

Bab 2.

Tinjauan Pustaka

Jumlah penggunaan telepon seluler meningkat pesat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data *statista.com* jumlah pengguna *handphone* di Indonesia mencapai 193.4 juta pengguna ditahun 2019 dan akan terus berkembang [4]. Untuk menunjang layanan ini maka dibutuhkan penambahan jaringan *Base Transceiver System* (BTS) [5]. Namun, daerah pedesaan di negara berkembang seringkali kurang terlayani karena tingginya biaya pembangunan infrastruktur telekomunikasi dan belum tersedianya sumber listrik *on grid*. Di Indonesia, populasi pedesaan merupakan bagian yang substansial dari total populasi dan salah satu sumber perekonomian negara. Ketersediaan sumber listrik menjadi kendala dalam pembangunan BTS di daerah terpencil. Kendala ini sama terjadi di beberapa negara seperti di Ghana [6], Nigeria [7], Afrika Selatan [8], Ethiopia [9], India [10-11], Pakistan [12], Iran [13], China [14], Malaysia [15] bahkan termasuk Indonesia [3][5][16-17].

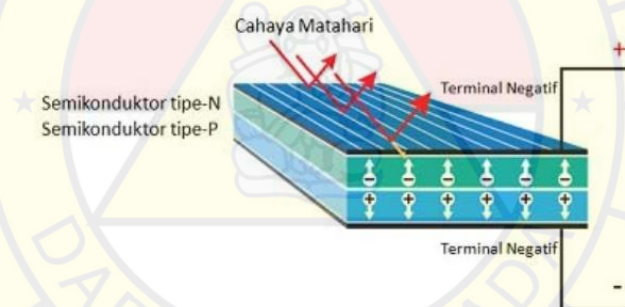
Dian Eka et al dan A Basit et al dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa untuk sumber energi listrik BTS di daerah terpencil, operator telekomunikasi Indonesia saat ini menggunakan genset [3][17]. Biaya operasional akan menjadi mahal jika menggunakan genset diesel karena membutuhkan solar yang banyak, harga solar yang digunakan juga harga solar industri dan biaya transport yang mahal untuk pengiriman solar ke daerah terpencil. Penggunaan genset juga menghasilkan emisi karbon. Naziruddin dan kawan-kawan mengungkapkan bahwa penggunaan sumber energi terbarukan bisa menjadi solusi untuk pembangunan BTS di daerah terpencil di Indonesia karena biaya operasional lebih murah dan bebas dari emisi karbon [16].

Pengoptimalan sumber energi terbarukan yang ada di lokasi BTS bisa membuat biaya operasional menjadi lebih murah. Sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk sumber energi listrik BTS antara lain sinar matahari, angin, air dan biomassa. Saat ini umumnya yang di pakai adalah sinar matahari dan angin. Bahkan dengan mengkombinasikan sumber energi terbarukan di lokasi BTS bisa lebih menghasilkan energi listrik yang lebih optimal.

2.1 Sumber Energi Terbarukan Sebagai Sumber Listrik BTS

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah proses mengubah sinar matahari menjadi listrik yang dapat digunakan. Ini dilakukan dengan menggunakan sel fotovoltaik (PV), yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika sinar matahari menerpa sel-sel ini, ia menggerakkan elektron dalam material, menyebabkannya mengalir dan menciptakan arus listrik. Proses ini dikenal sebagai efek fotovoltaik.



Gambar 2.1 Proses mengubah sinar matahari menjadi listrik pada fotovoltaik

Fotovoltaik dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dan disebut Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Fotovoltaik digunakan sebagai sumber tenaga listrik untuk perumahan, pergedungan, area komersil dan lainnya. Fotovoltaik umumnya di *install* di atas atap atau di area yang terbuka.

Fotovoltaik tidak bisa bekerja sepanjang waktu. Karena fotovoltaik bekerja berdasarkan sinar matahari maka fotovoltaik bisa berfungsi selama ada sinar matahari dan efektifnya hanya sekitar empat jam.



