

BAB IV

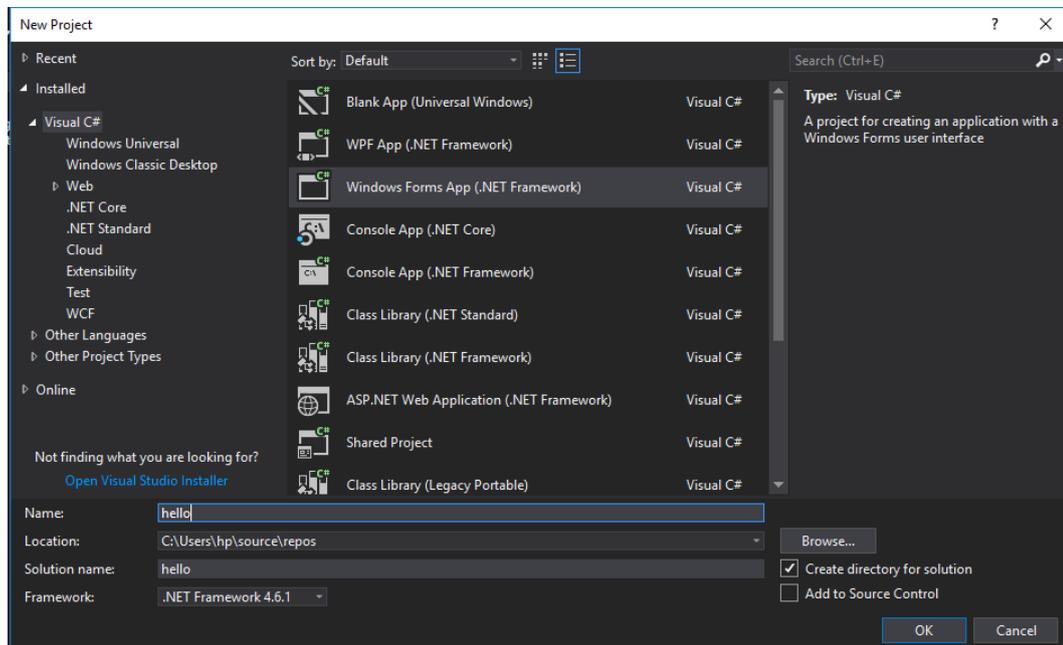
HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Aplikasi

Pada tahap pembuatan aplikasi menggunakan Microsoft Visual Studi terdapat dua tahapan yang digunakan yaitu:

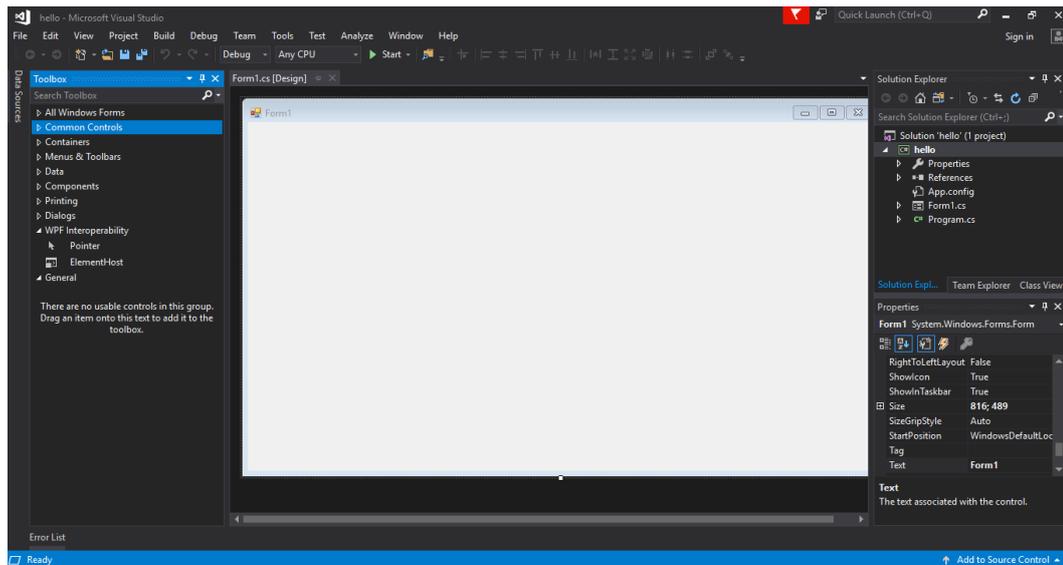
4.1.1 Mendesain User Interface

Pada tahap ini dilakukan perancangan desain sebagai tampilan antarmuka pengguna di bagian Form Design Microsoft Visual Studio. Untuk permulaannya perlu untuk membuat projek baru seperti program windows lainnya yaitu klik File > New > Project..(Ctrl+Shift+N). Kemudian akan muncul tampilan seperti gambar 4.1. Pada gambar 4.1 tersebut pilih Windows Forms App (.Net Framework) lalu atur nama proyek di Name: sesuai keinginan setelah selesai klik OK.



Gambar 4. 1 Tampilan New Project

Setelah di klik OK maka akan muncul tampilan form GUI seperti gambar 4.2.. Di form GUI ini didesain menggunakan item-item yang ada di toolbox yang telah disediakan oleh Visual Studio. Diantara toolbox yang digunakan pada penelitian ini yaitu CheckBox, GroupBox, Label, Button, TextBox, ListBox, dan Chart.

