

# Concentrating Solar Power sebagai Sumber Energi Listrik di Maroko

Alviona Surfida <sup>1</sup>, Auriel Kamilah Indriati <sup>2</sup><sup>1,2</sup>, Brandon Surya Hasudungan Silitonga <sup>3</sup><sup>1,3</sup>, Muqqafa Akbar Pradana <sup>4</sup><sup>1,4</sup>

<sup>1234</sup> Teknik Elektro dan Teknik Sistem Energi, Insitut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati agung, Lampung Selatan

Email : [alviona.120130027@student.itera.ac.id](mailto:alviona.120130027@student.itera.ac.id), [auriel.120340052@student.itera.ac.id](mailto:auriel.120340052@student.itera.ac.id),  
[brandon.120130022@student.itera.ac.id](mailto:brandon.120130022@student.itera.ac.id), [muqqafa.120340075@student.itera.ac.id](mailto:muqqafa.120340075@student.itera.ac.id) ;

**Abstrak** : Maroko terus berinovasi dalam menghadapi tantangan energi global, dan Noor Ouarzazate Solar Complex di kota Ouarzazate merupakan tonggak penting. Sebagai proyek energi terbarukan terbesar di dunia, kompleks ini memanfaatkan teknologi energi matahari terkonsentrasi (CSP) untuk menghasilkan listrik. Dengan dukungan penuh dari Maroko, proyek ini menunjukkan komitmen untuk memimpin dalam penggunaan sumber daya bersih. Noor Ouarzazate Solar Complex tidak hanya berkontribusi pada praktik energi berkelanjutan, tetapi juga menjadi model bagi negara-negara lain yang ingin beralih ke alternatif yang lebih ramah lingkungan. Inisiatif ini sejalan dengan visi Maroko secara keseluruhan untuk masa depan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Kata kunci: Maroko, Noor Ouarzazate Solar Complex, energi terbarukan, Concentrated Solar Power (CSP), keberlanjutan, tantangan energi global.

**Kata Kunci** : Maroko, Noor Ouarzazate Solar Complex, energi terbarukan, Concentrated Solar Power (CSP), keberlanjutan, tantangan energi global

**Abstract** : Morocco continues to innovate in facing global energy challenges, and the Noor Ouarzazate Solar Complex in the city of Ouarzazate is a crucial milestone. As the world's largest renewable energy project, the complex utilizes Concentrated Solar Power (CSP) technology to generate electricity. With full support from Morocco, this project demonstrates a commitment to lead in the use of clean resources.

**Keywords** : Morocco, Noor Ouarzazate Solar Complex, renewable energy, Concentrated Solar Power (CSP), sustainability, global energy challenges, clean resources, environmental commitment, innovative solutions

---

## 1. Pendahuluan

Maroko, sebagai sebuah negara yang terletak di wilayah barat laut Afrika, memiliki peran yang semakin berkembang dalam menghadapi tantangan energi global. Salah satu tonggak signifikan di dalamnya adalah Kota Ouarzazate yang terletak di bagian tenggara Maroko [1]. Kota ini memainkan peran utama dalam transformasi energi Maroko dengan menjadi markas bagi Noor Ouarzazate Solar

Complex. Sebagai bagian dari proyek energi terbarukan terbesar di dunia, kompleks ini memanfaatkan teknologi energi matahari terkonsentrasi (CSP) untuk menghasilkan listrik. Melibatkan penggunaan menara panas dan panel surya parabolik, kompleks ini menjadi pusat inovasi untuk pengembangan teknologi energi hijau.



**Gambar 1.** Lokasi Kota Ouarzazate, Marocco [2]

Dengan sinar matahari yang melimpah di wilayah gurun Ouarzazate, kompleks ini menciptakan lingkungan yang ideal untuk optimalisasi teknologi CSP. Intensitas radiasi matahari yang tinggi di daerah ini tidak hanya memungkinkan penyerapan energi matahari yang efisien tetapi juga memberikan landasan kuat untuk eksplorasi dan pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih maju. Selain menjadi sumber daya energi yang handal, gurun Ouarzazate juga menjadi laboratorium alam bagi riset dan pengujian inovasi-inovasi terbaru dalam industri energi matahari [2]. Pentingnya Kota Ouarzazate tidak hanya terletak pada dimensinya sebagai pusat produksi energi terbarukan, tetapi juga pada perannya sebagai model inspiratif untuk negara-negara lain yang sedang berusaha mencapai transformasi serupa. Keberhasilan Noor Ouarzazate Solar Complex menyoroti potensi luar biasa dari investasi dalam teknologi CSP dan bagaimana inovasi ini dapat membentuk arah masa depan energi global menuju solusi yang lebih berkelanjutan. Dengan begitu, Maroko bukan hanya menjadi pemimpin regional dalam mengadopsi energi bersih tetapi juga menjadi contoh bagi dunia dalam menjawab panggilan untuk mengatasi krisis energi global dengan pendekatan berbasis teknologi terbarukan.