Gambar 2.2 PLTS atap



Gambar 2.3 PLTS Area terbuka

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit listrik tenaga bayu memanfaatkan angin untuk menghasilkan listrik. Proses ini dilakukan melalui penggunaan turbin angin, yaitu mesin besar dengan bilah yang berputar tertiuap angin, memutar generator yang menghasilkan listrik. Prosesnya dimulai dengan angin bertiup di atas bilah turbin angin. Ini menyebabkan bilah berputar, yang pada gilirannya memutar poros yang terhubung ke generator. Generator menggunakan energi putaran untuk menghasilkan energi listrik, yang kemudian dikirim ke jaringan listrik untuk didistribusikan.

Jumlah listrik yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada sejumlah faktor, termasuk kecepatan angin, ukuran bilah, dan efisiensi generator. Turbin angin biasanya ditempatkan di daerah dengan kecepatan angin tinggi, seperti di puncak bukit atau di lapangan terbuka, untuk memaksimalkan jumlah energi yang dapat dihasilkan. Rumus daya yang di hasilkan oleh turbin angin adalah [15][16]:

$$P_w = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times v^3$$

Dimana:

P_w : Daya angin (watt)

ρ : Massa jenis udara (Kg/m^3)

C_p : Koefisien performansi turbin angin

A : Luas daerah sapuan angin (m^2)

v : Kecepatan angin (m/s)

Fisikawan Jerman Albert Betz pada tahun 1919 menyatakan bahwa "bahkan dengan konversi energi angin yang ideal, daya maksimum yang dapat ditransfer hanya 0.593 (59.3%) atau 16/27 dari total daya angin." Ini dikenal sebagai Hukum Betz. Dimana koefisien daya teoritis ideal (C_p) [15].

Russel McKenna et.al dalam penelitiannya menjelaskan bahwa jarak antar turbin angin adalah 4-6 kali diameter bilah [18].

Ada 2 jenis turbin angin:

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)

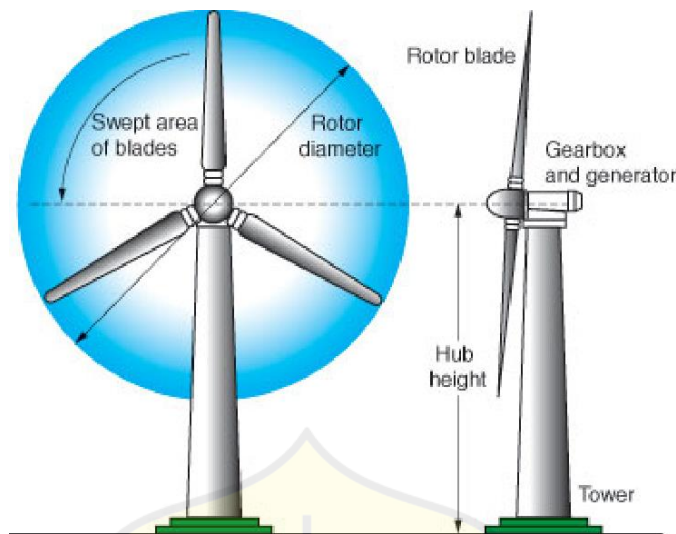
Turbin angin sumbu horizontal mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal terdiri dari Sudu (*blade*), ekor (*tail*), tiang penyangga (*tower*). dan alternator.

Kelebihan dari turbin angin sumbu horizontal antara lain:

- a) Mampu memproduksi listrik yang tinggi.
- b) Cocok pada daerah tipe angin sedang dan tinggi.

Kekurangan dari turbin angin sumbu horizontal adalah:

- a) Membutuhkan konstruksi yang besar dan tinggi.
- b) Membutuhkan kontrol sebagai mekanisme untuk mengarahkan *blade* ke arah angin.
- c) Instalasi yang cukup rumit.



