

Dampak Optimasi Pemanfaatan PLTS Terhadap Ketahanan Energi Satuan Di Kodam XII/Tpr

Ratno Jati Pratama

Zidam XII/Tpr, Pontianak Kalimantan Barat

email: ratno.jati.pratama@yahoo.com

Dikirim; 17-12-2022 Direvisi;10-4-2023 Diterima: 26-04-2023

ABSTRACT

The purpose of this paper was to discussed the impact of optimizing the utilization of Solar Power Plan in A Rifle Company and B Rifle Company of 643rd Infantry Battalion on unit energy security based on five dimensions of energy resiliency.

This research was quantitative research using transportation model optimization to found distribution and the lowest cost to got optimal benefits from Solar Power Plant. Data collection was carried out using library, internet and experimental methods by carrying out transportation model iterations.

Based on the research results, it was found those two Companies had peak power potential of 996.72 kWp at A Rifle Company and 936.43 kWp at B Rifle Company respectively, while the efficiency obtained by A Rifle Company and B Rifle Company by utilizing Solar Power Plant were 133% and 93% respectively. Through the optimization of the transportation model, it could be seen that the two Companies had energy reserves of 1,405.71 kWp and the costs incurred to built the Solar Power Plant system were around IDR 6,992,109,000.00. These results certainly had positive impacts on the unit energy resilience, as seen by the existence of several indicators originating from influential dimensions such as the availability dimension, the affordability dimension, the technology development and efficiency dimension, the environmental and social sustainability dimension as well as the regulatory and governance dimension.

Keywords: Optimization; Solar Power Plant Utilization; Unit Energy Resiliency.

ABSTRAK

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk membahas dampak dari optimasi pemanfaatan PLTS di Kipan A dan Kipan B Yonif 643/Wns terhadap ketahanan energi satuan di lokasi penelitian berdasarkan lima dimensi ketahanan energi.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan optimasi model transportasi untuk mencari pendistribusian serta biaya terendah untuk mendapatkan manfaat dari PLTS secara optimal. Pengumpulan data dilakukan dengan metode kepustakaan, internet serta eksperimen dengan melakukan iterasi model transportasi.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil bahwa kedua Kipan memiliki potensi daya puncak sebesar 996,72 kWp di Kipan A dan 936,43 kWp di Kipan B, sedangkan efisiensi yang diperoleh Kipan A dan Kipan B dengan memanfaatkan PLTS masing-masing sebesar 133% dan 93%. Melalui optimasi model transportasi, terlihat bahwa kedua Kipan memiliki cadangan energi sebesar 1.405,71 kWp dan biaya yang dikeluarkan untuk membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini sekitar Rp 6.992.109.000,00. Hasil ini tentunya berdampak positif terhadap ketahanan energi satuan itu sendiri, terlihat dengan adanya beberapa indikator yang berasal dari dimensi yang berpengaruh seperti dimensi ketersediaan, dimensi keterjangkauan, dimensi pengembangan teknologi dan efisiensi, dimensi kelestarian lingkungan dan sosial serta dimensi regulasi dan pemerintahan.

Kata Kunci: Optimasi; Pemanfaatan PLTS; Ketahanan Energi Satuan.

PENGANTAR

Komando Daerah Militer XII/Tpr merupakan merupakan salah satu Kotama (Komando Utama) TNI AD yang memiliki kewilayahan terluas di jajarannya. Daerah yang dinaungi terdiri dari Provinsi Kalimantan Barat dan Provinsi Kalimantan Tengah, dimana kedua provinsi tersebut dilintasi oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki banyak potensi EBT (Energi Baru Terbarukan) yang berupa tingginya intensitas penyinaran matahari langsung yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif dalam mendapatkan suplai listrik dengan memanfaatkan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) untuk satuan-satuan yang membutuhkannya. Meskipun memiliki banyak potensi tersebut, Kodam XII/Tpr ternyata masih memiliki kendala terkait dalam perihal suplai listrik. Adanya permasalahan penyediaan listrik ini dapat mengganggu satuan-satuan di bawah komando Kodam XII/Tpr dalam melaksanakan tugas pokok maupun hariannya, mengingat listrik merupakan salah satu kebutuhan dasar masyarakat (Buasan dkk, 2016), serta juga menjadi salah satu komponen dalam menjaga pertahanan dan keamanan (Pratama dkk, 2022). Salah satu permasalahan teknis yang menyebabkan permasalahan ini adalah seringnya *overheat* PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) Kabupaten Kubu Raya akibat beban berlebih yang harus ditanggung sehingga ketika hal ini terjadi sering terjadi pemadam listrik di lokasi yang dilayaninya. PLTD Kabupaten Kubu Raya merupakan salah satu penyedia suplai listrik di wilayah Kota Pontianak, Kabupaten Kubu Raya dan sekitarnya. Selain itu adanya defisit pagu anggaran pembayaran tagihan listrik PLN di Kodam XII/Tpr akibat adanya kelebihan pemakaian listrik menjadi

kendala non teknis yang harus dihadapi oleh Kodam XII/Tpr. Selanjutnya, belum adanya peraturan yang mengatur tentang pemanfaatan EBT juga merupakan salah satu kendala non teknis lainnya di kalangan TNI AD khususnya Kodam XII/Tpr. Diharapkan dengan adanya peraturan ini maka komando kewilayahan tersebut dapat memanfaatkan potensi yang ada di wilayahnya untuk mengatasi permasalahan suplai energi tersebut. Kendala-kendala yang terjadi di wilayah Kodam XII/Tpr ini haruslah mendapat atensi khusus untuk mendapatkan solusi yang optimal. Untuk memperkecil lokasi penelitian maka dipilihlah lokasi Kipan A dan Kipan B Yonif 643/Wns yang merupakan kompi satuan tempur terbesar di sekitar Kota Pontianak.

Permasalahan yang dihadapi ini tentu saja perlu adanya sebuah intervensi kebijakan untuk mendapatkan alternatif dalam penyuplaian listrik. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa pemanfaatan EBT (Energi Baru Terbarukan) dapat mengatasi permasalahan yang terdapat di lokasi penelitian, baik itu dari segi sosial maupun ekonomi, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Amirrudin (2013) yang meneliti tentang penggunaan energi listrik *hybrid* yang diharapkan dapat mengembangkan industri wisata di Pantai Baru, Bantul, Yogyakarta. Suhartanto (2014) yang meneliti tentang pengembangan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (angin dan surya) secara terintegrasi melalui Sistem Inovasi Daerah di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta, dimana hasil analisis membuktikan bahwa sistem *off-grid* yang dimiliki oleh PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*) tersebut memiliki nilai kelayakan dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat setempat. Analisis untuk mengembangkan desain yang cocok untuk

memanfaatkan potensi yang ada di setiap lokasi yang berbeda dapat dilakukan melalui beberapa metode, salah satu metode yang telah dilakukan oleh Nusantara (2020) untuk menghitung potensi ini adalah dengan memanfaatkan *Open Street Map (OSM)* dan *Data Elevation Model (DEM)* yang dapat diakses melalui laman Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui *software ArcGIS Pro* dimana aplikasi tersebut memiliki fitur untuk memunculkan *calculate Solar Radiation* yang mampu menghitung potensi paparan sinar matahari di suatu lokasi berdasarkan data Gedung 3D, *DEM* dan potensi penyinaran matahari. Sudarmono dkk (2020) juga meneliti pemanfaatan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) sebagai solusi dalam pembasmian hama tanaman bawang merah di Kabupaten Brebes, penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan PLTS sebagai alternatif sumber energi dianggap sangat layak dalam membantu pembasmian hama serangga di lokasi penelitian tersebut. Kuncoro dkk (2021) meneliti potensi PLTS dalam mendapatkan hidrogen sebagai sistem penyimpanan energi di Pantati Baru Pandansimo Bantul, penelitian yang memanfaatkan *software HOMER*

ini menunjukkan pemasangan *fixed-tilt* merupakan skenario pemasangan yang paling optimal dilihat dari segi arsitektural maupun dari segi desainnya. Sebagai salah satu pelengkap data penelitian, penelitian ini menggunakan hasil analisis potensi dan desain PLTS yang telah diteliti oleh Pratama dkk (2022) sebagai acuan dalam analisis optimasi pemanfaatan PLTS di lokasi penelitian (Lihat Tabel 1 sampai dengan Tabel 4).

