

PENDEKATAN SIMULASI NUMERIK LAJU ALIR FLUIDA DALAM RUMAH SPIRAL UNTUK MENENTUKAN OPTIMASI JUMLAH SUDU PENGARAH PADA TURBIN FRANCIS

Ating Sudradjat¹, Carolus Bintoro², Viki Wuwung³
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jalan Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Bandung 40162
Tlp. (62) (22) 2013789, Fax (62) (22) 2013889
e-mail : atingsudradjat@yahoo.co.id

Abstrak

Sudu pengarah merupakan bagian dari turbin Francis yang berfungsi untuk mendistribusikan fluida air agar mampu mengalirkan debit air secara merata masuk dan memutar runner. Untuk menghasilkan kecepatan putar maksimum runner dibutuhkan adanya kesesuaian arah dan laju alir air yang jatuh pada setiap sudu runner. Untuk menentukan jumlah optimal sudu pengarah serta arah laju alir, ditentukan melalui pendekatan simulasi numerik dengan bantuan CFD-Numeca. Dari hasil proses simulasi tersebut didapat jumlah sudu sebanyak 24 buah dan arah dan laju alir yang sesuai, sebagai dasar perencanaan pembuatan turbin selanjutnya.

Kata kunci : CFD Numeca, sudu pengarah, simulasi, turbin Francis

I PENDAHULUAN

Turbin Francis bekerja menggunakan proses tekanan lebih, dimana pada waktu air memasuki *runner* sebagian dari energi tinggi jatuh memungkinkan difungsikan semaksimal mungkin untuk memutar sudu *runner* tersebut. Pada sisi luaran *runner* terdapat tekanan yang mungkin kurang dari tekanan atmosfer dan kecepatan alir air tinggi, sedangkan dalam pipa hisap tekanan yang terjadi akan berkurang dan tekanan akan kembali naik ke keadaan semula sehingga air akan mengalir keluar melalui saluran yang telah disediakan. Pada dasarnya turbin Francis merupakan turbin yang berkaitan dengan proses jalannya kecepatan dan tekanan air yang mengalir melalui rumah turbin yang berbentuk spiral serta menggunakan sudu pengarah yang terbenam dalam air. Posisi sudu pengarah (*guide vane*) bisa diubah-ubah, sehingga kapasitas aliran air yang masuk pada runner turbin bisa diperbesar maupun diperkecil yang pada gilirannya akan berdampak pada daya yang dihasilkan.

Sudu pengarah adalah bagian dari turbin Francis, dimana berfungsi sebagai distributor agar debit air mengalir merata dan pintu masuknya air yang dipasang didalam rumah spiral mengarah pada *runner blade*. Untuk menghasilkan kecepatan putar maksimum *runner*, arah alir yang jatuh yang jatuh ke setiap *runner blade* harus sesuai sehingga perlu ditentukan sudut optimal *stay vane* dan atau *guide vane* turbin Francis tersebut.

Berdasarkan data empirik 60 turbin francis yang diuji dari tahun 1925 s/d 1970 [1], maka kecepatan desain tangensial keluar dari *casing* spiral yang digunakan pada kondisi *gate* terbuka penuh adalah :

$$V_e = 0,22 (2g h_d)^{1/2} \dots (1)$$

(Syarat : tidak boleh melebihi 10,7 m/s)
Sementara kecepatan alir air terjun (*v*) dapat dihitung dengan :

$$v = (2g h_d)^{1/2} \dots (2)$$

dimana : h_d adalah tinggi jatuh air terjun

II METODOLOGI PENELITIAN

Pemodelan dimulai dengan mengacu pada kondisi rumah spiral turbin Francis yang ada, *prototype* komponen rumah turbin hasil penelitian yang telah dilakukan [2]. Selanjutnya pada proses perhitungan dengan menggunakan simulasi numerik, diperoleh :

Simulasi Numerik yang digunakan adalah pemodelan aliran fluida dengan menggunakan persamaan RANS (*Reynolds Average Navier-Stokes*), dimana digunakan model fluida air, persamaan model aliran turbulen Navier-Stokes adalah Spallart-Almaras, dan skema numerik yang digunakan adalah *central difference* dengan akurasi *2nd order*.