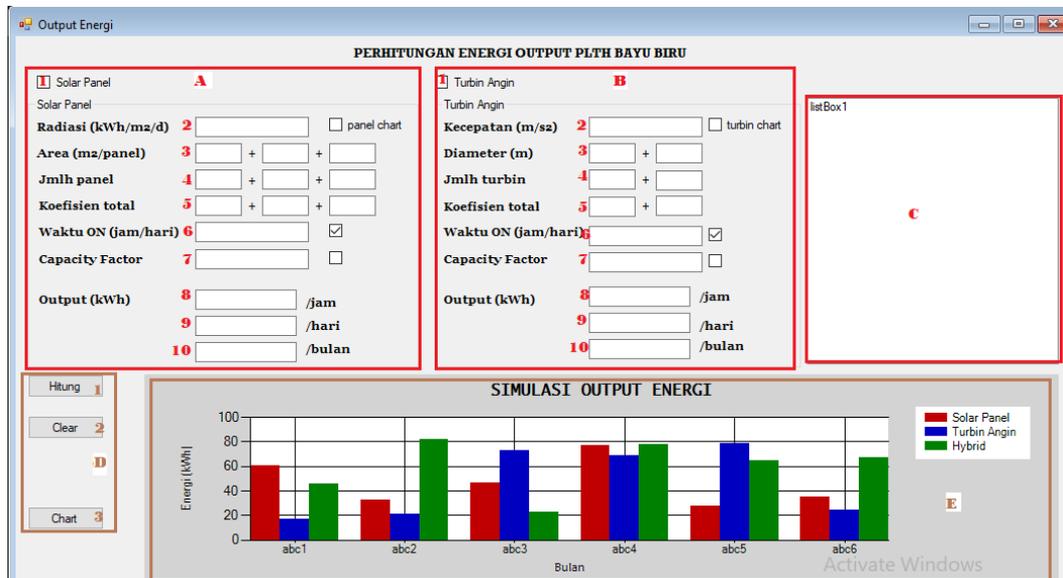


Gambar 4. 2 Tampilan awal form GUI atau design

Item atau komponen yang digunakan memiliki fungsi-fungsi masing-masing. Item CheckBox digunakan untuk memberi pilhan suatu objek untuk menjalankan suatu program tertentu. GroupBox pada tugas akhir ini untuk mengelompokkan item-item yang mempunyai tujuan yang sama menjadi satu grup. Lalu item Label digunakan untuk membuat tulisan atau teks pada form desain dan item TextBox berfungsi sebagai input maupun output data bisa berupa angka maupun teks. Lalu item Button digunakan sebagai tombol untuk mengeksekusi suatu program yang telah dibuat. Kemudian ListBox bisa digunakan untuk memberikan suatu informasi mengenai suatu aksi. Dan Chart berfungsi untuk menampilkan suatu grafik bisa berupa grafik batang, garis, dll.

Pada gambar 4.3 digunakan beberapa item atau komponen yaitu 27 TextBox, 21 Label, 2 GroupBox, 4 CheckBox, 1 ListBox, 3 Button, dan 1 Chart.

Masing-masing komponen tersebut bisa dirubah nama dan fungsi lainnya pada panel properties.



Gambar 4. 3 Tampilan GUI

Pada form design seperti gambar 4.3, groupbox dibagi dua yaitu bagian solar panel dan turbin angin. Masing-masing bagian ditentukan oleh komponen checkbox dari solar panel dan juga turbin angin. Di bagian solar panel terdapat variabel radiasi, area atau luas panel, jumlah panel, koefisien panel, waktu kerja panel, capacity factor, dan output energi. Begitu juga di bagian turbin angin tidak jauh berbeda hanya berbeda di kecepatan.

Untuk tampilan chart digunakan grafik bentuk batang dengan sumbu x berupa bulan selama setahun dan sumbu y berupa energi output per bulan. Data yang digunakan untuk grafiknya yaitu hasil dari solar panel, turbin angin, dan keduanya atau hybrid. Di gambar 4.3 solar panel mewakili warna merah, turbin angin mewakili warna biru, dan hybrid mewakili warna hijau.

Untuk fungsi masing-masing komponen pada tampilan GUI pada gambar 4.3 akan dijelaskan pada tabel 4.1 berikut:

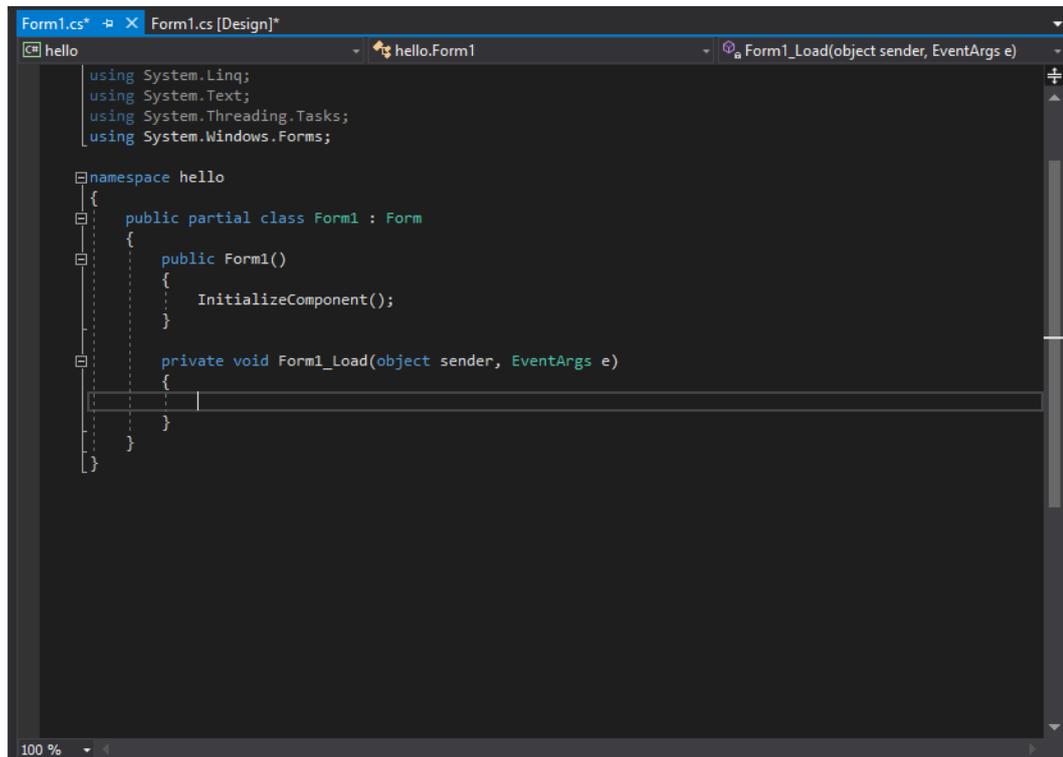
No.	Fungsi
A1	Fungsi checkbox untuk memilih menghitung energi solar panel
A2	Input data radiasi matahari dalam kWh/m ² /day
A3	Input data luas PV masing-masing dari grup barat, KKP, dan timur
A4	Input jumlah PV yang digunakan dari grup barat, KKP, dan timur
A5	Input data koefisien total masing-masing dari grup barat, KKP, dan timur. Koefisien total terdiri dari koefisien panel dan koefisien losses
A6	Input rata-rata PV bekerja maksimal dalam sehari. Untuk input waktu kerja dan kapasitas faktor dipilih salah satu.
A7	Input kapasitas faktor dari pembangkit listrik surya setempat
A8	Output energi panel dalam se-jam
A9	Output energi panel dalam se-hari
A10	Output energi panel dalam se-bulan
B1	Fungsi checkbox untuk memilih menghitung energi listrik dari turbin angin
B2	Input data rata-rata kecepatan angin dalam m/s
B3	Input diameter kincir yang digunakan dari grup barat dan timur
B4	Input jumlah turbin angin dari masing-masing grup barat dan timur
B5	Input koefisien total masing-masing grup barat dan timur. Koefisien total terdiri dari koefisien desain/sistem dan koefisien losses.

