

Analisis Tekno-Ekonomi Sistem Poligenerasi Tenaga Listrik, Pendinginan Dan Pemanas Berbasis Gas Bumi Studi Kasus Di Manokwari Papua Barat

Kriska Setyawati¹⁾, Widodo Wahyu Purwanto²⁾

*^{1),2)} Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,
Depok, 16424, Indonesia
Email : kriska090388@gmail.com*

Abstrak. *Ketersediaan dan kemudahan akses energi di daerah remote Indonesia masih belum cukup baik, hal ini merupakan suatu permasalahan yang serius. Oleh karena itu perlu adanya sistem terintegrasi yang menghasilkan multi utilitas dalam menghasilkan energi untuk memenuhi kebutuhan lokal. Sistem poligenerasi merupakan salah satu jawaban dari tantangan tersebut yang dibahas dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara efisiensi energi pada sistem pembangkit listrik berbahan bakar gas yang beroperasi secara standalone dibandingkan dengan menggunakan sistem poligenerasi yang dapat menghasilkan multi utilitas berdasarkan analisis teknis dan ekonomi. Utilitas yang dihasilkan berupa energi listrik, pendingin dan pemanas. Sistem poligenerasi ini disimulasikan dengan perangkat lunak Unisim Design R390.1 dan dianalisis secara tekno-ekonomi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem poligenerasi dapat meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik sebesar 26,89% dari efisiensi pembangkit listrik standalone 32,9% menjadi 59,7% setelah mengimplementasikan sistem poligenerasi serta menurunkan tarif listrik pembangkit standalone dibandingkan dengan skema bisnis Special Purpose Company dengan Insentif Finansial dan Insentif Fiskal (SPC IFN IFC) sebesar 36,2%.*

Kata kunci: *Efisiensi, gas bumi, poligenerasi.*

1. Pendahuluan

Kelistrikan merupakan infrastruktur yang sangat penting untuk mendukung produktivitas, baik rumah tangga maupun industri. Oleh karena itu, pemerintah terus mendorong peningkatan rasio elektrifikasi salah satunya melalui Program Pembangunan Listrik 35.000 MW. Pencanaan Program Indonesia Terang (PIT) khususnya di Indonesia Timur merupakan salah satu langkah untuk menaikkan rasio elektrifikasi [1]. Di Manokwari Papua Barat akan dibangun pembangkit listrik tenaga gas kapasitas 2 x 20 MW [2] untuk mendukung program menuju Papua Terang dan Pekan Olahraga Nasional pada tahun 2020 di Papua serta diharapkan mampu meningkatkan ekonomi lokal terutama di bidang pertanian.

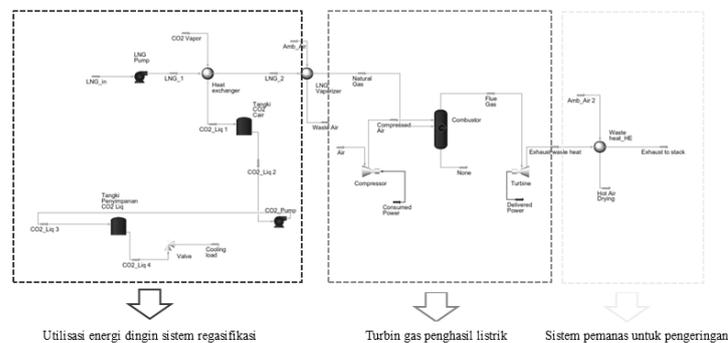
Sistem poligenerasi adalah sebuah sistem dengan multi *input* dan multi *output*. Sistem poligenerasi (*polygeneration system*) adalah proses suatu sistem integrasi yang bekerja dengan satu atau banyak sumber *input* untuk mendapatkan biaya yang efisien / minimum, penurunan emisi GHG tanpa adanya penurunan suplai energi yang diperlukan [3]. Sedangkan menurut [4] *polygeneration* adalah suatu sistem energi yang terintegrasi secara simultan untuk menghasilkan beberapa produk *output* secara desentralisasi.

