JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 6, No. 1, Juni 2021, Hal. 109-114
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v6.i1.2021.109-114
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Optimasi Rasio Konsentrasi *Dish Engine* Menggunakan Metode *Root Cause Analysis*

Agri Suwandi[1#], Teguh Prastyo[2], Dwi Rahmalina[2]
[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasila, Indonesia
[2]Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Indonesia
[#]agrisuwandi@univpancasila.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan teknologi *concentrated solar power* di Indonesia memiliki peluang yang tinggi karena potensi panas matahari di Indonesia yang ideal. Model *dish engine* dari *concentrated solar power* memiliki banyak kelebihan, khususnya terkait dari efisiensi yang tinggi, rasio konsentrasi yang paling tinggi, serta dimungkinkannya untuk penggunaan mandiri. Terlepas dari berbagai kelebihan tersebut, teknologi *dish engine* masih sebatas tahap prototipe belum mencapai tahap implementasi skala besar. Tantangan utamanya adalah capaian rasio konsentrasi yang lebih rendah dari teori. Penelitian ini bertujuan menggunakan *root cause analysis* yang digabungkan dengan *Design Failure Mode Effect Analysis* (DFMEA) dan *Expanded Failure Mode Effect Analysis* (EFMEA) untuk menemukan penyebab utama dari masalah utama terkait dengan desain *dish engine*. Permasalahan tersebut disebabkan oleh posisi mesin *stirling* pada desain *dish engine* yang dikembangkan memiliki banyak kelemahan, khususnya terkait area bayangan yang membuat rasio konsentrasi di bawah 0,99. Hasil kajian menunjukkan bahwa *shading* area merupakan masalah inti dari rendahnya rasio konsentrasi pada *dish engine* yang dikembangkan. Sebagai solusi, model desain alternatif adalah dengan menggunakan model *indirect receiver*. Model *indirect receiver* mampu meminimalkan area bayangan pada *concentrator* dan membuat nilai rasio konsentrasi mencapai 0,992. Penerapan model *indirect receiver* mampu menurunkan kerugian energi akibat adanya bayangan dari 6811 kWh menjadi 4086,4 kWh.

Kata kunci: *dish engine*, *concentrated solar power*, rasio konsentrasi, energi matahari

Abstract

The use of concentrated solar power technology in Indonesia has a high opportunity because of the ideal solar thermal potential in Indonesia. The dish engine model of concentrated solar power has many advantages, especially in terms of high efficiency, the highest concentration ratio and the possibility for independent use. Apart from these various advantages, dish engine technology is still at the prototype stage and has not yet reached the large-scale implementation stage. The main challenges are the high operating costs as well as the complex design of the dish engine and the achievement of a lower than theoretical concentration ratio. The study aims to use root cause analysis combined with Design Failure Mode Effect Analysis (DFMEA) *and Expanded Failure Mode Effect Analysis* (EFMEA) *has succeeded in finding the main causes of the main problems related to dish engine design. This problem is caused by the position of the stirling engine in the dish engine design that was developed which has many weaknesses, especially related to the shadow area which makes the concentration ratio below 0.99. The results show that the shading area is the core problem of the low concentration ratio in the developed dish engine. As a solution, a design model uses the indirect receiver model. The indirect receiver model can minimize the shadow area in the concentrator and make the concentration ratio value reach 0.992. The indirect receiver model application can reduce energy losses due to shadows from 6811 kWh to 4086.4 kWh.*

Keywords: *dish engine*, *concentrated solar power*, *concentration ratio*, *solar power*

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi matahari alternatif adalah dengan menggunakan *concentrated solar power* (CSP) yang mana sistem ini masih dikembangkan lebih lanjut dan memiliki peluang besar bagi Indonesia untuk ikut aktif dalam proses pengembangannya. Sistem CSP bekerja dengan mengumpulkan panas matahari pada suatu titik fokus atau garis fokus. Energi panas matahari yang dikumpulkan (atau kalor) dimanfaatkan oleh mesin panas untuk dikonversi menjadi energi gerak (atau

Diterima: 29 April 2021; Direvisi: 8 Juni 2021; Disetujui: 18 Juni 2021
JTERA, Vol. 6, No. 1, Juni 2021

© 2021 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

listrik) atau untuk keperluan lainya. Sistem CSP memiliki kelebihan utama yakni dimungkinkannya melakukan penyimpanan energi dalam bentuk termal yang secara biaya lebih murah dibandingkan dengan baterai listrik [1].

