

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO BERBANTUAN PROGRAM TURBNPRO DI DESA SINAR PEKAYAU KECAMATAN SEPAUK KABUPATEN SINTANG

Firman Jamali

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
firman_jamali@yahoo.com

Abstrak- Provinsi Kalimantan Barat sangat luas dan banyak desa-desa yang belum teraliri listrik. Sumber energi yang digunakan untuk membangkitkan listrik hingga saat ini masih didominasi oleh bahan bakar fosil. Minihidro merupakan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan yang memiliki potensi untuk menggantikan bahan bakar fosil dan potensinya banyak terdapat di daerah Kalimantan Barat. Skripsi ini membahas tentang perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) yang berlokasi di Desa Sinar Pekayau Kecamatan Sepauk Kabupaten Sintang. Metode pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini dengan mengumpulkan data langsung dari lapangan yang berupa pengukuran langsung kemudian menggunakan bantuan program Google Earth untuk menentukan lokasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Selanjutnya mengolah data dan melakukan simulasi dengan menggunakan piranti lunak TURBNPRO Version 3.2 serta melakukan analisis dan memberikan desain turbin hasil simulasi. Dari hasil data di lapangan dilakukan pengukuran sebanyak 2 kali pengukuran dengan mengacu berdasarkan pada rata-rata curah hujan per tahun sebagai data sekunder atau data penguat untuk menghasilkan debit. Pada perencanaan desain PLTM data diambil dari nilai debit terendah yaitu pada pengukuran 1 dengan debit sebesar $0,8983 \text{ m}^3/\text{det}$ dan head efektif sebesar 37,5m. Dengan piranti lunak TURBNPRO menunjukkan bahwa debit air Sinar Pekayau mampu menghasilkan daya mekanik sebesar 303 kW dan desain turbin yang dipilih pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro Sinar Pekayau adalah turbin Propeller. Sedangkan daya listrik yang dapat dihasilkan generator sebesar 353,75 kVA sehingga generator yang dipilih adalah rating daya sebesar 385 kVA (3 fasa) dengan cara pemasangan kopel langsung.

Kata Kunci: PLTM, TURBNPRO, Generator, Turbin.

1. Pendahuluan

Pemerintah Pusat sangat memperhatikan dan mendukung usaha pemanfaatan energi terbarukan atau energi hijau dimana di dalamnya termasuk energi air. Keseriusan ini dibuktikan dengan adanya Kepmen ESDM 1122/30/MEM/2002 tentang Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Tersebar dan Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi.

Berdasarkan Data dan Statistik PT. PLN (Persero) Kalimantan Barat, pada tahun 2012 jumlah desa sebanyak

1.804 desa di Kalimantan Barat, yang telah berlistrik adalah 1005 desa atau sebesar 55,71%. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat 799 desa atau 44,29% desa yang belum berlistrik.

Pemanfaatan sumber energi listrik yang selama ini masih didominasi dari sumber energi konvensional (bahan bakar minyak) membuat ketergantungan yang sulit dihilangkan terhadap jenis energi tersebut yang ketersediaannya sudah sangat terbatas. Sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional dan untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar minyak, harus dicari sumber energi lain atau sumber energi alternatif yang berasal dari sumber energi setempat.

Salah satunya terdapat di Desa Sinar Pekayau, Kecamatan Sepauk Kabupaten Sintang yaitu air terjun Sinar. Oleh karena itu, pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) sangat tepat dan sesuai dengan potensi daerah tersebut dengan head (tinggi jatuh air) yang didapat, sehingga dapat mengetahui seberapa besar kapasitas energi yang dihasilkan. Setelah itu, penelitian dilanjutkan dengan memberikan alternatif skema dan rancangan turbin serta beberapa hal teknis PLTM untuk head di lokasi aliran air tersebut.

2. Dasar Teori

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

Air adalah sebuah sumber energi terbarukan dan merupakan teknologi yang sudah lama dikenal terbukti handal. Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Tenaga air (*hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi mekanik air untuk selanjutnya diubah menjadi energi listrik dengan mempergunakan seluruh turbin air yang terpasang pada generator listrik.

