E-ISSN 1927-0577. Canadian Center of Science and Education.
5. Sugito. (2011). *Analisis Kelayakan Terintegrasi Terhadap Solusi Penurunan Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas Suar Bakar (PLTG) Tanjung Jabung*. Tesis. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
6. Peppiatt, Stephen. (1995). *Introduction to Power Station Project Financing*. Berkeley Jurnal of Law. Vol 13. Issue 1. Article 2. Berkeley Law Scholarship.
7. Sharma, Kal Renganathan. (2011). *Fundamentals of Engineering Economics*. First Edition. Cognella. San Diego. CA.
8. Newnan, Donald G. (2004). *Engineering Economic Analysis*. Ninth Edition. Oxford University Press.