Meskipun sistem *dish engine* secara teori dapat mencapai suhu tinggi, sistem ini kurang diminati untuk dikembangkan lebih lanjut karena banyaknya tantangan dalam model aplikasinya. Beberapa sistem yang dikembangkan antara lain *Science Applications International Corporation* (SAIC), *Schlaich Bergermann und Partners* (SBP), *Stirling Energy Systems* (SES), (*Wilkinson, Goldberg & Associates*) WGA I dan II [2]–[4]. Semua model yang dikembangkan tersebut terpaksa dihentikan karena tidak layak secara ekonomi. Permasalahan pada *dish engine* yang menjadi tidak layak secara ekonomi dikarenakan tidak dimungkinkannya untuk menggunakan *thermal energy storage*, material dan konstruksi yang rumit serta biaya operasi dan perawatan yang tinggi.

Permasalahan mendasar yang menjadi isu utama adalah terkait dengan rendahnya rasio konsentrasi aktual pada *dish engine*. Rasio konsentrasi yang rendah menyebabkan nilai efisiensi keseluruhan sistem menurun. Rasio konsentrasi merupakan perbandingan rasio antara ukuran *concentrator* dengan *receiver* [5]. Perbandingan tersebut disesuaikan dengan nilai perbandingan antara luas area proyeksi dengan luas cermin. Kondisi ideal menyatakan perbandingan luasan proyeksi dengan luasan cermin harus di atas 0,99 [6]. Pada model yang telah dikembangkan, nilai perbandingan tersebut tidak mencapai nilai ideal. Nilai perbandingan untuk model SAIC, SBP, SES, WGA berturut–turut adalah 0,97, 0,94, 0,96, dan 0,95 [6].

Beberapa upaya optimasi secara umum sudah dilakukan untuk *dish engine*. P. D. Malali, dkk. [7] melakukan upaya optimasi dengan mengembangkan sistem *indirect receiver*. Ruben Gil, dkk. [8] melakukan optimasi pada fungsi *receiver* dengan menggabungkan fungsi *cavity receiver* dengan mesin *stirling* pada titik fokus parabola dengan hasil adanya peningkatan yang signifikan pada permukaan suhu *receiver*. Hamza Hijazi, dkk. [9] melakukan analisis model *indirect receiver* pada *parabolic dish* dengan hasil desain yang lebih optimal untuk distribusi beban yang lebih baik pada rangkai parabola.

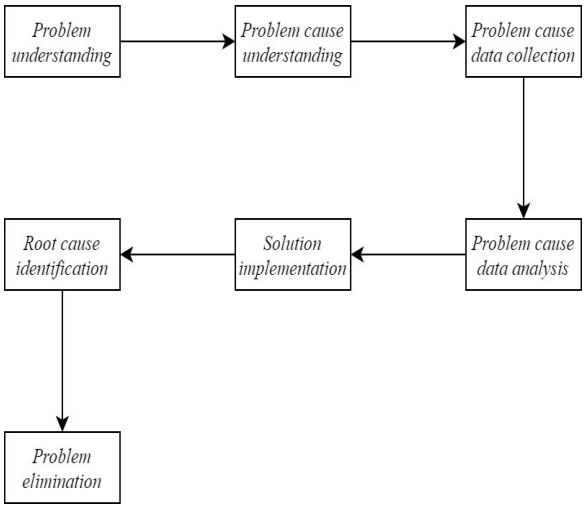
Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan peluang pemanfaatan *indirect receiver* pada model *dish engine* dapat dimanfaatkan untuk memaksmimalkan rasio konsentrasi. Rasio konsentrasi yang meningkat tentunya menyebabkan perubahan dari model desain dasar pada *dish engine*. Namun demikian, penelitian yang telah dilakukan tidak menyatakan dengan jelas dasar permasalahan yang menjadi penyebab utama dari turunya rasio konsentrasi sehingga model-model yang ditawarkan belum mampu menjawab tantangan terpenting terkait dengan nilai rasio konsentrasi target dari *dish engine*.