## 2. Tinjauan Pustaka

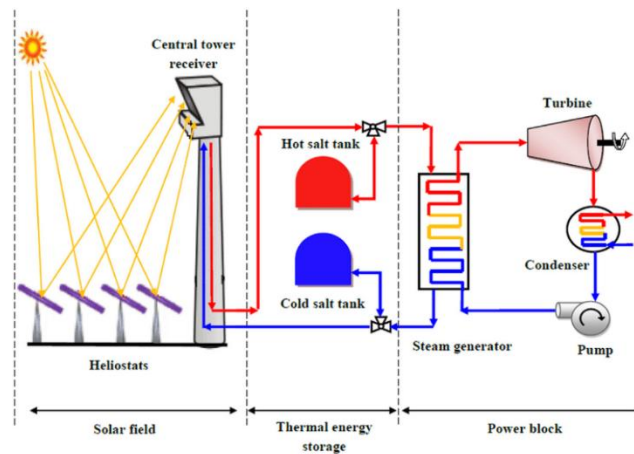
### 2.1 Energi Surya dan *Concentrating Solar Power (CSP)*

Energi surya, sebagai sumber energi terbarukan yang mendasar, dapat dioptimalkan secara efisien melalui teknologi *Concentrating Solar Power (CSP)*. Teknologi ini memanfaatkan reflektor atau kolektor matahari untuk mengumpulkan dan mengarahkan energi matahari ke satu titik fokus titik fokus ini, *Central Tower Receiver (CTR)* berperan mengubah energi matahari yang terkonsentrasi menjadi panas tinggi. Pemahaman mendalam tentang teknologi CSP menjadi esensial untuk menggali potensi penuh dari energi surya. Teknologi ini membuka jalan untuk mengoptimalkan potensi penuh dari energi surya [3]. *Central Tower Receiver (CTR)* menjadi elemen kunci dalam konversi energi matahari menjadi panas tinggi, di mana sekelompok heliostat atau cermin dapat diputar untuk

mengarahkan sinar matahari menuju titik fokus di puncak menara sentral. Selain itu, sistem CSP juga melibatkan komponen penting seperti tangki garam panas dan dingin, steam generator, turbin, kondensor, dan pompa, yang bekerja sinergis untuk menghasilkan energi listrik secara efisien. Melalui integrasi komponen-komponen ini, CSP mewakili salah satu solusi inovatif dalam pemanfaatan energi surya dengan efisiensi yang tinggi, menjadikannya pilihan yang menarik untuk menyediakan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan [4].

## 2.2 Skema Proses *Conectrating Solar Power* (CSP)

Dalam sistem CSP, energi matahari dikumpulkan dan difokuskan oleh reflektor atau kolektor matahari menuju *Central Tower Receiver* (CTR) [1]. Di CTR, energi matahari terkonsentrasi diubah menjadi panas tinggi dengan menggunakan fluida termal, seperti garam cair. Energi panas disimpan dalam hot salt tanks, dan sebagian dapat dialirkan ke cold salt tanks untuk menyimpan ekskresi panas.



**Gambar 2.** Skema Proses CSP (*Concentrating Solar Power*)

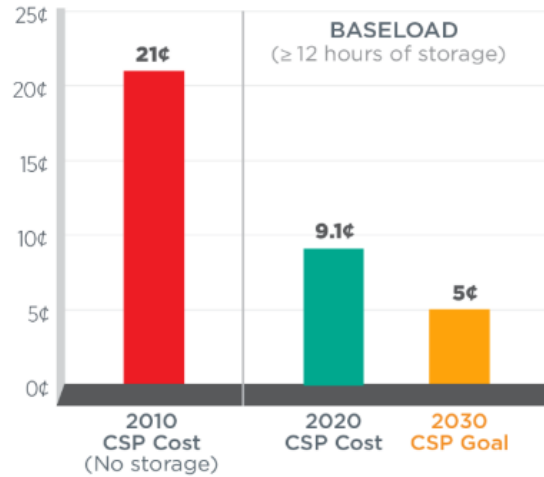
Selanjutnya, panas dari kedua tangki disalurkan ke steam generator, di mana uap dihasilkan untuk menggerakkan turbin. Turbin ini, pada gilirannya, menggerakkan generator listrik untuk menghasilkan energi listrik. Setelah melewati turbin, uap dikondensasikan kembali menjadi air melalui kondensor, dan proses ini terus berulang [3]. Integrasi komponen-komponen ini menciptakan metode inovatif untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik secara efisien dan berkelanjutan.