Gambar 2.4 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Rumus luas area sapuan HAWT:

$$A = \pi r^2$$

Dimana:

A : Luas daerah sapuan angin (m^2)

r : Jari-jari rotor (m)

2. Vertical Axis Wind Turbin (VAWT).

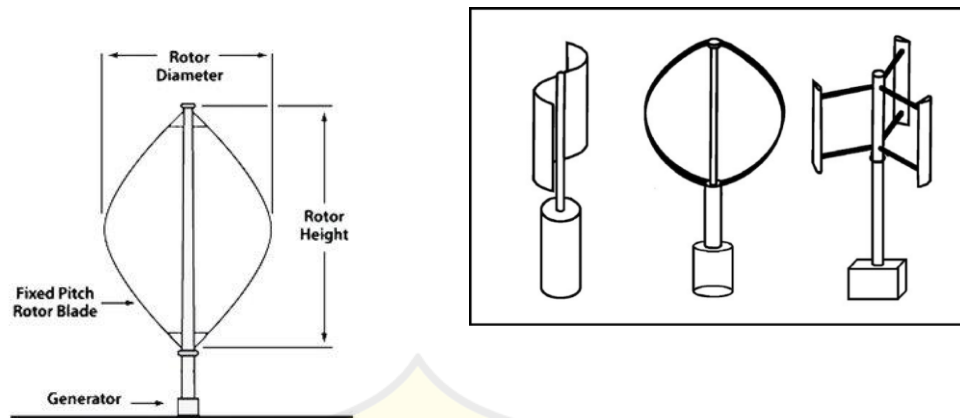
Turbin angin sumbu vertikal mempunyai sudut yang berotasi sejajar ke tanah. Turbin angin poros vertikal atau yang lebih dikenal memiliki ciri utama yaitu keberadaan poros tegak lurus terhadap arah aliran angin atau tegak lurus terhadap permukaan tanah.

Kelebihan turbin angin sumbu vertikal antara lain:

- a) Turbin tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik.
- b) Dapat digunakan ditempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi.
- c) Pemeliharaan yang lebih mudah.

Kekurangan turbin angin sumbu vertikal adalah:

- a) Daya listrik yang rendah.



Gambar 2.5 Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

Rumus luas area sapuan VAWT:

$$A = D \times h$$

Dimana:

A : Luas daerah sapuan angin (m^2)

D : Diameter turbin (m)

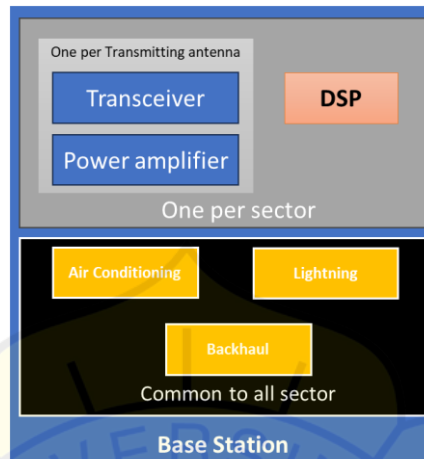
h : Tinggi blade (m)

2.2 Base Transceiver System (BTS)

Base Transceiver System (BTS) adalah perangkat dari jaringan seluler yang memfasilitasi komunikasi nirkabel antara perangkat seluler dan infrastruktur jaringan. BTS terdiri dari 3 segment utama: *transmission equipment (TE)*, *cooling equipment*, dan *auxiliary equipment (AE)* [19]. Sesuai Gambar 2.6 dimana TE terdiri dari *Transceiver (Tx)*, *Power Amplifier (PA)*, dan *Digital Signal Processing (DSP)*. TE dikonfigurasi per sektor. Sedangkan *cooling equipment* dan *auxiliary equipment* mencakup semua sektor di dalam BTS.

Komponen frekuensi radio (RF) utama dari BTS; *transceiver* memfasilitasi transmisi dan penerimaan sinyal antara perangkat seluler dan BTS. Ini mengubah sinyal digital yang dihasilkan oleh peralatan pemrosesan pita dasar menjadi sinyal analog. Demikian pula *receiver*, ini mengubah sinyal analog yang diterima dari

perangkat seluler menjadi sinyal digital untuk diproses lebih lanjut. Fungsi antenna adalah mengirim dan menerima sinyal RF. Antena dipasang dimenara atau atap untuk memaksimalkan kekuatan dan jangkauan sinyal.



Gambar 2.6 Blog diagram BTS

Perangkat pemrosesan *baseband* merupakan otak dari BTS. Perangkat melakukan modulasi sinyal, demodulasi, *coding-decoding*, koreksi kesalahan, dan perutean lalu lintas suara dan data. Peralatan ini berisi *Digital Signal Processing* (DSP). Mikroprosesor, serta perangkat keras dan perangkat lunak khusus lainnya.

