

Masrur Alatas



ENERGI BARU TERBARUKAN & KONVERSI ENERGI

SEJARAH KINCIR AIR & TURBIN AIR



ENERGI BARU TERBARUKAN & KONVERSI ENERGI (EBTKE), SEJARAH KINCIR AIR & TURBIN AIR

Maşrur Alatas



TAHTA MEDIA GROUP

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202429827, 4 April 2024

Pencipta

Nama : **Masrur Alatas**

Alamat : Jl. Aster V/17 Pohruboh Pigkondang, RT. 001 / RW 052, Condongcatur, Depok, Sleman, DI Yogyakarta, 55281

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Masrur Alatas**

Alamat : Jl. Aster V/17 Pohruboh Pigkondang, RT. 001 / RW 052, Condongcatur, Depok, Sleman, Di Yogyakarta 55281

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **ENERGI BARU TERBARUKAN & KONVERSI ENERGI (EBTKE), SEJARAH KINCIR AIR & TURBIN AIR**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 4 April 2024, di Surakarta (solo)

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000605182

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

u.b

Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Anggoro Dasananto
NIP. 196412081991031002

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

**ENERGI BARU TERBARUKAN & KONVERSI ENERGI (EBTKE),
SEJARAH KINCIR AIR & TURBIN AIR**

Penulis:
Masrur Alatas

Desain Cover:
Masrur Alatas

Editor:
Bdn.Chentia Misse Issabella, S.ST., M.Tr.Keb

Proofreader:
Tahta Media

Ukuran:
xxi,235, Uk: 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-623-147-355-4

Cetakan Pertama:
April 2024

Hak Cipta 2024, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2024 by Tahta Media Group
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP
(Grup Penerbitan CV TAHTA MEDIA GROUP)
Anggota IKAPI (216/JTE/2021)

KATA PENGANTAR

Penulis bersyukur kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan ridho-Nya buku ini dapat kami susun dan selesaikan dengan baik. Dalam penyusunannya data dan referensi kami dapatkan dari jurnal internasional, jurnal nasional, buku, literatur dan referensi online melalui website. Buku ini kami susun secara sistematis mulai dari sejarah awal kincir air abad ke 4 SM sampai turbin air abad 21 dan perkembangan kincir air dan turbin air dengan berbagai manfaat untuk kehidupan manusia. Pada Bab I berisikan sejarah kincir air dan turbin air pada abad Sebelum Masehi, Abad Masehi, dan Milenium. Bab II membahas Overshot Water Wheel, Breastshot Water Wheel, Undershot Water Wheel, Poncelet Water Wheel, Backshot Water Wheel, Stream Water Wheel, Sagebien Water Wheel dan Zuppinger Water Wheel. Bab III membahas tentang Turbin Screw Archimedes, Turbin Barker, Turbin Segner, Turbin Euler, Turbin Burdin, Turbin Fourneyron, Turbin Bouden, Turbin Francis, Turbin Girard, Turbin Pelton, Turbin cross-flow, Turbin Kaplan dan Turbin Air Turgo. Pada bab IV terkait dengan klasifikasi turbin air. Bab V tentang perkembangan turbin air di abad 21. Buku ini secara runtut memberikan informasi perjalanan kincir air dan turbin air yang dilengkapi dengan pencetus ide, peneliti dan pemilik hak paten.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sedalam dalamnya kepada guru-guru penulis Prof. Dr .Ir. Agus Maryono, Prof. Dr. Chafid Fandeli, MS, Prof. Dr. Prabang Setyono, Prof. Dr. Ir. Maria Theresia Sri Budiastuti, M.Si., Prof. Dr.Totok Gunawan, MS. terimakasih kepada teman teman dosen Prodi Teknik Sistem Energi ITY, Dimas Taufik Ridho, M.Sc., Fifi Hindarti, M.Eng, Ucik Ika Fenti Styana, M.Eng., dan Adi Kurniawan, M.Sc. Teman teman penyemangat Dr. Mohibbuddin, M.Eng, Ady Purnama, ST., M.T, Yanni S.T, M.T. Terimakasih kepada bapak Nurkholison, S.E. selaku Direktur KSPPS Madani Jawa Timur koperasi tingkat nasional melalui program Madani Institute telah

