



POTENSI AIR TERJUN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTMH) DI SUMATERA UTARA

Pidato Pengukuhan
Jabatan Guru Besar Tetap
dalam Bidang Ilmu Mekanika Fluida pada Fakultas Teknik,
diucapkan di hadapan Rapat Terbuka Universitas Sumatera Utara

Gelanggang Mahasiswa, Kampus USU, 13 September 2008

OLEH:

FAREL HASIROLAN NAPITUPULU



**POTENSI AIR TERJUN SEBAGAI PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTMH)
DI SUMATERA UTARA**

Pidato Pengukuhan
Jabatan Guru Besar Tetap
dalam Bidang Ilmu Mekanika Fluida pada Fakultas Teknik,
diucapkan di hadapan Rapat Terbuka Universitas Sumatera Utara

Gelanggang Mahasiswa, Kampus USU, 13 September 2008

Oleh:

FAREL HASIHOLAN NAPITUPULU

**UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN
2008**

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua

Yang terhormat,

- *Bapak Ketua dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Sumatera Utara*
- *Bapak Rektor Universitas Sumatera Utara*
- *Para Pembantu Rektor Universitas Sumatera Utara*
- *Ketua dan Anggota Senat Akademik Universitas Sumatera Utara*
- *Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Sumatera Utara*
- *Para Dekan Fakultas/Pembantu Dekan, Direktur Sekolah Pascasarjana, Direktur dan Ketua Lembaga di lingkungan Universitas Sumatera Utara*
- *Para Dosen, Mahasiswa, dan Seluruh Keluarga Besar Universitas Sumatera Utara*
- *Seluruh Teman Sejawat serta para undangan dan hadirin yang saya muliakan*

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa dan Maha Pengasih yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada saya dan kita semua sehingga dapat hadir dalam acara pengukuhan saya sebagai Guru Besar Tetap dalam Bidang Ilmu Mekanika Fluida (Fluid Mechanics) pada Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Semoga kehormatan yang saya peroleh pada hari ini senantiasa mendapat rida dari Tuhan Yang Maha Kuasa dan Maha Pengasih dan membawa berkah bagi saya sekeluarga, dan almamater saya Universitas Sumatera Utara.

Selanjutnya, izinkanlah saya menyampaikan Pidato Pengukuhan berjudul:

**POTENSI AIR TERJUN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MINIHIDRO (PLTMH) DI SUMATERA UTARA**

Hadirin yang saya muliakan,

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak sebagai sumber utama energi dunia saat ini mempunyai cadangan yang terbatas dengan tingkat konsumsi yang terus meningkat dari tahun ke tahun.

Demikianlah halnya dengan Indonesia yang dulunya dikenal sebagai negara pengekspor bahan bakar minyak, telah berubah menjadi negara pengimpor bahan bakar ini.

Untuk mengatasi krisis energi yang terjadi di negara ini, maka tidak ada pilihan selain meningkatkan pemanfaatan energi alternatif sebagaimana yang dilakukan negara-negara lain di dunia ini, baik itu negara berkembang maupun negara maju, antara lain peningkatan pemanfaatan energi terbarukan (renewabel energi)

Energi terbarukan adalah energi non-fosil yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui secara berkesinambungan dan bila dikelola dengan baik energi ini tidak akan habis, antara lain energi surya fotovoltaik, energi surya termal, energi biomasa/biogas, energi bio etanol, energi bio diesel, energi panas bumi, sel bahan bakar (fuel cell), energi samudra (energi panas laut, energi pasang surut, dan energi gelombang), energi angin, energi nuklir, dan energi air.

Di Indonesia pemanfaatan energi terbarukan dapat digolongkan dalam tiga kategori. Kategori yang pertama adalah energi yang sudah dikembangkan secara komersial, seperti energi biomassa/biogas, energi panas bumi, dan energi air. Kategori yang kedua adalah energi yang sudah dikembangkan tetapi masih terbatas pemanfaatannya seperti energi surya dan energi angin. Kategori yang ketiga adalah energi yang sudah dikembangkan tetapi baru sampai tahap penelitian seperti energi samudra.

Hadirin yang saya muliakan,

Pada tulisan ini pembahasan akan difokuskan pada salah satu dari energi terbarukan di atas ini, yaitu energi air.

Energi air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun). Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga air. Ini disebabkan kondisi topografi Indonesia yang bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai (besar dan kecil) dan di beberapa daerah tertentu terdapat danau dan atau waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi air.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti tidak merusak lingkungan, menunjang diversifikasi energi sebagai pemanfaatan energi terbarukan, menunjang program pengurangan

penggunaan BBM, dan sebagian besar konstruksinya menggunakan kandungan lokal.

Menurut Harsono di Harian Kompas, 24 Oktober 2004 [1], besar potensi energi air di Indonesia adalah 74.976 MW, dan sebesar 70.776 MW terdapat di luar Pulau Jawa, dan yang sudah termanfaatkan adalah sebesar 3.105,76 MW.

Selain PLTA, pembangkit listrik tenaga minihidro berkapasitas antara 200–5.000 kW potensinya adalah 458,75 MW, sangat layak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah pedesaan yang terpencil ataupun pedesaan di pulau-pulau kecil dengan daerah aliran sungai yang sempit [1].

Di daerah Sumatera Utara terdapat berbagai daerah yang cukup berpotensi dalam pengembangan sumber daya energi khususnya pengembangan pembangkit listrik tenaga minihidro atau mikrohidro bahkan pembangkit listrik tenaga air berkapasitas menengah dan besar. Potensi ini dapat dijumpai di daerah-daerah atau kabupaten yang berada di jajaran pegunungan Bukit Barisan seperti Humbang Hasundutan, Dairi, Pakpak Barat, Karo, Tapanuli Utara, dan Tapanuli Tengah.

Dari antara daerah tersebut di atas ini, Kabupaten Humbang Hasundutan merupakan salah satu daerah yang paling berpotensi dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga minihidro dan atau mikrohidro, karena menurut data dari Deperindag [2] di sana terdapat 22 air terjun dengan debit aliran yang berkisar antara 0,8 s.d. 10 m³/s dan ketinggian air terjun antara 5 s.d. 70 m.

Selanjutnya topik pembahasan tentang potensi air terjun di daerah Sumatera Utara, studi kasus difokuskan pada potensi air terjun di Kabupaten Humbang Hasundutan.

Hadirin yang saya muliakan,

2. ANALISIS TENTANG POTENSI AIR TERJUN YANG ADA DI KABUPATEN HUMBANG HASUNDUTAN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIIDRO

Kabupaten Humbang Hasundutan merupakan salah satu Kabupaten termuda di Propinsi Sumatera Utara, sebagai hasil pemekaran dari Kabupaten Tapanuli Utara yang secara geografis, terletak di bagian tengah Sumatera Utara, berada pada 2° 13' - 2° 28' Lintang Utara dan 98° 10' - 98° 57' Bujur Timur. Kabupaten ini berbatasan dengan Kabupaten Toba

Samosir di sebelah Utara, dengan Kabupaten Tapanuli Utara di sebelah Timur, dengan Kabupaten Tapanuli Tengah di sebelah Selatan, dan dengan Kabupaten Dairi di sebelah Barat. Memiliki luas wilayah sekitar 233.533 ha dengan jumlah penduduk 154.280 jiwa, dan keadaan tanah berbukit-bukit dan bergelombang diselingi dataran. Berdasarkan topografi daerah ini berada di jajaran Bukit Barisan dengan ketinggian 330 – 2037 meter di atas permukaan laut. Berdasarkan survei yang telah dibuat oleh Dinas Perindustrian Perdagangan dan Koperasi Pemkab Humbanghas 2004 di daerah ini terdapat beberapa lokasi air terjun yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTMH). Dengan data-data air terjun seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Data-Data Air Terjun di Kabupaten Humbanghas

| | | | |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1. AIR TERJUN SIPULAK | | 2. AIR TERJUN PEADUNGUNG | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 70 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 25 m |
| - Debit Air | : ± 5 m ³ /s | - Debit Air | : ± 2 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 3 m | - Lebar Air terjun | : ± 2 m |
| - Lebar Sungai | : ± 8 m | - Lebar Sungai | : ± 4 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1,5 m | - Kedalaman Sungai | : ± 1 m |
| 3. AIR TERJUN POLLUNG | | 4. AIR TERJUN TAHURJATI | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 65 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 5 m |
| - Debit Air | : ± 4 m ³ /s | - Debit Air | : ± 2 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 3,5m | - Lebar Air terjun | : ± 2,5m |
| - Lebar Sungai | : ± 3 m | - Lebar Sungai | : ± 4 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1,5m | - Kedalaman Sungai | : ± 1 m |
| 5. AIR TERJUN SIMANDAME | | 6. AIR TERJUN NAMO SARANGAN | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 25 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 15 m |
| - Debit Air | : ± 6 m ³ /s | - Debit Air | : ± 3 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 10 m | - Lebar Air terjun | : ± 2 m |
| - Lebar Sungai | : ± 14 m | - Lebar Sungai | : ± 2 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1 m | - Kedalaman Sungai | : ± 1 m |
| 7. AIR TERJUN SIBOKKIK | | 8. AIR TERJUN SIMURSA | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 20 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 15 m |
| - Debit Air | : ± 4 m ³ /s | - Debit Air | : ± 15 m |
| - Lebar Air terjun | : ± 3 m | - Lebar Air terjun | : ± 6 m |
| - Lebar Sungai | : ± 4 m | - Lebar Sungai | : ± 10 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1,5m | - Kedalaman Sungai | : ± 1 m |
| 9. AIR TERJUN SIMURSA II | | 10. AIR TERJUN SIBABO | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 6 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 35 m |
| - Debit Air | : ± 1,5m ³ /s | - Debit Air | : ± 10 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 2 m | - Lebar Air terjun | : ± 72 m |
| - Lebar Sungai | : ± 6 m | - Lebar Sungai | : ± 15 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 2 m | - Kedalaman Sungai | : ± 1,5 m |

| | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 11. AIR TERJUN SIMOLAP | | 12. AIR TERJUN SIPANG | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 65 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 18 m |
| - Debit Air | : ±3 m ³ /s | - Debit Air | : ±0,8m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 2 m | - Lebar Air terjun | : ± 1 m |
| - Lebar Sungai | : ± 2,5 m | - Lebar Sungai | : ± 1,5 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1 m | - Kedalaman Sungai | : ± 0,75m |
| 13. AIR TERJUN OMPU SARME | | 14. AIR TERJUN RAJA PANOPA | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 9 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 30 m |
| - Debit Air | : ±2 m ³ /s | - Debit Air | : ±3 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 4 m | - Lebar Air terjun | : ± 4 m |
| - Lebar Sungai | : ± 6 m | - Lebar Sungai | : ± 6 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1,5 m | - Kedalaman Sungai | : ± 1,5 m |
| 15. AIR TERJUN OMPU LAGANG | | 16. AIR TERJUN NADUMONGGOR | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 25 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 40 m |
| - Debit Air | : ±3 m ³ /s | - Debit Air | : ±2,5m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 3 m | - Lebar Air terjun | : ± 3 m |
| - Lebar Sungai | : ± 5 m | - Lebar Sungai | : ± 5 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1,5 m | - Kedalaman Sungai | : ± 1,5 m |
| 17. AIR TERJUN SIPULTAK HODA | | 18. AIR TERJUN JANJI | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 50 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 30 m |
| - Debit Air | : ±2 m ³ /s | - Debit Air | : ±1,5m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 1,5 m | - Lebar Air terjun | : ± 1 m |
| - Lebar Sungai | : ± 3 m | - Lebar Sungai | : ± 2 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 0,75m | - Kedalaman Sungai | : ± 0,75m |
| 19. AIR TERJUN MANONGA TAO | | 20. AIR TERJUN PARPAHUAN | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 40 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 45 m |
| - Debit Air | : ±10 m ³ /s | - Debit Air | : ±10 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 5 m | - Lebar Air terjun | : ± 5 m |
| - Lebar Sungai | : ± 7 m | - Lebar Sungai | : ± 7 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 2 m | - Kedalaman Sungai | : ± 2 m |
| 21. AIR TERJUN SIBUNDONG II | | 22. AIR TERJUN SIBUNDONG III | |
| - Ketinggian Air terjun | : ± 15 m | - Ketinggian Air terjun | : ± 18 m |
| - Debit Air | : ±5 m ³ /s | - Debit Air | : ±5 m ³ /s |
| - Lebar Air terjun | : ± 4 m | - Lebar Air terjun | : ± 1,5 m |
| - Lebar Sungai | : ± 10 m | - Lebar Sungai | : ± 2 m |
| - Kedalaman Sungai | : ± 1 m | - Kedalaman Sungai | : ± 3,5 m |

Dengan data air terjun pada Tabel 2.1 dapat diestimasi daya listrik yang mungkin dibangkitkan oleh ke-22 air terjun tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 dengan menggunakan rumus dari [1], yaitu:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \text{ (W)} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- γ = Berat jenis air (N/m³),
- Q = Debit air (m³/det)
- H = Ketinggian air terjun (m)

Tabel 2.2. Estimasi Daya Listrik yang Dihasilkan oleh 22 Air Terjun

| No. | Nama Air Terjun | Nama Sungai | Q | H | P | P |
|-----|-----------------|-------------------------|---------------------|----------------|-------------------|--------------|
| | | | (m ³ /s) | (m) | (W) | (MW) |
| 1 | Sipulak | Aek Siharar | 5 | 70 | 3.433.500 | 3,43 |
| 2 | Peadungdung | Aek Peadungdung | 2 | 25 | 490.500 | 0,49 |
| 3 | Pollung | Aek Sibuluan | 4 | 65 | 2.550.600 | 2,55 |
| 4 | Tahurjati | Sei Sopang | 2 | 5 | 98.100 | 0,98 |
| 5 | Simandame | Aek Sisira | 6 | 25 | 1.471.500 | 1,47 |
| 6 | Namo Sarangan | Aek Sisira | 3 | 15 | 441.450 | 0,44 |
| 7 | Sibokkik | Aek Rambe | 4 | 20 | 784.800 | 0,78 |
| 8 | Simursa | Sei Simursa | 2 | 15 | 294.300 | 0,29 |
| 9 | Simursa II | Sei Simursa II | 1,5 | 6 | 88.290 | 0,88 |
| 10 | Sibabo | Aek Simonggo | 10 | 35 | 3.433.500 | 3,43 |
| 11 | Simolap | Sei Baringin | 3 | 65 | 1.912.950 | 1,91 |
| 12 | Sipang | Aek Sipang | 0,8 | 18 | 141.264 | 0,14 |
| 13 | Ompu Sarme | Aek Pungga | 2 | 9 | 176.580 | 0,17 |
| 14 | Raja Panopa | Aek Pungga | 3 | 30 | 882.900 | 0,88 |
| 15 | Ompu Lagang | Aek Mahumba | 3 | 25 | 735.750 | 0,73 |
| 16 | Nadumonggor | Aek Sibuluan | 2,5 | 40 | 981.000 | 0,98 |
| 17 | Sipultak Hoda | Aek Silintong Gota-gota | 2 | 50 | 981.000 | 0,98 |
| 18 | Janji | Binanga Janji | 1,5 | 30 | 441.450 | 0,44 |
| 19 | Manonga Tao | Aek Silang | 10 | 40 | 3.924.000 | 3,92 |
| 20 | Parpahuan | Aek Silang | 10 | 45 | 4.414.500 | 4,41 |
| 21 | Sibundong II | Aek Sibundong | 5 | 15 | 735.750 | 0,73 |
| 22 | Sibundong III | Aek Sibundong | 5 | 18 | 882.900 | 0,88 |
| | | | | Total = | 29.296.584 | 29,30 |

Daya listrik yang terdapat pada Tabel 2.2 di atas masih dapat dioptimalkan, yaitu dengan memanfaatkan debit optimum masing-masing air terjun dengan merencanakan bendungan kemudian menghitung debit aliran sungai dengan rumus empiris yang didasarkan pada curah hujan serta luas daerah aliran sungai dan topografi daerah pengaliran.

Penentuan Debit Aliran Sungai dengan Rumus Empiris

Dalam hal ini akan ditunjukkan cara menentukan debit aliran Sungai Aek Silang dengan air terjunnya Parpahuan. Debit aliran sungai dapat dihitung dengan rumus empiris yang menurut [2] adalah:

$$Q = 0,277 \cdot f \cdot I \cdot A_{DAS} \dots\dots(2)$$

- dimana: Q = Debit rata-rata (m³/s)
 f = Koefisien pengaliran
 I = Intensitas hujan rata-rata (mm/jam)
 A_{DAS} = Catchment area/daerah tadah hujan (km²)