2.2. Klasifikasi Pembangkit Tenaga Listrik Hidro

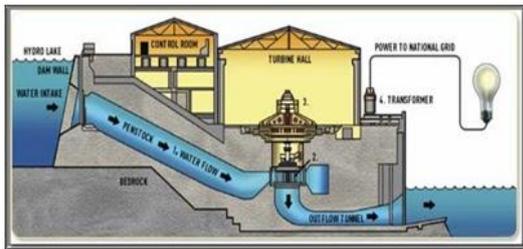
Berikut ini disampaikan klasifikasi pembangkit listrik hidro secara umum berdasarkan daya yang dihasilkannya.

Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Daya Listrik Hidro

Klasifikasi Pembangkit	Daya
Large hydro	> 100 MW
Medium hydro	15-100 MW
Small hydro	1-15 MW
Mini hydro	100 kW < x < 1 MW
Micro hydro	5-100 kW
Pico hydro	< 5 kW

2.3. Potensi Energi Air

Pembangkit listrik tenaga minihidro mengkonversi tenaga air menjadi tenaga listrik, mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air yang kemudian turbin air tersebut memutar generator sehingga mampu dihasilkan tenaga elektrik. Dapat dilihat pada skema gambar 1.



Gambar 1 Skema Konversi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tenaga potensial teoritis suatu aliran yang mempunyai tinggi sebesar $H(m)$ dan kapasitas debit sebesar $Q (m^3/det)$ maka daya listrik (P_e) secara teoritis dihitung dengan persamaan :

$$P_e = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (kW)} \quad (1)$$

dimana P_e = daya listrik (kW)
 η = gabungan efisiensi total
 g = gravitasi (m/det^2)
 H = ketinggian pada air (m)

Metode yang sering digunakan adalah dengan menggunakan alat ukur arus (*current meter*), karena beberapa keuntungan yang dimiliki oleh alat tersebut. Pertama, mudah dalam penggunaannya, kemudian faktor kesalahan pengamatan kecil, dan dengan menggunakan alat ukur arus, faktor koreksi diabaikan. Sebagaimana yang dikemukakan sebelumnya bahwa, jika menggunakan alat ukur arus, maka faktor koreksi (k) diabaikan sehingga persamaan untuk mencari debit air adalah :

$$Q = V \cdot A \quad (2)$$

dimana: Q = debit air (m^3/det)
 V = kecepatan aliran (m/det)
 A = luas penampang aliran (m^2)

Untuk menghitung luas penampang persamaan dapat ditulis:

$$A = L(m) \cdot d(m) \quad (3)$$

dimana: A = luas penampang aliran (m^2)
 L = lebar saluran (meter)
 D = kedalaman air rata-rata (meter)

2.4. Turbin

Dalam suatu sistem pembangkit listrik dengan tenaga air, turbin air merupakan salah satu peralatan utama selain generator. Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, mengkonversikan energi dari sejumlah air yang jatuh menjadi energi mekanik pada putaran poros turbin yang nantinya poros tersebut akan memutar generator. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Pemilihan turbin pada suatu pembangkit didasarkan pada beberapa pertimbangan antara lain *head* dari lokasi yang bersangkutan, daya yang ingin dibangkitkan, variasi debit air yang mengalir, serta kecepatan putaran turbin yang diinginkan untuk memutar generator.

Tabel 2 Pengelompokan Turbin

Jenis	Head Tinggi	Head Sedang	Head Rendah
Turbin Impuls	Pelton	Cross-Flow	Cross-Flow
	Turgo	Multi-Jet Pelton	
Turbin Reaksi		Francis	Propeller Kaplan

Tabel 3 Klasifikasi Head

Klasifikasi	Head
Head Rendah	2-40 meter
Head Sedang	40-100 meter
Head Tinggi	Lebih dari 100 meter

Berdasarkan prinsip kerja turbin air dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua jenis yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls adalah energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada pipa semprot (*nozzle*). Air keluar *nozzle* yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Sedangkan pada turbin reaksi, konversi energi tidak hanya dengan energi kinetik dari kecepatan air saat menumbuk sudu turbin namun terjadi pula tambahan energi kinetik akibat adanya perbedaan tekanan pada sudu bergerak turbin. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner dapat berputar.

Salah satu contoh turbin air kategori impuls dan reaksi :

1. Crossflow

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya.

Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin crossflow. Turbin Crossflow dapat dioperasikan pada debit 0,1–10 m³/s dan head 2–200 m. Turbin Crossflow menggunakan nozzle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner (bagian turbin yang berputar). Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis.