Penelitian ini fokus pada penentuan akar masalah dari rendahnya rasio konsentrasi pada *dish engine* dengan harapan inti permasalahan dapat diperoleh dan upaya perbaikan yang lebih terukur dapat dilakukan.

II. METODE PENELITIAN

Rasio konsentrasi menjadi faktor pembahasan penting dengan nilai rasio yang dapat diperoleh dengan memperhitungkan besarnya luasan area *reflector* berbanding dengan besarnya area yang terpapar matahari [6]. Kajian teknis yang dilakukan menggunakan metode *Design Failure Mode Effect and Analysis* (DFMEA) serta *Expanded Failure Mode Effect and Analysis* (EFMEA) [10] bertujuan untuk menentukan fokus permasalahan pada rendahnya rasio konsentrasi dish engine. Gambar 1 menunjukkan diagram alir dari metode *root cause analysis* (RCA) [11].

RCA dipilih sebagai dasar dari metode yang digunakan untuk mengetahui faktor terpenting yang menyebabkan kegagalan dari *dish engine*. Kegagalan terkait dengan beban *dish engine* dan juga rasio konsentrasi banyak melibatkan aspek dari desain *dish engine* yang sudah dikembangkan, sehingga perlu dianalisis untuk mengetahui dasar permasalahan kegagalan yang muncul pada semua model yang sudah dikembangkan. Hal ini RCA sebagai dasar dari metode yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Peta jalur pelaksanaan analisis RCA [11]

Selanjutnya masalah inti yang diperoleh dari analisis RCA dianalisis untuk menentukan solusi yang layak menggunakan metode DFMEA dan EFMEA. Solusi yang layak kemudian dikembangkan melalui pemodelan matematis untuk menentukan nilai-nilai terkait dengan solusi yang telah diperoleh.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian dasar dari DFMEA digunakan untuk menentukan permasalah utama yang muncul pada model *dish engine*. Kajian tersebut didasari pada model-model *dish engine* yang sudah dikembangkan dan memiliki kesamaan permasalahan yakni rasio konsentrasi aktual yang lebih rendah dibandingkan target. Terdapat enam permasalahan utama terkait dengan model *dish engine* (lihat Tabel 1). Enam masalah utama pada model *dish engine* yang telah dikembangkan memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang berbeda. Nilai RPN digunakan untuk menentukan tingkat prioritas perbaikan pada masalah yang dikaji. Semakin tinggi nilai RPN maka tingkat prioritas masalah tersebut untuk diselesaikan menjadi lebih utama. Kajian RPN berdasarkan masalah pada Tabel 1 diperlihatkan pada Gambar 2.

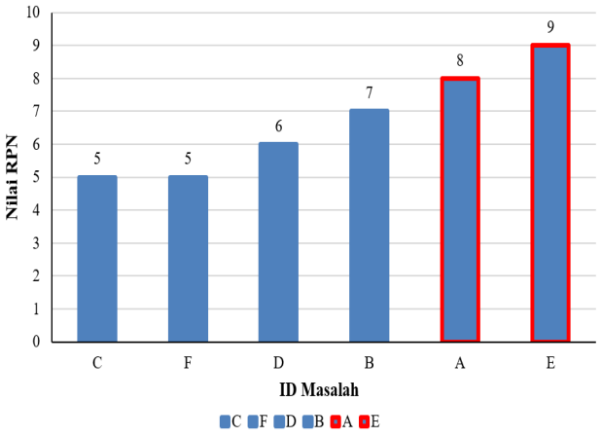
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat, bahwa RPN tertinggi disebabkan oleh *shading* area pada *dish* (A) dan beban besar pada *dish* (B). Permasalahan berikutnya adalah konsumsi listrik *solar tracker* yang tinggi. Ketiga masalah ini merupakan indikator masalah inti yang dijadikan pertimbangan utama untuk menentukan solusi.

Permasalahan di D, F, dan C merupakan permasalahan yang dijadikan sebagai pertimbangan tambahan. Bagan hubungan antara pertimbangan utama, solusi, dan pertimbangan tamabahan disajikan pada Gambar 3. Selanjutnya, fokus pemecahan masalah dilakukan dengan melihat nilai RPN terbesar pada masalah yang ada. *Shading* area pada *dish* menyebabkan nilai pantulan matahari menjadi menurun. Model dasar dari *dish engine* yang dikembangkan (lihat Gambar 4) menyebabkan sebagian area dish tertutup oleh bayangan *receiver*.