bekerjasama dalam penerbitan buku ini. Terimakasih kepada Ibu Henny Sudibyo, S.T., M.Eng, PRKKE OREM Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) rekan dan tim peneliti mikrohidro dan pikohidro serta penulisan buku dan jurnal. Terimakasih kepada asisten saya Nurul Fariyah, S.T. yang telah membantu dalam penyusunan buku ini sampai dengan selesai. Terimakasih kepada kedua orang tua kami, dan saudara-saudara kami. Terimakasih kepada istri tercinta Bid. Chentia Misse Issabella, S.ST., M.Tr. Keb., ibu yang hebat untuk putra putri kami, Nafisa Sheza Hafizah, Muhammad Sakha Dzikrullah, Muhammad Arsyah Habibullah, Nasya Aisyah Mahabbah yang menjadi penguat dan penyemangat kami untuk terus bersemangat dalam mengamalkan ilmu bermanfaat dan terus menjadi manusia yang bermanfaat bagi orang lain.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih banyak kekurangan, dan perlu pengumpulan data yang lebih banyak sehingga buku Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi, Sejarah Kincir Air dan Turbin Air ini dapat lebih disempurnakan. Besar harapan kami buku ini mendapatkan saran dan kritik membangun dari pembaca yang budiman untuk menyempurnakan buku ini pada cetakan edisi berikutnya.

Salam Hormat,

Penulis

MAR DEL AWAL KINCIR AIR

Abad ke IV SM,
Timur Tengah, Laut
Aegea, di Romawi
Kincir Air untuk
membantu
mengergaji Marmer

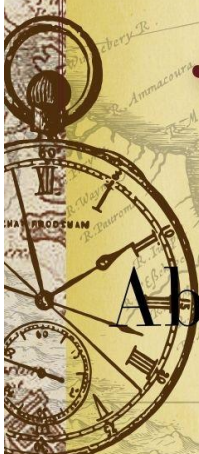


DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxi
BAB 1. SEJARAH KINCIR DAN TURBIN AIR.....	6
1.1 Abad, Sebelum Masehi (SM), Masehi (M), dan Milenium	6
1.2 Energi Baru Terbarukan	9
1.2.1 Manusia, Energi dan Lingkungan	10
1.2.2 Manusia dan Pemanasan Global (Global Warming).....	11
1.3 Sejarah Kincir Air Abad ke IV SM - Abad 19 M	12
1.3.1 Perbaikan kincir air vertikal: 1824-1890	15
1.4 Sejarah Kincir Air dan Turbin Air Abad ke 19 M - Abad ke 20 M (1826 - 1926)	16
1.4.1 Abad turbin: 1826-1926.....	16
1.4.2 Sukses (Burdin dan Fourneyron): 1820 - 1840.....	17
1.4.3 Penerus Fourneyron (1840-1847)	18
1.4.4 Turbin Francis (1855)	18
1.4.5 Turbin impuls untuk head (H) sangat tinggi: Girard, Bergès, dan Pelton.....	19
1.4.6 Turbin yang efisien untuk saluran dengan head sangat rendah: turbin Kaplan dan turbin bohlam	20
1.4.7 Turbin dan pengembangan pembangkit listrik tenaga air	21
1.4.8 Pembangkit listrik tenaga air untuk setiap kota (1895-1920)	22
1.5 Sejarah Kincir Air dan Turbin Air Abad ke 20 M Tahun 1933 - 2000	23
1.5.1 Menuju sistem pengelolaan air yang kompleks	23
1.6 Sejarah Singkat Kincir Air dan Turbin Air.....	98
BAB 2. JENIS KINCIR AIR.....	108
2.1 Overshot Water Wheel	110