## 3. Pembahasan

### 3.1. Review Secara Aspek Ekonomi

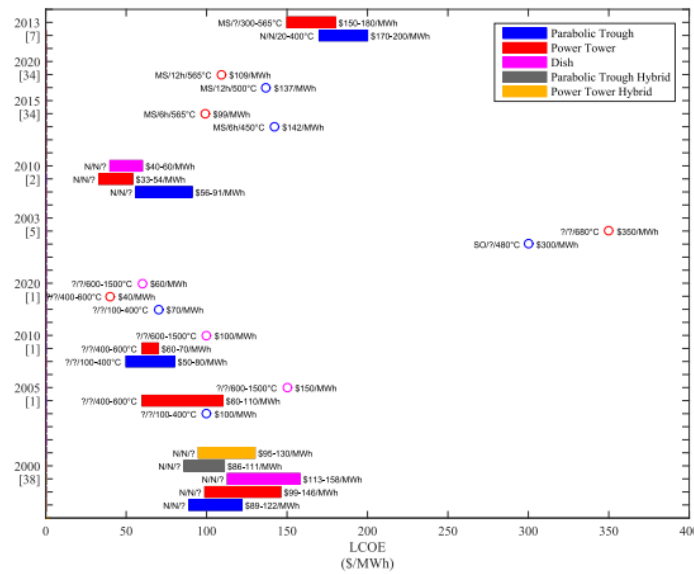
CSP (Energi Matahari Terkonsentrasi) telah mengalami evolusi yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir dan telah meningkatkan daya saingnya sebagai sumber energi terbarukan. Grafik bar berikut memberikan gambaran perubahan biaya CSP dari tahun 2010 hingga 2030. Grafik ini mencerminkan penurunan signifikan dalam biaya CSP dari tahun 2010 hingga 2020, menunjukkan progres teknologi dan efisiensi yang lebih baik dalam implementasi proyek-proyek CSP. Pada tahun 2030, target biaya CSP adalah mencapai 5 colon, menunjukkan ambisi untuk membuat teknologi ini lebih kompetitif secara ekonomi. Penurunan biaya ini dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti inovasi teknologi, peningkatan efisiensi proses produksi, dan skala ekonomi yang tercapai melalui

proyek-proyek CSP yang lebih besar. Kesuksesan dalam mencapai target biaya pada tahun 2030 dapat menjadikan CSP sebagai pilihan yang lebih menarik dan berdaya saing dalam portofolio energi terbarukan global.



Gambar 3. Grafik Target Kompetitif CSP

Ada dua jenis metodologi penilaian ekonomi yang populer untuk teknologi CSP di pasar Maroko. Metrik ekonomi yang paling sederhana dan umum adalah Biaya Listrik Terlevel (LCOE), yang didefinisikan sebagai pendapatan yang dibutuhkan (dolar per unit energi) untuk memulihkan biaya operasional dan investasi untuk desain generator tertentu selama periode waktu tertentu [5]. Dengan singkat menunjukkan bahwa analisis LCOE tidak menangkap nilai listrik yang berubah-ubah seiring waktu. Secara khusus, penulis membandingkan sumber energi yang dapat diprogram (faktor kapasitas 90%) dan sumber energi intermittennya (faktor kapasitas 30%) dalam pasar listrik dua tingkat (harga puncak dan harga non-puncak) di Maroko [6]. Meskipun LCOE hampir identik, sistem intermittennya menghasilkan kerugian negatif (kerugian \$42 hingga \$45 ribu per MWe per tahun) ketika sebagian besar energi disediakan selama waktu non-puncak, seperti turbin angin yang menghasilkan listrik pada malam hari. Sebaliknya, sumber yang dapat diprogram cukup menguntungkan (\$8 ribu per MWe per tahun), dan sumber yang intermittennya sangat menguntungkan (\$87 ribu per MWe per tahun) ketika semua energi disediakan selama jam puncak di pasar Maroko.