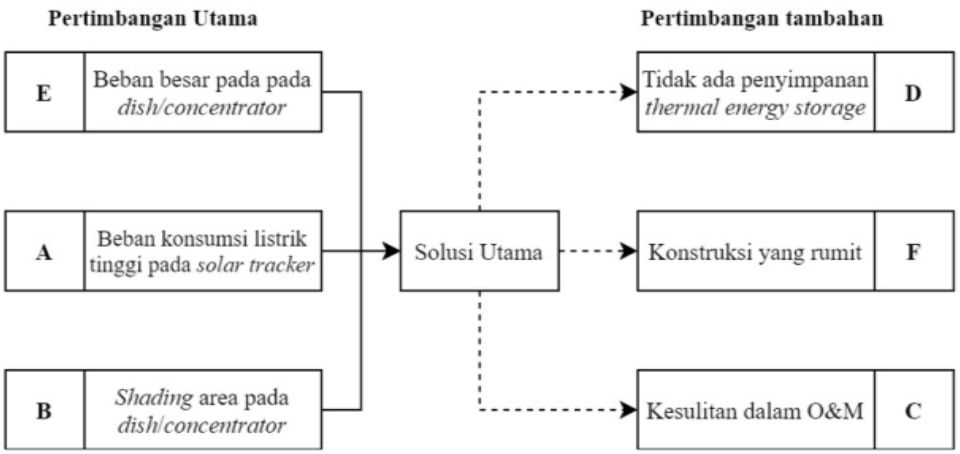
Dari Gambar 4 terlihat jelas bahwa *receiver* dan *receiver support* menutupi sebagian area dish. Kondisi ini menyebabkan sebagian area dish tidak dapat memantulkan cahaya matahari ke *receiver*. Berkurangnya nilai pantulan tentu menyebabkan turunnya rasio konsentrasi dari model ini.

Tabel 1. Permasalahan pada model *dish engine*

Kode	Masalah
A	Beban konsumsi listrik tinggi untuk *solar tracker*
B	Shading area pada *dish/concentrator*
C	Kesulitan dalam operasi dan perawatan
D	Tidak ada penyimpanan *thermal energy storage*
E	Beban besar pada *dish/concentrator*
F	Konstruksi yang rumit

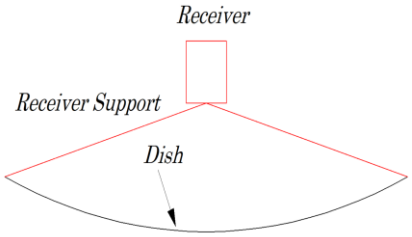


Gambar 2. Kajian RPN pada desain *dish existing*

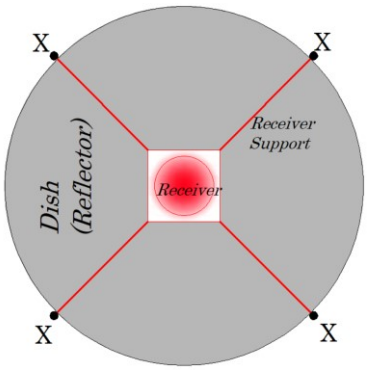


Gambar 3. Hubungan antar permasalahan utama dan solusi

Gambar 5 menunjukkan dengan lebih jelas bagian dari dish yang terhalang oleh *receiver* dan *receiver support*. Area *reflector* (warna abu pada Gambar 5) menjadi tertutup karena adanya *receiver support* dan *receiver*. Hal ini secara drastis akan menurunkan rasio konsentrasi dari *concentrator* karena semakin sedikit area *reflector* yang terpapar radiasi matahari.