Beberapa penelitian tentang poligenerasi di daerah *remote* atau pedesaan telah dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh [5] dengan energi *input* gas bumi dan panas matahari dapat menghasilkan output berupa energi listrik, pendinginan, air panas di Kibbutz Samar, Israel menunjukkan bahwa dengan sistem poligenerasi terjadi reduksi biaya tahunan sebesar 21-25,5% dan reduksi emisi CO₂ sebesar 9%. Berbeda dengan penelitian [4] dengan energi *input* gas bumi, panas matahari, dan biomassa dapat menghasilkan energi *output* berupa energi listrik, pemanasan, pendinginan, dan air bersih untuk mensuplai resort turis di Spanyol. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh [6] menggunakan energi *input* biogas (kotoran sapi) yang banyak dihasilkan di daerah pedesaan Bangladesh untuk memenuhi kebutuhan energi local yaitu energi listrik, air minum dan gas untuk memasak. Sehingga pada penelitian ini penulis melakukan penelitian menggunakan metode tekno-ekonomi dengan gas bumi sebagai sumber energi *input* pada sistem poligenerasi. Bila dibandingkan dengan beberapa peneliti terdahulu yang menggunakan energi *input* gas alam yang dioperasikan *hybrid* dengan *renewable*

energy, penelitian ini bersumber dari gas bumi saja diintegrasikan dengan utilisasi energi dingin proses regasifikasi LNG untuk menghasilkan pendinginan. Adapun *output* multi utilitas dari sistem poligenerasi ini yaitu energi listrik (*electricity*) dan *waste heat* (untuk pemanas / pengering produk perkebunan), serta pendinginan.

Tujuan dari penelitian ini adalah didapatkan proses dan kinerja teknis sistem poligenerasi berbasis gas bumi untuk menghasilkan listrik, pendinginan, dan pemanas secara simultan serta didapatkan skema bisnis yang layak secara keekonomian sistem poligenerasi bila dibangun di daerah Papua Barat.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu evaluasi secara teknis peningkatan efisiensi sistem pembangkit listrik *standalone* dibandingkan dengan sistem poligenerasi dan evaluasi secara ekonomi dilakukan dengan analisis *cashflow* dengan variasi skenario bisnis dan skema finansial & fiskal. Dalam menentukan *demand* energi listrik, pendinginan dan pemanas dihitung secara *engineering model* dengan data intensitas dan kuantitas penggunaan energi masing-masing yang diperoleh dari data historis untuk menentukan rasio peningkatan kebutuhan energi. Selanjutnya dapat ditentukan kapasitas sistem poligenerasi yang akan dibangun untuk dapat memenuhi kebutuhan *demand* dan disimulasikan dengan *software* Unisim Design R390.1.



Gambar 26 *Typical* Skema Simulasi Sistem Poligenerasi

Desain sistem poligenerasi dari penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 1 dimana energi listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik gas turbin dengan bahan bakar gas alam yang dihasilkan dari sistem regasifikasi *liquefied natural gas* (LNG). Selanjutnya energi listrik dapat ditransmisikan langsung ke konsumen untuk dimanfaatkan. *Waste heat* dari gas turbin secara simultan dialirkan melalui *heat exchanger* untuk menghasilkan udara panas yang dimanfaatkan untuk pengering kakao . Sedangkan sistem pendingin diperoleh dari utilisasi energi dingin proses regasifikasi LNG dengan fluida kerja CO₂ untuk menghasilkan udara dingin.