Data curah hujan yang diperlukan sekurang-kurangnya 10 tahun, dalam hal ini digunakan data curah hujan selama 18 tahun, yakni dari tahun 1988 hingga 2005 yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Sampali Medan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Data Curah Hujan (mm/hari)

| TAHUN | JAN | FEB | MAR | APR | MEI | JUN | JUL | AGST | SEP | OKT | NOV | DES |
|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1988 | 2,48 | 3,21 | 9,06 | 10,80 | 7,81 | 2,33 | 3,97 | 5,03 | 7,60 | 9,81 | 7,60 | 3,87 |
| 1989 | 5,52 | 2,21 | 9,84 | 12,70 | 3,39 | 1,67 | 1,87 | 10,65 | 6,83 | 1,77 | 12,33 | 2,19 |
| 1990 | 6,29 | 2,36 | 7,81 | 7,83 | 8,58 | 2,67 | 5,48 | 12,45 | 8,43 | 4,61 | 3,43 | 5,16 |
| 1991 | 2,58 | 0,89 | 10,32 | 9,27 | 12,58 | 2,13 | 7,74 | 1,77 | 13,67 | 7,10 | 10,17 | 3,39 |
| 1992 | 3,45 | 0,50 | 8,13 | 11,60 | 9,87 | 1,33 | 11,48 | 1,29 | 13,93 | 0,97 | 3,57 | 1,16 |
| 1993 | 1,65 | 0,57 | 8,10 | 12,00 | 7,16 | 1,13 | 2,45 | 7,00 | 10,20 | 1,29 | 7,90 | 3,26 |
| 1994 | 3,32 | 0,71 | 10,65 | 10,80 | 9,26 | 1,87 | 1,42 | 5,32 | 5,07 | 6,00 | 5,03 | 2,77 |
| 1995 | 8,23 | 0,54 | 3,48 | 7,87 | 3,19 | 3,07 | 0,97 | 4,61 | 6,73 | 0,77 | 9,37 | 1,77 |
| 1996 | 4,74 | 7,96 | 7,81 | 7,33 | 1,10 | 1,33 | 5,29 | 4,90 | 9,90 | 3,77 | 10,17 | 7,77 |
| 1997 | 1,65 | 6,43 | 3,42 | 2,77 | 3,39 | 4,17 | 3,29 | 1,29 | 1,33 | 7,13 | 6,20 | 6,68 |
| 1998 | 8,61 | 1,71 | 3,58 | 1,27 | 2,87 | 1,33 | 2,48 | 4,35 | 7,37 | 2,55 | 10,07 | 7,16 |
| 1999 | 6,42 | 7,57 | 3,29 | 3,23 | 4,29 | 2,67 | 2,16 | 4,52 | 2,63 | 2,42 | 9,43 | 3,16 |
| 2000 | 3,39 | 6,54 | 4,52 | 1,33 | 1,81 | 3,00 | 1,81 | 7,03 | 2,47 | 10,81 | 7,47 | 9,52 |
| 2001 | 9,03 | 9,68 | 3,52 | 6,07 | 3,65 | 3,80 | 1,48 | 5,06 | 11,17 | 2,87 | 8,63 | 9,32 |
| 2002 | 4,90 | 3,68 | 4,65 | 0,67 | 7,29 | 2,23 | 4,58 | 1,94 | 2,97 | 4,58 | 8,23 | 6,03 |
| 2003 | 4,23 | 3,82 | 3,16 | 3,20 | 2,81 | 3,43 | 1,61 | 5,10 | 4,73 | 7,68 | 8,03 | 6,68 |
| 2004 | 6,35 | 3,75 | 5,32 | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 2,42 | 5,16 | 11,00 | 10,65 | 8,97 | 7,55 |
| 2005 | 3,87 | 6,25 | 4,19 | 2,93 | 3,29 | 3,53 | 2,58 | 4,26 | 8,47 | 8,26 | 7,70 | 6,10 |

Sumber: Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Sampali Medan

Selanjutnya intensitas curah hujan rata-rata setiap jamnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus dari [5], yaitu:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{30}{t_c + 6} \right) \text{ (mm/jam)(3)}$$

dimana:

- R_{24} = Curah hujan rata-rata harian (mm/hari)
- t_c = Time of concentration, yaitu lama perjalanan yang diperlukan air dari tempat terjauh atau hulu ke titik pengamatan (jam)

Nilai t_c dapat dihitung dengan menggunakan rumus Kirpich [6]:

$$t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \text{ (menit).....(4)}$$

dimana:

- L = Panjang maksimum aliran Sungai Aek Silang = 26.000 m
- S = Beda ketinggian antara titik pengamatan dengan lokasi terjauh pada DAS dibagi panjang maksimum aliran.

$$S = \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

Δh = Beda tinggi antara titik pengamatan dengan hulu sungai
(diukur pada peta topografi)
= 1915 - 1407 m = 508 m

maka:

$$S = \frac{508m}{26000m}$$

$$= 0,0196$$

Sehingga:

$$t_c = 0,0195 (26000)^{0,77} (0,01960)^{-0,385}$$

$$t_c = 222,35 \text{ menit}$$

$$t_c = 3,70 \text{ jam}$$

Maka intensitas curah hujan setiap harinya dapat dihitung, misalnya untuk bulan Januari 1988 dimana $R_{24} = 2,48 \text{ mm/hari}$ diperoleh:

$$I = \frac{2,48 \text{ mm/hari}}{24} \left(\frac{30}{3.7 + 6} \right)$$

$$= 0,32 \text{ mm/jam}$$

Kemudian dengan memasukkan nilai-nilai di atas dan dari Tabel 2.3 ke rumus intensitas curah hujan, maka diperoleh intensitas curah hujan setiap jamnya pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4. Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

| TAHUN | JAN | FEB | MAR | APR | MEI | JUN | JUL | AGST | SEP | OKT | NOV | DES |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1988 | 0,32 | 0,41 | 1,17 | 1,39 | 1,01 | 0,30 | 0,51 | 0,65 | 0,98 | 1,26 | 0,98 | 0,50 |
| 1989 | 0,71 | 0,29 | 1,27 | 1,64 | 0,44 | 0,21 | 0,24 | 1,37 | 0,88 | 0,23 | 1,59 | 0,28 |
| 1990 | 0,81 | 0,30 | 1,01 | 1,01 | 1,11 | 0,34 | 0,71 | 1,60 | 1,09 | 0,59 | 0,44 | 0,67 |
| 1991 | 0,33 | 0,12 | 1,33 | 1,19 | 1,62 | 0,27 | 1,00 | 0,23 | 1,76 | 0,91 | 1,31 | 0,44 |
| 1992 | 0,44 | 0,06 | 1,05 | 1,49 | 1,27 | 0,17 | 1,48 | 0,17 | 1,80 | 0,12 | 0,46 | 0,15 |
| 1993 | 0,21 | 0,07 | 1,04 | 1,55 | 0,92 | 0,15 | 0,32 | 0,90 | 1,31 | 0,17 | 1,02 | 0,42 |
| 1994 | 0,43 | 0,09 | 1,37 | 1,39 | 1,19 | 0,24 | 0,18 | 0,69 | 0,65 | 0,77 | 0,65 | 0,36 |
| 1995 | 1,06 | 0,07 | 0,45 | 1,01 | 0,41 | 0,40 | 0,12 | 0,59 | 0,87 | 0,10 | 1,21 | 0,23 |
| 1996 | 0,61 | 1,03 | 1,01 | 0,91 | 0,14 | 0,17 | 0,68 | 0,63 | 1,28 | 0,49 | 1,31 | 1,00 |
| 1997 | 0,21 | 0,83 | 0,44 | 0,36 | 0,44 | 0,54 | 0,42 | 0,17 | 0,17 | 0,92 | 0,80 | 0,86 |
| 1998 | 1,11 | 0,22 | 0,46 | 0,16 | 0,37 | 0,17 | 0,32 | 0,56 | 0,95 | 0,33 | 1,30 | 0,92 |
| 1999 | 0,83 | 0,98 | 0,42 | 0,42 | 0,55 | 0,34 | 0,28 | 0,58 | 0,34 | 0,31 | 1,22 | 0,41 |
| 2000 | 0,44 | 0,84 | 0,58 | 0,17 | 0,23 | 0,39 | 0,23 | 0,91 | 0,32 | 1,39 | 0,96 | 1,23 |
| 2001 | 1,16 | 1,25 | 0,45 | 0,78 | 0,47 | 0,49 | 0,19 | 0,65 | 1,44 | 0,37 | 1,11 | 1,20 |
| 2002 | 0,63 | 0,47 | 0,60 | 0,09 | 0,94 | 0,29 | 0,59 | 0,25 | 0,38 | 0,59 | 1,06 | 0,78 |
| 2003 | 0,54 | 0,49 | 0,41 | 0,41 | 0,36 | 0,44 | 0,21 | 0,66 | 0,61 | 0,99 | 1,04 | 0,86 |
| 2004 | 0,82 | 0,48 | 0,69 | 0,45 | 0,39 | 0,39 | 0,31 | 0,67 | 1,42 | 1,37 | 1,16 | 0,97 |
| 2005 | 0,50 | 0,81 | 0,54 | 0,38 | 0,42 | 0,46 | 0,33 | 0,55 | 1,09 | 1,06 | 0,99 | 0,79 |

Koefisien Pengaliran (f)

Koefisien pengaliran (f) bergantung pada faktor-faktor fisik seperti topografi daerah pengaliran, perbedaan kegunaan tanah dan telah diketahui bahwa kondisi sekitar sungai yang ada ialah tanah bergelombang dan hutan.