B6	Input rata-rata waktu turbin angin bekerja dalam sehari. Untuk input waktu kerja dan kapasitas faktor dipilih salah satu.
B7	Input kapasitas faktor dari pembangkit listrik angin setempat
B8	Output energi turbin dalam se-jam
B9	Output energi turbin dalam se-hari
B10	Output energi turbin dalam se-bulan
C	Menampilkan energi output tahunan dari masing-masing pembangkit hybrid
D1	Fungsi tombol untuk menghitung hasil energi output PV dan turbin angin
D2	Fungsi tombol untuk menghapus data input dan output di layar
D3	Fungsi tombol untuk menampilkan grafik pada layar GUI
E	Grafik yang menampilkan energi output tenaga hybrid perbulan selama setahun

Tabel 4. 1 Fungsi masing-masing komponen toolbox

4.2.2 Membuat Kode Program GUI

Untuk menghasilkan tampilan GUI yang dinamis maka diperlukan kode-kode pada form editor. Untuk memunculkan form editor untuk mengcoding bisa dilakukan dengan cara tekan F7 atau mengklik dua kali pada tampilan GUI-nya atau salah satu komponen toolbox yang akan diatur. Maka akan muncul tampilan seperti gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Tampilan form editor

Pada form editor penulis akan membuat kode program untuk masing-masing `button_Click` yaitu `btnHitung_Click`, `btnClear_Click`, dan `btnChart_Click`. Di masing-masing button akan dilibatkan beberapa `textBox` sebagai inputan data dan `checkbox` untuk pilihan apakah akan menggunakan solar panel atau turbin angin bahkan keduanya sekaligus.

Pertama akan dibuat kode program untuk `btnHitung_Click`. Di dalam event `btn_Hitung_Click` terdapat kode program untuk mendapatkan nilai variabel dari masing-masing pilihan toolbox `checkbox` yang dipilih baik dari solar panel, turbin angin, maupun keduanya. Nilai tipe data dari masing-masing variabel input masih berupa `string`, untuk itu diperlukan konversi ke tipe data ke `double`. Kemudian untuk perintah mendapatkan nilai dari `textBox` menggunakan `TryParse` yang berfungsi untuk mengkonversi dari `string` ke `double`. Hasil dari konversi tersebut akan ditampung dalam variabel tipe data `double` dengan perintah `out`. Berikut program yang ditulis di dalam event `btnhitung_Click`.

```

//Penentuan tipe data double untuk variabel input output
double rad, luas1, luas2, luas3, nP1, nP2, nP3, Cp_P1, Cp_P2, Cp_P3,
t_P, CF_P, out_P1, out_P2, out_P3, out_P4;
...
string a = " MWh";

//Input Solar Panel
double.TryParse(radiation.Text, out rad);
...
double.TryParse(CF_panel.Text, out CF_P);

//Input Turbin Angin
double.TryParse(kecepatan.Text, out V);
...
double.TryParse(CF_turbin.Text, out CF_T);

```

Kemudian dalam tombol `btnHitung_Click` masih terdapat kode program untuk menghitung nilai-nilai yang akan dimasukkan dalam textbox sebagai data input. Hasil dari perhitungan nanti akan dimasukkan ke dalam variabel output yang telah dideklarasikan sebelumnya. Perhitungan dari masing-masing pilihan solar ataupun turbin angin menghasilkan energi output dengan waktu selama sejam, sehari, dan sebulan. Untuk perhitungan energi digunakan variabel capacity factor karena energi yang dihasilkan tidak secara kontinyu. Berikut program untuk menghitung hasil dari solar panel dan turbin angin.

```

//perhitungan solar panel
Wp1 = rad * luas1 * nP1 * Cp_P1;
...
out_P4 = out_P2 * 365 /1000;

//perhitungan turbin angin
Wt1 = 0.5 * 1.225 * (0.25 * pi * Math.Pow(d1, 2) * nT1) *
Math.Pow(V, 3) * Cp_T1;
...
out_T4 = out_T2 * 365 /1000;

```

```
//perhitungan total energi total
```

```
out_tot = out_P4 + out_T4;
```