Berbekal dengan adanya permasalahan dan penelitian terdahulu, salah satu intervensi kebijakan yang diperlukan untuk mengatasi permasalahan di Kodam XII/Tpr adalah dengan memanfaatkan potensi EBT yang tersedia di lokasi. Pemanfaatan PLTS menjadi solusi yang paling sesuai dengan daerah tersebut mengingat adanya potensi penyinaran matahari yang tinggi. Pemanfaatan EBT lainnya seperti PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) dinilai kurang sesuai dikarenakan tidak adanya kecepatan angin yang diperlukan untuk PLTB serta tidak adanya perbedaan tinggi muka air yang signifikan untuk PLTMH sehingga menjadikan PLTS satu-satunya solusi konkrit untuk mengatasi permasalahan ini. Pemanfaatan

Tabel 1
Potensi Output Daya Puncak PLTS Kipan A Yonif 643/Wns

No.	Nama Cluster	Luasan Atap Efektif (m ²)	Daya Puncak (kWp)	Kapasitas Optimal (kWp)	Kemampuan Akomodasi Beban (kWh)
1.	Perkantoran Kipan A	867,72	138,83	111,07	411,84
2.	Perumahan Kipan A	5.361,80	857,89	686,31	2.544,84
Total			996,72	797,38	2.956,68

Sumber: Pratama dkk, 2022

Tabel 2
Potensi Output Daya Puncak PLTS Kipan B Yonif 643/Wns

No.	Nama Cluster	Luasan Atap Efektif (m ²)	Daya Puncak (kWp)	Kapasitas Optimal (kWp)	Kemampuan Akomodasi Beban (kWh)
1.	Perkantoran Kipan B	867,72	138,83	111,07	418,4
2.	Perumahan Kipan B	5.003,74	800,6	640,48	2.412,75
Total			936,43	751,55	2.831,15

Sumber: Pratama dkk, 2022

Tabel 3
 Daya Puncak Desain PLTS dan Kebutuhan Daya Teoritis Kipan A Yonif 643/Wns

No.	Nama Cluster	Daya Puncak Teoritis (kWp)	Kebutuhan Daya Teoritis (kWh)
1	Perkantoran Kipan A	6,42	19,08
2	Perumahan Kipan A	245,82	729,98
Total		252,24	749,06

Sumber: Pratama dkk, 2022

Tabel 4
 Daya Puncak Desain PLTS dan Kebutuhan Daya Teoritis Kipan B Yonif 643/Wns

No.	Nama Cluster	Daya Puncak Teoritis (kWp)	Kebutuhan Daya Teoritis (kWh)
1	Perkantoran Kipan B	6,33	19,08
2	Perumahan Kipan B	271,88	819,35
Total		278,21	838,43

Sumber: Pratama dkk, 2022

PLTS diharapkan mampu memberikan dampak positif terhadap ketahanan energi satuan, selain itu optimasi juga diperlukan untuk mendapatkan pemanfaatan yang efektif dan efisien.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang bertujuan (1). Untuk menjabarkan optimasi pemanfaatan PLTS di Kipan A dan Kipan B Yonif 643/Wns dengan menggunakan 2 model transportasi yaitu *balanced* dan *unbalanced*,; (2). Untuk mengetahui dampak optimasi ini terhadap ketahanan energi satuan tersebut dengan mengacu kepada dimensi ketahanan energi yang dijabarkan oleh Sovacool dan Mukherjee (2011). Untuk memulai penelitian ini diperlukan adanya metode pengumpulan data. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kepustakaan, sumber internet serta eksperimental yang berupa penyelesaian optimasi menggunakan model transportasi. Metode kepustakaan digunakan sebagai acuan dalam mendapatkan data yang dibutuhkan terkait dengan pemanfaatan PLTS di lokasi penelitian. Sedangkan sumber internet digunakan untuk mencari data-data pendukung untuk melengkapi kajian pemanfaatan PLTS yang dikaitkan dengan optimasi pemanfaatan dan dampaknya terhadap ketahanan energi.

Optimasi pemanfaatan PLTS menggunakan model transportasi dengan dua asumsi *balanced* dan *unbalanced*. Asumsi *balanced* diartikan sebagai asumsi bahwa jumlah *supply* sama dengan jumlah *demand*, sedangkan asumsi *unbalanced* didefinisikan sebagai jumlah *supply* tidak sama dengan jumlah *demand*. Besaran *supply* diambil dari besaran potensi daya puncak PLTS yang dimiliki oleh kedua Kipan, sedangkan besaran *demand* menggunakan besaran desain daya puncak PLTS yang dibutuhkan untuk setiap kelompok bangunan. Kelompok bangunan dibagi menjadi dua kelompok (*cluster*) yaitu *cluster* perkantoran dan *cluster* perumahan untuk setiap Kipannya. Sedangkan indikator ketahanan energi menggunakan lima dimensi yang telah dijabarkan oleh Sovacool dan Mukherjee (2011).

PEMBAHASAN

Optimasi Pemanfaatan PLTS di Kipan A dan Kipan B Yonif 643/Wns

Optimasi matematis berawal pada riset operasi yang dikembangkan pada periode perang dunia II, pemecahan masalah ini masih digunakan hingga saat ini karena sebagian besar masalah optimasi melibatkan beberapa *goals* yang saling bertentangan

yang memerlukan pertimbangan secara bersamaan, permasalahan dengan ciri demikian disebut sebagai masalah optimasi vektor (Ariyanti dkk, 2021). Dalam proses pemecahan masalahnya, optimasi vektor dapat diselesaikan dengan tiga metode, yaitu berdasarkan metode pengambilan keputusan, metode untuk mengatasi kendala nonlinier dan algoritma optimasi untuk meminimalkan fungsi tujuan. Secara umum optimasi diartikan sebagai langkah atau cara untuk mendapatkan nilai terbaik (minimum atau maksimum) dari beberapa fungsi yang diberikan pada suatu konteks (Sari, 2014).

Model transportasi adalah bagian khusus dari linear programming yang membahas pengangkutan komoditi dari sumber ke tempat tujuan dengan tujuan untuk menemukan pola pengangkutan yang dapat meminimumkan biaya pengangkutan total dalam pemenuhan batas penawaran dan permintaan (Taha, 2007), sebuah permasalahan dapat dikategorikan sebagai model transportasi apabila model tersebut memiliki beberapa ciri sebagai berikut (Tastrawati, 2015).

Pertama, terdapat sejumlah sumber dan tujuan tertentu. Dalam kasus ini, sumber (*supply*) diartikan sebagai besaran potensi daya puncak PLTS yang dimiliki oleh kedua Kipan, sedangkan tujuan (*supply*) diartikan sebagai besaran desain daya puncak PLTS yang dibutuhkan untuk setiap kelompok bangunan.