**Gambar 4.** Perbandingan LCOE, diorganisir berdasarkan jenis teknologi dan rentang waktu

Untuk menguji apakah kritik ini berlaku untuk sistem nyata di pasar Maroko, kami menganalisis harga pasar energi real-time Maroko dari 2015 dan menemukan hasil serupa: memindahkan 10 MWe dari harga rata-rata (\$30/MWh) ke 1% harga paling ekstrem (97 hingga 1621 \$/MWh) menghasilkan pendapatan tambahan sebesar \$400.000/tahun di pasar Maroko [7]. Ini mewakili peningkatan pendapatan sebesar 6% untuk sistem CSP hipotetis 50 MWe yang beroperasi pada faktor kapasitas 50% dan menjual energi pada harga pasar rata-rata di pasar Maroko. Beberapa penulis telah menyatakan kritik terhadap perbandingan LCOE dan telah menunjukkan bahwa modifikasi desain CSP tertentu yang meningkatkan LCOE juga mengarah pada periode pengembalian pendek ketika nilai listrik yang berubah-ubah seiring waktu diperhitungkan [8].

Study	Timeframe	CSP Technology Considered	Cost Reduction Assumptions/Estimates			LCOE Reductions
[1]	2005 to 2020	parabolic trough w/ unspecified TES	<i>Capital cost</i> 46.1%-61.1% (2.6-3.6 to 1.4 \$/W)	<i>O &amp; M cost</i> 60% (87.6 to 35.0 \$/kW-yr)	<i>Surface cost</i> 56.3% (630 to 275 \$/m <sup>2</sup> )	30% (100 to 70 \$/MWh)
[1]	2005 to 2020	power tower w/ unspecified TES	<i>Capital cost</i> 10.7%-73.2% (2.8-4.1 to 1.1-2.5 \$/W)	<i>O &amp; M cost</i> 70%-75% (87.6-105 to 78.8 \$/kW-yr)	<i>Surface cost</i> 57.9% (475 to 200 \$/m <sup>2</sup> )	33.3%-63.6% (60-110 to 40 \$/MWh)
[1]	2005 to 2020	dish w/ unspecified TES	<i>Capital cost</i> 76% (5.0 to 1.2 \$/W)	<i>O &amp; M cost</i> 77.5% (350 to 78.8 \$/kW-yr)	<i>Surface cost</i> 89.3% (3000 to 320 \$/m <sup>2</sup> )	60% (150 to 60 \$/MWh)
[34]	2015 to 2020	parabolic trough with molten salt TES (6 hr storage in 2015, 12 hr in 2020)	<i>Installed cost</i> 1.5% (6.6 to 6.5 \$/Wh)	<i>O &amp; M cost</i> 25% (60 to 45 \$/kW-yr)	<i>Capacity factor</i> increase 39.5% (43% to 60%)	30.3% (142 to 99 \$/MWh)
[34]	2015 to 2020	power tower w/ molten salt TES (6 hr storage in 2015, 12 hr in 2020)	<i>Installed cost</i> increase 15.9% (6.3 to 7.3 \$/Wh)	<i>O &amp; M cost</i> 23.1% (65 to 50 \$/kW-yr)	<i>Capacity factor</i> increase 39.5% (43% to 60%)	20.4% (137 to 109 \$/MWh)

**Gambar 5.** Survei perkiraan pengurangan biaya CSP, diorganisir berdasarkan teknologi pengumpul energi. Perbandingan dalam satu studi dibatasi oleh garis putus-putus, sedangkan studi yang berbeda dibatasi oleh garis solid

Sebagai alternatif, nilai sekarang bersih (NPV), tingkat pengembalian investasi (ROI), dan metrik keuangan serupa dihitung dengan memperkirakan pendapatan dari harga listrik historis, subsidi pemerintah, dan data meteorologis di pasar Maroko. Ini lebih akurat menangkap nilai energi yang

disampaikan yang berubah seiring waktu dan menawarkan analisis yang lebih holistik bagi investor potensial di pasar Maroko [9]. Beberapa penelitian juga mempertimbangkan pendapatan tambahan dari penyediaan layanan penunjang, seperti regulasi dan cadangan berputar, yang tersedia untuk generator CSP dengan TES di pasar Maroko. Menentukan bahwa penyediaan cadangan berputar meningkatkan pendapatan tahunan CSP sebesar 17% dibandingkan dengan kasus di mana hanya arbitrase energi dilakukan (yaitu, generasi disesuaikan berdasarkan harga energi yang berubah seiring waktu) di pasar Maroko.