Kaji CFD-Numeca 64 bit dan 4 core yang berguna untuk mengamati pola aliran pada runner dan sudu pengarah, selanjutnya analisis dilakukan setelah proses simulasi dilakukan yang dimungkinkan untuk memberikan masukan yang berbeda untuk menghasilkan optimasi laju alir fluida air.



Gambar 1 *Prototype* komponen rumah turbin (hasil penelitian)

III TEORI DASAR

Berdasarkan segi pengubahan momentum kerja fluida, maka salah satu jenis turbin yang sering digunakan adalah turbin Francis. Cara kerja turbin Francis, menggunakan proses tekanan lebih pada saat air jatuh memasuki *runner*, dimana sebagian dari energi jatuh dan bekerja pada *guide vane* yang diubah sebagai kecepatan arus masuk. Sisa energi tinggi bekerja di sudu jalan, sedangkan pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja disudu jalan dengan secara maksimum. Bagian-bagian turbin Francis terdiri dari :

1 Scroll Casing/Spiral Casing (Rumah Siput)

Bagian ini umumnya terbuat dari *cast iron*, *welded rolled stell plate*, atau *Concrete* tanpa *steel plate lining* berbentuk pipa yang mengelilingi *runner blade*, ujungnya semakin mengecil, sehingga membentuk seperti rumah siput dengan tujuan supaya air yang mengalir dapat merata dan untuk menghindari kehilangan efisiensi.

2 Sudu pengarah (*guide vane*)

Bagian berfungsi sebagai pintu masuk air dari rumah spiral menuju *runner blade*, dan juga berfungsi sebagai distributor agar air disekeliling *runner* mempunyai debit yang sama rata, dan sebagai pengamanan turbin pada saat terjadi gangguan.

3 Sudu gerak (*runner*)

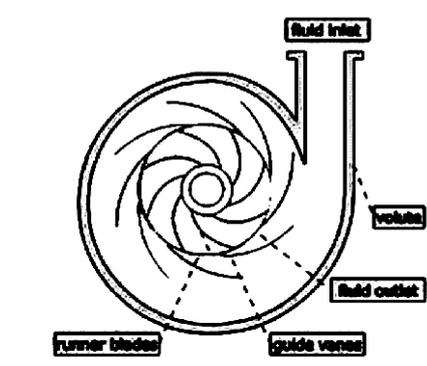
Bagian ini disebut sudu gerak (*runner blade*), energi kinetik air yang dikenakan padanya diubah menjadi energi mekanik (rotor).

4 Poros utama

Bagian ini bisa dibuat dalam dua bagian utama yaitu bagian atas generator *shaft* dan bagian bawah turbin *shaft* yang dikopling dengan kopling tetap

5 Bantalan Utama

Bagian ini berfungsi sebagai bantalan yang menopang *main shaft*, yang menahan guncangan atau getaran bila turbin sedang beroperasi



Gambar 2. Potongan gambar turbin Francis

Usaha peningkatan kinerja turbin melalui pemanfaatan teknologi aliran fluida kecil tersebut terus menjadi kajian. Hal tersebut akan meningkatkan kecepatan aliran, sehingga energi yang dapat dikonversikan akan meningkat dan perencanaan menjadi fleksibel.

Beberapa asumsi digunakan dalam proses kaji komputasional, yaitu aliran fluida disekitar sudu dalam kondisi *steady state*, *incompressibel* dan homogen. Dengan menggunakan asumsi tersebut maka aliran disekitar sudu turbin diasumsikan laminar. Asumsi yang tidak sesuai dengan kondisi riil ini dimaksudkan untuk menyederhanakan permasalahan dan sebagai pendekatan awal.