2.2	Breastshot Water Wheel.....	111
2.3	Undershot Water Wheel.....	113
2.4	Poncelet Water Wheel	114
2.5	Backshot Water Wheel	115
2.6	Stream Water Wheel.....	116
2.7	Sagebien Water Wheel.....	117
2.8	Zuppinger Water Wheel.....	118
2.9	Kincir Air Teknologi Tepat Guna.....	118
BAB 3.	JENIS TURBIN AIR	121
3.1	Turbin Screw Archimedes	131
3.2	Turbin Barker (Dr.Barker, 1744) (Reaksi).....	136
3.3	Turbin Segner wheel (Johan Andreas Segner, 1750).....	137
3.4	Turbin Euler (Leonhard Euler, 1754).....	141
3.5	Turbin Burdin (Prof.Claude Burdin, 1820-1824)	142
3.6	Inward-flow Tangensial Turbine Wheel (Tahun 1826).....	143
3.7	Turbin Fourneyron (Benoit Fourneyron, 1826).....	143
3.8	Turbin Bouden (Uriah Atherton Boyden, 1844)	143
3.9	Turbin Vortex Thomson (James Thomson, 1850)	145
3.10	Turbin Francis (James B.Francis, 1837-1885) (Reaksi)	147
3.11	Turbin Pelton.....	151
3.12	Turbin Girard (Loius Dominique Girard, 1860-1880. Berges 1869-1882) (Impuls).....	157
3.13	Turbin Pelton (Berges 1891, William Doble 1899 – Paten) (Impuls)	161
3.14	Turbin cross-flow turbine, Bánki-Michell turbine, or Ossberger turbine (1903, Paten).....	162
3.15	Turbin Kaplan (Victor Kaplan, 1912) Paten 1912-1913.....	164
3.16	Turbin Air Turgo (Impuls) invented and patented by Eric Crewdson, in 1919.	174
BAB 4.	KLASIFIKASI TURBIN AIR.....	182
4.1	TURBIN REAKSI (REACTION TURBINE)	182
4.1.1	Turbin Baling-Baling (Propeller Turbine)	182
4.1.2	Turbin Francis.....	184
4.1.3	Turbin Kinetik	185
4.2	IMPULSE TURBINE.....	185

4.2.1	Turbin Pelton.....	185
4.2.2	Cross-Flow Turbine	186
BAB 5. PERKEMBANGAN TURBIN AIR ABAD 21		190
5.1	Turbin Air dan Klasifikasinya	190
5.2	Turbin Air Populer Abad 21.....	190
5.2.1	Turbin Francis.....	191
5.2.2	Turbin Propeller (fixed runner blades)	197
5.2.3	Turbin Kaplan.....	198
5.2.4	Turbin Pelton.....	202
5.2.5	Turbin Cross Flow.....	205
5.2.6	Turbin Turgo	208
5.3	Turbin Inovasi Populer abad 21	209
5.2.1	Screw Archimedes Turbine	209
5.2.2	Tubular turbine	210
5.4	Pumped Storage Plants	212
5.5	Shipon Turbine - PLTM Lodagung, Blitar (PT.Jasa Tirta Energi)	213
5.6	Potensi Mikrohidro Head Rendah Pada Saluran Irigasi, Permasalahan dan Solusinya	213
5.7	Tujuh (7) Perusahaan Turbin Populer 2024.....	218
DAFTAR PUSTAKA		220
GLOSARIUM.....		227
INDEKS.....		233



M A R D E L AWAL KINCIR AIR

Abad ke III SM, Alexandria
(Mesir) dan Pergamon
(sekarang Turki),

alat pengangkat air baru
seperti tympanum, saqqya,
Archimedes. sekrup, pompa
Ctesibios

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Potensi Energi Baru Terbarukan	26
Gambar 2. Sketsa denah lokasi 8 water wheel pada Armancon River (France) tahun 1882.....	84
Gambar 3. Sketsa denah 191 water wheels pada 10 industri pemintalan (cotton mills) pada tahun 1850 tranformasi menjadi turbin Fourneyron, turbin Boyden dan turbin Francis	84
Gambar 4. Turbin Francis	85
Gambar 5. Turbin Pelton.....	86
Gambar 6. Turbin Kaplan	87
Gambar 7. (a) Undershot, (b) Overshot dan (c) Breastshot	110
Gambar 8. Overshot Water Wheel	111
Gambar 9. Overshot Water Wheel, mid 19th Century, MADE: 1834-1866 in Freiberg.....	111
Gambar 10. Reast-shot Water Wheel, c. 1888 MADE: 1883-1891 in Wickham Market	112
Gambar 11. Model of breast water wheel with pentrough sluice. MADE: 1868 in Darmstadt. MAKER: Schroeder, J.	112
Gambar 12. Undershot Water Wheel, mid 19th Century MADE: 1834-1866 in Freiberg.....	113
Gambar 13. Undershot water wheel used to power a paper mill in Pool-in-Wharfedale, near Leeds, 1820.....	113
Gambar 14. Poncelet's Water Wheel, 1824	114
Gambar 15. Poncelet's Water Wheel MADE: 1824 (original); 1891 (model) in Paris	115
Gambar 16. Backshot Water Wheel, 1844-1850 MADE: 1844-1850 in Mary Tavy.....	116
Gambar 17. (a) Mechanical power generation (photo courtesy of AIAMS Italy), (b) Electricity production turnock et al., (2007) and c) pumping in irrigation system	116