Gambar 4. Model desain dasar *dish engine*

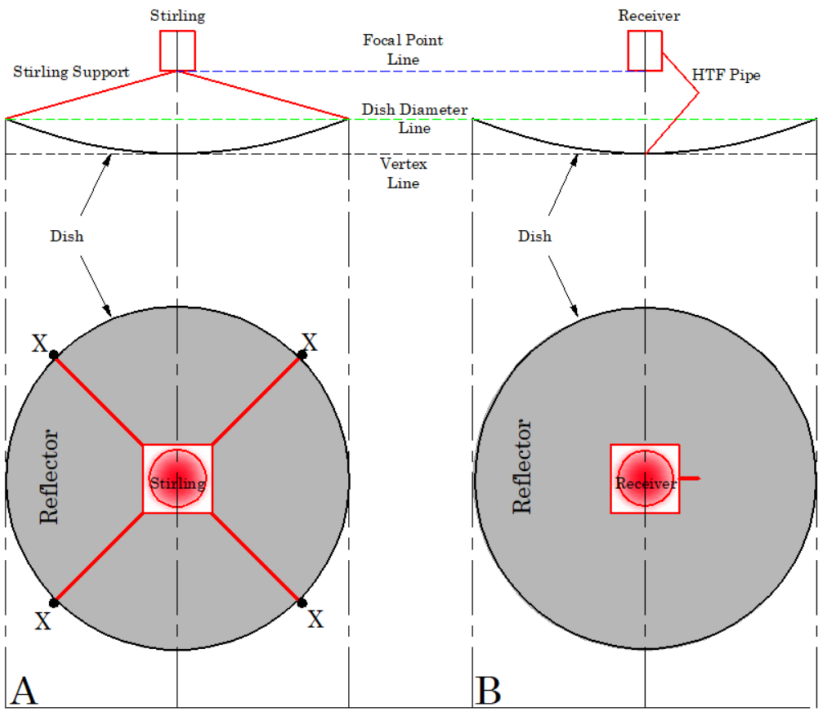


Gambar 5. Model desain dasar *dish engine*

Mengacu kepada inti permasalahan terkait rasio konsentrasi, maka model *direct receiver* merupakan permasalahan utama yang menyebabkan rendahnya rasio konsentrasi dari dish engine. Sebagai solusi, maka *indirect receiver* dapat digunakan untuk meminimalisir area bayangan pada *dish engine*. Penggunaan *indirect receiver* secara drastis dapat meminimalisir area shading pada *dish*.

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan antara model *direct receiver* dengan *indirect receiver* terkait dengan *shading area* pada dish. Perbedaan signifikan ditunjukan dari area bayangan untuk model *receiver* tidak langsung pada Gambar 6B. Dengan model dimensi yang sama antara *receiver* langsung dan tidak langsung (mengacu kepada *vertex line*, *dish diameter line*, dan *focal point line*) serta rasio ukuran Stirling dan *receiver* yang sama, terlihat area *dish* yang ditutupi oleh *heat thermal fluid* (HTF) *pipe* lebih kecil dibandingkan dengan Stirling *support*. Pemasangan *cavity receiver* pada *focal point* memberikan banyak keuntungan dalam penyerapan radiasi cahaya matahari.

Receiver berfungsi menyerap panas radiasi. *Receiver* memiliki *tube* berbentuk *conical* yang di dalamnya mengalir fluida kerja. Fluida kerja menyerap panas radiasi pada area *cavity* dan memindahkannya ke bagian bawah *dish*. Model kerja ini memberikan peluang untuk pemanfaatan *thermal energy storage* [12] serta penurunan beban pada area dish karena beban *cavity* jauh lebih ringan dibandingkan dengan mesin *stirling*. Pada aspek



Gambar 6. Perbandingan model *receiver* langsung (A) dan tidak langsung (B)

Tabel 2. Skala penentuan kelayakan solusi

Parameter	Ukuran
Diameter *dish*	1850 mm
Focal length	713 mm
Sudut *rim*	66^o
Luas parabola	2,89 m^2
Penampang *stirling holder* (1/15 luas parabola)	0,193 m^2
Diameter luar rangka *stirling support*	40 mm
Panjang rangka *stirling support*	888 mm

Tabel 3. Perbandingan area shading dan area efektif

Parameter	*Receiver*	
	Langsung	Tidak langsung
Luas parabola	2,89 m^2	2,89 m^2
Penampang Stirling *holder* (1/15 luas parabola)	0,193 m^2	0,193 m^2
Luas keseluruhan rangka *support*	0,1421 m^2	0,008 m^2
Luas *reflector* efektif	2,555 m^2	2,689 m^2

lain, area *shading* yang berkurang dapat memaksimalkan pemantulan cahaya matahari sehingga rasio konsentrasi *dish* menjadi meningkat.