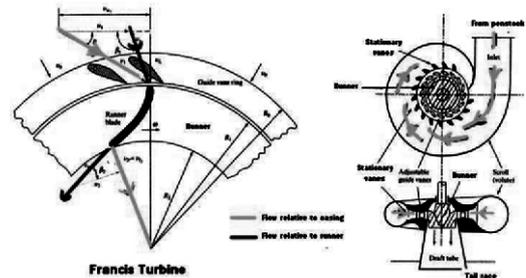
Muntean, dalam kajiannya mengenai aliran dalam distributor turbin Francis, menyatakan bahwa tidak ada pelepasan aliran di dalam *guide vane* pada keseluruhan batasan operasinya [6]. Memang dalam *paper*nya dinyatakan bahwa pengaruh viskositas diabaikan dan prosedur analisis dan optimasinya yang ditinjau perlu untuk mendapatkan perhatian khusus. Asumsi lain yang digunakan adalah aliran dianggap *steady*, karena tidak ada ketidak sempurnaan. Oleh karena itu kajian ini perlu didalami lebih jauh dengan menggunakan perangkat lunak yang ada dan teknologi yang semakin maju.

cis, menyatakan bahwa tidak ada pelepasan aliran di dalam *guide vane* pada keseluruhan batasan operasinya [6]. Memang dalam *paper*nya dinyatakan bahwa pengaruh viskositas diabaikan dan prosedur analisis dan optimasinya yang ditinjau perlu untuk mendapatkan perhatian khusus. Asumsi lain yang digunakan adalah aliran dianggap *steady*, karena tidak ada ketidak sempurnaan. Oleh karena itu kajian ini perlu didalami lebih jauh dengan menggunakan perangkat lunak yang ada dan teknologi yang semakin maju.

Analisis *steady state Computational Fluid Dynamik* (CFD) yang telah dilakukan oleh Nennemann [6], telah secara integral dan baik menvalidasi bagian dari struktur rencangan selama bertahun-tahun hingga sekarang. Namun demikian, dengan adanya perkembangan perangkat lunak CFD dan jangkauan teknologi, maka kajian *unsteady* perlu dilakukan, untuk memprediksi aliran secara lebih detail [6][7].

Kajian teoritik yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah lebih terkait dengan aspek segitiga kecepatan antara *guide vane* dengan

runner (impeller) turbin Francis agar pola aliran dapat diperoleh dengan baik seperti pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Pola aliran yang selama ini kebanyakan digunakan dalam kajian

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Simulasi Pola Aliran Pada *Volute, Stay/ Guide Vane* Dengan Menggunakan Cfd-Numeca 64 Bit, 4 Core.

Dengan melalui proses simulasi menggunakan CFD Numeca diharapkan akan mengidentifikasi arah alir didalam rumah turbin untuk menentukan jumlah optimal sudu pengarah, dimana sudu pengarah adalah merupakan bagian dari turbin Francis yang berfungsi sebagai distributor agar debit air mengalir merata dan merupakan pintu masuknya air yang dipasang didalam rumah turbin yang mengarah pada sudu *runner*. Untuk menghasilkan kecepatan putar maksimum *runner*, arah alir yang jatuh yang jatuh ke setiap sudu *runner* harus sesuai, sehingga perlu ditentukan arah dan jumlah optimal sudu pengarah tersebut

Berdasarkan data empirik kecepatan desain tangensial keluar dari rumah (*casing*) spiral yang digunakan pada kondisi *gate* terbuka penuh adalah :

$$V_e = 0,22 \sqrt{2gh_d}$$

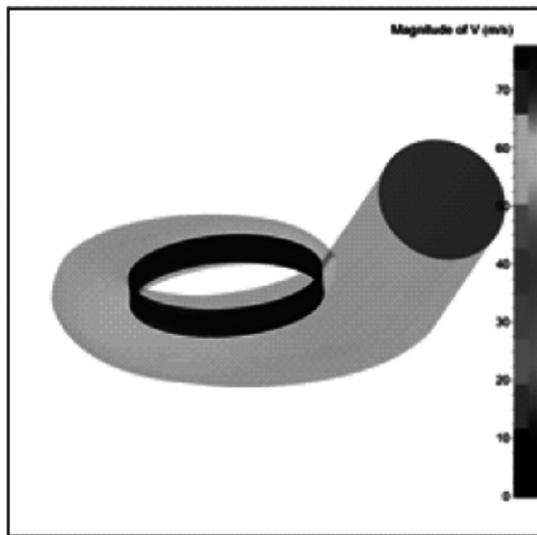
(dengan syarat V_e tidak boleh melebihi 10.7 m/s)

Dengan demikian V_e yang terjadi pada kasus desain rumah spiral ini, untuk acuan hasil penelitian lapangan yang telah dilakukan di aliran sungai air terjun Curug Cinulang Cicalengka Kabupaten Bandung didapat $h_d = 31,67$ m sehingga V_e didapat 5.38 m/s, masih tidak melebihi $10,7$ m/s.

