

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian telah dilakukan untuk menemukan sumber energi terbarukan. Berikut ini merupakan rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan skripsi ini, diantaranya:

Hakim, Muhammad Fahmi (2017) Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, melakukan penelitian tentang Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik. Penelitian ini bertujuan untuk kebutuhan energi listrik yang berasal dari energi non-terbarukan semakin meningkat setiap tahunnya. Jadi ada Upaya harus dilakukan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan ketergantungan pada listrik dari PLN. Salah satu cara praktis dan mudah adalah mendesain panel surya atap di atas rumah. Berdasarkan perhitungan dan desainnya, panel surya yang dibutuhkan sebanyak lima panel berdaya 275 WP, berkapasitas *solar charge controller* yang digunakan pada 85 A, dibutuhkan empat baterai 12 V 230 Ah, inverter memiliki kekuatan DC sampai 1800W dan output daya AC 1500 W maksimal, dan juga penampang konduktor yang dibutuhkan adalah 2,5mm² dengan rating MCB 16 A.

Jufrizel, MT dan Muhammad Irfan, ST (2017) UIN Sultan Syarif Kasim Riau, melakukan penelitian tentang Perencanaan Teknis dan Ekonomis PLTS Sistem On-Grid. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui analisis teknis PLTS menggunakan data beban penerangan di Gedung Terpadu PT. Pertamina RU II Dumai sebesar 496 kWh untuk menentukan kapasitas sistem PLTS mencakup modul PV, dan inverter sentral, perhitungan biaya, simulasi menggunakan software PVsyst dan juga analisis ekonomis. Untuk mengevaluasi pengoperasian PLTS maka digunakannya analisis ekonomis dengan metode, seperti NPW (Net Present Worth), CF (Cash Flow analysis), B-CR (Benefit Cost Ratio analysis), dan PP (Payback Period). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan untuk memenuhi beban harian sebesar 496 kWh dapat disuplai dari sistem PLTS dengan kapasitas photovoltaic array sebesar

517 kWp, dan inverter sebesar 100 kW. Nilai CFB sebesar Rp.108.955.024.578, CFC sebesar Rp.23.263.500.042, NPV sebesar Rp.85.679.524.536, BCR sebesar 30,9 dan PP selama 17,5 tahun

Naim, Muhammad dan SetyoWardoyo (2017) Akademi Teknik Sorowako, melakukan penelitian tentang PLTS On-Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery Di Desa Timampu . Penelitian di Desa Timampu kecamatan Towuti tentang PLTS On-Grid dengan kapasitas 1500 Watt dengan backup baterai adalah suatu sistem yang terhubung dengan jaringan PLN dan sumber PLN tersebut masih tetap menjadi sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan sehari hari kemudian PLTS On-Grid hanya sebagai energi tambahan, energi tambahan PLTS On-Grid ini tersimpan didalam baterai dan dapat digunakan jika terjadi suatu gangguan listrik. Komponen-Komponen yang digunakan untuk perancangan sistem kelistrikan PLTS On Grid 1500 Watt dengan Backup Battery yaitu 6 Panel surya 250 Wp, MPPT Solar Charge Controller 1500 Watt, AKI basah 24 Volt 160 Ah, 2 x 100 Ah dan 2 x 60 Ah, Pure Sine Wave inverter 1500 Watt dan KWH meter piringan 2 arah putaran.

2.2 LANDASAN TEORI

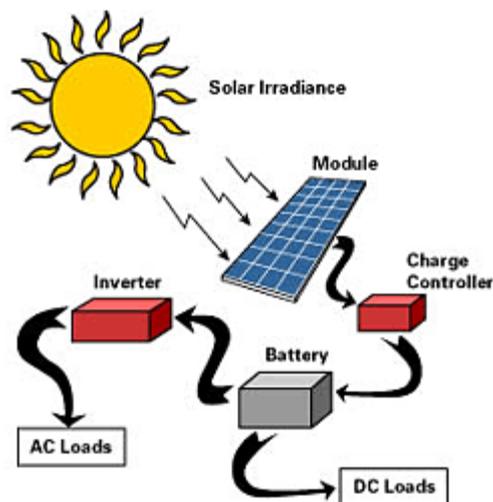
2.2.1 PLTS

Menurut I K. Agus Setiawan, dkk (2014) Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau biasa disebut PLTS merupakan sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi sinar matahari sebagai sumber energinya yaitu dengan cara memanfaatkan iradiasi cahaya matahari yang akan menghasilkan energi listrik yang kemudian akan dialirkan melalui jaringan menuju ke pengguna. PLTS memanfaatkan energi cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC yang kemudian akan diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan.