2. Pembahasan

Langkah pertama adalah menghitung *demand* energi yang harus dipenuhi oleh sistem poligenerasi dengan *engineering model* sehingga didapatkan kebutuhan listrik sebesar 7.116 kW, energi pendinginan gedung kantor Gubernur Papua Barat sebesar 782,3 kW, energi dingin perumahan penduduk sebesar 746 kW dan energi panas untuk pengering kakao sebesar 1.475,4 kW. Sehingga total kapasitas sistem poligenerasi yang akan didesain sebesar 9.376,2 kW. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan *software* Unisim Design R390.1 diperoleh data teknis yaitu energi listrik net yang dihasilkan sebesar 16.092 kW, energi pendinginan sebesar 782,3 kW dan energi pemanas sebesar 10.600 kW.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak diperoleh efisiensi pembangkit gas turbin yang beroperasi secara *standalone* dan sistem poligenerasi (skema Gambar 2) sebagai berikut:

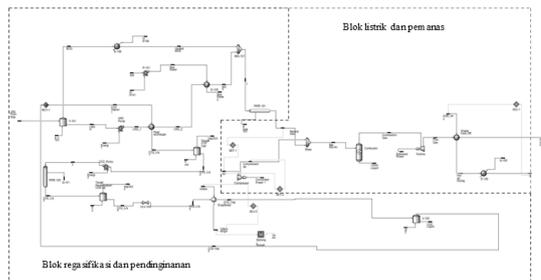
$$\eta_{gas\ turbin\ (net)} = 32,9\ \%$$

$$\eta_{Blok\ Listrik\ dan\ Pemanas} = 83,2\ \%$$

$$\eta_{\text{Blok Regasifikasi dan pendinginan}} = 71,8\%$$

$$\eta_{\text{poligenerasi}} = \eta_{\text{Blok Listrik dan Pemanas}} \times \eta_{\text{Blok Regasifikasi dan pendinginan}} = 83,2\% \times 71,8\% = 59,79\%$$

Dari perhitungan efisiensi tersebut, terlihat bahwa dengan adanya sistem poligenerasi dapat meningkatkan efisiensi sistem sebesar 26,89%, yang semula efisiensi sistem pembangkit listrik *standalone* hanya 32,9% meningkat menjadi 59,79% dengan adanya sistem poligenerasi yang memanfaatkan *waste heat* pembangkit listrik untuk pengering kakao dan utilisasi energi dingin sistem regasifikasi LNG untuk menghasilkan sistem pendingin udara



Gambar 27 Skema blok sistem poligenerasi

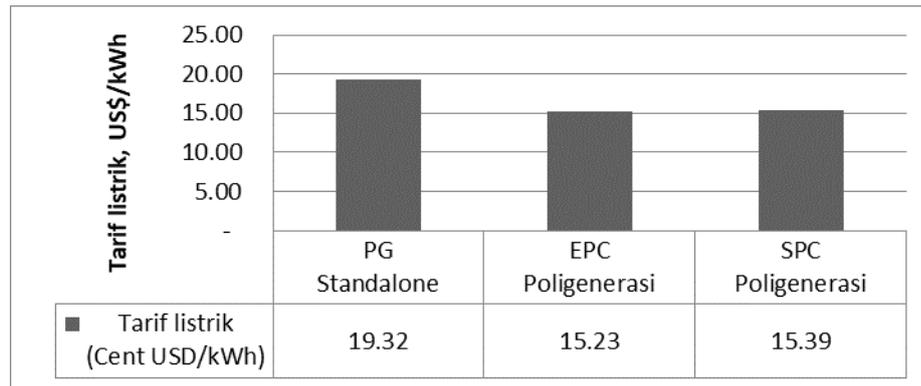
Untuk melakukan analisis ekonomi, harus dihitung terlebih dahulu besarnya fixed CAPEX dari sistem poligenerasi. Adapun besarnya fixed CAPEX dari sistem poligenerasi ini sebesar US\$ 25.084.925. Kemudian dilakukan perhitungan *cashflow* dengan data-data tertuang pada Tabel 1.