Kedua, kuantitas yang didistribusikan dari setiap sumber dan permintaan setiap tujuan, besarnya tertentu. Jumlah kuantitas yang didistribusikan berupa besaran daya listrik dalam kWp yang berasal dari sumber (potensi daya puncak) ke tujuan (besaran desain daya puncak PLTS yang dibutuhkan untuk setiap kelompok bangunan).

Ketiga, komoditas yang akan disalurkan dari suatu sumber ke suatu tujuan, besarnya sesuai dengan permintaan dan atau kapasitas sumber. Jumlah permintaan dan kapasitas daya listrik yang akan disalurkan dari sumber sudah ditentukan di dalam model *balanced* maupun *unbalanced*.

Keempat, memiliki biaya distribusi tertentu dari suatu sumber ke suatu tujuan. Biaya distribusi didapat dari hasil perhitungan RAB (Rencana Anggaran Biaya) dengan dasar daftar komponen PLTS dari USAID (2020) yang dibagi dengan besaran desain daya puncak PLTS yang dibutuhkan dari setiap *cluster* bangunan di setiap Kipan. Asumsi biaya distribusi ini dibagi menjadi dua bagian untuk setiap *cluster*-nya. Pertama asumsi distribusi/penggunaan untuk internal Kipan dan yang kedua asumsi distribusi/penggunaan untuk lintas Kipan, yang berarti bahwa adanya kemungkinan untuk pendistribusian hasil produksi PLTS Kipan A didistribusikan ke Kipan B begitu pula sebaliknya. Hasil analisis biaya distribusi daya listrik di kedua Kipan tersebut ditunjukkan pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 8.

Setelah didapat keempat ciri model transportasi tersebut, langkah selanjutnya adalah membuat model transportasi dari permasalahan ini. Asumsi pertama yang digunakan dalam pemodelan ini adalah asumsi *balanced* atau seimbang, yang berarti jumlah *supply* sama dengan jumlah *demand* (Lihat Gambar 1).

Model pada Gambar 1 tersebut dapat disederhanakan ke dalam bentuk tabel dengan rincian *decision variables* (Lihat Tabel 9).

Besaran biaya distribusi yang telah ditampilkan sebelumnya dapat disederhanakan untuk mempermudah pemahaman biaya pendistribusian dari sumber ke tujuan ke dalam bentuk Tabel 10.

Tabel 5
Total Dan Rerata Biaya Pembangunan PLTS Kipan A Cluster Perkantoran

No	Peruntukan	Total Daya Puncak (Wp)	Total Biaya Pembangunan (Rp)	Rata-rata (Rp/Wp)
1	Internal Kipan	6.424,10	Rp116.756.000,00	Rp 18.174,69
2	Lintas Kipan	6.424,10	Rp671.756.000,00	Rp 104.568,15

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 6
Total Dan Rerata Biaya Pembangunan PLTS Kipan A Cluster Perumahan

No	Peruntukan	Total Daya Puncak (Wp)	Total Biaya Pembangunan (Rp)	Rata-rata (Rp/Wp)
1	Internal Kipan	245.817,62	Rp3.257.975.000,00	Rp 13.253,63
2	Lintas Kipan	245.817,62	Rp12.692.975.000,00	Rp 51.635,74

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 7
Total Dan Rerata Biaya Pembangunan PLTS Kipan B Cluster Perkantoran

No	Peruntukan	Total Daya Puncak (Wp)	Total Biaya Pembangunan (Rp)	Rata-rata (Rp/Wp)
1	Internal Kipan	6.330,13	Rp116.756.000,00	Rp 18.444,47
2	Lintas Kipan	6.330,13	Rp671.756.000,00	Rp 106.120,33

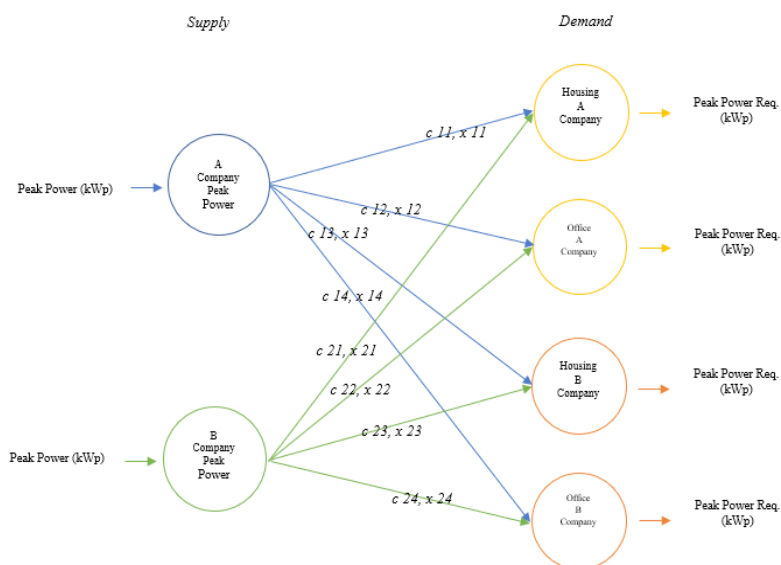
Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 8
Total Dan Rerata Biaya Pembangunan PLTS Kipan B Cluster Perumahan

No	Peruntukan	Total Daya Puncak (Wp)	Total Biaya Pembangunan (Rp)	Rata-rata (Rp/Wp)
1	Internal Kipan	271.876,91	Rp3.500.622.000,00	Rp 12.875,76
2	Lintas Kipan	271.876,91	Rp12.255.870.000,00	Rp 45.320,45

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Gambar 1
Balanced Transportation Model Optimasi PLTS Kipan A Dan Kipan B Yonif 643/Wns.



Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Dimana : $c_{11, \dots, 24}$ = Rerata biaya pembangunan PLTS per kWp dari sumber (supply) ke Cluster (demand) tujuan (Rp/kWp). $x_{11, \dots, 24}$ = Jumlah daya yang didistribusikan dari sumber ke Cluster tujuan (kWp).

Tabel 9

Decision Variables Balanced Transportation Model (kWp) Optimasi Penggunaan/Penyaluran Daya PLTS Kipan A Dan Kipan B Yonif 643/Wns

		Demand				
		Rumdis A	Kantor A	Rumdis B	Kantor B	
Supply	Total Daya Puncak Kipan A	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	$\leq 996,72 \text{ kWp}$
	Total Daya Puncak Kipan B	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	$\leq 939,43 \text{ kWp}$
		$\geq 245,82$	$\geq 6,42$	$\geq 271,88$	$\geq 6,33$	

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 10

Rerata Biaya Pembangunan PLTS Kipan A Dan Kipan B *Balanced Transportation Model* (dalam ribu/kWp)

		Demand			
		Rumdis A	Kantor A	Rumdis B	Kantor B
Supply	Total Daya Puncak Kipan A	Rp13.253,63	Rp18.174,69	Rp51.635,74	Rp104.568,15
	Total Daya Puncak Kipan B	Rp45.320,45	Rp106.120,33	Rp12.875,76	Rp18.444,47

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 11

Hasil Decision Variables Balanced Transportation Model Optimasi Pendistribusian/Penyaluran Daya PLTS Kipan A Dan Kipan B (kWp)

		Demand				
		Rumdis A	Kantor A	Rumdis B	Kantor B	
Supply	Total Daya Puncak Kipan A	245,82	6,42	0	0	$\leq 996,72 \text{ kWp}$
	Total Daya Puncak Kipan B	0	0	271,88	6,33	$\leq 939,43 \text{ kWp}$
		$\geq 245,82 \text{ kWp}$	$\geq 6,42 \text{ kWp}$	$\geq 271,88 \text{ kWp}$	$\geq 6,33 \text{ kWp}$	