Link backhaul menghubungkan BTS ke jaringan utama operator seluler, membawa *traffic* suara dan data antara BTS dan perutean jaringan. Bergantung pada penyebaran jaringan dan pertimbangan geografis, interkoneksi ini dapat berupa kabel. misalnya serat optik atau tembaga atau jaringan nirkabel, misalnya *micro wave* (MW) atau satelit.

2.3 Baterai

Baterai adalah sistem mekanis yang menggunakan proses kimia untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik. Baterai terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia. Dua elektroda — anoda (elektroda negatif) dan katoda (elektroda positif), keduanya terendam dalam larutan elektrolit, membentuk setiap sel. Elektrolit memudahkan ion untuk bergerak diantara elektroda. yang biasanya terbuat dari bahan yang berbeda. Ketika baterai dihubungkan ke sirkuit, reaksi kimia didalam sel menyebabkan elektron mengalir dari anoda ke katoda melalui sirkuit eksternal

sebagai hasilnya. Aliran elektron menghasilkan arus listrik yang dapat dimanfaatkan untuk menyalakan perangkat yang terpasang pada baterai. Satuan kapasitas baterai adalah miliampere-jam (mAh) atau ampere-jam (Ah). Baterai yang dapat digunakan kembali dapat digunakan kembali dengan mengisi daya dengan arah yang berlawanan dengan reaksi kimia.

Jenis baterai yang berbeda menggunakan bahan kimia yang berbeda, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya sendiri. Berikut adalah beberapa varietas khas:

1. Baterai Alkalin: Mereka memiliki elektrolit alkalin dan anoda seng dan katoda mangan dioksida.
2. Baterai Lithium-ion: Dibandingkan dengan baterai konvensional, baterai lithium-ion memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi, tingkat pengosongan sendiri yang lebih rendah, dan masa pakai yang lebih lama. Senyawa lithium adalah komponen aktif dalam elektroda baterai lithium-ion.
3. Baterai Asam Timbal: Sering terlihat di mobil, baterai ini menggabungkan elektrolit asam sulfat dengan anoda timbal dan katoda timbal dioksida. Mereka sering digunakan untuk menyalakan mesin dan memasok daya cadangan dan diakui karena kapasitasnya untuk menghasilkan arus tinggi.

2.4 Rectifier, MPPT dan Inverter

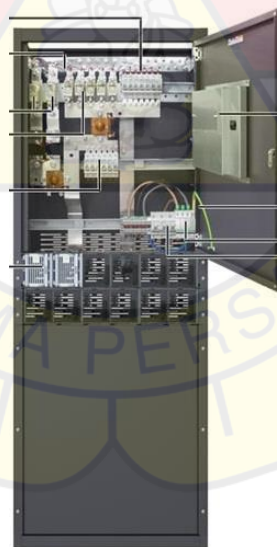
Rectifier adalah komponen elektronik yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dalam banyak sistem kelistrikan dan catu daya yang membutuhkan daya DC, ini merupakan komponen yang sangat penting. Tujuan utama *rectifier* adalah untuk membatasi arah gerak gelombang AC yang berlawanan dengan membiarkan arus mengalir hanya dalam satu arah. Dioda semikonduktor sering digunakan oleh *rectifier* sebagai bagian utamanya untuk melakukan ini.

Rectifier adalah komponen penting dalam berbagai aplikasi, seperti pengisi daya baterai. sirkuit *rectifier* dalam sistem industri, dan sumber daya untuk perangkat elektronik. Mereka digunakan untuk mengubah daya AC dari outlet menjadi listrik

DC yang dibutuhkan gadget elektronik. Untuk memberikan voltase yang stabil dan konsisten untuk pengoperasian perangkat yang sesuai, pengaturan dan penyaringan tambahan dapat diterapkan pada keluaran DC yang diperbaiki. *Site* BTS saat ini umumnya menggunakan perangkat *oiutdoor*, oleh karena itu *rectifier* di *install* di dalam kabinet *outdoor*.