2. Turbin Propeler atau Kaplan

Propeller merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu. Turbin ini cocok untuk head rendah dan sedang sekitar 3–40 m dengan debit bervariasi dari 1,5–40 m³/s. Pada turbin ini terdapat dua jenis pengaturan sudu atau sudu dapat diatur (*adjustable blade*) dan pengaturan *guide vane* atau *guide vane* dapat diatur (*adjustable guide vane*).

2.5. Prediksi Debit Aliran Air

Terdapat berbagai cara yang sangat rumit di dalam menentukan dan memprediksi debit aliran air sungai dan saluran. Dalam proses penelitian dapat menggunakan metode yang sederhana untuk memprediksi debit yaitu dengan metode *area-rainfall* atau curah hujan dan metode pengukuran langsung. Dalam metode pengukuran langsung kegiatan akan lebih banyak dilakukan di lapangan atau area survey karena survey benar-benar dilakukan di lapangan. Pada pengukuran langsung ini dapat menggunakan antara lain metode *salt gulp method*, dan *float method* yang nantinya hanya dipilih salah satu untuk dilakukan pada lokasi survey

2.5.1. Salt Gulp Method

Metode ini cukup sederhana dan memiliki nilai akurasi yang cukup baik khususnya untuk area sungai yang lebar dan memiliki bentuk tidak beraturan. Secara umum metode ini dilakukan dengan cara melarutkan sejumlah garam ke dalam satu timba air yang kemudian larutan garam ini dibuang ke sungai dan pada jarak tertentu di sungai bagian bawah diukur nilai konduktivitas air sungai dengan konduktivitas meter, pada prinsipnya saat larutan garam dibuang ke sungai ia akan melarut dan menyebar ke air sungai. Saat aliran air deras maka konduktivitas meter akan menunjukkan nilai.

2.5.2. Float Method

Metode ini dapat digunakan apabila aliran air cenderung lurus, tidak beriak atau bergelombang dan tidak banyak halangan pada saluran air, dengan menggunakan sebuah benda yang dapat melayang di dalam aliran air dan mengalir bersama aliran air.

Kecepatan rata-rata aliran air tersebut kemudian dikoreksi dengan mengalikannya dengan faktor koreksi tertentu sesuai dengan kondisi yang ada pada aliran sungai dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Faktor Koreksi *Float Method*

Kondisi Sungai / Saluran	Faktor Koreksi
Sungai besar, lurus, lambat dan tidak banyak halangan	0,75
Saluran bersemen, lurus, dan bentuknya teratur	0,85
Saluran bersemen, dangkal, lurus dan berbentuk teratur	0,8
Sungai kecil, lurus dan tidak banyak halangan	0,65
Sungai dangkal dan bergelombang	0,45
Sangat dangkal dan bergelombang	0,25

Luas area yang dilalui oleh aliran air diukur dengan cara mengukur sisi-sisi aliran air dan kedalaman rata-rata saluran dan kemudian dihitung luasnya. Setelah didapatkan luas area yang dilalui oleh sungai maka debit aliran air dapat dengan mudah dihitung dengan mengalikan kecepatan rata-rata yang telah dikoreksi oleh factor koreksi dengan luas area yang dilalui oleh aliran air secara *cross-section*.

$$Q = \bar{V} \cdot F \cdot \bar{A} \text{ (m}^3\text{/det)} \quad (4)$$

Dimana : Q = debit aliran air dalam m³/det

V = kecepatan aliran sungai rata-rata dalam m/det

F = faktor koreksi sesuai kondisi saluran/sungai
A = luas rata-rata yang dilalui aliran air secara *cross-section* dalam m²

Gambaran umum head dapat diperoleh dengan mengamati peta topografi area yang bersangkutan. Hal ini akan merepresentasikan gambaran secara ringkas mengenai ketinggian dan elevasi area, namun untuk penentuan *head* secara lebih lanjut perlu dilakukan secara langsung.

2.6. Generator

Generator merupakan alat untuk mengubah daya poros turbin menjadi energi listrik. Pada minihidro umumnya digunakan generator sinkron dan generator induksi sebagai generator.

Generator sinkron beroperasi pada kecepatan sinkron yang berhubungan dengan frekuensi sistem. Saat turbin dihubungkan ke generator sinkron, yang terhubung ke jaringan PLN, maka kecepatannya akan konstan, tidak mungkin berubah, sesuai dengan frekuensi jaringan. Sedangkan generator induksi adalah mesin induksi yang bekerja sebagai generator, oleh karena itu mesin induksi mempunyai persamaan dan konstruksi yang sama untuk generator maupun untuk motor.