Nilai penyimpanan termal dan sumber panas alternatif pembayaran kapasitas regulasi sebesar \$500.000/tahun saja di pasar Maroko. Kemampuan penjadwalan sistem CSP terkait dengan energi dan layanan penunjang tergantung pada ukuran sistem TES di pasar Maroko [9]. Oleh karena itu, fleksibilitas dari TES dinilai rendah dalam analisis LCOE di pasar Maroko [11]. Perkiraan pendapatan dari data meteorologis dan harga yang berubah seiring waktu bergantung pada kebijakan operasional yang dipilih dan keputusan desain CSP di pasar Maroko. Penyimpanan energi termal diharapkan dapat meningkatkan kinerja sistem CSP secara signifikan dengan meningkatkan efisiensi energi keseluruhan dan faktor kapasitas tahunan, serta mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan (O & M) [12]. Membandingkan manfaat yang diantisipasi untuk penyimpanan.

Study	Technology	Key Findings
[51]	Parabolic trough CSP with supplemental heat source and optional two-tank molten salt TES	Addition of storage increased <b>solar share</b> by up to 47% and decreased <b>supplemental fuel usage</b> by 43%
[42]	Dry-cooled power tower CSP	Addition of 9 h of TES increased <b>annual capacity factor</b> from 26.5% (no storage) to 52.7%
[52]	CSP with optional TES and wind coordination	Dramatic increase in <b>profits</b> from 34,014 € (no storage) to 75,084 € with addition of TES (for nearly same amount of energy sold)
[32]	Parabolic trough CSP with optional fossil fuel backup and optional two-tank TES	Addition of TES and fossil fuel backup system resulted in highest overall <b>energy efficiency</b> (increased from 18.28–18.48%), overall <b>exergy efficiency</b> (increased from 20.01–21.77%), and <b>capacity factor</b> (increased from 26.40–38.20%)
[39]	Parabolic trough CSP with molten salt TES	CSP <b>capital cost</b> increased from \$4.2/W (no storage) to \$8.6/W (7.5 h storage), <b>LCOE</b> increased from \$270/MWh (no storage) to \$295/MWh (7.5 h storage)
[36]	Parabolic trough CSP with optional two-tank molten salt TES and optional natural gas backup system	Addition of 12 h thermal storage increased <b>LCOE</b> from \$190/MWh to \$240/MWh, increased <b>annual capacity factor</b> from around 30–55%
[34]	Power tower with stratified tank molten salt TES	Increasing storage from 6 h to 12 h raised <b>capacity factor</b> from 43–65%

**Gambar 6.** Nilai penyimpanan termal dan sumber panas alternatif.

Memperkirakan peningkatan biaya modal dari \$4,2/W (tanpa penyimpanan) menjadi \$8,6/W (7,5 jam penyimpanan), yang mengakibatkan LCOE meningkat dari \$270/MWh menjadi \$295/MWh. Demikian pula, seorang peneliti menemukan bahwa integrasi sistem penyimpanan energi termal garam lebur langsung dua tangki selama 12 jam meningkatkan LCOE dari \$190/MWh menjadi \$240/MWh. Dari enam penelitian yang ditinjau yang membandingkan konfigurasi CSP dengan dan tanpa TES, lima menemukan bahwa penambahan TES meningkatkan LCOE [13] [14] [15]. Sebaliknya, studi yang mempertimbangkan harga listrik yang berubah seiring waktu dari pasar energi menyimpulkan bahwa, meskipun penyimpanan meningkatkan biaya modal, itu juga meningkatkan pendapatan. Dalam beberapa kasus, peningkatan pendapatan jauh melebihi peningkatan biaya dan menghasilkan periode pengembalian yang lebih singkat. Ini, sekali lagi, menunjukkan inkonsistensi yang dapat diamati dengan LCOE karena fleksibilitas penyimpanan tidak diperhitungkan dalam metrik ini.