Tabel 18 Data asumsi *cashflow*

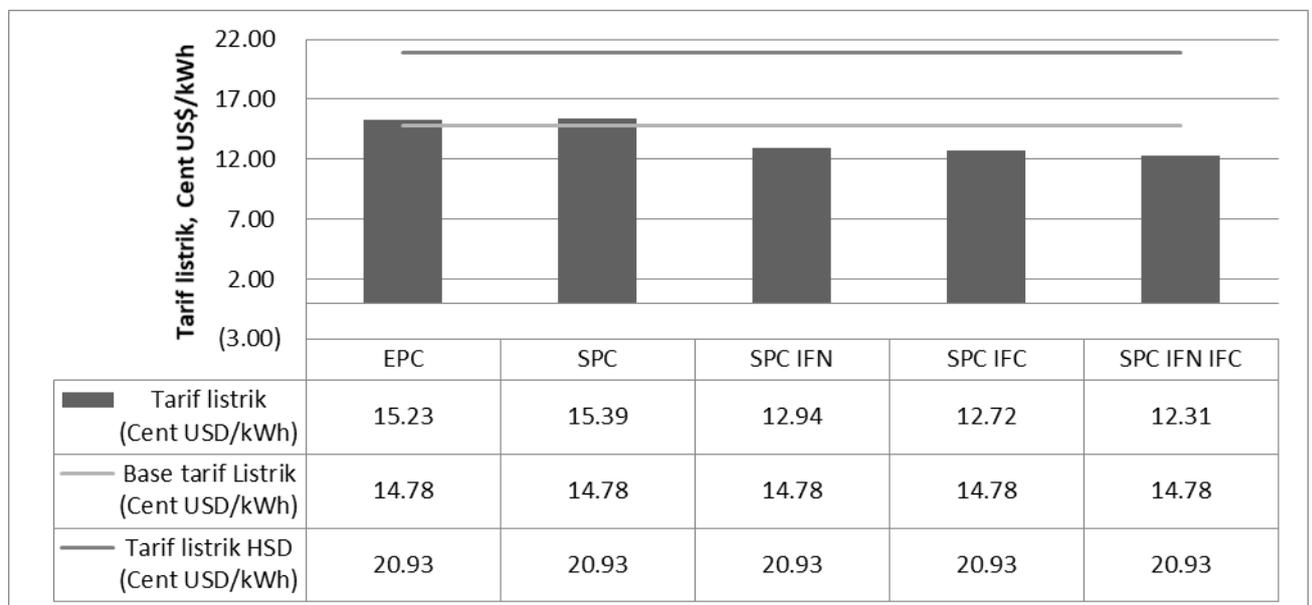
| | |
|------------------|----------|
| Umur proyek | 25 tahun |
| Interest of debt | 6% |
| Debt funding | 70% |
| Equity | 30% |
| IRR | 12% |
| Income Tax | 34% |

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan dan analisis *cashflow* untuk beberapa skenario skema bisnis dan finansial yaitu

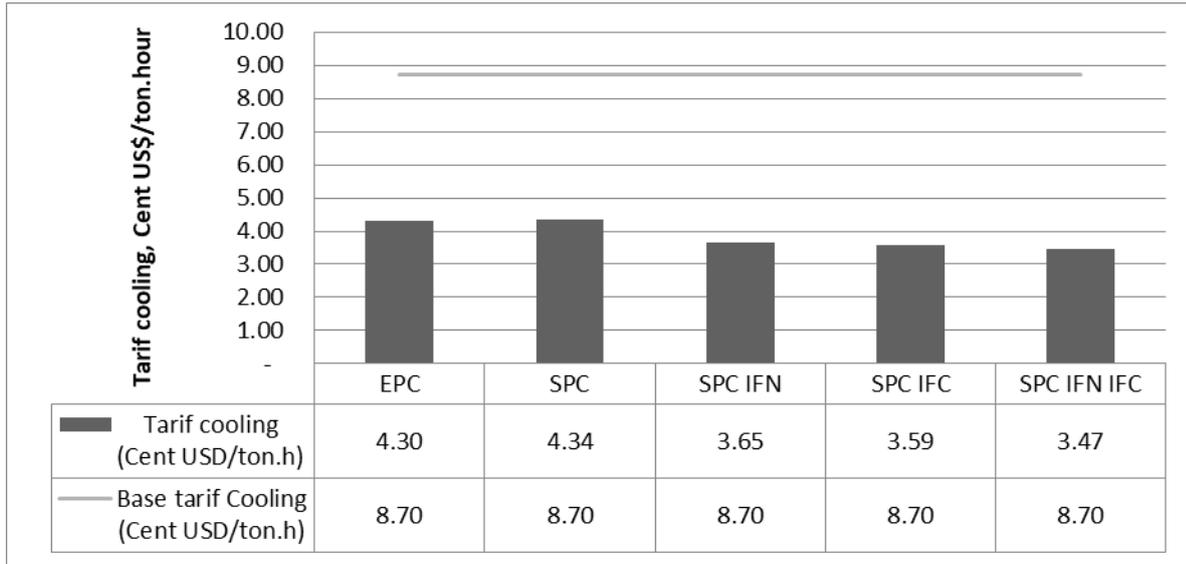
- EPC yaitu skema bisnis dengan pembangunan *engineering-procurement-construction*.
- SPC yaitu skema bisnis dengan pembangunan *build-operate-transfer*.
- SPC IFN yaitu skema SPC dengan insentif finansial dari pemerintah (*viability gap fund*) sebesar maksimal 49% dari biaya konstruksi.
- SPC IFC yaitu skema SPC dengan insentif fiskal sesuai Peraturan Menteri Keuangan No.35/PMK.02/2018
- SPC IFN IFC yaitu skema SPC dengan kombinasi insentif finansial dan fiskal.