2.7. Program TURBNPRO Version 3.2

TURBNPRO merupakan program untuk mengolah data teknis dan melakukan pengukuran atau

penggambaran turbin air. Beberapa data yang berhubungan dengan keadaan lokasi turbin tersebut bekerja dimasukkan, juga parameter-parameter operasi dan susunan peralatan yang diinginkan. Setelah itu, terdapat beberapa pilihan ukuran, kecepatan, batasan operasi, dimensi, dan karakteristik dayaguna dari solusi turbin yang sesuai dengan data yang dimasukkan. Selain itu, TURBNPRO dapat digunakan untuk menentukan perkiraan produksi energi selama satu tahun dari satu atau beberapa solusi turbin yang untuk dibuat,

3. Keadaan lokasi dan data lapangan

3.1. Letak Lokasi Geografis Desa Sinar Pekayau

Letak geografis Riam Sinar Desa Sinar Pekayau Kecamatan Sepauk Kabupaten Sintang yang direncanakan sebagai lokasi PLTM berada pada koordinat S: 00° 22' 00,5" E: 111° 06' 11,0".

3.2. Tinggi Jatuh Air dan Tinggi Jatuh Air Efektif

Penentuan tinggi jatuh air efektif (*net head*) untuk perhitungan desain dilakukan dengan memperhitungkan *head losses* baik *friction losses* maupun *turbulence losses* dengan mempertimbangkan ukuran diameter dan ukuran *penstock* yang paling optimal pada *track* Riam Sinar, maka didapatkan tinggi jatuh air terukur/*geodetic head* (*gross head*) = 39 meter dan tinggi jatuh air efektif = 37,5 meter.

4. Perhitungan Debit Desain

Pengukuran debit air sungai, idealnya dilakukan minimal satu tahun, dan debit air yang menjadi acuan adalah debit minimal pada bulan kemarau. Selain data pengukuran debit air yang digunakan, data curah hujan dari badan meteorologi dapat dimanfaatkan sebagai data sekunder atau data penguat. Data debit air terjun Riam Sinar yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan data debit harian dengan dua kali pengukuran dengan mengacu pada data rata-rata curah hujan pertahun. Data ini diambil pada bulan November 2012 saat musim tidak hujan. Pada pengukuran di dapat rata-rata luas penampang 1 sebesar 1,6780 m² dan luas penampang 2 sebesar 1,3515 m² dan rata-rata debit 1 sebesar 1129,92 liter/det dan rata-rata debit 2 sebesar 1142,6 liter/det.

Penentuan debit desain dilakukan dengan optimalisasi antara debit yang terukur pada saat dilakukan survei disesuaikan dengan kebutuhan debit desain ideal dengan mempertimbangkan perkiraan debit pada musim puncak kemarau. Disamping itu perhitungan debit desain dengan metoda *float method* dipergunakan untuk mendukung perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan data pada pengukuran 1, dari data di dapat perhitungan debit desain sebesar 0,8983 m³/det.

4.1 Simulasi dan Analisa

4.1.1. Data Masukan simulasi PLTM Sinar Pekayau

Data masukan untuk simulasi program TURBNPRO diambil data yang paling terkecil yaitu pada pengukuran 1 dengan debit air sebesar 0,8983 m³/det. Dari data di lapangan *head* efektifnya 37,5 meter dan *head* lokasi 39 meter yang pengukuran dilakukan pada

saat musim penghujan. Salah satu data yang dibutuhkan untuk simulasi program TURBNPRO adalah *head* efektif minimum. Nilai ini tidak diperoleh saat pengukuran. Oleh karena itu besarnya *head* efektif minimum ini diperoleh dengan mengansumsikan besarnya adalah 85% dari *head* efektif. Dengan demikian *head* efektif minimum adalah 85% x 37,5 meter = 31,875. Sedangkan Data elevasi lokasi PLTM diperoleh dari Google Earth dan data temperatur air diperoleh dari pengukuran langsung ke lokasi dengan menggunakan termometer.

Data keadaan lokasi untuk PLTM Sinar Pekayau dimasukkan ke *Data Entry Form* dengan menggunakan turbin jenis Axial/Propeller seperti pada Gambar 2 Selanjutnya terdapat pilihan solusi ukuran dan karakter turbin yang memungkinkan serta perkiraan potensi daya mekanik yang dihasilkan sesuai dengan data masukan seperti pada Gambar 2.