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Selanjutnya dengan didasari *decision variables* tersebut maka didapat batasan (*constraints*) model sebagai berikut: $x_{11} + x_{21} \geq 245,82 \text{ kWp}$; $x_{12} + x_{22} \geq 6,42 \text{ kWp}$; $x_{13} + x_{23} \geq 271,88 \text{ kWp}$; $x_{14} + x_{24} \geq 6,33 \text{ kWp}$; $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 996,72 \text{ kWp}$; $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 939,43 \text{ kWp}$; $x_{11}, \dots, x_{14}, \dots, x_{21}, \dots, x_{24} \geq 0 \text{ kWp}$, dan dengan fungsi tujuan (*objective function*): $\text{Min } Z = c_{11} \cdot x_{11} + c_{12} \cdot x_{12} + c_{13} \cdot x_{13} + c_{14} \cdot x_{14} + c_{21} \cdot x_{21} + c_{22} \cdot x_{22} + c_{23} \cdot x_{23} + c_{24} \cdot x_{24}$

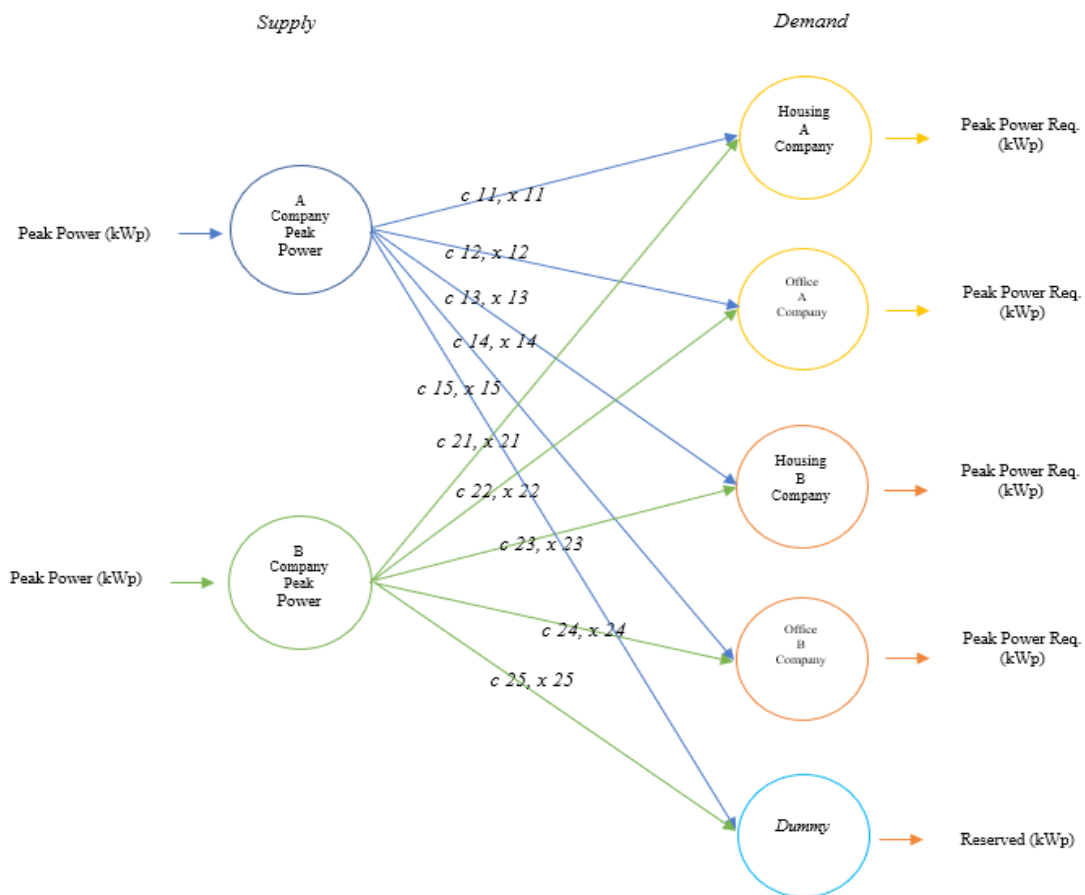
Penyelesaian optimasi dilakukan menggunakan tiga metode yang tersedia yaitu metode *Northwest-corner*, metode

Least-cost serta metode *Vogel Approximation*. Hasil iterasi dari ketiga metode ini didapatkan pendistribusian paling optimal yang disajikan ke dalam bentuk Tabel 11.

Hasil dari perhitungan fungsi tujuan (*objective function*) sebesar Rp 6.992.109.000,00 yang merupakan biaya minimal yang harus dikeluarkan dalam optimasi pembangunan serta pendistribusian sistem PLTS di kedua Kipan tersebut.

Hasil iterasi tersebut menunjukkan bahwa besaran total *supply* lebih besar dari besaran total *demand* yang ada, sehingga hal ini menunjukkan bahwa masih ada sisa potensi

Gambar 2
Unbalanced Transportation Model Optimasi PLTS Kipan A Dan Kipan B Yonif 643/Wns



Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Dimana : $c_{11, \dots, 24}$ = Rerata biaya pembangunan PLTS per kWp dari sumber (supply) ke Cluster (demand) tujuan (Rp/kWp). $x_{11, \dots, 24}$ = Jumlah daya yang didistribusikan dari sumber ke Cluster tujuan (kWp).

daya puncak yang dimiliki kedua Kipan yang belum terhitung ke dalam analisis optimasi ini, dengan demikian maka dibutuhkanlah model transportasi kedua dengan asumsi *unbalanced* atau tidak seimbang dimana diasumsikan bahwa besaran *supply* tidak sama dengan besaran *demand*. Hasil iterasi dari model kedua ini diharapkan mampu menjabarkan besaran cadangan energi yang dimiliki kedua Kipan tersebut serta sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan PLTS ke depannya (Lihat Gambar 2).

Variabel biaya yang digunakan sama dengan yang model sebelumnya akan tetapi

terdapat penambahan *demand dummy*, *dummy* di sini mewakili jumlah cadangan energi yang tersedia sehingga tidak ada besaran di dalam perhitungan biaya rata-rata (Lihat Tabel 12 dan Tabel 13).

Dari *decision variables* tersebut dapat didefinisikan batasan (*constraint*) model sebagai berikut : $x_{11} + x_{21} \geq 245,82$ kWp; $x_{12} + x_{22} \geq 6,42$ kWp; $x_{13} + x_{23} \geq 271,88$ kWp; $x_{14} + x_{24} \geq 6,33$ kWp; $x_{15} + x_{25} \geq ((996,72 + 939,43) - (x_{11} + \dots + x_{14} + x_{21} + \dots + x_{24}))$ kWp; $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} \leq 996,72$ kWp; $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} \leq 939,43$ kWp; $x_{11}, \dots, x_{15}, \dots, x_{21}, \dots, x_{25} \geq 0$ kWp,

Tabel 12
 Rerata Biaya Pembangunan PLTS Kipan A Dan Kipan B *Unbalanced Transportation Model* (dalam ribu/kWp)

		<i>Demand</i>				
		Rumdis A	Kantor A	Rumdis B	Kantor B	Dummy
<i>Supply</i>	Total Daya Puncak Kipan A	Rp13.253,63	Rp18.174,69	Rp51.635,74	Rp104.568,15	Rp0,00
	Total Daya Puncak Kipan B	Rp45.320,45	Rp106.120,33	Rp12.875,76	Rp18.444,47	Rp0,00