Setelah penentuan variabel input, lalu pengkonversian input data sebagai angka, kemudian perhitungan hasil input data menjadi output data, dan terakhir penampilan di layar form hasil dari perhitungan data. Pada saat penampilan hasil output, disini menampilkan di dua objek yaitu di toolbox textbox dan toolbox listbox. Di toolbox textbox akan ditampilkan energi output hasil dari perhitungan solar panel maupun turbin angin tergantung pilihan pada checkbox. Sedangkan pada toolbox listbox akan ditampilkan energi output tahunan dari solar panel, turbin angin, maupun energi total tergantung pilihan pada checkbox. Pada textbox akan ditampilkan energi output pada waktu sejam, sehari, dan sebulan. Berikut kode program untuk menampilkan data di form GUI.

```
//Untuk pilihan solar panel
```

```
if (SolarPanel.Checked == true)
```

```
{
```

```
out_P1 = Math.Round(out_P1, 2);
```

```
...
```

```
listBox1.Items.Add(string.Format("Output energi solar panel setahun=" + Ep + a));
```

```
}
```

```
//untuk pilihan turbin angin
```

```
if (TurbinAngin.Checked == true)
```

```
{
```

```
out_T1 = Math.Round(out_T1, 2);
```

```
...
```

```
listBox1.Items.Add("Output energi turbin angin setahun= " + Et + a)
```

```
}
```

```
if (SolarPanel.Checked == true && TurbinAngin.Checked == true)
```

```
{
```

```
...
```

```
listBox1.Items.Add("Output energi Total setahun= " + H + a);
```

```
}

```

Setelah koding btnHitung_Click selesai, kemudian akan dibuat untuk kode program button btnClear_Click. Pada event btnClear_Click berisi kode untuk menghapus semua data input, output, dan chart sekaligus. Hal ini dimaksudkan agar data dari sebelumnya tidak ikut terlibat dalam perhitungan selanjutnya. Berikut kode program btnHitung_Click secara keseluruhan.

```
private void btnClear_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //Hapus semua teks toolbox dan chart
    radiation.Text = "";
    ...
    chart1.Series["Hybrid"].Points.Clear();
}

```

Dan yang terakhir, membuat kode program untuk menampilkan grafik di form GUI. Dalam grafik tersebut akan menampilkan hasil energi output perbulan selama setahun. Pada sumbu x akan diisi nama bulan selama setahun, dan pada sumbu y diisi hasil energi output dalam kwh. Pada perhitungannya ada yang membedakan dari perhitungan sebelumnya dimana nilai rata-rata radiasi dan kecepatan angin telah ditentukan sebelumnya. Namun jika ingin menggunakan data radiasi dan kecepatan dari input data yang berada di textbox, maka perlu mengklik pilihan checkbox disamping data tersebut. Untuk kode programnya hampir mirip seperti pada event btnChart_Click, pertama mendeklarasikan variabel dalam tipe double dan mengambil nilai input menggunakan perintah TryParse untuk dikonversi ke double seperti pada event button btnHitung_Click. Berikut kode programnya untuk deklarasi variabel dan input variabel.

```
double rad, luas1, luas2, luas3, nP1, nP2, nP3, Cp_P1, Cp_P2, Cp_P3,
t_P, CF_P, out_P2, out_panel;
...
//Input Solar Panel
double.TryParse(radiation.Text, out rad);

```

```

...
double.TryParse(CF_panel.Text, out CF_P);
//Input Turbin Angin
double.TryParse(kecepatan.Text, out V);
...
double.TryParse(CF_turbin.Text, out CF_T);

```

Kemudian tahap selanjutnya menghitung nilai sumbu y untuk masing-masing bulan pada sumbu x. Pada perhitungan nilai sumbu y yang mewakili energi output per bulan, nilai radiasi dan kecepatan angin telah ditentukan dalam variabel `rad` dan `V`. Variabel-variabel tersebut dibentuk menggunakan array yang berjumlah 12 untuk mewakili masing-masing bulan dari januari sampai desember. Begitu juga hasil perhitungan menggunakan array yang berisi 12 variabel. Berikut kode program untuk perhitungan dari solar panel, turbin angin, dan penjumlahan keduanya yang disebut hybrid.

```

//Perhitungan grafik solar panel
double[] osun = new double[12];
...
out_panel = rad * out_P2
osun[0] = c_rad[0] * out_P2;
...
osun[11] = c_rad[11] * out_P2;

//Perhitungan grafik turbin angin
double[] owind = new double[12];
...
out_turbin = out_T2 * Math.Pow(V, 3);
owind[0] = out_T2 * Math.Pow(c_V[0], 3);
...
owind[11] = out_T2 * Math.Pow(c_V[11], 3);

//Perhitungan grafik Hybrid

```

```
double[] out_tot = new double[12];
...
out_tot[11] = osun[11] + owind[11];
```

Setelah hasil perhitungan untuk mendapatkan nilai output energi perbulan, maka selanjutnya menampilkan hasil tersebut ke grafik berdasarkan pilihan pada kotak check apakah memilih solar panel, turbin angin atau keduanya. Pada perhitungan sebelumnya hasil perhitungan solar panel disimpan ke variabel `osun[]`, turbin angin disimpan ke `owind[]`, dan hybrid atau gabungan keduanya disimpan di variable `out_tot[]`. Untuk yang mengklik pilihan ‘to panel/turbin chart’ maka variabel output disimpan di `out_panel`, `out_turbin`, dan `out_hybrid`. Berikut kode program untuk menampilkan grafik menggunakan perintah `if` sebagai pilihan di checked.

```
//check panel
if (SolarPanel.Checked == true && chart_panel.Checked == false)
{
    chart1.Series["Solar Panel"].Points.AddXY("Jan", osun[0]);
    ...
    chart1.Series["Solar Panel"].Points.AddXY("Des", osun[11]);
}

//check turbin
if (TurbinAngin.Checked == true && chart_turbin.Checked == false)
{
    chart1.Series["Turbin Angin"].Points.AddXY("Jan", owind[0]);
    ...
    chart1.Series["Turbin Angin"].Points.AddXY("Des", owind[11]);
}

//check solar panel dan radiasi
if (SolarPanel.Checked == true && chart_panel.Checked == true)
{
    chart1.Series["Solar Panel"].Points.AddXY("Jan", out_panel);
```

```

...
    chart1.Series["Solar Panel"].Points.AddXY("Des", out_panel);
}
//check turbin angin dan kecepatan
if (TurbinAngin.Checked == true && chart_turbin.Checked == true)
{
    chart1.Series["Turbin Angin"].Points.AddXY("Jan", out_turbin);
    ...
    chart1.Series["Turbin Angin"].Points.AddXY("Des", out_turbin);
}
//chart hybrid
if (SolarPanel.Checked == true && TurbinAngin.Checked == true &&
chart_panel.Checked == false && chart_turbin.Checked == false)
{
    chart1.Series["Hybrid"].Points.AddXY("Jan", out_tot[0]);
    ...
    chart1.Series["Hybrid"].Points.AddXY("Des", out_tot[11]);
}
if (SolarPanel.Checked == true && TurbinAngin.Checked == true &&
chart_panel.Checked == true && chart_turbin.Checked == true)
{
    chart1.Series["Hybrid"].Points.AddXY("Jan", out_hybrid);
    ...
    chart1.Series["Hybrid"].Points.AddXY("Des", out_hybrid);
}