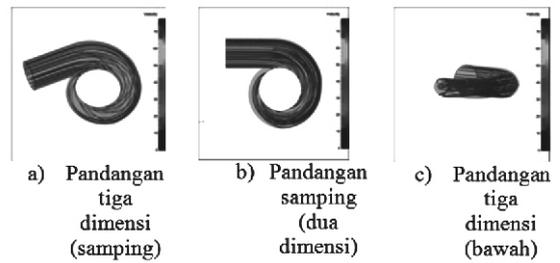
Pada proses perhitungan dengan menggunakan simulasi, diperoleh tiga kondisi aliran dengan debit yang berbeda :

1. Pada debit $2,22$ m³/s

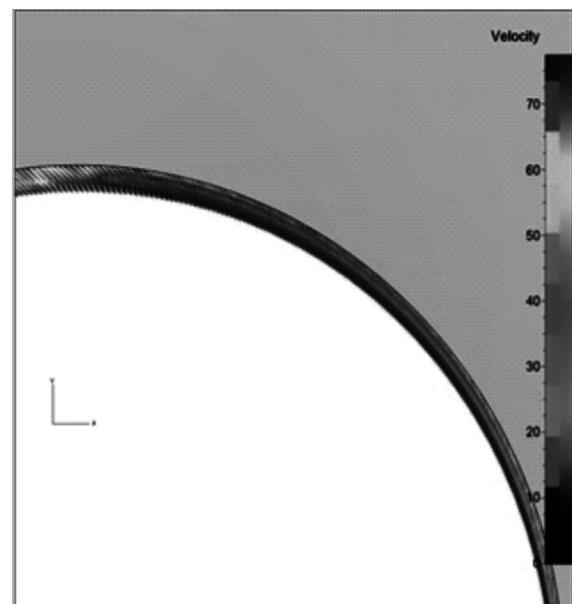
Dengan debit $2,22$ m³/s, pola aliran yang terjadi disekitar runner telah meningkat dari kecepatan sekitar 40 m/s menjadi kecepatan diatas 70 m/s (lihat Gambar 4). Peningkatan kecepatan tersebut, memberikan pola aliran fluida sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5. Pada gambar tersebut diketahui pada fluida sudah turbulen, tetapi aliran tetap memiliki kecepatan dan telah mengarah ke runner. Pada Gambar 6, diperlihatkan distribusi kecepatan disekitar batas runner, dimana kecepatannya cukup tinggi.



Gambar 4 Distribusi kecepatan pada inlet dan outlet rumah spiral pada simulasi pertama



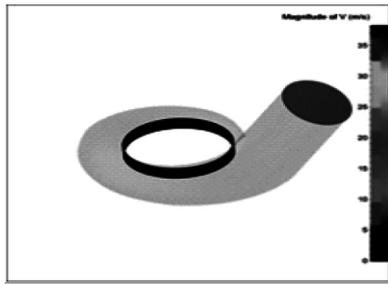
Gambar 5 Pola streamline pada rumah spiral



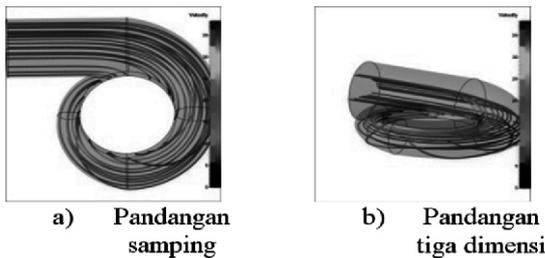
Gambar 6 Distribusi kecepatan absolute pada outlet casing spiral

2. Pada debit 1.11 m³/s

Dengan debit 1.11 m³/s, pola aliran yang terjadi disekitar runner telah meningkat dari kecepatan sekitar 20 m/s menjadi kecepatan diatas 35 m/s (lihat Gambar 7). Peningkatan kecepatan tersebut, memberikan pola aliran fluida sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8. Pada gambar tersebut diketahui pada fluida sudah turbulen, tetapi aliran tetap memiliki kecepatan dan telah mengarah ke runner. Pada Gambar 9, diperlihatkan distribusi kecepatan disekitar batas runner, dimana kecepatannya cukup tinggi.