Tabel 2.5. Koefisien Pengaliran

| Kondisi daerah pengaliran | Harga f |
|---|-------------|
| Daerah pegunungan yang curam | 0,75 - 0,90 |
| Daerah pegunungan yang tersier | 0,70 - 0,80 |
| Tanah bergelombang dan hutan | 0,50 - 0,75 |
| Tanah daratan yang ditanami | 0,45 - 0,60 |
| Persawahan yang diairi | 0,70 - 0,80 |
| Sungai di daerah pegunungan | 0,75 - 0,85 |
| Sungai kecil di dataran | 0,45 - 0,75 |
| Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari daratan | 0,50 - 0,75 |

Sumber: Kensaku T. "Hidrologi untuk Pengairan"

Berdasarkan tabel di atas sesuai dengan kondisi daerah sekitar sungai maka koefisien pengaliran yang dipilih adalah 0,5.

Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS merupakan tempat melimpahnya air hujan yang terkonsentrasi ke sungai. Luas DAS diperkirakan dengan melakukan pengukuran peta topografi dan kemudian dikalikan dengan skalanya. Dalam hal ini luas DAS Aek Silang adalah sekitar 149,25 kilometer persegi.

Misalnya pada bulan Januari 1988 dengan intensitas curah hujan 0,32 mm/jam, debit air sungai Aek Silang adalah:

$$Q = 0,277 \cdot f \cdot L \cdot A_{DAS}$$

$$Q = 0,277 (0,5) \cdot (0,32) \cdot (149,25)$$

$$Q = 6,6 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Selanjutnya untuk debit pada tahun dan bulan berikutnya dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6. Debit Sungai Aek Silang Selama 18 Tahun Terakhir (m³/s)

| TAHUN | JAN | FEB | MAR | APR | MEI | JUN | JUL | AGST | SEP | OKT | NOV | DES |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1988 | 6,62 | 8,56 | 24,15 | 28,77 | 20,79 | 6,22 | 10,57 | 13,40 | 20,24 | 26,12 | 20,24 | 10,31 |
| 1989 | 14,69 | 5,90 | 26,21 | 33,83 | 9,02 | 4,44 | 4,98 | 28,36 | 18,20 | 4,73 | 32,85 | 5,84 |
| 1990 | 16,76 | 6,28 | 20,79 | 20,87 | 22,86 | 7,10 | 14,61 | 33,17 | 22,46 | 12,29 | 9,15 | 13,75 |
| 1991 | 6,87 | 2,38 | 27,50 | 24,68 | 33,51 | 5,68 | 20,62 | 4,73 | 36,41 | 18,90 | 27,08 | 9,02 |
| 1992 | 9,19 | 1,33 | 21,65 | 30,90 | 26,29 | 3,55 | 30,59 | 3,44 | 37,12 | 2,58 | 9,50 | 3,09 |
| 1993 | 4,38 | 1,52 | 21,57 | 31,97 | 19,08 | 3,02 | 6,53 | 18,65 | 27,17 | 3,44 | 21,04 | 8,68 |
| 1994 | 8,85 | 1,90 | 28,36 | 28,77 | 24,66 | 4,97 | 3,78 | 14,18 | 13,50 | 15,98 | 13,41 | 7,39 |
| 1995 | 21,91 | 1,43 | 9,28 | 20,96 | 8,51 | 8,17 | 2,58 | 12,29 | 17,94 | 2,06 | 24,95 | 4,73 |
| 1996 | 12,63 | 21,22 | 20,79 | 18,90 | 2,92 | 3,55 | 14,09 | 13,06 | 26,37 | 10,05 | 27,08 | 20,71 |
| 1997 | 4,38 | 17,12 | 9,11 | 7,37 | 9,02 | 11,10 | 8,76 | 3,44 | 3,55 | 18,99 | 16,52 | 17,79 |
| 1998 | 22,94 | 4,57 | 9,54 | 3,37 | 7,65 | 3,55 | 6,62 | 11,60 | 19,62 | 6,79 | 26,82 | 19,08 |
| 1999 | 17,10 | 20,17 | 8,76 | 8,61 | 11,43 | 7,10 | 5,76 | 12,03 | 7,01 | 6,44 | 25,13 | 8,42 |
| 2000 | 9,02 | 17,41 | 12,03 | 3,55 | 4,81 | 7,99 | 4,81 | 18,73 | 6,57 | 28,79 | 19,89 | 25,35 |
| 2001 | 24,06 | 25,78 | 9,37 | 16,16 | 9,71 | 10,12 | 3,95 | 13,49 | 29,75 | 7,65 | 23,00 | 24,83 |
| 2002 | 13,06 | 9,80 | 12,37 | 1,78 | 19,42 | 5,95 | 12,20 | 5,16 | 7,90 | 12,20 | 21,93 | 16,07 |
| 2003 | 11,26 | 10,18 | 8,42 | 8,52 | 7,48 | 9,15 | 4,30 | 13,58 | 12,61 | 20,45 | 21,40 | 17,79 |
| 2004 | 16,93 | 9,99 | 14,18 | 9,32 | 7,99 | 7,99 | 6,44 | 13,75 | 29,30 | 28,36 | 23,89 | 20,11 |
| 2005 | 10,31 | 16,65 | 11,17 | 7,81 | 8,76 | 9,41 | 6,87 | 11,34 | 22,55 | 22,00 | 20,51 | 16,24 |

Debit Rencana/Optimum

Debit perencanaan diharapkan dapat membangkitkan daya terpasang. Debit ini ditentukan berdasarkan debit pada tahun normal. Pengolahan data pada Tabel 2.6 dilakukan dengan distribusi probabilitas (peluang kejadian). Distribusi probabilitas yang digunakan adalah berdasarkan rumus yang dikembangkan oleh Weibull [5]:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad \dots\dots(6)$$

dimana:

- P = Peluang kejadian
- m = Nomor urut data
- n = Banyaknya data presipitasi

Berdasarkan rumus Weibull di atas, maka dapat ditentukan debit andalan untuk tahun basah dan tahun kering. Debit andalan tahun basah dianalisa dengan cara mengurutkan data debit terkecil hingga data terbesar, sedangkan untuk tahun kering data debit diurutkan dari data terbesar sampai data yang terkecil, kemudian ditetapkan suatu debit andalan.

Menurut pengamatan, besarnya debit andalan dalam penggunaan air di berbagai macam proyek adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7. Persentase Penggunaan Air di Berbagai Proyek

| | |
|--|-----------------|
| Untuk penyediaan air minum | 99% |
| Untuk penyediaan air industri | 85 - 95% |
| Untuk penyediaan air irigasi bagi | |
| - daerah beriklim setengah lembab | 701 - 85% |
| - daerah beriklim terang | 80 - 95% |
| Untuk pembangkit listrik tenaga air | 85 - 95% |

Sumber: C.D. Soemarto "Hidrologi Teknik", halaman 137

Debit rata-rata (normal) dapat diperoleh dari hasil penjumlahan antara debit tahun basah dan tahun kering. Misalnya pada bulan Januari 1988, peluang kejadian debit air normalnya adalah:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

$$P = \frac{1}{18+1} \times 100\% \\ = 5,2\%$$

Selanjutnya untuk bulan Januari pada tahun-tahun berikutnya, debit air normalnya dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.8. Debit Rata-Rata (Normal) untuk Bulan Januari

| No. | Debit tahun basah | Debit tahun kering | Debit normal | Peluang kejadian |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| | (m ³ /s) | (m ³ /s) | (m ³ /s) | (x 100%) |
| 1 | 4,38 | 24,06 | 14,22 | 0,05 |
| 2 | 4,38 | 22,94 | 13,66 | 0,11 |
| 3 | 6,62 | 21,91 | 14,27 | 0,16 |
| 4 | 6,87 | 17,10 | 11,99 | 0,21 |
| 5 | 8,85 | 16,93 | 12,89 | 0,26 |
| 6 | 9,02 | 16,76 | 12,89 | 0,32 |
| 7 | 9,19 | 14,69 | 11,94 | 0,37 |
| 8 | 10,31 | 13,06 | 11,69 | 0,42 |
| 9 | 11,26 | 12,63 | 11,95 | 0,47 |
| 10 | 12,63 | 11,26 | 11,95 | 0,53 |
| 11 | 13,06 | 10,31 | 11,69 | 0,58 |
| 12 | 14,69 | 9,19 | 11,94 | 0,63 |
| 13 | 16,76 | 9,02 | 12,89 | 0,68 |
| 14 | 16,93 | 8,85 | 12,89 | 0,74 |
| 15 | 17,10 | 6,87 | 11,99 | 0,79 |
| 16 | 21,91 | 6,62 | 14,27 | 0,84 |
| 17 | 22,94 | 4,38 | 13,66 | 0,89 |
| 18 | 24,06 | 4,38 | 14,22 | 0,95 |