Gambar 2.7 Contoh modul *rectifier*



Gambar 2.8 Kabinet *rectifier*

Teknologi fotovoltaik semakin berkembang. khususnya untuk memaksilmalkan tingkat efisiensi fotovoltaik. Efisiensi fotovoltaik dipengaruhi oleh banyak hal, seperti radiasi matahari, cuaca, temperatur, kondisi fotovoltaik dan optimasi MPPT. *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) adalah alat yang berfungsi untuk mengontrol daya keluaran dari fotovoltaik. Penggunaan MPPT pada fotovoltaik

memungkinkan fotovoltaik beroperasi pada titik daya maksimumnya, atau lebih tepatnya, tegangan dan arus optimal untuk keluaran daya maksimum. Salah satu cara untuk mengoptimalkan MPPT adalah dengan cara mengatasi masalah osilasi [20]. MPPT juga bisa digunakan untuk hibrid fotovoltaik dan turbin angin karena MPPT bisa berfungsi untuk konversi tegangan AC ke DC [21].



Gambar 2.9 Contoh MPPT

Inverter adalah bagian dari teknologi yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi DC atau dari DC ke AC. Inverter memungkinkan penggunaan sumber daya DC untuk mengoperasikan peralatan bertenaga AC atau sumber daya AC untuk mengoperasikan perangkat bertenaga DC. Mereka melakukannya dengan mengubah bentuk arus listrik dari DC ke AC atau AC ke DC.

Inverter beroperasi sesuai dengan gagasan peralihan elektronik. Tegangan input DC sering diubah menjadi bentuk gelombang AC menggunakan berbagai perangkat listrik, termasuk transistor, dioda, kapasitor, dan transformator, serta rangkaian kontrol.

2.5 Power System pada BTS

BTS membutuhkan sumber energi listrik sebagai sumber dayanya. Pada umumnya sumber energi listrik berasal dari sumber listrik *on-grid* atau PLN. Tetapi untuk daerah pedesaan yang terpencil pada umumnya belum ada PLN, maka BTS menggunakan sumber listrik *off-grid*. Ada beberapa penelitian yang meneliti sumber listrik *off-grid* untuk BTS, Wisnu Wibowo et al. Dian Eka et al. Mohammed S. Khesbak et al meneliti sinar matahari sebagai sumber listrik pada BTS [3], [5], [22]. Pada penelitian mereka menggunakan fotovoltaik

sebagai perangkat sumber listrik BTS dan baterai sebagai sumber listrik cadangan. Siow Chun Lim et al melakukan penelitian angin sebagai sumber energi terbarukan untuk menjadi sumber energi listrik *off-grid* BTS [15]. Mereka menggunakan turbin angin sebagai perangkat sumber listriknya.

Tabel 2.1 Penelitian sumber energi listrik BTS pedesaan

Nama Penulis	Negara	Tahun Penelitian	Subyek Penelitian	Metodologi	Obyek penelitian
Wisnu W Wibowo et al	Indonesia	2018	PV-Baterai	Analisis kebutuhan daya 1 site	1 site
Dian Eka et al	Indonesia	2020	PV-Baterai	Analisis tekno-ekonomi 1 site	1 site
Mohammed S. Khesbak et al	Jerman	2021	PV-Baterai	Analisis optimasi penggunaan PV untuk 1 site	1 site
Siow Chun Lim et al	Malaysia	2019	Turbin angin	Analisis kebutuhan daya typical 11 site secara acak	11 site acak
Naziruddin et al	Indonesia	2018	Hibrid PV-Turbin angin	Analisis hibrid 1 site	1 site
Hamed Soheili et al	Iran	2022	Kombinasi hibrid PV-WT-Baterai	Rancangan optimasi 1 site menggunakan MATLAB	1 site
David Quansah et al	Ghana	2017	Hibrid PV-Genset	Analisis tekno-ekonomi 1 site menggunakan Homer	1 site
Cyprian Oton et al	Nigeria	2020	Kombinasi hibrid Genset-PV-Baterai	Analisis tekno-ekonomi 1 site menggunakan Homer	1 site
Saikhrisna Goud et al	India	2017	Hibrid PV-Baterai-Genset	Analisis menggunakan Homer	1 site
A Basit et al	Indonesia	2021	Hibrid PV-Genset	Analisis optimasi penggunaan hibrid PV-genset menggunakan Homer untuk 1 site	1 site
Mulualem et al	Ethiopia	2017	Kombinasi hibrid Genset-PV-WT-Baterai	Optimalisasi biaya 1 site menggunakan Homer	1 site
Tshilidzi Ramunenyiwa et al	Afrika Selatan	2020	Kombinasi hibrid Genset-PV-WT-Baterai	Analisis tekno-ekonomi 1 site menggunakan Homer	1 site
Huzaifa Rauf et al	Pakistan	2019	Kombinasi hibrid PV-listrik on grid. genset. baterai	Perbandingan kombinasi PV-listrik on grid. genset. baterai	1 site
NR Deevala et al	India	2018	Hibrid PV-Listrik on grid-Baterai-Turbin angin	Analisis menggunakan Homer	21 site acak