Gambar 28 Perbandingan tarif listrik sebelum dan setelah poligenerasi
Gambar 3 menunjukkan perbandingan tarif listrik yang dihasilkan dari sistem pembangkit listrik *standalone* (PG *Standalone*) dengan sistem poligenerasi baik dibangun secara EPC maupun SPC. Dari Gambar 3 terlihat bahwa dengan adanya sistem poligenerasi dapat menurunkan tarif energi listrik karena adanya peningkatan efisiensi sistem

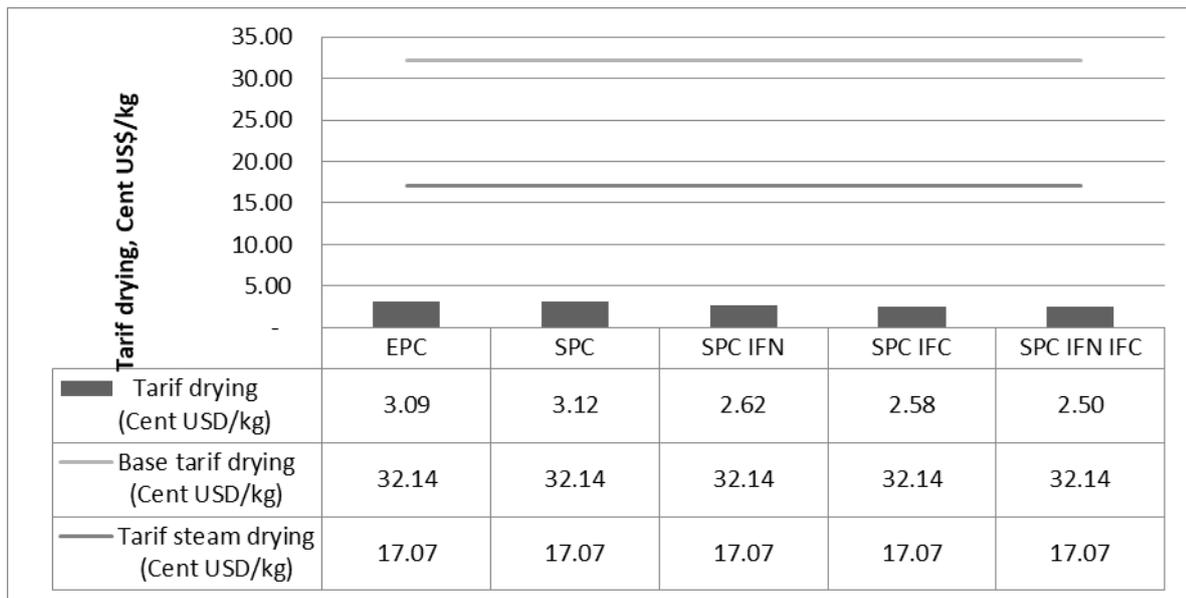


Gambar 29 Tarif listrik yang dihasilkan dengan variasi scenario
Pada Gambar 4 terlihat bahwa untuk skenario skema bisnis EPC dan SPC menghasilkan tarif listrik lebih tinggi dibandingkan tarif basis BPP Regional Manokwari sebesar Cent US\$ 14,78 yaitu masing-masing Cent US\$ 15,23 dan 15,39. Hal ini disebabkan pembangunan sistem poligenerasi di daerah *remote* memerlukan biaya tambahan untuk komponen harga gas yaitu biaya *shipping* dan regasifikasi LNG, sehingga tarif listrik yang dihasilkan lebih tinggi. Namun jika dibandingkan dengan kondisi saat ini di Wilayah Papua dan Papua Barat dimana listrik disuplai dengan pembangkit listrik tenaga diesel yang menggunakan bahan bakar HSD (*high speed diesel*), memiliki tarif listrik jauh lebih tinggi yaitu Cent US\$ 20,93. Sehingga tarif listrik dengan pembangunan poligenerasi baik EPC dan SPC masih lebih rendah dan bernilai lebih kompetitif bila dibandingkan dengan tarif listrik dengan bahan bakar HSD saat ini



Gambar 30 Tariff Cooling Yang Dihasilkan Dengan Variasi Scenario