Dari tabel di atas maka ditentukan debit rancangan pada tahun basah dan tahun kering adalah 89%. Dengan demikian peluang tidak beroperasinya turbin adalah 11% selama selang waktu 18 tahun. Untuk bulan Januari dengan peluang kejadian 89% dengan debit rata-rata 13,66 m³/s. Dengan cara yang sama dapat dilakukan juga penentuan pada bulan-bulan berikutnya seperti terlihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Debit pada Tahun Basah, Tahun Normal & Tahun Kering (m³/s)

| Kriteria/Tahun | JAN | FEB | MAR | APR | MEI | JUN |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Basah (Q_{89 %}) | 22,94 | 21,2 | 26,2 | 30,90 | 26,29 | 10,12 |
| Normal | 13,66 | 11,28 | 17,49 | 16,34 | 14,61 | 6,57 |
| Kering (Q _{89 %}) | 4,38 | 1,33 | 8,76 | 1,78 | 2,92 | 3,02 |
| Kriteria/Tahun | JUL | AGST | SEP | OKT | NOV | DES |
| Basah (Q_{89 %}) | 20,62 | 28,36 | 36,41 | 22,00 | 27,08 | 24,83 |
| Normal | 11,60 | 15,90 | 19,98 | 12,03 | 18,12 | 13,96 |
| Kering (Q _{89 %}) | 2,58 | 3,44 | 3,55 | 2,06 | 9,15 | 3,09 |

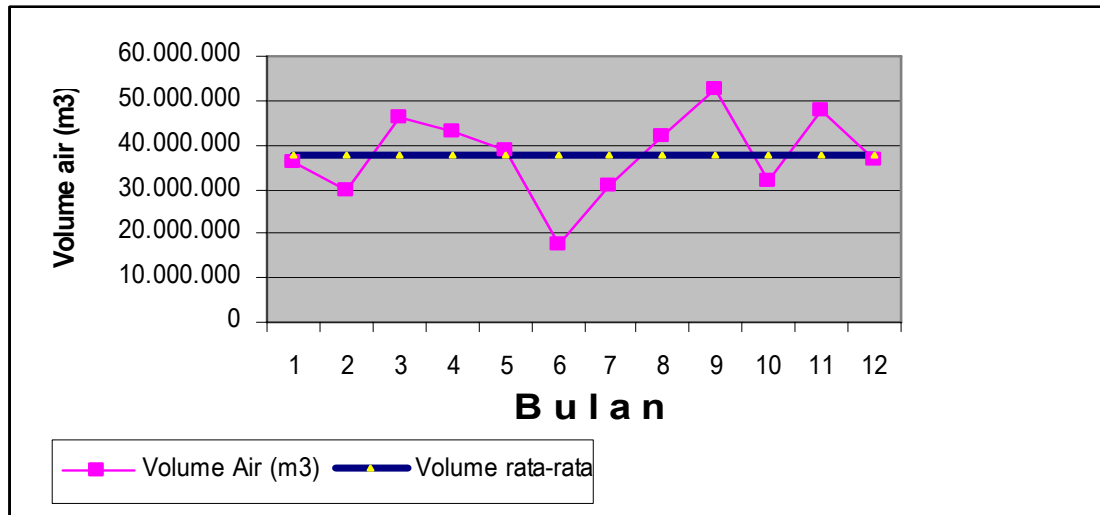
Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat debit sungai baik pada tahun basah maupun tahun kering. Nilai rata-rata dari debit pada tahun basah dan tahun kering disebut sebagai debit pada tahun normal. Debit yang terjadi pada tahun normal dijadikan sebagai dasar perencanaan dalam menentukan perhitungan terhadap daya optimum yang memungkinkan untuk dibangkitkan sepanjang tahun. Dengan mengetahui debit aliran tiap detik pada tahun normal maka volume total air sepanjang tahun juga dapat dihitung seperti pada Tabel 2.10 berikut:

Tabel 2.10. Debit Air yang Tersedia Sepanjang Tahun pada Sungai Aek Silang

| Bulan | Debit air yang tersedia |
|--------------------|-------------------------|
| | (m ³ /detik) |
| Januari | 13,66 |
| Februari | 11,28 |
| Maret | 17,49 |
| April | 16,34 |
| Mei | 14,61 |
| Juni | 6,57 |
| Juli | 11,6 |
| Agustus | 15,9 |
| September | 19,98 |
| Oktober | 12,03 |
| November | 18,12 |
| Desember | 13,96 |
| RATA-RATA = | 14,295 |

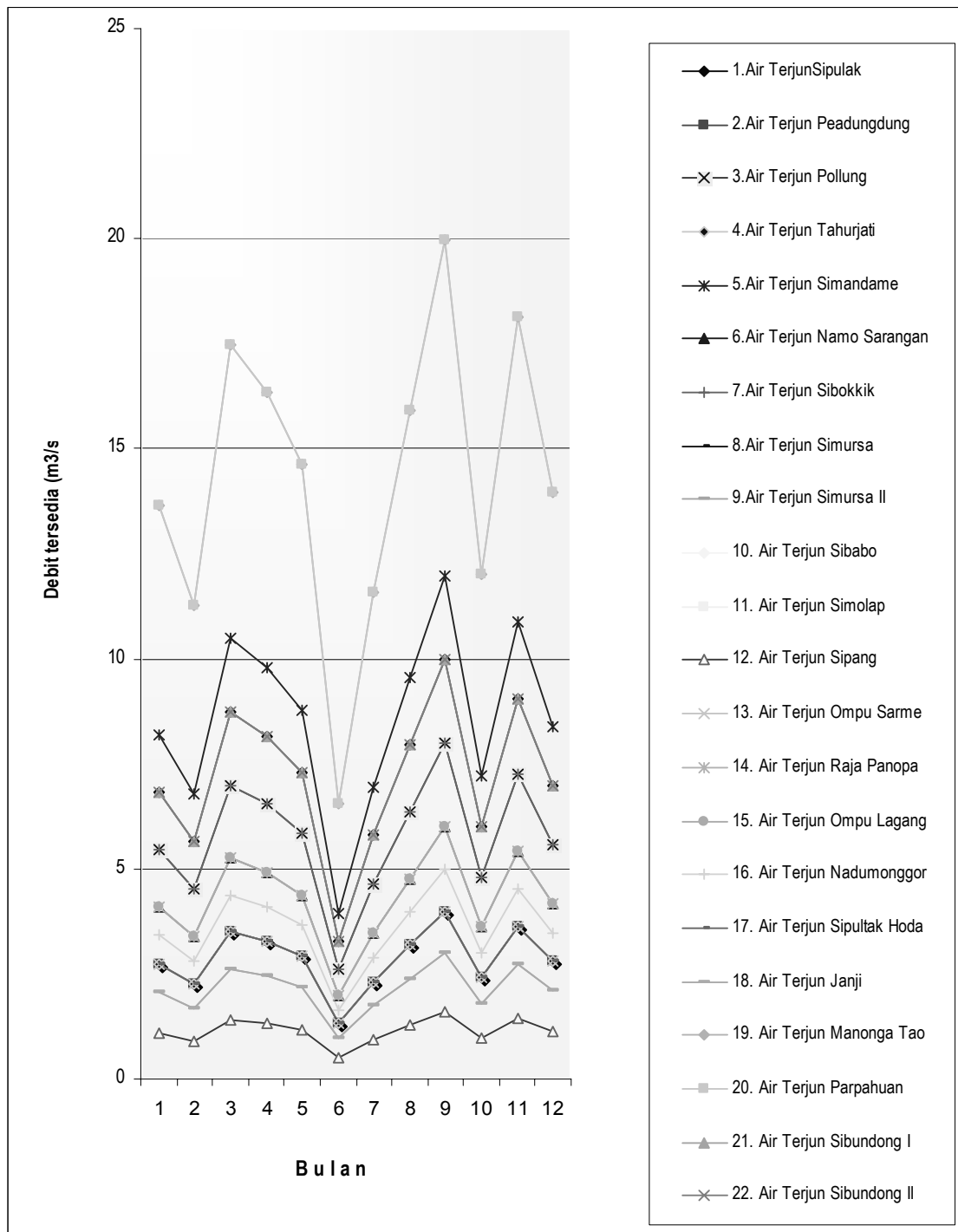
Dengan menggunakan debit rata-rata tahunan di atas sebagai debit rencana untuk menghasilkan daya optimum, maka untuk air terjun Parpahuan misalnya, dengan beda ketinggian 45 m akan dihasilkan daya sebesar 6,31 MW.

Debit air yang tersedia serta penggunaan air sepanjang tahun dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Debit Tersedia & Penggunaan air (Volume Rata-Rata) pada Sungai Aek Silang

Dengan cara yang sama, setelah melakukan perhitungan terhadap sungai yang lain maka diperoleh Gambar 2.2 dan Tabel 2.11.