Banyak penelitian yang menggunakan sumber energi listrik hibrid sebagai sumber energi listrik untuk BTS pedesaan. Baik sumber listrik menggunakan genset dan sumber energi terbarukan maupun hibrid antar energi terbarukan. Naziruddin et al dan Hamed Soheili et al melakukan penelitian menggunakan hibrid sinar matahari dan angin sebagai sumber

energi listrik BTS [13]. [16]. Penelitian tersebut menggunakan perangkat hibrid fotovoltaik dan turbin angin. Hamed Soheili et al menambahkan baterai sebagai sumber energi cadangan. Hamed Soheili et al menggunakan *software* MATLAB untuk optimasi sumber energi listrik nya. David Quansah et al, Cyprian Otonet et al, Saikhrisna Goud et al, A Basit et al melakukan penelitian fotovoltaik dan genset sebagai sumber energi listrik pada BTS [6]. [7]. [10]. [17]. Penelitian Cyprian Otonet et al dan Saikhrisna Goud et menggunakan baterai sebagai sumber listrik cadangan. Penelitian David Quansah et al, Cyprian Otonet et al, Saikhrisna Goud et al menggunakan *software* HOMER untuk optimasi sumber energi listrik. Mulualet et al dan Tshilidzi Ramunenyiwa et al dalam penelitiannya menggunakan fotovoltaik, turbin angin, genset sebagai sumber energi listrik pada BTS dan baterai sebagai sumber listrik cadangan [8], [9]. Mulualet et al dan Tshilidzi Ramunenyiwa et al juga menggunakan *software* HOMER dalam optimasi sumber energinya.

Beberapa penelitian lain juga melakukan penelitian sumber listrik BTS *on-grid* yang dikombinasikan dengan genset dan sumber energi terbarukan. Huzaifa Rauf et al dalam penelitiannya menggunakan listrik *on-grid*, genset, fotovoltaik sebagai sumber energi listrik dan baterai sebagai cadangan [12]. NR Devala et al menggunakan listrik *on-grid*. Fotovoltaik, turbin angin sebagai sumber energi listrik BTS dan baterai sebagai sumber listrik cadangan [11].

Ada beberapa jenis sumber listrik *off-grid* yang di gunakan oleh BTS berdasarkan asal sumber energi dari sumber listrik nya: genset diesel, energi terbarukan, hibrid genset diesel – energi terbarukan, hibrid energi terbarukan.

2.5.1 Genset diesel

BTS di daerah terpencil di Indonesia saat ini umumnya menggunakan genset diesel. Konfigurasi *power system* sesuai gambar 2.10. Hal ini karena penggunaan sumber energi terbarukan belum menjadi prioritas oleh operator telekomunikasi Indonesia.

2.5.2 Energi terbarukan

Berdasarkan penelitian oleh Mohammed S Khesbak et.al, bahwa penggunaan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi listrik BTS dapat mengurangi biaya operasional, khususnya jika kita bisa mengoptimalkan design sumber energinya [22]. Dalam penelitiannya Mohammed S Khesbak menggunakan fotovoltaik sebagai sumber energi listrik sesuai Gambar 2.11.

Konfigurasi fotovoltaik sebagai sumber energi listrik, saat ini sudah di gunakan oleh salah satu operator telekomunikasi di Indonesia.