```

4.2 Perhitungan Energi Output

4.2.1. Energi Output Berdasarkan Rumus

1. Solar Panel

Pada bagian pembangkit listrik tenaga surya di PLTH bayu biru dibagi menjadi beberapa grup yaitu drup barat, KKP, dan timur dengan kriteria sebagai berikut:

- Grup barat memiliki Solar panel berjumlah 150 unit dengan 30 unit rusak dengan area per panelnya 670mm x 1180mm (0,791m²), dengan daya maksimum 100wp memiliki efisiensi modul 12,65%. Efisiensi ini didapat dari,

$$\text{Eff} = \text{wp} / (1000 \text{ W/m}^2 \times \text{luas}) \text{ (4. 1)}$$

$$= 100 / (1000 \times 0,791) \times 100\%$$

$$= 12,65 \%$$

- Grup KKP memiliki Solar panel berjumlah 48 unit dengan 4 unit rusak dengan area per panelnya 987mm x 1637mm (1,616m²), dengan daya maksimum 220wp memiliki efisiensi modul 13,78%. Efisiensi ini didapat dari,

$$\text{Eff} = \text{wp} / (1000 \text{ W/m}^2 \times \text{luas})$$

$$= 220 / (1000 \times 1,616) \times 100\%$$

$$= 13,78 \%$$

- Grup Timur memiliki solar panel berjumlah 40 unit dengan area perpanelnya 1560mm x 808mm (1,277m²), dengan daya maksimum 100wp memiliki efisiensi modul 7,85%. Efisiensi ini didapat dari,

$$\text{Eff} = \text{wp} / (1000 \text{ W/m}^2 \times \text{luas})$$

$$= 100 / (1000 \times 1,277) \times 100\%$$

$$= 7,85 \%$$

- PR(Performance Ratio) atau koefisien rugi-rugi antara 0,5 dan 0,9, untuk perhitungan solar panel PLTH digunakan 0,74 dengan pertimbangan perhitungan

total inverter loss 10%, temperature loss 10%, DC cables loss 2%, loss weak radiation 5%, dan rugi-rugi lainnya 2%.

- Asumsi rata-rata radiasi matahari per hari 4,52 kWh/m² dan lama penyinaran sehari ± 6jam/hari.

- Capacity Factor yang digunakan 17%.

Maka perhitungan energi output sebagai berikut:

Ket: Eh= Energi per jam (kWh)

Ed = Energi per hari (kWh)

Em = Energi per bulan (kWh)

Ey = Energi per tahun (kWh)

➔ Grup Barat

$$\begin{aligned} Ed &= \text{radiasi} \times \text{area} \times \text{jumlah panel} \times \text{efisiensi} \times \text{PR} \\ &= 4,52 \text{ kWh/m}^2 \times 0,791\text{m}^2 \times 120 \times 12,65\% \times 0,74 \\ &= 40,162 \text{ kWh/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Eh &= Ed / 6\text{jam} \\ &= 40,162 / 6 \\ &= 6,694 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Em &= Ed \times 30 \\ &= 40,162 \times 30 \\ &= 1204,86 \text{ kWh/bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ey &= Ed \times 365 \\ &= 40,162 \times 365 \\ &= 14659,13 \text{ kWh/tahun} = 14,7 \text{ MWh/tahun} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan dengan capacity factor

$$Eh(\text{cf}) = Ed / (\text{CF} \times 24 \text{ jam})$$

$$= 40,162 \text{ kWh/hari} / (17\% \times 24)$$

$$= 9,84 \text{ kWh}$$

Pada perhitungan energi output solar panel dengan capacity factor hasil energi per jam hampir sama yaitu 9,84 dengan 6,69 kWh/jam, untuk perhitungan energi per hari, dan per tahun nilainya akan sama karena hasilnya dari energi per hari sama.

➔ Grup KKP

$$E_d = \text{radiasi} \times \text{area} \times \text{jumlah panel} \times \text{efisiensi} \times \text{PR}$$

$$= 4,52 \text{ kWh/m}^2 \times 1,616 \text{ m}^2 \times 44 \times 13,78\% \times 0,74$$

$$= 32,773 \text{ kWh/hari}$$

$$E_h = E_d / 6 \text{ jam}$$

$$= 32,773 / 6$$

$$= 5,462 \text{ kWh}$$

$$E_m = E_d \times 30$$

$$= 32,773 \times 30$$

$$= 983,19 \text{ kWh/bulan}$$

$$E_y = E_d \times 365$$

$$= 32,773 \times 365$$

$$= 11962,145 \text{ kWh/tahun} = 11,9 \text{ MWh/tahun}$$

Untuk perhitungan dengan capacity factor

$$E_h(\text{cf}) = E_d / (\text{CF} \times 24 \text{ jam})$$

$$= 32,773 \text{ kWh/hari} / (17\% \times 24)$$

$$= 8,03 \text{ kWh}$$

Pada perhitungan energi output solar panel dengan capacity factor hasil energi per jam hampir sama yaitu 8,03 dengan 5,46 kWh/jam, untuk perhitungan

energi per hari, dan per tahun nilainya akan sama karena hasilnya dari energi per hari sama.