Gambar 2.2. Debit Tersedia pada Seluruh Lokasi Sungai

Tabel 2.11. Optimalisasi Daya Listrik yang Dihasilkan oleh 22 Air Terjun

| No. | Nama Air Terjun | Nama sungai | Q | H | P | P | |
|-----|-----------------|-------------------------|---------------------|-----|----------------|--------------------|--------------|
| | | | (m ³ /s) | (m) | (W) | (MW) | |
| 1 | Sipulak | Aek Siharar | 7,15 | 70 | 4908188,25 | 4,91 | |
| 2 | Peadungdung | Aek Peadungdung | 2,86 | 25 | 701169,75 | 0,70 | |
| 3 | Pollung | Aek Sibuluan | 5,72 | 65 | 3646082,71 | 3,64 | |
| 4 | Tahurjati | Sei Sopang | 2,86 | 5 | 140233,95 | 0,14 | |
| 5 | Simandame | Aek Sisira | 8,58 | 25 | 2103509,25 | 2,10 | |
| 6 | Namo Sarangan | Aek Sisira | 4,29 | 15 | 631052,78 | 0,63 | |
| 7 | Sibokkik | Aek Rambe | 5,72 | 20 | 1121871,60 | 1,12 | |
| 8 | Simursa | Sei Simursa | 2,86 | 15 | 420701,85 | 0,40 | |
| 9 | Simursa II | Sei Simursa II | 2,14 | 6 | 126210,56 | 0,12 | |
| 10 | Sibabo | Aek Simonggo | 14,29 | 35 | 4908188,25 | 4,91 | |
| 11 | Simolap | Sei Baringin | 1,14 | 65 | 2734562,00 | 2,73 | |
| 12 | Sipang | Aek Sipang | 2,86 | 18 | 201936,90 | 0,20 | |
| 13 | Ompu Sarme | Aek Pungga | 4,29 | 9 | 252421,10 | 0,25 | |
| 14 | Raja Panopa | Aek Pungga | 4,29 | 30 | 1262105,55 | 1,26 | |
| 15 | Ompu Lagang | Aek Mahumba | 3,57 | 25 | 1051754,63 | 1,05 | |
| 16 | Nadumonggor | Aek Sibuluan | 2,86 | 40 | 1402339,50 | 1,40 | |
| 17 | Sipultak Hoda | Aek Silintong Gota-gota | 2,14 | 50 | 1402339,50 | 1,40 | |
| 18 | Janji | Binanga Janji | 14,29 | 30 | 631052,78 | 0,63 | |
| 19 | Manonga Tao | Aek Silang | 14,29 | 40 | 5609358,00 | 5,61 | |
| 20 | Parpahuan | Aek Silang | 7,15 | 45 | 6310527,75 | 6,31 | |
| 21 | Sibundong II | Aek Sibundong | 7,15 | 15 | 1051754,63 | 1,05 | |
| 22 | Sibundong III | Aek Sibundong | | 18 | 1262105,58 | 1,26 | |
| | | | | | Total = | 41879466,87 | 41,88 |

3. KESIMPULAN DAN SARAN

3.1. Kesimpulan

Berdasarkan topografi daerah Sumatera Utara yang pada umumnya berada di jajaran Bukit Barisan, banyak daerah yang mempunyai air terjun yang dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Minihidro.

Kabupaten Humbang Hasundutan akan mampu memenuhi kebutuhan listriknya sendiri dan sekaligus mampu memasok listrik ke daerah/ Kabupaten di sekitarnya bila ke-22 air terjun yang ada di daerah tersebut dapat dikelola dan diberdayakan dengan baik.

Saat ini Kabupaten Humbang Hasundutan baru memanfaatkan 2 air terjun sebagai pembangkit tenaga listrik yaitu PLTMH Aek Sibundong dan PLTMH Aek Silang, masing-masing berdaya 750 KW, dan untuk memenuhi kebutuhan listriknya, daerah ini mendapat pasokan listrik dari Gardu Induk Tele dan Tarutung.

Berdasarkan optimalisasi perhitungan di atas tadi, maka ke 22 air terjun yang ada di Kabupaten Humbang Hasundutan akan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 41,88 MW, atau 9% dari potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Minihidro di seluruh Indonesia yaitu sebesar 458,75 MW [1].

3.2. Saran

Berdasarkan kondisi perlistrikan di daerah Sumatera Utara yang memprihatinkan saat ini, maka sangat diharapkan peran serta masing-masing daerah/Kabupaten untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Minihidro berdasarkan ketersediaan air terjun di masing-masing daerah.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Hadirin yang saya muliakan,

Mengakhiri pidato pengukuhan ini, sebagai insan yang menghargai kebaikan semua orang sekaligus sebagai rasa syukur kepada Tuhan yang Maha Pengasih pencipta khalik dan bumi, izinkanlah saya menyampaikan ucapan terima kasih.

Pertama-tama saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Sumatera Utara yaitu Bapak Prof. Chairuddin P. Lubis, DTM&H, Sp.A(K), atas peran serta campur tangan beliau sehingga acara pengukuhan ini dapat terlaksana dan berjalan dengan baik.

Terima kasih selanjutnya saya sampaikan kepada para Pembantu Rektor, Senat Guru Besar, dan Senat Akademik Universitas Sumatera Utara atas peran mereka yang begitu besar dalam proses pengukuhan saya menjadi Guru Besar.

Kemudian saya sampaikan terima kasih kepada Dekan, para Pembantu Dekan, dan Pegawai Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, dan kepada Ketua, Sekretaris, Dosen, dan Pegawai Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Juga kepada Ketua, Sekretaris, dan Pegawai Program Studi Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, serta Pegawai Biro Rektor Universitas Sumatera Utara, yang berperan atas proses pengusulan saya menjadi Guru Besar.

Terima kasih yang tulus serta penghormatan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada seluruh guru saya di Sekolah Rakyat Negeri 2 Parongil,

di Sekolah Menengah Pertama Negeri Parongil, dan di Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Pematang Siantar, atas jasa-jasanya sehingga saya dapat melanjutkan studi di Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Demikian juga kepada Bapak Ir. Pintoro Wiryodiharjo sebagai Pembimbing Tugas Akhir saya di Departemen Teknik Mesin, sehingga saya mendapat gelar Insinyur - Ir (S-1), dan Prof. Dr. Gerard ANTONINI sebagai Pembimbing saya di Université de Technologie de Compiègne (UTC) Perancis, sehingga saya mendapat gelar Diplôme d'Études Approfondies – DEA (S-2), dan gelar Docteur Ingenieur-Dr (S-3), dan kepada Dr. Jhon Pierre PAIN sebagai asisten Profesor.

Kepada orang tua saya, Ayahanda Kayamuddin Sangil Napitupulu almarhum dan Ibunda Relli Sitorus, saya sampaikan terima kasih, sembah sujud dan penghormatan yang sebesar-besarnya atas segala pengorbanan yang tiada terbalaskan di dalam membesarkan, menyekolahkan, serta memberi petuah yang sangat berharga sampai saya dapat dikukuhkan menjadi Guru Besar hari ini. Permohonan saya kepada Tuhan melalui doa yang tulus kiranya kepada Ayahanda tercinta diberikan tempat yang layak disisi-Nya dan kepada Ibunda tercinta yang saat ini telah berumur 81 tahun diberikan kekuatan dan kesehatan serta ketabahan di dalam menjalani kehidupan ini.

Kepada mertua saya, Ayah mertua Aron Silaen almarhum dan Ibu mertua Sondang Napitupulu almarhumah yang semasa hidup mereka memberikan perhatian dengan penuh kasih sayang kepada saya, putri, dan cucunya, saya sampaikan terima kasih dan permintaan maaf atas segala kekurangan kami, kiranya Ayah dan Ibu mendapat tempat yang layak disisi-Nya.

Teristimewa kepada istri tercinta, Ratna Rotua Silaen yang dengan setia mendampingi saya di kala suka dan duka, terima kasih atas segala pengertian, kesabaran, ketabahan, dan doa hingga saya dapat dikukuhkan menjadi Guru Besar hari ini. Demikian juga kepada anak-anak, menantu, dan cucu saya sebagai harapan dan kebanggaan saya, Timbo Ivony Christina Napitupulu/Ir. R. Siburian, MM dan Refaldo Bonatua Christian Siburian; Yunita Margaret Indriani Napitupulu/David Hutagalung dan Yustinus Josua Ihutan Hutagalung; Fransis Habonaran Napitupulu, ST; Isabella Natalia Napitupulu, dan Fernando Hamonangan Napitupulu, terima kasih atas doa kalian semua, dan semoga acara pengukuhan ini dapat menjadi didikan dan motivasi bagi kalian untuk dapat lebih sukses di kemudian hari.

Kepada seluruh saudara saya, ipar, dan seluruh sanak keluarga lainnya, saya menyampaikan terima kasih atas doa dan kehadirannya untuk mengikuti acara pengukuhan ini.

Kepada Panitia Pengukuhan Guru Besar yang telah bekerja keras demi suksesnya acara pengukuhan ini, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, semoga Tuhan yang Maha Pengasih membalas budi baik yang telah diberikan.

Akhirnya kepada seluruh hadirin dan undangan sekalian yang telah berkenan meluangkan waktu dan perhatian mengikuti acara ini, saya sampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya seraya memohon maaf atas segala kekurangan pada acara pengukuhan ini.

Sekian dan terima kasih.

Semoga Tuhan yang Maha Pengasih memberkati kita sekalian.