Secara umum PLTS terdiri dari beberapa komponen utama yaitu, generator sel surya (PV generator) yang berupa susunan modul surya pada suatu sistem penyangga, *inverter* untuk mengubah arus DC menjadi arus AC, *solar charge controller* dan baterai untuk sistem penyimpanan PLTS serta sistem kontrol dan monitoring operasi PLTS.

Faktor utama yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik pada PLTS Fotovoltaik yaitu iradiasi matahari, temperatur modul surya, dan *shading* yang terjadi selama sistem beroperasi. Iradiasi matahari akan mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan dari PLTS, temperatur modul surya akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh PLTS, dan *shading* akan mempengaruhi iradiasi matahari yang diterima panel surya pada proses pembangkitan yang dapat mempengaruhi performa dari PLTS.

PLTS merupakan suatu pencatu daya, bisa dirancang sebagai mencatu kebutuhan listrik dalam skala kecil maupun skala besar, untuk secara mandiri ataupun untuk *hybrid* (dikombinasikan dengan beberapa sumber energi lain), baik menggunakan metode desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun menggunakan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel). Energi terbarukan yang energinya tidak habis-habis dan memanfaatkan energi cahaya matahari sebagai sumber energi utamanya, ramah lingkungan dan tanpa menimbulkan suara bising ataupun limbah itu adalah PLTS.



Gambar 2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

2.2.2 Komponen PLTS

a). Panel surya

Panel surya merupakan rangkaian dari beberapa sel surya yang terhubung secara seri ataupun paralel yang disusun sedemikian rupa hingga berbentuk persegi ataupun persegi panjang, dilaminasi dan dilapis dengan kaca khusus serta diberi penguat rangka atau *frame* pada keempat sisinya. Setiap panel surya dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai daya puncak yang spesifik. Ketika panel surya terkena pancaran sinar matahari maka secara umum satu sel surya akan menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 0,5 sampai dengan 1 volt serta arus *short-circuit*. Besar tegangan dan arus yang dihasilkan tersebut tidak dapat diaplikasikan secara langsung maka sel surya akan disusun secara seri dan juga paralel sehingga membentuk sebuah set yang disebut panel surya.

Secara umum, panel surya terdiri dari 28 hingga 72 sel surya, yang dapat menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 12 hingga 38 volt dalam keadaan sinar matahari standar. Sejumlah panel surya dikonstruksi secara seri maupun paralel yang akan membentuk sistem yang disebut panel *array*.

Dengan menambah *solar cells panel* (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya *solar cells panel* dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Contohnya ukuran a cm x b cm menghasilkan listrik DC (Direct Current) sebesar x Watt per hour/ jam. Jenis *solar cell panel* berdasarkan teknologinya secara garis besar dibagi menjadi 3:

1). Polikristal (*Polycrystalline*)

Merupakan solar cells panel yang memiliki susunan Kristal acak. Tipe Polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

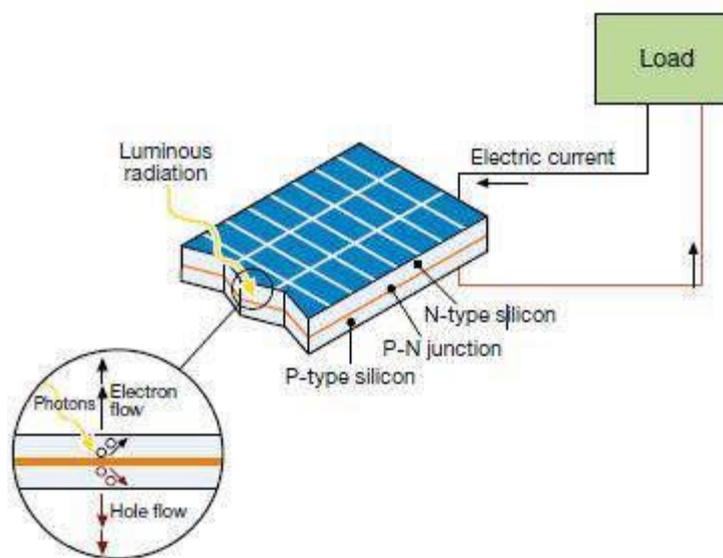
2). Monokristal (*Monocrystalline*)

Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan

20%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

3). *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Jenis panel surya ini dibuat dengan cara menambahkan sel surya yang tipis kedalam sebuah lapisan dasar. Karena bentuk dari TFSC ini tipis, jadi panel surya ini sangat ringan dan fleksibel. Ketebalan lapisannya bisa diukur mulai dari nanometers hingga micrometers.