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 13.
Decision Variables Optimasi Penggunaan/Penyaluran Daya PLTS Kipan A Dan Kipan B *Unbalanced Transportation Model*

		<i>Demand</i>					
		Rumdis A	Kantor A	Rumdis B	Kantor B	Dummy	
<i>Supply</i>	Total Daya Puncak Kipan A	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	$\leq 996,72 \text{ kWp}$
	Total Daya Puncak Kipan B	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	$\leq 939,43 \text{ kWp}$
		$\geq 245,82$	$\geq 6,42$	$\geq 271,88$	$\geq 6,33$	$\geq ((996,72+939,43)-(x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25})) \text{ kWp}$	

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

Tabel 14
 Hasil *Decision Variables* *Unbalanced Transportation Model* Optimasi Penggunaan/Penyaluran Daya PLTS Kipan A Dan Kipan B (kWp)

		<i>Demand</i>					
		Rumdis A	Kantor A	Rumdis B	Kantor B	Dummy	
<i>Supply</i>	Daya Puncak Kipan A	245,82	6,42	0	0	744,48	$\leq 996,72 \text{ kWp}$
	Daya Puncak Kipan B	0	0	271,88	6,33	661,23	$\leq 939,43 \text{ kWp}$
		$\geq 245,82 \text{ kWp}$	$\geq 6,42 \text{ kWp}$	$\geq 271,88 \text{ kWp}$	$\geq 6,33 \text{ kWp}$	$\geq ((996,72+939,43)-(x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25})) \text{ kWp}$	

Sumber: Olahan Peneliti, 2022

dan dengan fungsi tujuan (*objective function*):

$$\text{Min } Z = c_{11} \cdot x_{11} + c_{12} \cdot x_{12} + c_{13} \cdot x_{13} + c_{14} \cdot x_{14} + c_{15} \cdot x_{15} + c_{21} \cdot x_{21} + c_{22} \cdot x_{22} + c_{23} \cdot x_{23} + c_{24} \cdot x_{24} + c_{25} \cdot x_{25}$$

Hasil dari iterasi model didapat hasil optimal sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 14.

Hasil *decision variables* tersebut menunjukkan bahwa kedua Kipan memiliki cadangan energi sekitar 1.405,71 kWp atau masing-masing sebesar 744,48 kWp dan

661,23 kWp untuk Kipan A dan Kipan B serta dengan optimasi biaya pembangunan serta pendistribusian sistem PLTS di kedua Kipan tersebut sebesar Rp 6.992.109.000,00.

Indikator Ketahanan Energi Satuan

Sebelum membahas dampak optimasi pemanfaatan PLTS terhadap ketahanan energi satuan yang diteliti perlu adanya penjabaran dari ketahanan energi itu sendiri. Ketahanan energi dapat diartikan sebagai

kemampuan dalam meminimalisir gangguan pada layanan energi dengan mengantisipasi, menolak, menyerap, merespon, beradaptasi dan pulih dari gangguan (Carlson dkk, 2012), sedangkan satuan dalam bidang militer diartikan sebagai ukuran dari kelompok yang telah ditentukan dan memiliki peran tempur atau dukungan khusus dalam organisasi militer yang lebih besar (Britannia.com, 2020). Dengan merujuk dari dua definisi di atas maka ketahanan energi satuan dapat diartikan sebagai ketersediaan sumber energi yang tidak terputus dan terjangkau serta kemampuan yang dimiliki oleh satuan/kesatuan militer dalam meminimalisir gangguan pada layanan energi dengan mengantisipasi, menolak, menyerap, merespon, beradaptasi dan pulih dari gangguan.

Dalam lingkup nasional untuk mengetahui ketahanan energi yang dimiliki, diperlukan pendekatan yang dapat merefleksikan keadaan yang dimiliki oleh negara tersebut. Sama seperti pendekatan *engineering* dan sosial yang dapat digunakan untuk mengukur ketahanan nasional (Muladi, 2007), dalam perihal ketahanan energi, diperlukan juga adanya beberapa dimensi untuk menjabarkan ketahanan energi yang ada, dalam penelitian ini pendekatan *engineering* digunakan untuk mengetahui indikator ketahanan energi yang dimiliki oleh satuan militer yang diteliti. Terdapat banyak indikator ketahanan energi yang telah diteliti oleh para ahli, salah satunya dimensi ketahanan energi yang dijabarkan oleh Sovacool dan Mukherjee (2011) yang menjabarkan dimensi ketahanan energi ke dalam lima dimensi, di dalam lima dimensi ini terdapat beberapa komponen serta indikator untuk menganalisis dampak apa yang ditimbulkan dari sebuah kebijakan terhadap ketahanan energinya.

Dimensi beserta indikator yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

Pertama, dimensi ketersediaan (*Availability*). Dimensi ini terkait dengan komponen keamanan suplai dan produksi yang menggunakan indikator total cadangan energi, total suplai energi, kebutuhan listrik total.

Kedua, dimensi keterjangkauan (*Affordability*). Dimensi ini terdiri dari (1). Komponen desentralisasi, yang menggunakan indikator jumlah sistem fotovoltaik surya (PLTS) yang terpasang di perumahan. (2). Komponen keterjangkauan, yang menggunakan indikator biaya transmisi dan distribusi listrik.

Ketiga, dimensi perkembangan teknologi dan efisiensi (*Technology Development and Efficiency*). Dimensi ini terdiri dari (1). Komponen ketahanan dan kapasitas adaptif, yang menggunakan indikator margin kapasitas listrik (suplai maksimum dihadapkan dengan kebutuhan maksimum). (2). Komponen efisiensi dan intensitas energi, yang menggunakan indikator penghematan efisiensi energi tahunan (pendapatan) dan penghematan efisiensi energi tahunan (juta kWh).

Keempat, dimensi keberlangsungan lingkungan dan sosial (*Environmental and Social Sustainability*). Dimensi ini terkait dengan komponen perubahan iklim yang menggunakan indikator emisi gas CO₂ dari sektor kelistrikan.

Kelima, dimensi regulasi dan pemerintahan (*Regulation and Governance*). Dimensi ini terkait dengan komponen pemerintahan yang menggunakan indikator jumlah regulator sistem kelistrikan.

Indikator - indikator tersebut dipilih dan disesuaikan dengan fokus penelitian. Hasil

iterasi optimasi terhadap variabel-variabel yang digunakan dianalisis sesuai dengan indikator – indikator tersebut, sehingga diharapkan dapat memberikan gambaran tentang dampak penggunaan PLTS terhadap ketahanan energi yang dimiliki oleh satuan yang ditinjau.

Dampak optimasi pemanfaatan PLTS terhadap indikator-indikator ketahanan energi diuraikan sebagai berikut:

Pertama, dampak terhadap Indikator Total Cadangan Energi. Berdasarkan analisis model transportasi yang telah dilakukan diketahui bahwa Kipan A dan Kipan B Yonif 643/Wns memiliki cadangan potensi PLTS sebesar 1.405,71 kWp atau masing – masing Kompi ini memiliki cadangan potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 744,48 kWp untuk Kipan A dan sebesar 661,23 kWp untuk Kipan B. Adanya cadangan energi ini menunjukkan bahwa cadangan ini masih bisa dimanfaatkan untuk didistribusikan ke lokasi lainnya atau disimpan kedalam media penyimpanan energi (baterai) dengan pengembangan sistem yang semula on-grid menjadi hybrid dan dengan memanfaatkan keseluruhan atap efektif bangunan yang berpotensi dipasang panel surya di atasnya.