Gambar 7 Distribusi Kecepatan Absolut Pada Inlet dan Outlet rumah Spiral, Simulasi Kedua



Gambar 8 Pola *streamline* pada rumah spiral, simulasi kedua

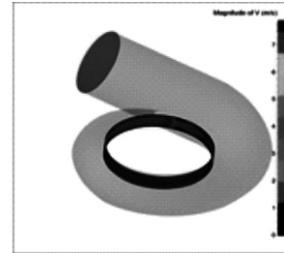


Gambar 9 Distribusi kecepatan absolute pada outlet casing spiral, simulasi kedua

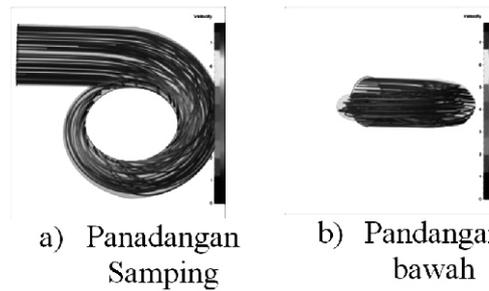
3. Pada debit $0.222 \text{ m}^3/\text{s}$

Dengan debit $0.222 \text{ m}^3/\text{s}$, pola aliran yang terjadi disekitar runner telah meningkat dari kecepatan sekitar 4 m/s menjadi kecepatan diatas 7 m/s (lihat Gambar 10). Peningkatan kecepatan tersebut, memberikan pola aliran fluida sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 11. Pada gambar tersebut diketahui pada fluida sudah turbulen, tetapi aliran tetap memiliki kecepatan dan telah mengarah ke runner. Pada Gambar 12,

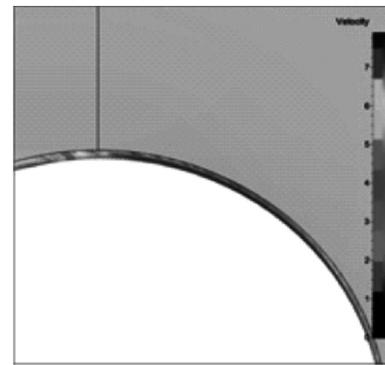
diperlihatkan distribusi kecepatan disekitar batas runner, dimana kecepatannya cukup tinggi.



Gambar 10 Distribusi kecepatan pada inlet dan outlet casing spiral simulasi ketiga



Gambar 11 Pola *Streamline* Pada Casing Spiral, simulasi ketiga

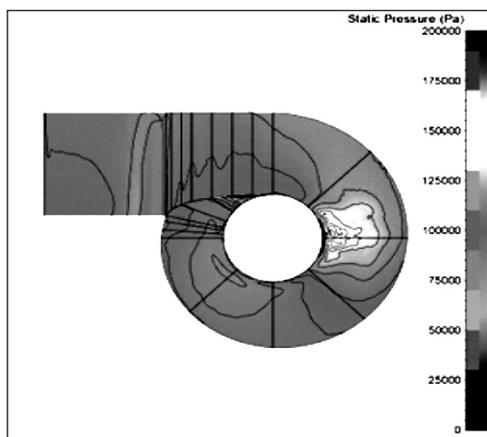


Gambar 12 Distribusi kecepatan absolute pada outlet casing spiral, simulasi ketiga

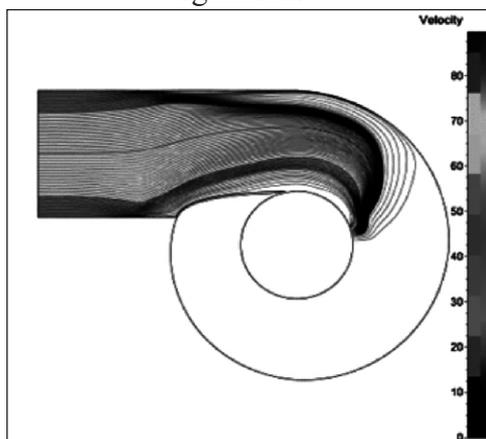
V ANALISIS

Simulasi numerik dengan bantuan perangkat lunak CFD-Numeca 62 bit 4 core dilakukan tiga kali iterasi, hal ini bertujuan untuk melihat sejauh mana pola laju alir yang terjadi pada rumah spiral turbin Francis sampai menghasilkan laju alir dengan kecepatan maksimum. Dari hasil simulasi dapat didapat bahwa kondisi aliran yang memenuhi data yang tersedia pada