→ Grup Timur

$$E_d = \text{radiasi} \times \text{area} \times \text{jumlah panel} \times \text{efisiensi} \times \text{PR}$$

$$= 4,52 \text{ kWh/m}^2 \times 1,277 \text{ m}^2 \times 40 \times 7,85\% \times 0,74$$

$$= 13,411 \text{ kWh/hari}$$

$$E_h = E_d / 6 \text{ jam}$$

$$= 13,411 / 6$$

$$= 2,235 \text{ kWh}$$

$$E_m = E_d \times 30$$

$$= 13,411 \times 30$$

$$= 402,33 \text{ kWh/bulan}$$

$$E_y = E_d \times 365$$

$$= 13,411 \times 365$$

$$= 4895,015 \text{ kWh/tahun} = 4,9 \text{ MWh/tahun}$$

Untuk perhitungan dengan capacity factor

$$E_h(\text{cf}) = E_d / (\text{CF} \times 24 \text{ jam})$$

$$= 13,411 \text{ kWh/hari} / (17\% \times 24)$$

$$= 3,29 \text{ kWh}$$

Pada perhitungan energi output solar panel dengan capacity factor hasil energi per jam hampir sama yaitu 3,29 dengan 2,23 kWh/jam, untuk perhitungan energi per hari, dan per tahun nilainya akan sama karena hasilnya dari energi per hari sama.

→ Energi Total Solar Panel

$$E_h(\text{tot}) = E_h(\text{barat}) + E_h(\text{KKP}) + E_h(\text{timur})$$

$$= 6,694 + 5,462 + 2,235$$

$$= 14,391 \text{ kWh}$$

$$E_d(\text{tot}) = E_d(\text{barat}) + E_d(\text{KKP}) + E_d(\text{timur})$$

$$= 40,162 + 32,773 + 13,411$$

$$= 86,346 \text{ kWh/hari}$$

$$E_m(\text{tot}) = E_m(\text{barat}) + E_m(\text{KKP}) + E_m(\text{timur})$$

$$= 1204,86 + 983,19 + 402,33$$

$$= 2590,38 \text{ kWh/bulan}$$

$$E_y(\text{tot}) = E_y(\text{barat}) + E_y(\text{KKP}) + E_y(\text{timur})$$

$$= 14659,13 + 11962,145 + 4895,015$$

$$= 31516,29 \text{ kWh/hari} = 31,5 \text{ MWh/tahun}$$

2. Turbin Angin

Pada PLTH Bayu Biru terdapat dua grup untuk turbin angin yaitu grup barat dan grup timur. Namun pada tugas ini hanya akan dihitung pada grup barat karena mulai tahun 2018 grup timur tidak digunakan lagi disebabkan keterbatasan alat dan komponen yang mendukung seperti minimnya jumlah baterai dan minimnya dana perawatan. Begitu juga pada bagian barat mulai sekitar awal 2018 difungsikan hanya untuk penerangan lampu jalan. Berikut perhitungan energi output turbin angin bagian barat.

Grup turbin angin bagian barat terdapat 21 unit tetapi ada 7 unit turbin yang rusak. Masing-masing turbin memiliki kapasitas 1kW dengan kecepatan angin cut in $3,5 \text{ m/s}^2$ dan cut out 25 m/s^2 , berdiameter baling-baling 3m. Air density yang digunakan $1,225 \text{ kg.m}^3$. Asumsi rata-rata kecepatan angin $5,14 \text{ m/s}^2$ dengan rata-rata bekerja 5 jam. Coeffisien of performance 35% dan capacity factor 20%. Maka energi output yang dihasilkan yaitu.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 && \text{----- (4. 2)} \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 3^2 \\
 &= 7,065 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koef total} &= C_p \times \text{Transmission losses (rotor to generator)} \times \text{generator losses} \\
 &= 0,35 \times 0,9 \times 0,9 \\
 &= 0,2835
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_h &= 0,5 \times \rho \times A \times V^3 \times \text{koef total} \times \text{waktu} && \text{----- (4. 3)} \\
 &= 0,5 \times 1,225 \text{ kg.m}^3 \times 7,065 \text{ m}^2 \times (5,14)^3 \times 0,2835 \times 1 \text{ jam} \\
 &= 166,59 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

$$\text{@ 14 Turbin} \longrightarrow 14 \times E_h = 14 \times 166,59 = 2332,26 \text{ Wh} = 2,332 \text{ kWh}$$

$$\text{Jadi } E_h = 2,332 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned}
 E_d &= E_h \times 5 \text{ jam} \\
 &= 2,332 \times 5 = 11,68 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_m &= E_d \times 30 \\
 &= 11,68 \times 30 = 350,4 \text{ kWh/bulan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_y &= E_d \times 365 \\
 &= 11,68 \times 365 = 4263,2 \text{ kWh/tahun} = 4,3 \text{ MWh/tahun}
 \end{aligned}$$

Dengan capacity factor maka,

$$\begin{aligned}
 E_d(\text{cf}) &= E_h \times \text{CF} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 2,332 \text{ kWh} \times 20\% \times 24 = 11,19 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_m(\text{cf}) &= E_d(\text{cf}) \times 30 \\
 &= 11,19 \text{ kWh} \times 30 = 335,81 \text{ kWh/bulan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_y(\text{cf}) &= E_d(\text{cf}) \times 365 \\
 &= 11,19 \text{ kWh} \times 365 = 4084,35 \text{ kWh/tahun} = 4,1 \text{ MWh/tahun}
 \end{aligned}$$

Ket: E_h = Energi per jam (kWh)

E_d = Energi per hari (kWh)

E_m = Energi per bulan (kWh)

E_y = Energi per tahun (kWh)

A = Luas baling-baling kincir (m^2)

C_p = Coeficien of Performance

4.2.2. Energi Output Berdasarkan Data Ukur

Mulai tahun 2018, komponen-komponen yang ada di PLTH bayu biru mulai banyak yang rusak dan tidak difungsikan lagi. Salah satu penyebabnya adalah pemakaian alat dan komponen yang melebihi batas lifetime yang telah ditentukan misalnya baterai. Namun pada saat perawatan komponen yang ada dana yang dibutuhkan tidak mencukupi untuk memperbaiki komponen-komponen yang telah rusak.