Gambar 2 Data Masukan Untuk PLTM Sinar Pekayau

4.1.2. Pemilihan Ukuran dan Kecepatan Spesifik Turbin

Dari data masukan pada gambar 2, terdapat beberapa pilihan solusi ukuran dan karakter turbin seperti pada Gambar 3.

Solution Number	Runner Diameter (mm)	Runner Diameter (Inches)	Unit Speed (rpm)	Specific Speed (NS)	Centerline Setting (meters)
1	450	17.7	1500.0	281	2.3
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0
0	0	0.0	0.0	0	0.0

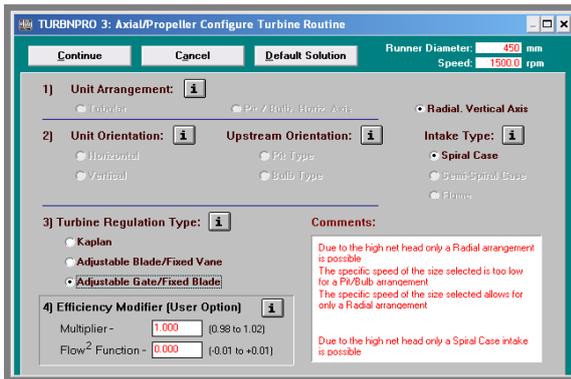
Gambar 3 Pemilihan Ukuran dan Kecepatan Spesifik Turbin Untuk PLTM Sinar Pekayau

Berdasarkan data dari gambar 3 terlihat bahwa hasil eksekusi program TURBNPRO hanya menghasilkan satu solusi yaitu turbin dengan diameter runner sebesar 450 mm atau 17,7 inchi, kecepatan turbin 1500 rpm, kecepatan spesifikasi 281 Ns, dan daya *output* sebesar 303 kW.

4.1.3. Susunan dan Pengaturan Turbin

Setelah menentukan ukuran turbin, langkah selanjutnya menentukan bentuk atau susunan turbin dapat dilihat pada gambar 4 Jenis susunan *radial vertical axis* yang dipilih adalah *Spiral Case*. Susunan seperti ini sangat menguntungkan, karena dapat digunakan untuk *head* rendah maupun *head* tinggi dan lebih mudah dalam

perawatan generator dan bentuk rumah pembangkit lebih sederhana.

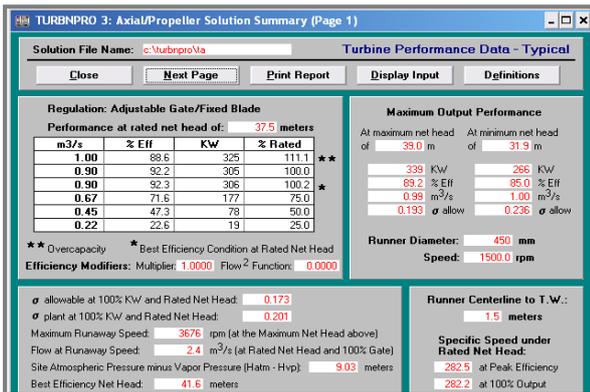


Gambar 4 Susunan dan Pengaturan Turbin Untuk PLTM Sinar Pekayau

Selanjutnya pada penentuan susunan turbin dengan menentukan jenis pengaturan turbin. Pengaturan turbin yang dipilih adalah jenis *guide vane* yaitu turbin propeller *guide vane*-nya dapat diatur bersudu tetap (*Adjustable guide vane/ fixed blade*) dapat dilihat pada gambar 4 Pengaturan turbin ini sangat cocok untuk debit skala kecil, selain biaya yang murah turbin jenis ini sangat mudah perawatannya dibandingkan dengan pengaturan jenis Kaplan atau jenis pengaturan sudu yang dapat diatur *guide vane* tetap (*adjustable blade/ fixed guide vane*).

4.1.4. Karakteristik dan Dayaguna Turbin

Setelah menentukan susunan turbin, terdapat tampilan data solusi turbin disertai karakteristik dan dayaguna turbin seperti pada Gambar 5. Dapat diamati pada Gambar 4 dengan pengaturan *guide vane*, efisiensi terbaik saat nominal pada *head* efektif rata-rata dengan nilai 92,3% dicapai pada debit 0,90 m³/s (100,2% dari debit rata-rata 0,90 m³/s) dengan daya yang diperoleh sekitar 306 kW untuk PLTM Sinar Pekayau.