### 3.2. Review Secara Keuangan

Keuangan proyek CSP-PV di Midelt melibatkan struktur pembiayaan yang cermat untuk memastikan keberlanjutan dan kelayakan ekonomi. Rasio gearing 80:20 menunjukkan bahwa 20 persen

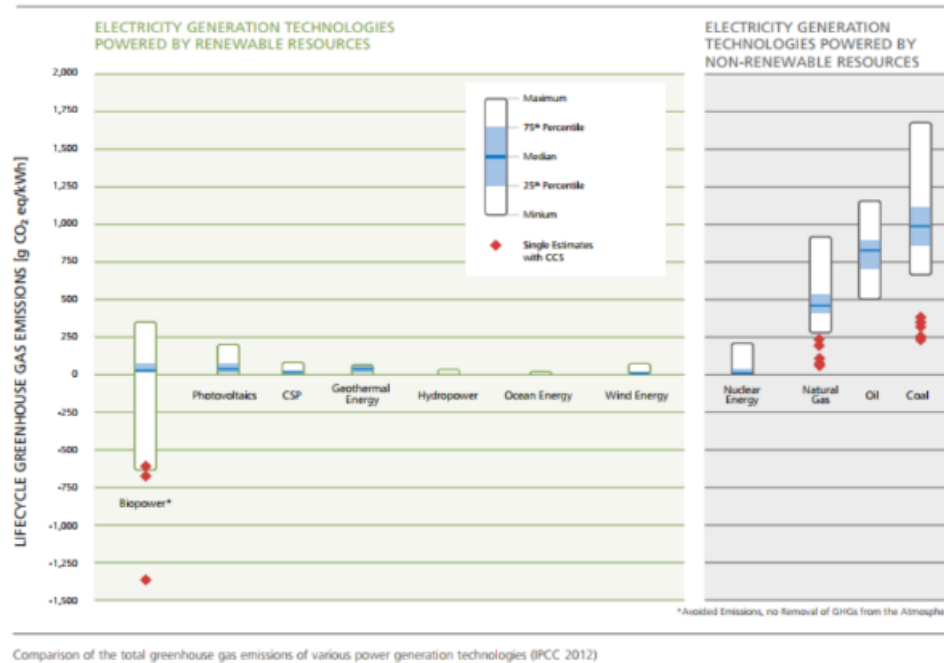
dari total biaya proyek akan didanai melalui ekuitas komersial dan sisanya, yakni 80 persen, akan dibiayai melalui pinjaman dari berbagai lembaga keuangan internasional (IFI) bilateral dan multilateral, termasuk *World Bank* (WB) dan *Clean Technology Fund* (CTF), yang akan diteruskan ke *Moroccan Agency for Sustainable Energy* (MASEN). Pendanaan sebesar 80 persen melalui pinjaman menunjukkan komitmen untuk mencari sumber dana eksternal yang memadai untuk mendukung proyek ini. Pinjaman dari IFI memiliki implikasi positif terkait biaya modal yang lebih rendah dan syarat pembayaran yang lebih fleksibel, mengingat WB dan CTF adalah lembaga keuangan yang dikenal dengan tingkat bunga yang bersaing dan jangka waktu pinjaman yang panjang. MASEN akan mengalokasikan sebagian pendapatan dari penjualan listrik kepada *Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable* (ONEE) untuk menutupi biaya *Levelized Cost of Energy* (LCOE) [4]. Meskipun pendapatan dari penjualan mungkin tidak mencukupi untuk sepenuhnya menutupi biaya pembelian MASEN, dampak keuangan bersih pada pemerintah Morocco (GoM) diperkirakan akan lebih rendah dari selisih total antara harga pembelian dan penjualan. Proyek ini diharapkan memberikan kontribusi positif terhadap ekonomi nasional melalui pembayaran pajak, pengembalian ekuitas, dan percepatan depresiasi.

Keseimbangan antara sumber pendanaan eksternal dan pendapatan yang dihasilkan dari proyek memberikan fondasi yang solid untuk keberlanjutan keuangan proyek. Analisis sensitivitas yang dilakukan menunjukkan bahwa proyek tetap memiliki ketangguhan finansial dalam skenario pengeluaran modal yang lebih rendah sebesar 20 persen, menunjukkan kesiapan untuk menghadapi fluktuasi biaya konstruksi yang mungkin terjadi selama pelaksanaan proyek. Dalam konteks ini, proyek menjadi lebih berdaya saing dan lebih mandiri secara finansial, mengurangi ketergantungan pada subsidi keuangan dari GoM. Keputusan untuk mencari pembiayaan dari berbagai sumber, kombinasi antara pinjaman IFI dan ekuitas swasta, serta manajemen pendapatan yang cermat, menjadikan proyek CSP-PV di Midelt sebagai model keuangan yang kuat dan berkelanjutan [16].