Kedua, dampak terhadap Indikator Total Suplai Energi. Total suplai energi yang dimiliki oleh masing – masing Kompi, telah diketahui berdasarkan hasil perhitungan potensi total output. Diketahui bahwa total potensi energi listrik yang dimiliki oleh Kipan A sebesar potensi daya puncak 996,72 kWp dan potensi daya puncak Kipan B sebesar 936,43 kWp dengan total suplai energi/daya puncak yang dimiliki sebesar 1.936,15 kWp.

Ketiga, dampak terhadap Indikator Kebutuhan Listrik Total. Jumlah kebutuhan listrik yang dimiliki oleh kedua Kipan/Kompi

dapat diketahui dari hasil analisis model transportasi, dengan besaran kebutuhan listrik puncak PLTS secara teoritis Kipan A sebesar 252,24 kWp/hari dan sebesar 278,21 kWp/hari untuk kebutuhan listrik puncak PLTS Kipan B atau dengan total 530,45 kWp, masih di bawah total suplai energi listrik yang dimiliki oleh kedua lokasi tersebut. Kebutuhan listrik total dari kedua Kompi ini dipengaruhi oleh jumlah peralatan elektrikal yang digunakan oleh kedua Kipan tersebut. Semakin banyak peralatan yang digunakan secara bersamaan dan dalam jangka waktu yang lama maka kebutuhan akan daya listrik juga akan mengalami peningkatan.

Keempat, dampak terhadap Indikator Jumlah Sistem Fotovoltaik Surya (PLTS) yang terpasang di perumahan. Dalam optimasi pemanfaatan PLTS ini, direncanakan pemanfaatan PLTS untuk diaplikasikan pada setiap tipe bangunan yang terdapat di lokasi baik itu Cluster perumahan maupun Cluster perkantoran. Skenario pemasangan PLTS pada bangunan Kipan A pada Cluster perkantoran adalah sebanyak 1 kantor Kompi, 1 rumah jaga Kompi, 1 aula Kompi, dan 1 dapur Kompi. Untuk Cluster perumahan skenario pemasangan diterapkan di 5 rumah dinas tipe H60, 60 rumah dinas tipe K45 serta 3 buah barak chambree. Sedangkan pada Kipan B jumlah bangunan yang direncanakan untuk dipasang PLTS pada Cluster perkantoran adalah 1 kantor Kompi, 1 rumah jaga Kompi, 1 aula Kompi, dan 1 dapur Kompi, serta 5 rumah dinas tipe H60, 58 rumah dinas tipe K45 serta 3 buah barak chambree untuk Cluster perumahannya. Pemasangan ini disesuaikan dengan bangunan yang memiliki aliran listrik sesuai dengan pencacatan SIMAK-BMN (Sistem Informasi Manajemen dan Akuntansi Barang Milik Negara).

Kelima, dampak terhadap Indikator Biaya Transmisi dan Distribusi Listrik. Pembiayaan transmisi dan distribusi listrik PLN dihitungkan kedalam biaya pemakaian per kWh sesuai dengan daya terpasang di setiap bangunan. Sedangkan untuk biaya transmisi serta distribusi listrik PLTS dapat diketahui dengan merencanakan anggaran biaya pembangunannya, rencana anggaran biaya (RAB) pembangunan PLTS ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan ataupun anggaran yang tersedia dengan menyesuaikan kualitas dan kapasitas dari berbagai komponen yang dibutuhkan dalam membangun sistem PLTS tersebut.

Rata – rata biaya transmisi dan distribusi listrik PLTS yang didapat dari hasil perhitungan RAB setiap *Cluster* bangunan yang digunakan untuk pemodelan optimasi menunjukkan biaya rata – rata pembangunan PLTS pada Kompi A *Cluster* perumahan sebesar Rp 13.253.626,89 per kWp, *Cluster* perkantoran sebesar Rp 18.174.692,96 per kWp, serta rata – rata biaya pembangunan PLTS Kipan B *Cluster* perumahan sebesar Rp 12.875.760,67 per kWp, *Cluster* perkantoran sebesar Rp 18.444.473,56 per kWp. Tanpa adanya optimasi ini perhitungan dalam memperkirakan biaya per kWp dalam penggunaan PLTS tidak dapat diketahui.

Keenam, dampak terhadap Indikator Margin Kapasitas Listrik (Suplai Maksimum Dihadapkan dengan Kebutuhan Maksimum). Margin kapasitas listrik dapat diartikan sebagai (kapasitas dikurangi permintaan) dibagi dengan permintaan, dimana kapasitas ini dimaksudkan sebagai perkiraan kapasitas suplai maksimum dan permintaan dimaksudkan sebagai permintaan puncak yang diharapkan (eia.gov, 2012). Kapasitas dikurangi permintaan di sini dapat diartikan juga sebagai cadangan energi

listrik yang dimiliki oleh lokasi yang ditinjau, nilai selisih antara kapasitas dan permintaan yang dimiliki oleh kedua Kompi ini adalah sebesar cadangan energi listrik PLTS secara teoritis yaitu sebesar 1.405,71 kWp, dengan total permintaan sebesar 530,45 kWp sehingga menghasilkan nilai margin kapasitas listrik PLTS sebesar 265 %. Angka margin tersebut masuk ke dalam kategori kelebihan suplai (*over supplied*) berdasarkan Enerdynamics (2022) yang menetapkan persentase margin kapasitas listrik ke dalam tiga kategori, dimana kategori tersebut adalah ketat (*tight*) jika persentase margin memiliki nilai di bawah 15% , kategori seimbang (*balanced*) apabila nilai margin berada diantara 15% - 20% dan kategori kelebihan (*over supplied*) jika nilai margin berada di atas 20%, dengan demikian potensi PLTS yang dimiliki oleh kedua Kompi ini masih mampu untuk dimanfaatkan lagi dalam menyalurkan energi listriknya ke lokasi lainnya dengan berpedoman pada nilai margin ini sehingga upaya dalam mewujudkan ketahanan energi masih dapat terjaga.

Ketujuh, dampak terhadap Indikator Penghematan Efisiensi Energi Tahunan (Pendapatan). Optimasi pemanfaatan PLTS tentu saja diharapkan dapat memberikan efisiensi penggunaan listrik konvensional yang ada. Berdasarkan data tagihan listrik Kipan A pada tahun 2021 yaitu senilai Rp 107.390.641,00 optimasi pemanfaatan PLTS mampu mereduksi penggunaan listrik PLN sebesar 133%, dengan kata lain produktivitas PLTS masih mampu mengeksport kelebihan kapasitas listrik yang diproduksi ke grid PLN sebesar 33% dari penggunaan pada tahun tersebut atau senilai Rp 35.141.704,69, sedangkan berdasarkan tagihan pada tahun yang sama dengan nilai tagihan Rp 183.657.736,00, optimasi pemanfaatan PLTS dapat mereduksi

pemakaian listrik konvensional PLN Kipan B sebesar 93% apabila dinilai rupiahkan efisiensi yang dimiliki oleh Kipan B senilai Rp 170.723.502,81 (Pratama dkk, 2022). Persentase efisiensi yang dimiliki Kipan B ini tidaklah sebesar Kipan A karena tingkat pemakaian listrik di Kipan B sering melebihi pagu anggaran yang ditetapkan. Meskipun demikian efisiensi ini tentu saja menunjukkan adanya pengurangan emisi gas CO₂. Nilai efisiensi ini dapat ditingkatkan dengan melakukan perubahan perilaku penggunaan listrik sesuai dengan kebutuhan.