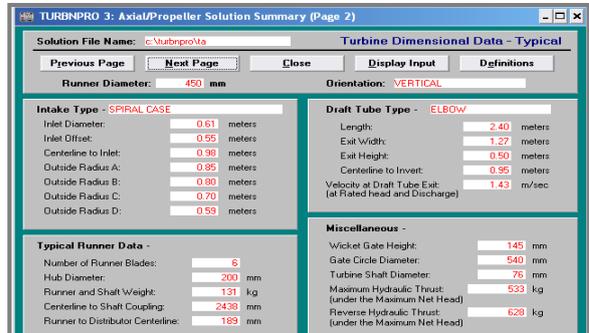


Gambar 5 Data Karakteristik dan Dayaguna Turbin Dengan Pengaturan Yang Dapat Diatur Bersudu Tetap Pada PLTM Sinar Pekayau

Saat beban nol pada *head* efektif maksimum, kecepatan putaran turbin bernilai 3676 rpm pada PLTM Sinar Pekayau. Ini merupakan *rating over speed* turbin yang harus diperhatikan saat pemilihan generator. Sedangkan saat *guide vane* terbuka maksimum pada *head* efektif rata-rata, sehingga debit yang mengalir lewat turbin sebesar 2,4 m³/s pada PLTM Sinar Pekayau.

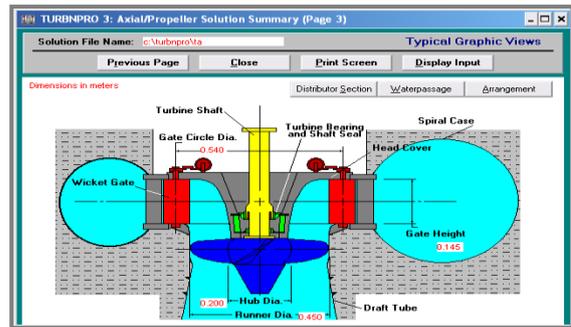
4.1.5. Konstruksi Turbin

Pada konstruksi turbin yang didesain mempunyai sudu sebanyak 6 buah dengan kecepatan air pada luaran *draft tube* sekitar 1,43 untuk PLTM Sinar Pekayau dan saluran luaran dari turbin (*tailrace*) berbentuk huruf *Spiral case* dapat dilihat pada gambar 6.

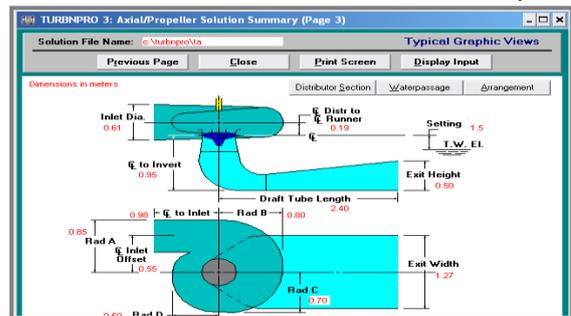


Gambar 6 Data Masukan Desain Turbin, Saluran Luar Turbin, Susunan Turbin dan Generator Pada PLTM Sinar Pekayau

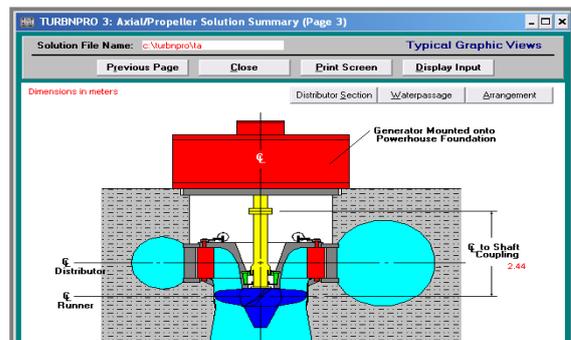
Desain turbin, saluran luaran turbin, susunan turbin dan generator yang sesuai dengan data masukan pada gambar 6 dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 7 Desain Turbin Untuk PLTM Sinar Pekayau



Gambar 8 Desain Saluran Luar Turbin Untuk PLTM



Gambar 9 Susunan Turbin dan Generator Untuk PLTM Sinar Pekayau