Gambar 2.3 Susunan Lapisan *Solar Cell*

b). Baterai

Baterai merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Baterai terbagi menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Pada sistem PLTS baterai yang digunakan adalah baterai jenis sekunder.

Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang atau *rechargeable battery*. Baterai pada PLTS memiliki fungsi untuk menyimpan kelebihan daya dari PLTS yang selanjutnya akan digunakan untuk memberikan daya listrik ke sistem ketika daya tidak disediakan oleh panel surya. Jenis baterai sekunder yang sering dipakai untuk kapasitas yang besar seperti baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) atau sering disebut SLA

(*Sealed Lead Acid*) dan Li-Ion (*Lithium- Ion*) dikarenakan baterai VRLA tidak memerlukan perawatan (*maintenance free*) sedangkan baterai Li-Ion dapat menyimpan daya lebih lama dan lebih besar. Baterai untuk pemakaian PLTS lazim dikenal dan menggunakan *deep cycle lead acid*, artinya muatan baterai jenis ini dapat dikeluarkan (*discharge*) secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal. Baterai adalah komponen utama PLTS yang membutuhkan biaya investasi awal terbesar setelah panel surya dan *inverter*. Namun, pengoperasian dan pemeliharaan yang kurang tepat dapat menyebabkan umur baterai berkurang lebih cepat dari yang direncanakan, sehingga meningkatkan biaya operasi dan pemeliharaan. Atau dampak yang paling minimal adalah baterai tidak dapat dioperasikan sesuai kapasitasnya.

Kapasitas baterai yang diperlukan tergantung pada pola operasi PLTS. Besar kapasitas baterai juga harus mempertimbangkan seberapa banyak isi baterai akan dikeluarkan dalam sekali pengeluaran. Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ah atau Ampere *hours*. Jika suatu PLTS menggunakan baterai dengan kapasitas 5000 Ah dengan tegangan sekitar 3 Volt. Maka baterai tersebut memiliki kemampuan menyimpan muatan sekitar 5000 Ah x 3 V atau 15 kWh.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan jenis dan kapasitas baterai untuk suatu PLTS dan pengaruhnya pada umur baterai antara lain: DoD (*Depth of Discharge*), jumlah siklus, efisiensi baterai, *discharge/charge rate* dan temperatur.

c). Inverter

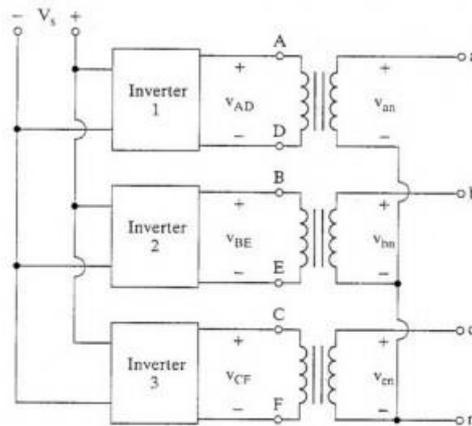
Inverter merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). *Inverter* nantinya akan mengubah arus listrik searah (DC) dari komponen seperti baterai, panel surya arus listrik bolak-balik (AC). Sistem inverter pada PLTS terbagi menjadi dua macam sistem yaitu :

1). Sitem Inverter 1 fasa Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem inverter yang tidak terlalu banyak beban yang digunakan (bebannya kecil) dimana mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik dan mengontrol kualitas output daya yang diberikan ke grid dengan cara filter LC di dalam inverter itu sendiri.

2). Sistem Inverter 3 fasa Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem inverter yang menggunakan beban besar (banyak) dan terhubung dengan jaringan PLN. Sebuah rangkaian dasar inverter 3 phase tunggal sederhana terdiri dari 3 buah inveter 1 phase dengan menggunakan mosfet daya (power mosfet) sebagai sakelar.



Gambar 2.3 skema inverter 3 fasa

d). Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengatur daya dan tegangan yang akan masuk ke baterai dari panel surya. Komponen ini akan memastikan baterai tidak terisi secara berlebihan pada siang hari, dan daya tidak kembali menuju ke panel surya pada malam hari dan menguras baterai.