Kedelapan, dampak terhadap **Indikator Penghematan Efisiensi Energi Tahunan (Juta kWh)**. Selain menghitung persentase efisiensi dalam satuan rupiah, perhitungan efisiensi tentu saja dapat dilakukan dengan menggunakan satuan kWh. Tercatat dalam pemakaian listrik PLN Kipan A pada tahun 2021, total pemakaian listrik PLN pada tahun tersebut sebesar 133.898 kWh dengan skenario pemanfaatan PLTS diharapkan penggunaan listrik PLN ini dapat diefisiensikan sebesar 133% yang berarti surplus produksi listrik PLTS dapat diekspor ke grid PLN sebesar 33% atau sebesar 43.815,77 kWh, sedangkan pada tahun yang sama dengan total pemakaian listrik Kipan B sebesar 213.987,00 kWh, persentase efisiensi yang dimiliki oleh Kipan B didapat sebesar 93% (198.916,81 kWh) atau masih menggunakan 7% (15.070,19 kWh) listrik yang berasal dari grid PLN dalam memenuhi kebutuhan energi listriknya (Pratama, dkk, 2022).

Kesembilan, dampak terhadap Indikator Emisi Gas CO₂ dari Sektor Kelistrikan. Pemanfaatan PLTS sebagai salah satu upaya untuk mendapatkan energi listrik tentu saja memberikan efek positif terhadap pengurangan emisi GRK (gas rumah kaca).

Pada 2020 sektor kelistrikan Indonesia menyumbang 35% sumber emisi GRK di Indonesia, emisi ini telah mengalami peningkatan yang sangat signifikan sejak tahun 1990 dan mencapai level tertinggi 620 MtCO₂ di tahun 2018 (climate-transparency.org, 2021). Penggunaan listrik PLN tentu saja juga ikut serta dalam menyumbang emisi GRK ini, seperti yang telah disebutkan di atas bahwa sumber utama pembangkit listrik di Indonesia merupakan PLTU yang memiliki porsi sebesar 64,27% dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya (transisienergi.id, 2022). Salah satu alasan PLTU masih menjadi favorit dalam penyediaan energi listrik karena biaya produksi yang relatif lebih murah dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lainnya. Hal ini disebabkan oleh belum adanya perhitungan faktor biaya eksternalitas dan biaya sosial. Hasil penelitian Tampubolon dkk (2015) menyebutkan bahwa PLTD dan PLTU memiliki biaya sosial tertinggi dibandingkan dengan jenis pembangkit listrik lainnya. Biaya produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTS memang relatif lebih tinggi dari kedua pembangkit listrik tersebut, akan tetapi besaran biaya eksternalitas dan biaya sosial yang ditanggung oleh proses produksi listrik PLTS lebih rendah dibandingkan dengan PLTD dan PLTU, salah satu contoh dari biaya eksternalitas adalah dampak lingkungan yang tercermin dengan jumlah emisi gas CO₂ yang dihasilkan.

Emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari pemakaian listrik di Kipan A pada tahun 2021 dengan total 133.898 kWh menghasilkan emisi sebanyak 96.098.594,6 gCO₂ atau sekitar 96,099 tCO₂, sedangkan emisi yang dihasilkan oleh pemakaian listrik Kipan B pada tahun yang sama dengan total pemakaian listrik sebesar 213.987 kWh menghasilkan emisi

sebanyak 153.578.469,9 gCO₂ atau sekitar 153,578 tCO₂. Hasil yang didapat merupakan hasil perkalian jumlah energi listrik yang digunakan dengan intensitas emisi di sektor kelistrikan sebesar 717,7 gCO₂/kWh (climate-tranparency, 2021). Dengan memanfaatkan PLTS, emisi GRK di Kipan A ini dapat direduksi sebesar 133% (127,546 tCO₂) yang juga berarti bahwa pemanfaatan PLTS di Kipan A dapat menyumbang pengurangan gas emisi sebesar 33% (31,447 tCO₂) ke *grid* PLN dengan sistem ekspor impornya, sedangkan pemanfaatan PLTS di Kipan B dapat mereduksi emisi GRK sebesar 93% atau sekitar 142,762 tCO₂. Hasil perhitungan ini menegaskan bahwa pemanfaatan PLTS dapat bermanfaat bagi kelestarian lingkungan dengan adanya pereduksian emisi GRK.

Kesepuluh, dampak terhadap Indikator Jumlah Regulator Sistem Kelistrikan. Peraturan dapat difungsikan sebagai salah satu langkah untuk mempercepat sebuah program yang direncanakan oleh Pemerintah. Pemanfaatan EBT secara Nasional telah diakomodasi dalam Peraturan Menteri ESDM No. 4 Tahun 2020 tentang Energi terbarukan dan Peraturan Presiden no. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, sedangkan terkait dengan peraturan pengembangan atau pemanfaatan EBT di lingkungan Kementerian Pertahanan terkhusus di lingkungan TNI AD belum terakomodasi sama sekali, hal inilah yang menjadi salah satu kendala dalam pengaplikasian EBT di kedua instansi tersebut. Peraturan di lingkungan Kementerian Pertahanan yang ada saat ini hanya mengatur tentang prosedur pelayanan daya dan jasa listrik, gas dan air minum yang diatur di dalam Keputusan Menteri Pertahanan Nomor: KEP/782NI11/2015. Di dalam peraturan tersebut belum tertuang

kebijakan yang mengatur pemanfaatan EBT, sama halnya dengan peraturan yang dibuat untuk lingkungan TNI AD yang terangkum di dalam Keputusan Kepala Staf Angkatan Darat Nomor: KEP/396/V/2019 Tanggal 2 Mei 2019 tentang Petunjuk Teknis tentang Penggunaan Listrik, Gas dan Air, dimana belum dicantumkannya perihal pemanfaatan EBT dalam mendapatkan sumber energi untuk mengakomodasi kepentingan pertahanan dan keamanan dalam negeri.

Oleh karena itu dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu menjadi rujukan awal dan bahan pertimbangan dalam membuat peraturan/kebijakan terkait dengan pemanfaatan EBT di lingkungan Kementerian Pertahanan secara umum dan lingkungan TNI AD secara khusus. Dengan adanya studi terkait indikator energi terbarukan serta efisiensi energi yang lebih terperinci, maka dapat membantu *stakeholders* dalam mengevaluasi kinerja masing-masing sektor dalam mencapai target energi nasional yang telah ditetapkan (Yandri dkk, 2018). Hal ini juga menjadi pemicu keterlibatan militer dalam memanfaatkan sumber energi hijau yang dapat dihasilkan dari satuan-satuan mereka sendiri, mengingat partisipasi dalam mewujudkan *green energy* dapat dilakukan oleh siapapun, serta membantu mewujudkan ketahanan energi di satuan-satuan militer yang tentu saja juga merupakan partisipasi mewujudkan ketahanan nasional.

SIMPULAN

Dari uraian tersebut di atas dapat ditarik simpulan sebagai berikut.

Pertama, optimasi pemanfaatan PLTS menunjukkan potensi daya puncak sebesar 996,72 kWp dan 936,43 kWp untuk masing-masing Kipan A dan Kipan B, selain itu

juga menunjukkan jumlah cadangan energi sebesar 1.405,71 kWp. Hasil dari optimasi dua model transportasi menunjukkan besaran biaya yang dibutuhkan untuk membangun sistem PLTS yang optimal yaitu sebesar Rp 6.992.109.000,00.