Gambar 18. (a) Subcritical shallow flow (Quaranta, 2017), (b) Supercritical shallow flow (photo of Emavvele Quaranta), deep flow (photo countesy of AIAMS Italy), (c)Hydrostatic pressure machine (picture of nick Linton)(Linton, 2013) and (d) Diagonal baldes to reduce drag at the blades	117
Gambar 19. Sagebien water whell.....	117
Gambar 20. Zuppinger water wheel	118
Gambar 21. Turbin kincir air D 3 m.....	118
Gambar 22. Simple reation turbin.....	121
Gambar 23. Barker’s Hydraulic Turbine 1851.....	122
Gambar 24. Johan Andreas Segner	122
Gambar 25. Rotating irrigation sprinkler system.....	123
Gambar 26. Stator of the test	124
Gambar 27. Eulerturbine, Versuchsanordnung, - Masstab der Zeichnung 1 : 20	124
Gambar 28. Sejarah Pembangkit Listrik.....	130
Gambar 29. Typical archimedes screw pump (Rorres, 2000)	131
Gambar 30. Biografi singkat Archimedes.....	132
Gambar 31. Archimedes screw pump (Left), an archimedes screw hydropower plant (Right)	133
Gambar 32. Water pump.....	133
Gambar 33. A water pump in egypt from the 1950s which uses the Archimedes screw mechanism.....	134
Gambar 34. Archimedes screw.....	134
Gambar 35. Sungai Thames.....	135
Gambar 36. Rare Books, Woodcuts	135
Gambar 37. View of Barker turbine rotor located at historic Hacienda Buena Vista Caffé Plantation, near	136
Gambar 38. Segner wheel : (A) water inlet, (B) vertical tube with rotor, (C) rotor with nozzles (side view), (D) rotor with nozzles (“top”view), (E) hole the ground, (F) belt pulley transmission, (G) powered device...	137
Gambar 39. Scotch turbine from inclined plane 3 east of the Morris Cana	

lat Ledgewood, New Jersey	138
Gambar 40. Detail view of the arms and nozzles of the turbine.....	138
Gambar 41. Basic design of a segner turbine	138
Gambar 42. Komponen instalasi	139
Gambar 43. Appendix from the original document, showing sample calculations and defining all variables used	140
Gambar 44. Leonhard Euler.....	141
Gambar 45. Die Euler – Turbine	141
Gambar 46. Prof. Claude Burdin, 1820-1824.....	142
Gambar 47. Burdin turbine installed in Point – Gibaud	142
Gambar 48. Turbine de Fourneyron.....	142
Gambar 49. 1826 Poncelet inward – flow tangential turbine.....	143
Gambar 50. Turbine	143
Gambar 51. Boyden horizontal outward – flow turbine, 1844.....	144
Gambar 52. Boyden type turbine by the Holyoke Machine	144
Gambar 53. Whitelaw & Stirrat’s hydraulic turbine (left), The thomson vortex turbine (right)	147
Gambar 54. James Bicheno Francis	147
Gambar 55. (a) Design schematic, (b) Photograph	148
Gambar 56. Francis runner blades	149
Gambar 57. (a) Runner wheel, (b) Complete turbine and setting	149
Gambar 58. 72 inch radial – flow runner wheel.....	150
Gambar 59. Runner wheel of the 1876 Hercules turbine	151
Gambar 60. Lester Allen Pelton	152
Gambar 61. Pelton Water Wheel	152
Gambar 62. Pelton Wheel Patent.....	153
Gambar 63. Pelton Whell With Adjustable Nozzle	157
Gambar 64. Turbine Girard	158
Gambar 65. Pierre - Simon Girard	159
Gambar 66. Girard turbine with vertical axis	160
Gambar 67. konstruksi sederhana dari turbin hidrolik Girard.....	160
Gambar 68. Konstruksi klasik turbin hidrolik girard	160