HORAS !!!

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harian Kompas edisi 24 Oktober 2005, oleh Dr. A. Harsono Soeparjo, M.Eng. Ketua Pusat Studi Kelautan FMIPA – UI dan Peneliti Pusat Studi Energi UI.
- [2] Profil dan Potensi Daerah Kabupaten Humbang Hasundutan, disusun oleh Departemen Perindustrian dan Perdagangan & Koperasi Kabupaten Humbang Hasundutan, 2004.
- [3] Jack C. Evett, Cheng Lie, "Fundamentals of Fluids Mechanics", Mc Graw hill Int. Ed, 2nd printing 1988, hal. 113.
- [4] Kensaku Takeda, Sosrodarsono, S, "Hidrologi untuk Pengairan", Cetakan ketujuh, Pradnya Paramita, Jakarta, 1993, hal. 144.
- [5] Ibid, hal. 146.
- [6] Asdak Chay, "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai", Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1995, hal. 165.
- [7] Dandeker M.M, Sharman K.N, " Pembangkit Listrik Tenaga Air", UI Press, Jakarta, 1991, hal. 52.
- [8] Patty O.F, " Tenaga Air", Cetakan Pertama, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
- [9] Davis Victor Calvin, "Hand Book of Applied Hydraulics", Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1952.
- [10] Warnick. C.C, " Hydropower Engineering", Prentice-Hall Inc, New York, 1984.
- [11] Nechleba Miroslav, "Hydraulic Turbine Their Design and Equipment", Checoslovakia, Arti Paque, 1957.
- [12] Gulliver Jhon S, Arndt Roger E, "Hydropower Engineering Handbook", McGraw-Hill Book Company, New York, 1991.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Prof. Dr. Ir. Farel Hasiholan Napitupulu, DEA
NIP/Karpeg : 130 679 096/B. 866471
Pangkat/Golongan : Pembina/IVa
Tempat/Tgl. Lahir : Dairi/6 September 1951
Agama : Protestan
Nama Orang Tua : Ayah – Kayamuddin Sangil Napitupulu (Alm.)
Ibu – Relli Sitorus
Nama Istri : Ratna Rotua Silaen
Nama Anak : Timbo Ivory Christina Napitupulu, A.Md
Yunita Margaret Indriani Napitupulu, A.Md
Fransis Habonaran Napitupulu, ST
Isabella Natalia Napitupulu
Fernando Hamonangan Napitupulu
Alamat Rumah : Jl. Melinjo IV No. 21 – Komplek Johor Permai
Medan – 20144
Telepon Rumah : (061) 7861539
Mobile Telepon : 08126503590
E-mail : farelnapittm@yahoo.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1964 : Lulus Sekolah Rakyat Negeri 2 Parongil
1967 : Lulus Sekolah Menengah Pertama Negeri Parongil
1970 : Lulus Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Pematang
Siantar
1977 : Lulus Sarjana (S-1), Insinyur Teknik Mesin, Fakultas
Teknik Universitas Sumatera Utara
1985 : Lulus Magister (S-2), Diplôme d'Etudes Approfondies
(DEA) en Genie des Transfers et Energetiques,
L'Université de Technologi de Compiègne, France
1988 : Lulus Doctoral (S-3), Docteur Ingenieur (Dr) en
Genie des Procédés Industrial, L'Université de
Technologie de Compiègne, France

C. RIWAYAT PEKERJAAN

- 1978 – sekarang : Staf pengajar Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU
- 1978 – sekarang : Asisten Laboratorium Mesin Fluida Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU
- 1979 – 1982 : Asisten Laboratorium Percobaan Logam, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU
- 1989 – 1992 : Sekretaris Unit Pengembangan Pendidikan Fakultas Teknik USU
- 1992 – 1997 : Asisten Laboratorium Pengujian Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU
- 1992 – 2004 : Asisten Laboratorium Heat Transfer, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU
- 1993 – sekarang : Staf Pengajar Program Ekstension, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU
- 1994 – 2002 : Chairman of Fluid Mechanics and Thermodynamics, Sub-Committee, Medan Academic Committee, JICA PMU Medan Office
- 1999 – sekarang : Staf Pengajar Program Studi Teknologi Mekanik Industri Program Diploma-IV (D-IV), Fakultas Teknik USU
- 2001 – sekarang : Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana USU
- 2004 – sekarang : Kepala Laboratorium Heat Transfer, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU
- 2007 – sekarang : Staf Pengajar Tidak Tetap Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik USU
- 2008 : Ketua Tim Evaluasi Laboratorium Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU

D. RIWAYAT KEPANGKATAN/GOLONGAN/JABATAN

- 1978 : CPNS, Golongan IIIa, Asisten Ahli Madya pada Fakultas Teknik USU
- 1979 : Penata Muda, Golongan IIIa, Asisten Ahli Madya
- 1980 : Penata Muda Tingkat I, Golongan IIIb, Asisten Ahli
- 1982 : Penata, Golongan IIIc, Lektor Muda
- 1986 : Penata Tingkat I, Golongan III/d, Lektor Madya
- 1990 : Pembina, Golongan IVa, Lektor
- 2001 : Pembina, Golongan IVa, Lektor Kepala (Impassing)
- 2008 : Pembina, Golongan IVa, Guru Besar

E. KEANGGOTAAN ORGANISASI PROFESI

1. Anggota Persatuan Insinyur Indonesia, PII
2. Anggota Ikatan Alumni USU, IKA-USU
3. Anggota Ikatan Alumni Teknik Mesin USU, IKA-TM
4. Anggota Perhimpunan Alumni Perancis
5. Anggota Ikatan Alumni LEMHANNAS, IKAL

F. PUBLIKASI

- [1] G. ANTONINI, **F. Napitupulu**, et J.P. PAIN, Sonde de mesure in situ de la conductivité thermique dans les suspensions solid/liquide concentrées. REVUE GÉNÉRALE DE THERMIQUE, France, n° 279, mars 1985, p. 247–251.
- [2] G. ANTONINI, **F. Napitupulu** et J.P. PAIN, Mesure de la conductivité thermique de solutions aqueuses de polymères hydrosolubles. REVUE GÉNÉRALE DE THERMIQUE, France, n° 308 – 309, août – september 1987, p. 419 -421.
- [3] Zainuddin, **Farel H. Napitupulu**, Merdang Sembiring & Ilmi Abdullah, Studi Eksperimental Efektivitas Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* dengan Memanfaatkan Gas Buang Mesin Diesel sebagai Pemanas Air, Jurnal Ilmiah SAINTEK, Vol. 22 No. 1, Edisi: Januari–Juni 2005, h. 39-46.
- [4] Darta Sembiring, Merdang Sembiring, **Farel H. Napitupulu** dan Zamanhuri, Kontribusi Penggunaan Energi Surya pada Sistem Pengeringan Biji Kakao Basah di Pabrik Pengeringan Biji Kakao Kebun Adolina PTP IV Medan, Buletin Utama Teknik, Vol. 9, No. 2, Mei 2005, h. 121-132.
- [5] M. Noor El Husein Dalimunthe, Merdang Sembiring, **Farel H, Napitupulu**, A. Faiz Albar, Kontribusi Kolektor Konsentrator Energi Surya diameter 3 m sebagai Kompor Pemanas, Jurnal Ilmiah SAINTEK Vol. 22 No. 2, Edisi: Juli–Desember 2005, h. 174–181.
- [6] **Farel H. Napitupulu**, Kajian Eksperimental Efektivitas Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* sebagai Pemanas Air dengan Memanfaatkan Energi Gas Buang Motor Diesel, Jurnal Ilmiah SAINTEK, vol. 22 No. 2, Edisi: Juli–Desember 2005, h. 151–157.
- [7] **Farel H. Napitupulu**, Pengaruh Nilai Kalor (heating value) suatu Bahan Bakar terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor yang dipergunakan. Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol. 7 No. 1, Januari 2006, h. 60–65.