Secara umum, terdapat 2 (dua) SCC yang digunakan pada sistem panel surya, yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Tipe MPPT dianggap sebagai pengendali yang paling efisien sekarang, karena tipe MPPT bekerja pada tingkat efisiensi yang lebih tinggi daripada tipe PWM. Tipe PWM bekerja pada tingkat efisiensi 75-

80% sedangkan MPTT bekerja pada tingkat efisiensi 92-95%. Berikut adalah contoh gambar *solar charge controller* merek schneider.



Gambar 2.4. *Solar Charge Controller*

2.2.3 Rumus Perhitungan

a). Perhitungan panel surya

Untuk menentukan Energi yang dihasilkan oleh Solar Panel terlebih dahulu harus mengetahui berapa jumlah panel yang akan digunakan dan mengetahui Max Power Panel Surya tersebut, untuk dapat mengetahui berapa jumlah Max Power pada Panel Panel surya, biasanya dapat diketahui dengan cara melihat spesifikasi Panel Surya tersebut dikarenakan setiap Panel Surya memiliki *Max Power* yang berbeda-beda setelah itu, lalu menentukan jumlah jam kerja efektif Panel Surya. Jam kerja efektif Panel Surya yaitu 3-5 jam/hari.

Berikut merupakan rumus untuk menghitung energi yang dihasilkan Solar Panel :

$$P = W / (t \times \text{kef} \times \text{eff.modul})^1$$

Keterangan:

P = Kapasitas dari PLTS (kWp)

W = Total kebutuhan beban (kWh)

¹ Arfianto, Febri, Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya OFF-GRID di atap Parkiran motor Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, 2018, hlm 9

Eff modul = Nilai efisiensi modul (Bagus Ramadhani, 2018)

t = Jam Kerja Efektif panel surya (SNI IEC 04-6394-2000)

kef = Nilai koefisien dari PLTS (*Photovoltaics Systems Engineering Second Edition*, 2003)

b). Perhitungan Baterai

Untuk menghitung jumlah baterai yang dibutuhkan menggunakan rumus sebagai berikut:

Baterai = Otonomi sistem x Total kebutuhan (MWh) / Efisiensi¹

Keterangan,

Otonomi= Cadangan Baterai 2 hari jika tidak ada sinar matahari

Efisiensi = Efisiensi baterai x Efisiensi penghantar

Efisiensi baterai= 0,85 (Bagus Ramadhani, 2018)

Efisiensi penghantar = 0,98 (*Photovoltaics Systems Engineering Second Edition*, 2003)

Rumus konversi dari KWh ke Ah

Baterai (Ah) = Baterai (MWh) 1000/ Nominal tegangan baterai¹

Rumus perhitungan kapasitas baterai yang digunakan sistem

Kapasitas Baterai = Baterai (Ah) / DOD¹

Keterangan,

DOD = *Depth of Discharge* (80%) (Permen ESDM No.36 thn 2018)

c). Perhitungan SCC

Berikut rumus untuk menghitung berapa Kebutuhan *solar charge controller* (SCC) yang akan digunakan (Muhammad Fahmi Hakim, 2017):

SCC = Kapasitas total PLTS / Output SCC (kW)¹

Keterangan,

SCC = Jumlah Kebutuhan *Solar Charge Controller*

Kapasitas total PLTS = Total beban PLTS

Output SCC = output power SCC

2.2.4 Analisis Keekonomian PLTS

Analisis perhitungan ROI (*Return On Investment*) adalah rasio yang menunjukkan nilai dari jumlah aktiva yang digunakan dalam perusahaan atau suatu ukuran tentang efisiensi manajemen. Rasio ini menunjukkan nilai dari seluruh aktiva yang dikendalikan dengan mengabaikan nominal pendanaan, rasio ini biasanya diukur dengan persentase. *Return On Investment* dijalankan menurut Peraturan Menteri ESDM No.17 Tahun 2013 yang berisi tentang pembelian energi listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang dibeli oleh PLN, menjelaskan bahwa harga US\$ 25 sen/kWh (dua puluh lima sen dolar Amerika Serikat per kilo watt hour) harga tersebut adalah harga pembelian energi tenaga listrik dari PLTS .