perancangan rumah spiral ini adalah pada debit $0.0222 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan jumlah blade didapat sebanyak 24 buah, sedangkan pada rumah turbin konsentrasi *static pressure* yang terbesar terjadi sebesar 200000 Pa atau $= 0,2 \text{ Mpa}$ pada dua posisi hampir sama di daerah yang sama. (Gambar 13) artinya ada perbedaan tekanan sebesar $0,1 \text{ (Mpa)}$ dengan kecepatan alir air yang masuk terjadi seperti pada Gambar 14. Hal ini didapat adanya peningkatan kecepatan yang sekitar 2 kali disekitar runner dibandingkan dengan kecepatan masuk. Dengan demikian laju alir yang terjadi cukup ideal



Gambar 13. Konsentrasi *static pressure* yang terjadi pada posisi mendatar maupun posisi tegak lurus



Gambar 14 Kecepatan alir air pada rumah turbin pada posisi mendatar

Kecepatan alir air yang terjadi didalam rumah spiral pada daerah tertentu sekitar 20 m/s . Hal ini wajar bila pada setiap bagian tertentu dari rumah spiral tersebut perlu dibuat penguat agar mampu menahan laju alir yang terjadi.

VI KESIMPULAN

Simulasi numerik merupakan salah satu cara yang cukup bisa dapat diandalkan tatkala mengkaji permasalahan yang sangat rumit, dengan bantuan CFD-Numeca 64 bit 4 Core telah memudahkan membantu penyelesaian permasalahan yang terjadi dalam penentuan laju alir dalam rumah spiral dan menentukan jumlah sudu pengarah turbin Francis, sebagai bahan masukan untuk perencanaan selanjutnya yang kemudian akan divalidasi pada tingkat eksperimental. Hasil simulasi menunjukkan pada tahapan iterasi ketiga optimasi laju alir yang terjadi telah diperoleh kondisi laju alir yang memenuhi data yang tersedia pada perancangan rumah spiral adalah pada debit $0.0222 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan jumlah sudu didapat sebanyak 24 buah, sedangkan pada rumah turbin konsentrasi *static pressure* yang terbesar terjadi sebesar 200000 Pa atau $= 0,2 \text{ Mpa}$ pada dua posisi hampir sama di daerah yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ating Sudradjat, Carolus Bintoro, KAJI TEOROTIK DAN EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT PADA RUNNER TURBIN FRANCIS, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung, 2011.
2. Miles Rohan, Bolivian Times, January 6, 2000
3. Hermod Brekke, STATE OF THE ART IN TURBINE DESIGN, Norwegian University of Science and Technology, ermod.brekke@maskin.ntnu.no
4. Magnoli M.V., Numerical simulation of pressure oscillations in Francis turbine runners, JASS 2009-Joint Advanced Student

- School, St. Petersburg, 29.3-7.4.2009
5. Hari Prasad Neopane, et.al., Alternative Design of a Francis Turbine for Sand Laden Water, *International Conference on Small Hydropower - Hydro Sri Lanka, 22-24 October 2007*
 6. Sebastian MUNTEAN, et.al., Analysis Of The Gamm Francis Turbine Distributor 3d Flow For The Whole Operating Range And Optimization Of The Guide Vane Axis Location, The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timisoara, Romania, October 21 - 22, 2004
 7. Nennemann, B, Vu, T.C., Farhat, M., CFD prediction of unsteady wicket gate-runner interaction in Francis turbines: A new standard hydraulic design procedure, École Polytechnique de Montréal/GE Energy Hydro 795 George V, Lachine Québec, Canada
 8. William P. Creager and Joel D. Justin, *Hydroelectric Handbook, Second Edition*, John Wiley & Son, Inc., New York, 1950