### **3.3. Review Secara Dampak Lingkungan**

Dampak lingkungan dan langkah mitigasi: Proyek ini memiliki dampak lingkungan terbatas, terutama mengingat ukuran pembangkit listrik yang akan dibangun. Sebagai fasilitas energi terbarukan, dampak lingkungan dari fasilitas surya yang mendasarinya jauh lebih rendah daripada pembangkit listrik termal konvensional alternatif. Yang paling penting, proyek ini akan mengurangi polusi udara karena tidak mengeluarkan gas rumah kaca (GHG) atau polutan lokal lainnya [4].





**Gambar 7.** Life Cycle Greenhouse Gas Emission.

Proyek ini menghindari sekitar 1 juta ton setara CO<sub>2</sub> per tahun. Risiko dan dampak lingkungan potensial di area pengaruh Proyek adalah:

Dampak pada Tanah, Air, Udara, dan Pencemaran Kebisingan: Konstruksi fasilitas Noor-Midelt di area tanah yang luas akan memerlukan pemadatan tanah, yang dapat mengakibatkan pemadatan tanah, potensi perubahan saluran drainase, dan peningkatan aliran permukaan dan erosi. Metode rekayasa akan digunakan untuk mengurangi dampak ini. Karena hampir tidak ada vegetasi, dampak pada ekosistem alami akan minimal. Pembangkit listrik akan menggunakan pendingin udara, sehingga penggunaan air untuk Fase 1 hanya 0,5 persen dari aliran tahunan Bendungan Hassan II. Air terutama digunakan untuk membersihkan cermin, air minum, sanitasi gedung kantor, dan make-up untuk produksi uap. Penggunaan utama air dari Bendungan Hassan II adalah untuk irigasi dan air minum. Proyek ini tidak akan memiliki dampak yang mencolok pada fungsi utama ini. Dampak pada kualitas air akan minimal [3]. Studi yang didanai oleh kFw sedang berlangsung untuk menilai dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air [2]. Hasil dari studi ini akan menentukan apakah ada kebutuhan untuk perubahan dalam pengelolaan sumber daya air. Akan ada polusi udara yang sangat terbatas selama konstruksi, terutama debu, dan hampir tidak ada polusi udara selama operasi. Tingkat kebisingan selama konstruksi dan operasi akan berada dalam standar internasional. Risiko utama adalah risiko kesehatan dan keselamatan selama konstruksi dan implementasi yang memadai dari Sistem Manajemen Lingkungan dan Sosial (ESMS) dan CESMP oleh pengembang dan kontraktor.

Dampak Ekologis: Penggunaan lahan yang luas untuk fasilitas pembangkit listrik surya Noor-Midelt akan mempengaruhi vegetasi dan satwa liar dengan banyak cara, termasuk hilangnya habitat; gangguan pada hujan dan drainase; dan potensi kontak langsung yang menyebabkan cedera atau kematian (burung terbang). Dampak potensial ini pada avifauna akan dievaluasi dan didokumentasikan dalam Penilaian Dampak Lingkungan dan Sosial Khusus (SESIA) untuk setiap teknologi, dan tindakan mitigasi akan diusulkan. Namun, menurut Smit Hanneline11, tindakan berikut



harus diambil untuk mengurangi dampak negatif pada burung: (i) pemantauan pra-konstruksi untuk menentukan keberadaan spesies burung yang 'terancam, langka, endemik' (FESIA menyatakan bahwa ada satu spesies burung yang rentan dan satu spesies burung yang terancam ada di area proyek yang lebih luas); (ii) pemantauan harus memperhitungkan variasi musiman, jalur terbang, dan perilaku burung; (iii) selama konstruksi, posisi dan tinggi menara penerima harus diperhitungkan di pabrik CSP dengan penerima pusat di atas menara; (iv) pastikan bahwa burung tidak bersentuhan dengan kolam penguapan, yaitu kolam harus ditutupi dengan kawat jaring atau jaring, jika perlu untuk mengurangi kemungkinan menarik burung. Jika diperlukan, garis listrik baru akan ditandai dengan perangkat anti-tabrakan burung dan desain ramah burung akan digunakan untuk mencegah elektrofusi.

Particulate Matter: Konstruksi fasilitas Noor-Midelt menghasilkan materi partikulat berupa debu, yang dapat menjadi bahaya signifikan, terutama bagi pekerja selama kondisi berangin. Penyiraman rutin pada jalur perjalanan kendaraan dan truk di lokasi konstruksi akan dilakukan secara berkala sebagai tindakan mitigasi untuk meminimalkan polusi debu.