- [8] **Farel H. Napitupulu**, Modifikasi Ketel Penyuling Nilam untuk Mempersingkat Waktu Penyulingan. BULETIN UTAMA TEKNIK, Vol. 10 No. 1, Januari 2006, h. 38–42.
- [9] **Farel H. Napitupulu**, Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut dan Cangkang sebagai Bahan Bakar Ketel Uap di Pabrik Kelapa Sawit, Jurnal Ilmiah SAINTEK, Vol. 23 No. 1, Edisi: Januari–Juni 2006, h. 44–48.
- [10] Ilmi Abdullah, **Farel H. Napitupulu**, Husin Ibrahim, Tulus B. Sitorus, Pengaruh Jarak *Baffle* terhadap Unjuk Termal dan Penurunan Tekanan pada Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* Susunan tabung Bujur Sangkar, Jurnal Ilmiah SAINTEK, Vol. 24 No. 1, Edisi: Januari–Juni, h. 1–6.
- [11] **Farel H. Napitupulu**, Munawar A. Siregar, Ilmi Abdullah, Tulus B. Sitorus, Pengaruh Jarak *Baffle* terhadap Unjuk Kerja Termal dan Penurunan Tekanan pada Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* Susunan Segitiga. Jurnal Ilmiah SAINTEK, Vol. 24 No. 1, Edisi: Januari–Juni 2007, h. 70–77.
- [12] **Farel H. Napitupulu**, Idham Kamil, Zamanhuri, Tulus B. Sitorus, Uji Eksperimental Pengaruh Jarak *Baffle* terhadap Unjuk Kerja Termal dan Penurunan Tekanan pada Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* 1–2 pass susunan tabung segitiga, Majalah IPTEK Politeknik Negeri Medan POLIMEDIA, Vol 10 No. 1, Februari 2007, h. 16–23.
- [13] **Farel H. Napitupulu**, Abdi H. Sebayang, Zamanhuri, Tulus B. Sitorus, Uji Eksperimental Pengaruh Jarak *Baffle* terhadap Unjuk Kerja Termal dan Penurunan Tekanan pada Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* 1–2 pass susunan tabung segiempat, Majalah IPTEK Politeknik Negeri Medan POLIMEDIA, Vol 10 No. 1, Februari 2007, h. 24–30.

G. RIWAYAT KEGIATAN LAIN–LAIN

1. Lokakarya Persiapan Survey Energi Pedesaan di Jakarta 8–11 September 1980.
2. Survey Energi Pedesaan di Kabupaten Deli Serdang, Oktober 1980.
3. Penelitian bahan bakar padat untuk rumah tangga, nilai kalor dan penggunaannya, di Laboratorium Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, Maret 1981.
4. Pelatihan Bahasa dan Kebudayaan Perancis di Bandung, 10 November–18 Desember 1982.
5. Makalah untuk Seminar *Thermiques des Liquides Complexes*, di La Baule Perancis, 24–25 September 1984.
6. Makalah untuk Seminar *Thermorheologie et Trasferts Thermiques dans les fluides Complexes* di La Baule Perancis, 15–17 September 1986.

7. Moderator pada Seminare Alternatif Rancang Bangun Kendaraan Bermotor Angkutan Umum di Kota Medan, di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 8–9 September 1988.
8. Lokakarya Evaluasi Keberhasilan Belajar Mahasiswa oleh Unit Pengembangan Pendidikan USU, 6–10 Februari 1989.
9. Ceramah Ilmiah mengenai Matematika Terpakai di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU Medan, 11 Mei 1989.
10. Seminar Tentang New Improvement in L.V. Eleotrical Swithgars, di Medan, 19 Juli 1989.
11. Penelitian tentang Perumusan Konduktivitas Panas Suspensi Padat/Cair Konsentrasi Tinggi, di Fakultas Teknik USU, Juli 1989.
12. Lokakarya Penulisan Satuan Acara Pengajaran (SAP) bagi Staf Pengajar USU Angkatan V, di USU, 23–25 Oktober 1989.
13. Penataran Calon Penerjemah Buku Ajar Perguruan Tinggi, di Cisarua Bogor, 7–20 Januari 1990.
14. Seminar Teknologi Tepat Guna dalam Proses Pengerjaan Logam, di Medan, 5–6 Maret 1990.
15. Penelitian Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut Biji Sawit di Laboratorium Pengujian Mesin, Fakultas Teknik UHN, Mei 1990.
16. Penatar pada Penataran Teknik Penulisan Buku Ajar Perguruan Tinggi Bidang Teknik, Proyek HEDS, di USU, 19-20 Agustus 1990.
17. Penatar pada Penataran Analisa Numerik dan Heat Transfer dengan Komputer sebagai Alat Bantu untuk Teknik, Proyek HEDS, di UDA, 1–11 Desember 1991.
18. Seminar sehari: Sumatera Utara Menyongsong Pembangunan Jangka Panjang tahap Kedua dengan Gerakan Pembangunan Desa Terpadu Marsipeture Hutana Be, di Medan, 10 September 1992.
19. Seminar sehari: Design, Operasi, Maintenance, dan Pengawasan Boiler, di ITM, 20 November 1993.
20. Anggota Tim Penyusun Kurikulum Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 1994.
21. Sekretaris Tim Evaluasi Proposal Penelitian Mandiri Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 1994.
22. Ketua Tim Tata Cara Penulisan Karya Ilmiah Mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 1994.
23. "Member of Academic Committee" pada Seminar Hasil Penelitian SDPF 94/95, Bidang Teknik di USU, 26–29 Juni 1995.
24. Anggota Personalia Dewan Penyunting UPT Penerbitan dan Percetakan USU, 1995.

25. Anggota Tim Penyusun Kurikulum Nasional 1996/1997 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU, 31 Oktober 1995.
26. Seminar "Workshop University Budget and Finance System", Proyek HEDS, di Bogor, 2-4 Juni 1996.
27. Seminar Sehari, "Pembinaan Industri Kecil dan Menengah, oleh Medan Academic Committee", di Fakultas Teknik USU, 20 Juli 1996.
28. Seminar Sehari: Aplikasi Pelumasan pada Sektor Industri dan Transportasi, oleh Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 31 Juli 1996.
29. SUSPIM PTSI I LEMHANNAS, di Jakarta, 20 Januari-4 April 1997.
30. Seminar Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI), di Universitas Andalas Padang, 25 September 1999.
31. Penyaji pada Pelatihan Aplikasi Energi Surya pada Sistem Pengeringan Model Pedesaan, di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 16 s.d. 18 Nopember 2000.
32. Makalah, "Perbaikan Atmosfir Akademik", di Politeknik Negeri Medan, 18 Juli 2002.
33. Narasumber pada Seminar Sehari: Perkembangan Teknologi Permesinan Jurusan Teknik Mesin, ITM, 24 Mei 2003.
34. Penyaji pada Pelatihan Operasi & Perawatan Pompa untuk Karyawan PDAM Tirtanadi SUMUT, di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 15-20 Desember 2003 (gelombang II) dan 5-10 Januari 2004 (gelombang III).
35. Penyaji pada Pelatihan Teknik Pabrik Kelapa Sawit untuk Karyawan PT. PP London Sumatera Indonesia Tbk, di Turangin, 26 Januari s.d 2 Februari 2005.
36. Presentase Hasil Penelitian pada National Seminar on Research and Studies V "Research Grant", di Surabaya, 7-8 Juli 2005.
37. Narasumber pada Penyusunan Garis-Garis Besar Program Pengajaran (GBPP) dan Satuan Acara Pengajaran (SAP) se PTS KOPERTIS Wilayah I di ITM, 8 s.d. 11 Agustus 2005.
38. Workshop Leadership II untuk staf Pengajar dan Administrasi Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU, 27-29 Agustus 2005.
39. Narasumber pada Semiloka Pengembangan Sistem Operasi & Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, UHN, 19-24 September 2005.
40. Narasumber pada Workshop Pengembangan Sistem dan Kemampuan Evaluasi Diri, Jurusan Teknik Mesin, UHN, 28 November s.d 3 Desember 2005.

H. PENGHARGAAN/TANDA PENGHORMATAN

1. Dosen Teladan Fakultas Teknik USU, 1989.
2. Satyalencana Karya Satya 20 tahun, dari Presiden Republik Indonesia, 1998.



Prof. Dr. Ir. Farel Hasiholan Napitupulu, DEA, lahir di Dairi tanggal 6 September 1951, menjalani Pendidikan Dasar dan Menengah Pertama di Parongil (Dairi) dan Pendidikan Menengah Atas di Pematang Siantar (Simalungun). Lulus sebagai Insinyur Teknik Mesin pada tahun 1977 dari Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU). Pada Tahun 1983 dengan beasiswa dari ADB, berkesempatan melanjutkan studi ke Perancis. Pada tahun 1985 lulus program magister (S-2) dan memperoleh gelar DEA (Diplôme d'Etudes Approfondies), dan pada tahun 1988 lulus program S-3 dan memperoleh gelar Doctor Ingenieur en Génie des Procédés Industriels (Dr) dari L'Université de Technologie de Compiègne (UTC).

Selama kuliah di Perancis, aktif mengadakan kunjungan ke berbagai lokasi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik dan Industri, antara lain kunjungan ke Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Air di Grenoble dan ke Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Phenix pada tahun 1983. Ke Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Paris pada tahun 1984, mengunjungi Industri Otomobil di Douai tahun 1985, Industri Generator _ ALSTOM, Mesin-mesin Textil, dan Sistem Pengaturan di Mulhouse tahun 1986, dan Industri Galangan Kapal di Nantes pada tahun 1987.

Menjadi Staf Pengajar di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik USU mulai tahun 1978. Aktif memberikan sumbangan pemikiran untuk meningkatkan kualitas Departemen Teknik Mesin.

Selain menjadi staf pengajar, penulis aktif melakukan penelitian mengikuti seminar, *workshop*, lokakarya, maupun pelatihan-pelatihan. Mengikuti SUSPIM PTSI I LEMHANNAS di Jakarta pada tahun 1997.