Pada pembangkit listrik dari turbin angin bagian timur sudah tidak difungsikan lagi dan pada bagian barat energi listrik yang dihasilkan disalurkan ke penerangan lampu jalan tidak ke beban konsumen. Kemudian pada pembangkit listrik dari solar panel yang masih difungsikan yaitu bagian KKP dan bagian barat. Solar panel bagian KKP dengan sistem 48V dan bagian barat dengan sistem 240V. Menurut informasi yang didapatkan hal ini dilakukan karena jumlah baterai yang masih berfungsi relatif sedikit dan minimnya dana perawatan.

Pada penelitian ini, perhitungan energi listrik hanya fokus kepada solar panel bagian KKP(48V) dan bagian barat(240V) dengan data yang diambil dari pengukuran harian di PLTH bayu biru. Untuk energi listrik turbin angin tidak dihitung karena hasil pengukuran yang tidak pasti didapatkan di PLTH pada tahun 2018. Berikut perhitungan energi listrik PV atau solar panel.

→ Energi listrik dari PV 48V bagian KKP

I PV 48V (KKP)					
Jam	Iout₁ (A)	Iout₂ (A)	Iout₃ (A)	Iout₄ (A)	Eout (Wh)*
09.00	5,11	24,13	33,65	27,43	4335,36
10.00	16,83	22,34	20,51	35,91	4588,32
11.00	23,07	24,56	19,84	39,11	5115,84
12.00	21,04	22,21	17,51	35,13	4602,72
13.00	19,37	19,92	16,92	29,43	4110,72
14.00	18,36	18,80	15,58	26,71	3813,6
15.00	16,78	15,96	17,72	23,5	3550,08
16.00	10,3	9,37	6,49	28,46	2621,76
Etot (W)					32738,4

$$*E_{out} = (I_{out1} \times 48V) + (I_{out2} \times 48V) + (I_{out3} \times 48V) + (I_{out4} \times 48V)$$

Tabel 4. 2 Energi listrik PV 48V

Hasil perhitungan di atas (tabel 4.2) didapat energi listrik 32738,4 Wh atau 32,7384 kWh/hari, sedangkan pada hasil perhitungan PV sebelumnya di grup KKP adalah 32,773 kWh/hari dengan selisih 0,0346V.

→ Energi listrik dari PV 240V bagian barat

I PV 240V (Barat)		
Jam	Iout (A)	Eout (Wh)
09.00	11,48	2755,2
10.00	13,32	3196,8
11.00	15,20	3648,0
12.00	13,75	3300,0
13.00	9,34	2241,6
14.00	8,19	1965,6
15.00	5,79	1389,6
16.00	4,87	1168,8
Etot (Wh)		19665,6

Tabel 4. 3 Energi listrik PV 240V

Hasil perhitungan di atas tabel 4.3 menghasilkan energi listrik sebesar 19665,6 Wh atau 19,666 kWh, sedangkan pada hasil perhitungan dengan rumus sebelumnya pada bagian barat sebesar 40,162 kWh. Hasil tersebut memiliki selisih 20,496 kWh, tentunya selisih tersebut cukup besar. Perbandingan selisih tersebut yaitu $(19,666 / 40,162) \times 100\% = 48,967\%$. Dengan Hasil tersebut yang memiliki selisih 20,496 kWh tentunya cukup merugikan. Kemungkinan ada bagian solar panel yang rusak atau ada bagian yang tidak terpakai, atau memang memiliki rugi-rugi dan koefisiensi yang rendah seperti losses baterai karena sudah lama pemakaian. Jikalau memiliki koefisiensi performance rendah maka nilai

Performance Ratio hasil yang sebelumnya 0,74 dikali lagi dengan 48,967% sama dengan 0,36.

Energi total yang dihasilkan dari solar panel baik sistem 48v maupun 240v adalah

$$E_{tot} = 32,744 \text{ kWh} + 19,66 \text{ kWh}$$

$$= 52,404 \text{ kWh/hari}$$

4.3 Pengujian Aplikasi Microsoft Visual Studio

Pada tahap pengujian aplikasi yang telah dibuat, input data menggunakan data seperti perhitungan menggunakan rumus yang dimasukkan ke kotak masing-masing seperti gambar 4.5 berikut.

Gambar 4. 5 Tampilan simulasi energi

Untuk memasukkan data-data tersebut perlu juga mencentang kotak checked pada Solar Panel dan Turbin Angin agar nilai outputnya muncul. Data input yang mengandung koma harus diganti titik pada saat input data. Data-data input yang digunakan pada solar panel maupun turbin angin yaitu sebagai berikut.

Solar Panel				Turbin Angin		
Label	Data Input			Label	Data Input	
Radiasi	4,52 kWh/m ² /day			Kecepatan	5,14 m/s	
Area (m ²)	0,791	1,616	1,277	Diameter (m)	3	-
Jmlh Panel	120	44	40	Jmlh Turbin	14	-
Koefisien Total	0,094	0,102	0,058	Koefisien Total	0,2835	
Waktu ON	6 jam			Waktu ON	5 jam	
Capacity Factor	0,17			Capacity Factor	0,20	

Tabel 4. 4 Data input form simulasi

Koefisien total dari solar panel didapat dari efisiensi masing-masing grup barat (12,65%), KKP(13,78%), dan timur(7,85%) dan Performance ratio(74%). Sedangkan pada koefisien total turbin angin didapat dari koefisien sistem/desain 35% dan koefisien losses keseluruhan (81%).

Setelah input data, untuk mendapatkan hasil output maka diklik pada tombol 'Hitung' sehingga akan muncul tampilan gambar 4.6. Hasil tersebut meliputi output energi baik pada solar panel maupun turbin angin dalam jam, hari, dan bulan. Pada tampilan listbox akan menampilkan energi per tahun.