Ukuran area *shading* dapat diketahui dengan menggunakan nilai-nilai parameter ukuran pada *dish*, *stirling support*, dan *stirling holder*. Sebagai perbandingan awal, ukuran *dish* yang digunakan adalah mengikuti ukuran *dish* yang tersedia di pasaran umum (*satellite dish*) dengan spesifikasi detail pada Tabel 2.

Mengacu kepada data yang ada pada Tabel 2. sebagai bentuk pemodelan, maka area *shading* dari dua model parabola dapat diketahui. Area *shading* dari masing-masing model ditunjukkan pada Tabel 3. Perbedaan signifikan ditunjukkan terkait dengan luas *reflector* efektif. Hal ini berdampak pada penurunan kapasitas energi yang dikumpulkan oleh *reflector* yang pada gilirannya menyebabkan penurunan efisiensi menyeluruh dari *dish engine*.

Nilai *Direct Normal Irradiation* (DNI) maksimal di Indonesia adalah 5,57 kWh/m^2 [13], dengan asumsi efektif penggunaan *dish* selama 10 jam selama satu tahun, maka total kerugian dari model *receiver* langsung dan tidak langsung dapat diketahui dan nilai ini disajikan pada Tabel 4. Sebagai perbandingan penting untuk melihat besarnya kerugian akibat adanya *shading* area pada area *reflector*.

Tabel 4. Estimasi pengumpulan energi oleh *dish engine*

Parameter	*Receiver*	
	Langsung	Tidak langsung
DNI maksimal	5,57 kWh/m^2	
Jam operasi	10 Jam	
Lama hari	365 hari	
Pengumpulan energi maksimal	58755,145 kW	
Pengumpulan energi berdasarkan area *reflector* efektif (kW)	51944,43	54668,71
Total kerugian akibat area *shading* (kW)	6810,7175	4086,4305

Model *receiver* tidak langsung jelas lebih unggul dibandingkan dengan model *receiver* tidak langsung. Kerugian energi akibat *shading* area di *receiver* tidak langsung lebih kecil, sehingga efektifitas energi yang dikumpulkan oleh *reflector* bisa lebih banyak. Pada kondisi lain, beban yang lebih ringan akibat pengurangan rangka *support* pada area *dish* menyebabkan konsumsi energi oleh motor *solar tracker* bisa lebih ringan dibandingkan dengan model *receiver* langsung.

Data pada Tabel 4 memperlihatkan pengaruh dari rasio konsentrasi terhadap besarnya energi yang mampu diterima oleh sistem. Mengacu kepada prinsip dasar rasio konsentrasi, maka nilai rasio konsentrasi untuk model penerima langsung dan tidak langsung dapat diketahui dengan membandingkan antara projected area dengan *reflecto*r area [6]. Area proyeksi merupakan luasan keseluruhan parabola dan area *reflector* adalah luasan area yang dapat memantulkan cahaya. Dari Tabel 2 dapat diperoleh nilai rasio konsentrasi untuk masing-masing model yakni 0,951 untuk penerima langsung dan 0,992 untuk penerima tidak langsung.

Perbedaan signifikan untuk rasio konsentrasi pada model penerima langsung dan tidak langsung disebabkan oleh luas keseluruhan rangka *support*. Semakin luas area *support*, maka semakin kecil area proyeksi, sehingga semakin sedikit cahaya yang dapat dipantulkan. Model yang sederhana dari penerima tidak langsung menyebabkan area yang terhalang menjadi semakin rendah, oleh karenanya nilai rasio konsentrasi dapat menjadi lebih tinggi mendekati nilai ideal (0,99).

IV. KESIMPULAN

Kajian inti masalah dari *dish engine* menggunakan metode DFMEA dan EFMEA menunjukkan titik permasalahan inti pada bagian rasio konsentrasi yang rendah di bawah target 0,99. Bayangan yang disebabkan oleh penempatan mesin *stirling* menjadi inti penyebab dari tingginnya area bayangan pada bagian *reflector*. Penggunaan *cavity receiver* sebagai pengganti *receiver* langsung mampu menurunkan area bayangan pada *dish reflector*.