Gambar 5 menunjukkan tarif *cooling* masing-masing dimana seluruh skenario memiliki tarif lebih rendah dari tarif *cooling* basis yaitu sebesar Cent US\$ 8,70. Tarif *cooling* basis yang menjadi referensi ini merupakan tarif energi pendinginan yang dibangkitkan dengan menggunakan listrik. Gambar 5 tarif *cooling* paling rendah diperoleh saat skenario SPC IFN IFC yaitu sebesar Cent US\$ 5,47



Gambar 31 Tariff drying yang dihasilkan dengan variasi skenario

Gambar 6 menunjukkan tarif *drying* seluruh skenario lebih rendah dibandingkan tarif *drying* basis (Amerika) yaitu sebesar Cent US\$ 32,14. Namun apabila dibandingkan tarif *drying* dengan menggunakan *steam drying* yang dihasilkan pembangkit listrik dengan kapasitas kalor yang sama maka diperlukan tarif sebesar Cent US\$ 17,07. Sehingga tarif *drying* yang dihasilkan dari sistem poligenerasi juga lebih rendah bila dibandingkan dengan tarif *steam drying*. Tarif *drying* yang dihasilkan oleh beberapa skenario memiliki tarif paling rendah dengan skenario SPC IFN IFC yaitu sebesar US\$2,5

Tabel 19 Hasil Perhitungan Keekonomian Skenario Poligenerasi

| Skenario | NPV (million USD) | Payback period (tahun ke-) | Tarif listrik (Cent USD/kWh) | Tarif cooling (Cent USD/ton.h) | Tarif drying (Cent USD/kg) |
|-------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| EPC | 44,55 | 9 | 15,23 | 3,65 | 2,63 |
| SPC | 25,07 | 7 | 15,39 | 3,76 | 2,70 |
| SPC IFN | 24,31 | 7 | 12,94 | 3,65 | 2,62 |
| SPC IFC | 21,71 | 7 | 12,72 | 3,59 | 2,58 |
| SPC IFN IFC | 20,90 | 7 | 12,31 | 3,47 | 2,50 |

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan keekonomian pembangunan sistem poligenerasi dengan beberapa skenario bisnis, secara keekonomian seluruh skenario layak untuk dibangun sistem poligenerasi karena memiliki nilai NPV yang positif dan menghasilkan tarif energi yang kompetitif.