Gambar 69. Turbin pelton.....	161
Gambar 70. Original pelton wheel (left), Double elliptical bucket design (right).....	162
Gambar 71. Turbine Ossberger.....	163
Gambar 72. Cross flow turbine	164
Gambar 73. Victor Kaplan	165
Gambar 74. (a) Turbine laboratory, (b) Scheme of the laboratory testing circuit.....	166
Gambar 75. (a) Current photo, (b) Historic photo from 1917, (c) Turbine scheme	167
Gambar 76. Experimental impellers with fixed blades	168
Gambar 77. Experimental rotatable impeller blades	168
Gambar 79. Original record of laboratory tests of the kaplan turbine	169
Gambar 80. Developmental shapes of the draft tube for the KaplanTurbine (a) Long straight draft tube, (b) Short straight drafttube, (c) Plate draft tube, (d) Elbow draft tube	170
Gambar 81. (a) Original turbine, now exhibited in the Technisches Museum in Wien, (b) The historical brochure of the storek company	171
Gambar 82. (a) Turbin Impeller, (b) Cross section of turbine and generator	171
Gambar 83. Turbine Kaplan.....	172
Gambar 84. Kaplan turbine at the word exhibition	173
Gambar 85. Viktor kaplan with his closest ones	175
Gambar 86. Eric Crewdson, inventor of the turgo.....	175
Gambar 87. Axial flow girard turbine	177
Gambar 88. Turbin Gilkes Turgo	178
Gambar 89. Williamson Brothers (1819 - 1897)	179
Gambar 90. Williamson Brothers (1919 - 1952)	180
Gambar 91. Company of Williamson Brothers (1969 - 2019).....	180
Gambar 92. Bulb turbine	183

Gambar 93. Straflo	183
Gambar 94. Tube turbine	183
Gambar 95. Turbin Kaplan	184
Gambar 96. Turbin Francis	185
Gambar 97. Turbin Pelton.....	186
Gambar 98. Cross Flow Turbine	187
Gambar 99. 7 tipe turbin air.....	191
Gambar 100. Turbin Francis	191
Gambar 101. Konstruksi Turbin Francis	192
Gambar 102. Sejarah penerapan PLTA.....	193
Gambar 103. PLTA ANDRITZ Hydro	193
Gambar 104. Axial flow turbines, Francis turbines, Pelton turbines.	194
Gambar 105. Small-scale hydro power plants range	194
Gambar 106. Francis Turbin in Papua New Guinea 3 MW.....	194
Gambar 107. Francis Hydroturbine generator 1,2 MW	195
Gambar 108. Francis turbine system	195
Gambar 109. Francis Turbine. Tanjung Tirta, Indonesia, 2019. 10 000 Kw	196
Gambar 110. Francis Turbine. Marañon, Peru, 2015. 19 683 kW ..	196
Gambar 111. Francis Turbine. Stubenberg, Austria, 2015. 1698 kW	197
Gambar 112. Turbine	197
Gambar 113. Open-Flume Turbine. Owala, Sri Lanka, 2014	198
Gambar 114. Turbin Kaplan	198
Gambar 115. Axial flow turbin (kaplan turbine)	199
Gambar 116. Kaplan horizontal turbine (Kiri), Kaplan S type turbine (Kanan), Kaplan Z type turbine (Bawah).....	199
Gambar 117. Kaplan vertikal turbine (Kiri), Kaplan siphon turbin (Kanan).....	200
Gambar 118. Kaplan Turbin	200
Gambar 119. Hydro site (500kW).....	200
Gambar 120. Kaplan water turbine	201