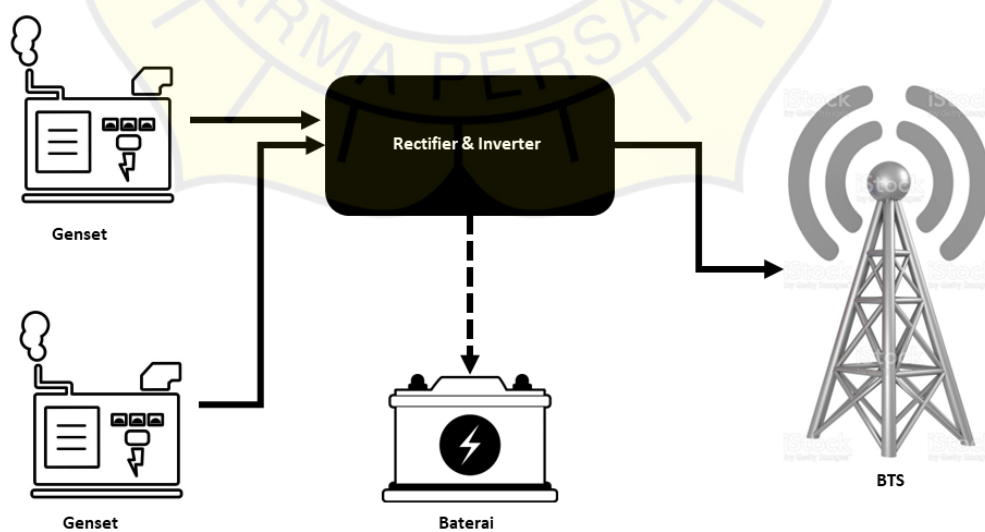
2.5.3 Hibrid genset diesel – Energi terbarukan

Penelitian David Quansah et.al dan Saikhrisna Goud et.al berkesimpulan bahwa menggunakan sumber listrik hibrid genset diesel – energi terbarukan dapat mengurangi biaya operasional dan juga emisi karbon [6][10]. Dalam penelitiannya. David Quansah et.al dan Saikhrisna Goud et.al menggunakan fotovoltaik sebagai sumber energi terbarukannya.

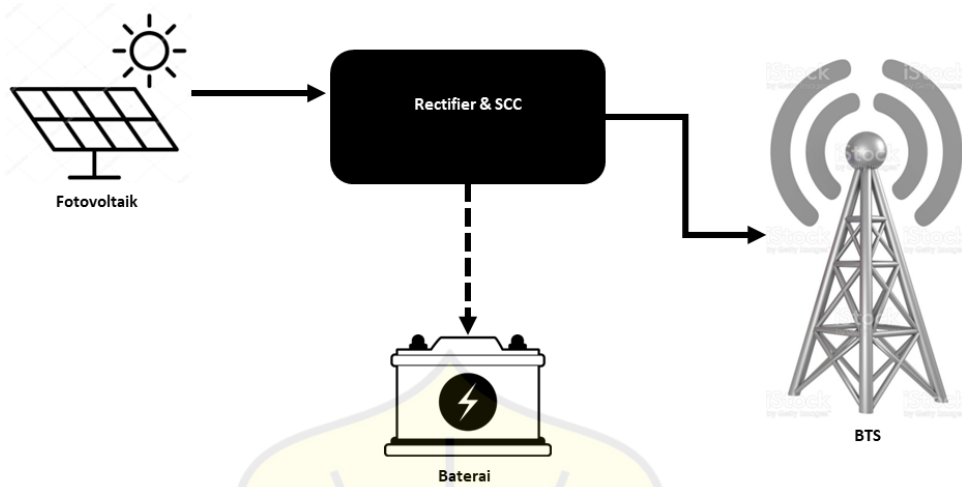
Konfigurasi sumber energi listrik hibrid genset – fotovoltaik seperti pada Gambar 2.12 sudah dilakukan di beberapa *site* BTS oleh operator telekomunikasi Indonesia. Konfigurasi ini dianggap aman dalam operasi pemeliharaan karena sumber energi fotovoltaik yang sifat nya *intermittent* dapat di *back up* oleh genset diesel.