PERHITUNGAN ENERGI OUTPUT PLTH BAYU BIRU

Solar Panel

Solar Panel

Radiasi (kWh/m²/d) 4.52 panel chart

Area (m²/panel) 0.791 + 1.616 + 1.277

Jmlh panel 120 + 44 + 40

Koefisien total 0.094 + 0.102 + 0.058

Waktu ON (jam/hari) 6

Capacity Factor

Output (kWh) 14.42 /jam
86.5 /hari
2595.08 /bulan

Turbin Angin

Turbin Angin

Kecepatan (m/s²) 5.14 turbin chart

Diameter (m) 3 +

Jmlh turbin 14 +

Koefisien total 0.283 +

Waktu ON (jam/hari) 5

Capacity Factor

Output (kWh) 2.22 /jam
11.12 /hari
333.66 /bulan

Output energi solar panel setahun= 31.57 MWh
Output energi turbin angin setahun= 4.06 MWh
Output energi Total setahun= 35.63 MWh

SIMULASI OUTPUT ENERGI

Hitung Clear Chart

Legend: Solar Panel (Red), Turbin Angin (Blue), Hybrid (Green)

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows

Gambar 4. 6 Hasil output dengan tombol ‘Hitung’

Untuk hasil perhitungan dengan kapasitas faktor sebagai berikut,

PERHITUNGAN ENERGI OUTPUT PLTH BAYU BIRU

Solar Panel

Solar Panel

Radiasi (kWh/m²/d) 4.52 panel chart

Area (m²/panel) 0.791 + 1.616 + 1.277

Jmlh panel 120 + 44 + 40

Koefisien total 0.094 + 0.102 + 0.058

Waktu ON (jam/hari)

Capacity Factor 0.17

Output (kWh) 21.2 /jam
86.5 /hari
2595.08 /bulan

Turbin Angin

Turbin Angin

Kecepatan (m/s²) 5.14 turbin chart

Diameter (m) 3 +

Jmlh turbin 14 +

Koefisien total 0.2835 +

Waktu ON (jam/hari)

Capacity Factor 0.2

Output (kWh) 2.23 /jam
10.7 /hari
320.88 /bulan

Output energi solar panel setahun= 31.57 MWh
Output energi turbin angin setahun= 3.9 MWh
Output energi Total setahun= 35.48 MWh

SIMULASI OUTPUT ENERGI

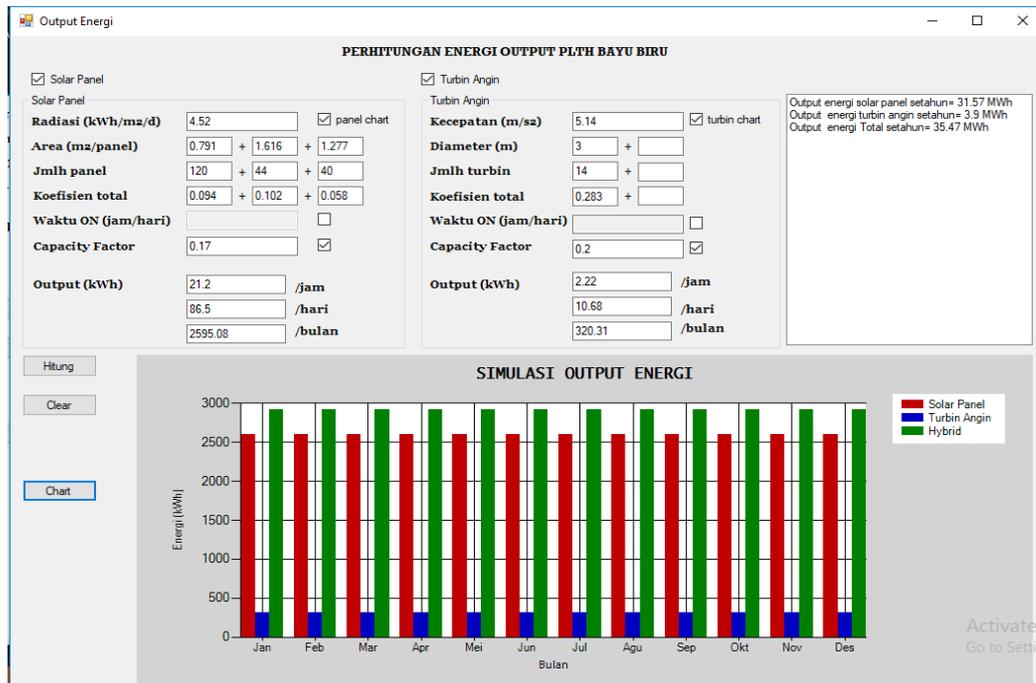
Hitung Clear Chart

Legend: Solar Panel (Red), Turbin Angin (Blue), Hybrid (Green)

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows

Gambar 4. 7 Hasil output dengan input CF

Untuk menampilkan grafik maka perlu menekan tombol ‘Chart’ sehingga akan muncul seperti gambar 4.8. Tampilan grafik tersebut mewakili energi output perbulan selama setahun.



Gambar 4. 8 Tampilan grafik dengan tombol ‘Chart’

Ketika ingin menghitung kembali maka diperlukan mengklik tombol ‘Clear’ untuk menghapus layar, maka akan kembali seperti semula seperti gambar 4.4 sebelumnya.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, data output energi turbin aktual tidak didapatkan dari PLTH bayu baru, sedangkan selisih antara hasil aplikasi dengan aktual yaitu $86,5 - 52,4 = 34,1$ kWh. Hasil selisih 34,1 kWh bisa disebabkan oleh nilai koefisien total dari salah satu grup kurang tepat berhubungan rugi-rugi yang disebabkan oleh baterai cukup besar karena pemakaian yang melebihi batasa lifetime atau sudah banyak solar panel yang tidak dipakai karena kekurangan baterai. Berikut perbandingan hasil energi output per hari antara hasil simulasi dengan energi output aktual, dengan nilai error yang dihasilkan yaitu:

$$\text{Error} = \frac{|\text{Aktual} - \text{Aplikasi}|}{\text{Aplikasi}} \times 100\% = \frac{|52,4 - 86,5|}{86,5} \times 100\% = 39,4\%$$

Jenis pembangkit	Aplikasi (kWh/hari)	Aktual (kWh/hari)	Error (%)
Solar Panel	86,5	52,4	39,4 %
Turbin Angin	10.7	-	

Tabel 4. 5 Perbandingan energi simulasi dengan aktual