Untuk kelebihan *cooling* dari sistem poligenerasi ini memiliki kelebihan bila dibandingkan pendinginan dari listrik yaitu apabila listrik di Manokwari mengalami *black out* atau padam, *cooling* ini tidak mengalami gangguan atau dengan kata lain masih dapat mensuplai energi dingin ke pelanggan karena dihasilkan dari utilisasi sistem regasifikasi. Sehingga tarif *cooling* dari poligenerasi ini sangat kompetitif bila dibandingkan dengan tarif pendinginan dengan listrik.

Sedangkan kelebihan sistem *drying* dari poligenerasi ini adalah pelanggan dapat menggunakan energi panas untuk pengering sepanjang hari sepanjang tahun tanpa dipengaruhi oleh perubahan cuaca atau musim selama pembangkit listrik beroperasi. Sehingga masih bernilai kompetitif bila dibandingkan dengan pengeringan konvensional dengan menggunakan panas matahari

3. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- 1) Proses dari sistem poligenerasi pada penelitian ini terdiri dari:
 - a) Energi listrik dihasilkan oleh pembangkit listrik gas turbin dengan bahan bakar gas alam yang dihasilkan dari sistem regasifikasi LNG,
 - b) Energi dingin dihasilkan melalui utilisasi energi dingin dari sistem regasifikasi LNG dengan fluida kerja CO₂ untuk menghasilkan udara dingin,
 - c) Energi panas untuk pengering kakao dihasilkan melalui pemanfaatan *waste heat* pembangkit gas turbin yang dialirkan melalui *heat exchanger* untuk menghasilkan udara panas pengering.
- 2) Sistem poligenerasi ini mampu memenuhi kebutuhan energi listrik, pendingin dan pemanas (pengering) di Kabupaten Manokwari dengan rincian sebagai berikut:
 - a) Energi listrik net yang dihasilkan sebesar 16.092 kW (126,1% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik yaitu 7116 kW).
 - b) Energi dingin yang dihasilkan sebesar 782,3 kW (sama dengan kebutuhan energi listrik yaitu 782,3 kW).
 - c) Energi panas untuk pengering yang dihasilkan sebesar 10.600 kW (618,4% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik yaitu 1475,4 kW).
- 3) Sistem poligenerasi dapat meningkatkan efisiensi energi sistem sebesar 26,89% yang semula efisiensi pembangkit gas turbin standalone sebesar 32,9% menjadi 59,7%
- 4) Pengaplikasian sistem poligenerasi dengan beberapa skema bisnis menunjukkan pola yang berbeda, skema bisnis yang layak untuk diaplikasikan di Manokwari Papua Barat adalah yang menghasilkan tarif paling minimum yaitu dengan skema SPC IFN IFC dengan tarif listrik Cent

US\$ 12,31/kWh, tarif *cooling* Cent US\$ 3,47/ton.hour dan tarif *drying* Cent US\$ 2,50/kg dengan IRR 12% dan payback period selama 7 tahun.

Ucapan Terima Kasih

Penulis K mengucapkan terimakasih dan apresiasi yang sangat tinggi kepada PT PLN (Persero) yang telah memberikan dukungan terhadap penyelesaian penelitian ini dan telah memberikan beasiswa kepada penulis K sehingga dapat menyelesaikan jenjang pendidikan program Magister.

Daftar Pustaka

- [1]. PLN, 2016. *Laporan Tahunan 2016*.
- [2]. PLN, 2018, *Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2018-2027*.
- [3]. Kuntal Jana et al, 2017. *Polygeneration as a future sustainable energy solution - A comprehensive review*. Elsevier.
- [4]. Carlos Rubio-Maya, 2010. *Design optimization of a polygeneration plant fuelled by natural gas and renewable energy sources*. Elsevier
- [5]. Lukas, 2014. *Small Scale Hybrid Solar Power Plants for Polygeneration in Rural Areas*. Elsevier.
- [6]. Ershad Ullah Khan, 2014. *Techno-economic Analysis of Small Scale Biogas Based Polygeneration systems : Bangladesh case study*. Elsevier
- [7]. Laporan Statistik PLN Tahun 2017.