2.5.4 Hibrid energi terbarukan

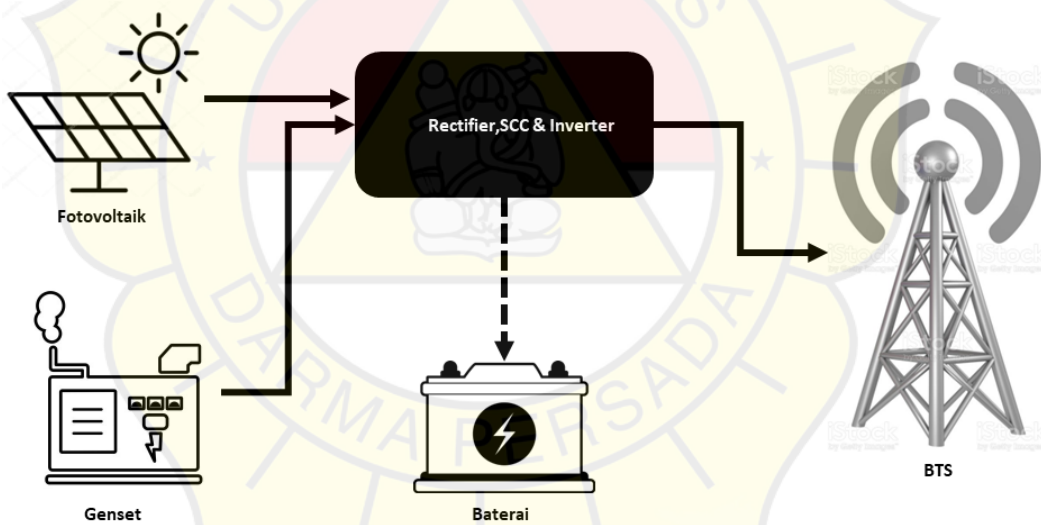
Dalam penelitian yang dilakukan Rajvir Kaur et.al, Eri Widiyanto et.al dan Cecep Mulyadi menjelaskan penggunaan hibrid sumber energi terbarukan adalah untuk mendapatkan sumber energi yang ramah lingkungan, bebas dari emisi karbon, biaya operasional yang murah, mengoptimalkan potensi sumber energi yang ada dan memastikan pasokan daya yang andal [23][24][25]. Konfigurasi *power system* sesuai gambar 2.13



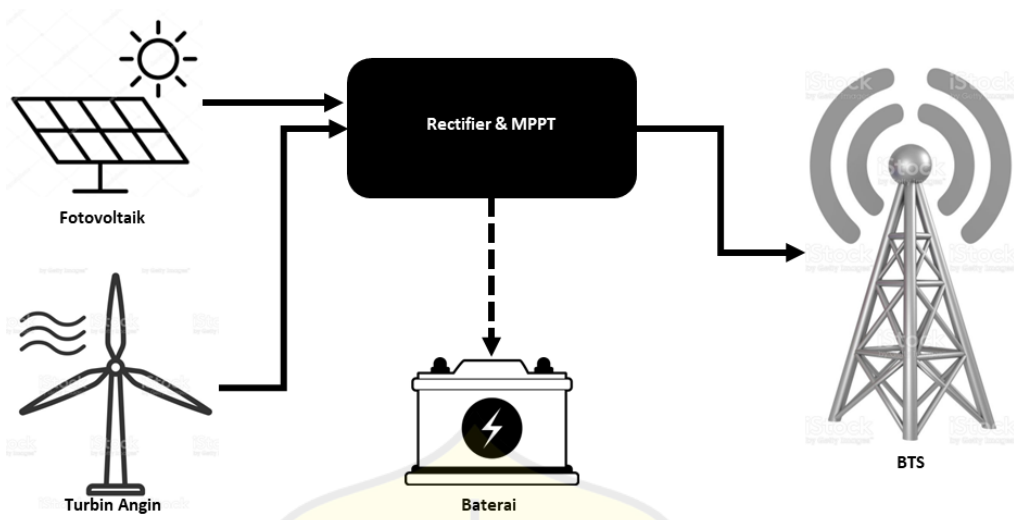
Gambar 2.10 Konfigurasi sumber energi listrik BTS menggunakan genset diesel



Gambar 2.11 Konfigurasi sumber energi listrik BTS menggunakan fotovoltaik



Gambar 2.12 Konfigurasi sumber energi listrik BTS menggunakan hibrid genset diesel - fotovoltaik



Gambar 2.13 Konfigurasi sumber energi listrik BTS menggunakan hibrid fotovoltaik – turbin angin