Dalam melakukan analisis ekonomi terhadap sistem PLTS terdapat beberapa indikator yang sering digunakan, yaitu Biaya Pemeliharaan dan Operasional, Investasi PLTS, *payback period analysis*, *Net Present Value (NPV)*.

a). Biaya pemeliharaan dan operasional

Diperhitungkan bahwa sebesar 1 - 2% dari total biaya investasi awalnya untuk suatu biaya pemeliharaan dan operasional per-tahun untuk PLTS, (Jais, 2012). Pada penelitian ini menurut sumber tersebut, akan ditetapkan sebesar 1% dari total investasi awal, besarnya suatu persentase tersebut untuk digunakan per-tahun yang mencakup biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi, lalu untuk pekerjaan pembersihan panel surya.

b). Total investasi PLTS

Berdasarkan negara Indonesia hanya memiliki dua musim, musim kemarau dan musim penghujan oleh karena itu biaya untuk pemeliharaan dan biaya pembersihan PLTS ini tidak sebesar negara lainnya yang mengalami empat musim dalam satu tahun. Maka dari itu penentuan persentasenya itu hanya 1%, Selain hal tersebut presentase 1% juga

didasarkan bahwa tenaga kerja di Indonesia lebih murah tingkat upahnya dibandingkan negara maju yang tingkat upahnya lebih tinggi. Untuk mengetahui biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan maka dapat dilihat sebagai berikut:

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi}^1$$

Keterangan:

M : Hasil Biaya pemeliharaan dan operasional PLTS

1% : Biaya pemeliharaan dan operasional per-tahun

Total Biaya Investasi : Biaya Investasi Awal

c). Payback Period

Payback period adalah waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali kepada investor. Perhitungan *payback period* dilakukan untuk mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Nilai *payback period* yang semakin kecil akan semakin baik, dengan factor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat. Dalam menghitung *payback period* biasa disebut metode *payback* dengan membagi modal awal yang dikeluarkan dengan pendapatan yang diterima oleh pemodal selama satu tahun.

Penggunaan *payback period* dalam menghitung efektivitas investasi tetap memiliki batasan. *Payback period* tidak menghitung keuntungan yang didapatkan setelah *payback period* serta memiliki keterbatasan dalam membandingkan dua proyek. Maka dalam hal ini untuk mengetahui ROI (*Return On Investment*) dapat dihitung dengan metode *Pay Back Period* dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Payback Period} = \text{Lama operasi} - (\text{Jumlah Investasi} / \text{Aliran Kas Bersih})^1$$

d). Net Present Value

Net Present Value atau NPV digunakan untuk menganalisis keuntungan dari investasi suatu proyek, formula yang digunakan sensitif terhadap perubahan nilai mata uang atau barang. NPV membandingkan nilai uang yang diterima hari ini dan nilai uang pada masa mendatang dengan memasukkan variabel inflasi dan laju pengembalian. NPV didasarkan pada teknik *discounted cash flow* (DCF) dengan 3 langkah dasar, yaitu menemukan *present value* dari setiap arus uang, termasuk didalamnya adalah pemasukan, pengeluaran, dan diskon harga proyek.

NPV adalah perbandingan antara nilai investasi pasar dan biaya itu sendiri. Jika nilai NPV adalah negatif, maka proyek tidak direkomendasikan untuk dilaksanakan, jika nilainya positif, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Nilai NPV bernilai nol berarti tidak ada perbedaan apabila proyek tetap dilaksanakan atau ditolak. Rumus untuk menentukan NPV adalah sebagaiberikut. (Ross, 2010).

Perhitungan NPV dilakukan berdasarkan berapa lama tahun yang telah ditentukan dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang sesuai dengan berapa lama tahun yang telah ditentukan tersebut. (berdasarkan suatu penggunaan tingkat suku bunga (*interest*) menurut bank yang digunakan setiap tahunnya). Untuk mengetahui nilai NPV dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan diantaranya, yang pertama yaitu Mengetahui Nilai Bunga (%), yang kedua Mengetahui Nilai Kas dan yang ketiga Mengetahui Nilai NPV.

Rumus Mengetahui Nilai Bunga (%):

$$\text{Bunga (\%)} = \frac{1}{(1+i)^n} - 1$$

Keterangan:

i = Nilai suku bunga yang digunakan yaitu (*i*=6%)

n = Nilai Periode atau waktu arus kas

Rumus Mengetahui Nilai Kas:

$$\text{Nilai Kas} = \text{Arus Kas} \times I^1$$

Keterangan:

i = Nilai suku bunga setiap tahunnya

Rumus Mengetahui Nilai NPV:

$$\text{NPV} = \left(\frac{NCF^1}{(1+i^1)} + \frac{NCF^2}{(1+i^2)} + \frac{NCF^3}{(1+i^3)} + \dots + \frac{NCF^n}{(1+i^n)} \right) - \text{Biaya Investasi}^1$$

Keterangan:

NPV = Net present value

NCF1 = Arus Kas Bersih

i = Tingkat Suku Bunga (6%)

n = Waktu Periode (Tahun)