Area bayangan untuk *receiver* langsung dan tidak langsung secara jelas mempengaruhi besarnya energi yang mampu dikumpulkan oleh *collector*. Total kerugian akibat adanya area bayangan pada model *receiver* tidak langsung menjadi lebih kecil dengan nilai hanya 4086,43 kWh dibandingkan dengan kerugian pada model *receiver* langsung sebesar 6810,7 kWh. Turunnya nilai kerugian secara langsung dipengaruhi oleh kenaikan nilai rasio konsentrasi pada model *receiver* tidak langsung yakni sebesar 0,992 yang mana lebih baik dibandingkan dengan model *receiver* langsung yang hanya 0,95.

Kajian ini menjadi temuan penting pada perbaikan desain *dish engine*. Perbaikan rasio konsentrasi pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi menyeluruh dari dish engine dan mampu meningkatkan kelayakan dari *dish engine* untuk dikembangkan sebagai teknologi pembangkit listrik yang mampu digunakan untuk skala luas. Optimasi penting berikutnya yang harus diperhitungkan adalah mengurangi area *shading* pada model *receiver* tidak langsung dengan memodifikasi model dan ukuran dari *cavity receiver*.

REFERENSI

[1] J. P. Bijarniya, K. Sudhakar, And P. Baredar, "Concentrated Solar Power Technology In India: A Review," *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, vol. 63, pp. 593–603, 2016.

[2] J. Coventry and C. Andraka, "Dish Systems For Csp," *Sol. Energy*, vol. 152, pp. 140–170, 2017.

[3] J. Widiputra, I. Iskendar, and R. A. Rahman, "Optimasi Konsentrasi Ethylene Glycol Fluida Kerja Pada Perancangan Parabolic Trough Concentrator Dengan Replektor," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 10, no. 3, pp. 61–68, 2020.

[4] A. Bianchini, A. Guzzini, M. Pellegrini, and C. Saccani, "Performance Assessment Of A Solar Parabolic Dish For Domestic Use Based On Experimental Measurements," *Renew. Energy*, vol. 133, pp. 382–392, 2019.

[5] K. Bataineh and Y. Taamneh, "Performance Analysis Of Stand-Alone Solar Dish Stirling System For Electricity Generation," *Int. J. Heat Technol.*, vol. 35, no. 1, pp. 498–508, 2017.

[6] R. Shahbazfar, T. Fend, and M. Hamdan, "Advanced Csp Teaching Materials Chapter 7 Solar Dish Technology Authors," *Adv. Csp Teach. Mater.*, pp. 1–63, 2011.

[7] P. D. Malali, S. K. Chaturvedi, and R. Agarwala, "Effects Of Circumsolar Radiation On The Optimal Performance Of A Stirling Heat Engine Coupled With A Parabolic Dish Solar Collector," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 159, no. June, pp. 113961, 2019.

[8] R. Gil, C. Monné, N. Bernal, M. Muñoz, and F. Moreno, "Thermal Model Of A Dish Stirling Cavity-Receiver," *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1042–1057, 2015.

[9] H. Hijazi, O. Mokhiamar, and O. Elsamni, "Mechanical Design Of A Low Cost Parabolic Solar Dish Concentrator," *Alexandria Eng. J.*, vol. 55, no. 1, pp. 1–11, 2016.

[10] K. D. Sharma and S. Srivastava, "Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Implementation: A Literature Review," *Copyr. J. Adv. Res. Aeronaut. Sp. Sci. J Adv Res Aero Spacesci*, vol. 5, no. 2, pp. 2454–8669, 2018.

[11] G. B. Wangen, N. Hellesen, G. Wangen, H. Torres, and E. Braekken, "An Empirical Study Of Root-Cause Analysis In Information Security Management Phd Project On Risk Assessments View Project Root Cause Analysis In Information Security View Project An Empirical Study Of Root-Cause Analysis In Information Security Management," no. September, pp. 26–33, 2017.

[12] D. Rahmalina, R. A. Rahman, A. Suwandi, And Ismail, "The Recent Development On Mgh2 System By 16 Wt% Nickel Addition And Particle Size Reduction Through Ball Milling: A Noticeable Hydrogen Capacity Up To 5 Wt% At Low Temperature And Pressure," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 53, pp. 29046–29058, 2020.

[13] World Bank Group, *Solar Resource And Photovoltaic Potential Of Indonesia*, No. May. 2017.