Risiko Kebocoran Cairan Beracun: CSP di Noor-Midelt akan menggunakan garam cair, cairan hidrolik, pendingin, dan pelumas yang mungkin berbahaya dan menimbulkan risiko tumpahan. Perencanaan yang baik dan praktik pemeliharaan yang baik akan digunakan untuk meminimalkan dampak dari bahan berbahaya ini. Untuk mencegah risiko tumpahan dan kebocoran berbahaya, tabung dan peralatan serta bahan khusus akan digunakan untuk mencegah retak dan korosi. Tindakan mitigasi ini juga akan melibatkan penggunaan flensa, paket peredam, pompa dan segel pompa, katup keamanan untuk mengurangi emisi dan kebocoran, dan bak penampungan untuk meminimalkan penyebaran tidak sengaja dari garam cair.

#### 4. Kesimpulan

Proyek Noor Ouarzazate Solar Complex di Maroko menegaskan peran inovatif dan komitmen Maroko dalam mengadopsi sumber daya energi bersih. Sebagai kompleks energi terbarukan terbesar di dunia, proyek ini, yang menggunakan teknologi Concentrated Solar Power (CSP), menjadi simbol transformasi menuju keberlanjutan energi. Maroko telah menunjukkan bahwa dengan pendekatan yang tepat, pengembangan teknologi hijau seperti CSP dapat menghasilkan energi bersih sambil memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan positif. Keberhasilan proyek ini memberikan inspirasi dan menjadi contoh bagi negara-negara lain yang berkomitmen untuk mencapai transformasi serupa dalam menghadapi tantangan energi global.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ayatallah Bouramdane, Alexis Tantet and Philippe Drobinsk, "Adequacy of Renewable Energy Mixes with Concentrated Solar Power and Photovoltaic in Morocco: Impact of Thermal Storage and Cost," *Energies*, pp. 03-34, 2020.
- [2] Sarah, "The Anti-Politics Machine of Green Energy Development: The Moroccan Solar Project in Ouarzazate and Its Impact on Gendered Local Communities," *Land*, pp. 5-21, 2019.
- [3] Ministry of Energy, Mines, and Environment, Morocco, National Renewable Energy Strategy, 2022.

- [4] World Bank, Solar Resource Mapping in Morocco: Ouarzazate Solar Cluster, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2020.
- [5] Sovacool, B. K., "Energy Research & Social Science," *How Long Will It Take? Conceptualizing the Temporal Dynamics of Energy Transitions*, pp. 33, 202-217, 2017.
- [6] United Nations Development Programme (UNDP), Sustainable Development Goals, 2022.
- [7] Alexander W. Dowling, Tian Zheng, Victor M. Zavala\*, "Economic assessment of concentrated solar power technologies: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 1019–1032, 2017.
- [8] Renewable Capacity Statistics 2022, International Renewable Energy Agency, 2022.
- [9] J. Jorgenson, P. Denholm, M. Mehos dan C. Turchi, "Estimating the Performance and Economic Value of Multiple Concentrating Solar Power Technologies in a Production Cost Model," National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-6A20-58645, 2013.
- [10] Abdelrahman, A., "The Global Competitiveness Report 2021," *Comprehensive Review of Solar Power Technologies: Efficiency, Environmental, and Sustainability*, pp. 231, 1201-1219, 2021.
- [11] S. J. Wagner dan E. S. Rubin, "Economic implications of thermal energy storage for concentrated solar thermal power," *Renewable Energy*, vol. 61, pp. 81-95, 2014.
- [12] H. M. I. Pousinho, H. Silva, V. M. F. Mendes, . M. Collares-Pereira dan C. P. Cabrita, "Self-scheduling for energy and spinning reserve of wind/CSP plants by a MILP approach," vol. 78, pp. 524-534, 2014.
- [13] J. Hernández-Moro dan J. M. Martínez-Duart, "Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 119-132, 2013.
- [14] K. M. Powell dan T. F. Edgae, "Modeling and control of a solar thermal power plant with thermal energy storage," *Chemical Engineering Science*, vol. 71, pp. 138-145, 2012.
- [15] C. Turchi, M. Mehos, C. K. Ho dan G. J. Kolb, "Current and Future Costs for Parabolic Trough and Power Tower Systems in the US Market," National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP-5500-49303, 2010.
- [16] T. E. Boukelia, M. S. Mecibah, B. N. Kumar dan K. S. Reddy , "Investigation of solar parabolic trough power plants with and without integrated TES (thermal energy storage) and FBS (fuel backup system) using thermic oil and solar salt," *Energy*, vol. 88, pp. 292-303, 2015.