Kedua, terdapat dampak positif yang dapat dirasakan langsung dari optimasi ini yaitu pereduksian tagihan listrik yang cukup signifikan yang tergantung pada pemakaian listrik para pengguna di masing-masing Kipan. Potensi fotovoltaik yang dimiliki oleh kedua Kompi juga dinilai sangat tinggi ditunjukkan dengan tingginya cadangan energi dan margin kapasitas listrik yang dimiliki untuk menjamin ketahanan energi satuan yang didapat dari hasil optimasi. Optimasi pemanfaatan PLTS ini tentu saja juga berdampak positif terhadap indikator ketahanan energi lainnya seperti adanya penurunan emisi gas CO₂ akibat dari efisiensi energi, selain itu dengan adanya penelitian terkait dengan pemanfaatan PLTS ini, diharapkan dapat menjadi pemicu upaya pembuatan peraturan/kebijakan terkait pemanfaatan EBT di lingkungan Kementerian Pertahanan dan juga di lingkungan TNI AD agar pemerataan dan keberlanjutan EBT dapat ditingkatkan di skala nasional. Mengingat daya tahan energi Indonesia mulai berkurang serta adanya ancaman krisis energi yang semakin nyata sehingga memerlukan solusi untuk menghadapinya, salah satu pemecahan krisis energi yakni dengan pengembangan energi terbarukan (Palupi, 2015).

Selanjutnya, direkomendasikan hal-hal sebagai berikut.

Pertama, pengembangan dan pemanfaatan EBT yang teroptimasi merupakan salah satu upaya untuk mewujudkan ketahanan energi yang efektif dan efisien serta merupakan wujud dari partisipasi dalam mewujudkan

ketahanan nasional dalam menjaga keutuhan kedaulatan Indonesia. Penelitian ini diasumsikan ketika kondisi desain PLTS dalam keadaan optimal, faktor-faktor lain yang memerlukan *maintenance* tersendiri belum dimasukkan ke dalam model optimasi maupun desain PLTS tersebut, sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mencapai hasil yang lebih maksimal.

Kedua, pengaplikasian optimasi pemanfaatan PLTS di lingkungan militer tentu akan berbeda jika diaplikasikan di lingkungan heterogen masyarakat pada umumnya, sehingga perlu adanya transformasi sosial agar didapat manfaat secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirrudin, M., 2013, "Rekayasa Sosial Energi Terbarukan: Studi Kasus Energi Listrik Hibrid di Pantai Baru, Bantul, Yogyakarta", *Tesis*, Yogyakarta: FISIPOL UGM.
- Ariyanti, N., dan L.A. Nuril, 2021. "Buku Ajar Mata Kuliah Teknik Optimasi". *Umsida Press*, Agustus, 1-145. <https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-82-9>.
- Britannica, T., Editors of Encyclopaedia, 2020, *Military Unit. Encyclopedia Britannica*, <<https://www.britannica.com/topic/military-unit>>, diakses pada 20 Maret 2022.
- Buasan, B., A. Armawi, dan E. Martono, 2016, "Peran Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dalam Mewujudkan Ketahanan Energi Wilayah (Studi di Kecamatan Dendang, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung)". *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 22, No. 3, hh. 241-254.
- Carlson, J., R. Haffenden, Gilbert Bassett, W. Buehring, M. Collins, Steve Folga

- dan Petit, Frederic dan J. Phillips, D. Verner dan R. Whitfield, 2012, *Resilience: Theory and Application*, 10.2172/1044521.
- Climate-Transparency, 2021, *Laporan Climate Transparency: Membandingkan Aksi Iklim G20 Menuju Net Zero*, <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2021/11/Indonesia-Country-Profile-2021_Bahasa.pdf>, diakses pada 18 Agustus 2022.
- Eia.gov., 2012, *Reserve Electric Generating Capacity Helps Keep The Lights on*, <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=6510>>, diakses pada 18 Agustus 2022.
- Enerdynamics, 2022, *Reserve Margin*. <<https://energyknowledgebase.com/topics/reserve-margin.asp>>, diakses pada tanggal 18 Agustus 2022
- Keputusan Kepala Staf Angkatan Darat Nomor: KEP/396/V/2019 Tanggal 2 Mei 2019 tentang Petunjuk Teknis Tentang Penggunaan Listrik, Gas dan Air.
- Keputusan Menteri Pertahanan Nomor: KEP/782NI11/2015 Tentang Prosedur Pelayanan Daya dan Jasa Listrik, Gas dan Air Minum.
- Kuncoro, E. A., A. Budiman, dan J. Waluyo, J., "Potential Study of Photovoltaic Power Stations to Meet the Energy Needs of Fuel Cell Units in Baru Pandansimo Beach of Bantul, Yogyakarta". *ASEAN Journal of System Engineering*, Vol. 5, No. 2, hh. 56-62.
- Muladi, 2007, *Konsep Comprehensive Security dan Ketahanan Nasional*. Kuliah Perdana Program Pascasarjana kerja sama Lemhannas RI - Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Nusantara, G. C., 2020, "Analisis Potensi Tenaga Surya Pada Permodelan Bangunan Tiga Dimensi Berdasarkan Data Open Street Map (Studi Kasus: Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)," *Elipsoida : Jurnal Geodesi dan Geomatika*, Vol. 3, No. 01, hh. 38-45.
- Palupi, D. S., 2015, "Efektivitas Pemanfaatan Biogas untuk Menunjang Ketahanan Energi (Studi Di Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta)". *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 21, No. 2, hh. 78-88.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 4 Tahun 2020 tentang Energi terbarukan.
- Pratama, R. J., J. Waluyo, dan M.K. Herliyansyah, 2022, "Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Ketahanan Energi Satuan di Kodam XII Tanjungpura", *Tesis*, Yogyakarta: Sekolah Pascasarjana UGM.
- Sari, D. P., 2014, "Optimasi Distribusi Gula Merah Pada UD Sari Bumi Raya Menggunakan Model Transportasi dan Metode Least Cost". *J. Progr. Stud. Sist. Inf.*
- Sovacool, B. K., dan I. Mukherjee, 2011, "Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach". *ELSEVIER, Energy* Vol. 36, hh. 5343-5355.
- Sudarmono, Waluyo, J., dan W. Wilopo, 2020, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pembasmi Serangga pada Tanaman Bawang Merah di Kabupaten Brebes". *JATTEC*, Vol. 1, No. 1, hh. 35-39.
- Suhartanto, T., 2014, "Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru Pandansimo

- Bantul Yogyakarta”. *JNTETI*, Vol. 3, No. 1, hh. 76-82.
- Taha, Hamdy, 2007, *Operations Research: An Introduction*. New Jersey: Pearson Education. Inc
- Tampubolon, B. I., A. Fauzi, dan M. Ekayani, 2015, “Internalisasi Biaya Eksternal serta Analisis Kebijakan Pengembangan Energi Panas Bumi sebagai Energi Alternatif”. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, Vol.2, No. 2, hh. 98-104.
- Tastrawati, N., 2015, *Pemograman Linier: Model Transportasi*. Bukit Jimbaran: Universitas Udayana.
- Transisienergi, 2022, *Bauran Pembangkit Listrik di Indonesia*, <https://transisienergi.id/data_input/bauran-pembangkitan-listrik-di-indonesia/>, diakses pada 18 Agustus 2022.
- USAID, 2020, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*.
- Yandri, E., R. Ariati, dan R. F. Ibrahim, 2018, “Meningkatkan Keamanan Energi Melalui Perincian Indikator Energi Terbarukan dan Efisiensi Guna Membangun Ketahanan Nasional dari Daerah”. *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 24, No. 2, hh. 239-260.