Gambar 121. Kaplan Turbine	201
Gambar 122. Kaplan Spiral.....	202
Gambar 123. Turbin pelton.....	202
Gambar 124. Konstruksi Turbin Pelton	203
Gambar 125. Pelton turbin generator.....	203
Gambar 126. Pelton Turbine. Pencaligue 1, Honduras, 2016. 14 668	204
Gambar 127. Vertical Pelton Turbine. Terem I & II, Kenya, 2015. 5 720 kW	204
Gambar 128. Vertical Pelton Turbine. Hintergössgraben.....	205
Gambar 129. Turbin Cross Flow.....	205
Gambar 130. Ossberger Turbin Cross Flow.....	206
Gambar 131. Komponen Original Ossberger Turbin	207
Gambar 132. Cross Flow Multi Nozzle	207
Gambar 133. Instalasi PLTA (Kiri), Original Ossberger turbin crosflow 15 kW – 5MW (Kanan).....	207
Gambar 134. Turbin turgo.....	208
Gambar 135. Konstruksi turbin turgo	208
Gambar 136. Hidraulig turbin turgo.....	209
Gambar 137. Screw Archimedes Turbine.....	209
Gambar 138. Hydropower	209
Gambar 139. Turbine Screw Archimedes.....	210
Gambar 140. Turbine Archimedes Screw	210
Gambar 141. Diagram jenis turbin	211
Gambar 142. Turbin tipe ‘S’ (Kiri), Turbin tipe lubang (Kanan), Turbin tipe bohlam (Bawah)	211
Gambar 143. Turbin tubular	212
Gambar 144. Bulb tubular turbine	212
Gambar 145. Pumped storage plants.....	212
Gambar 147. Turbin Kaplan 2 x 650 kW Power	213
Gambar 146. Pompa Intake Pengisian awal (Kiri), Bifurcation – Penstock (Tengah), Penstock (Kanan) PLTM Lodagung	213

Gambar 149. Potensi 2 Titik Menjadi PLTMH Cascade 600	214
Gambar 148. Potensi Mikrohidro Pada D.I.Kalibawang.....	214
Gambar 150. Potensi Terjunan Air dengan Head Rendah (3 - 4 m).....	216
Gambar 152. Intake Mikrohidro dilengkapi dengan	216
Gambar 151. Intake Irigasi Pengambilan sadap samping telah dilengkapi dengan Trashrack	216
Gambar 153. Inovasi HTDT dalam Meminimalkan Sampah Menempel Pada Intake Mikrohidro.....	217
Gambar 154. KMTI Gotong Royong Memasang HTDT pada Intake Mikrohidro	218
Gambar 155. Water Turbine Manufacturer	218
Gambar 156. Diagram jenis turbin	219

Abad ke I SM,
Timur Tengah, Kincir
air vertikal lahir,
kincir air di istana
Mithridate di Cabeira
(utara Turki saat ini)

kekaisaran Roma dan
Tiongkok

Kincir air Romawi dulunya
berbentuk roda vertikal (disebut
roda Vitruvius),

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perkembangan Turbin Kincir dan Turbin Air di Dunia dan di Indonesia	27
Tabel 2. Penelitian ilmiah yang dilakukan hingga awal abad kedua puluh	90
Tabel 3. Makalah ilmiah tentang kincir air gravitasi yang diterbitkan dalam beberapa dekade terakhir	91
Tabel 4. Karakteristik geometris beberapa kincir air gravitasi yang beroperasi.....	93
Tabel 5. Sejarah Kincir Air dan Turbin Air	98
Tabel 6. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	190

DAFTAR SINGKATAN

AS	: Amerika Serikat
AST	: Archimedes Screw Turbine
EBT	: Energi Baru Terbarukan
HAER	: Historic American Enegineering Record
SM	: Sebelum Masehi
M	: Masehi
kW	: Kilo Watt
MW	: Mega Watt
H	: Head atau Beda Tinggi
PWW	: Poncelet Water Wheel
PLTA	: Pembangkit Listrik Tenaga Air
PLTM	: Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro
PLTMH	: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro
PLTPH	: Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro
PLTS	: Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PLTB	: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu / Angin
PLTGL	: Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut
PLTP	: Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
WW	: Water Wheel

ABAD I

TAHUN 0-99

Kincir air telah menjadi pendamping aktivitas manusia sejak awal perkembangannya pada abad pertama Masehi

ABAD 5-15 M

aktivitas pra-industri pada Abad Pertengahan,

negara (Inggris). Pada abad ke-19, kincir air telah mencapai desain kuasi-optimal.

Penelitian Quasi Eksperimen bertujuan untuk mencari tau antar variabel yang melibatkan kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Maka dari itu, quasi eksperimen bisa digunakan untuk penelitian yang ingin menyelidiki hubungan antar variabel dan mengklarifikasi penyebab hubungan tersebut.

<https://sekolahstata.com/metode-quasi-eksperimen/>



ADVENTURE

ABAD 9 M (Tahun 800-899)

biara Saint-Germain-des-Prés di Prancis,
biksu (Benediktin dan Cistercian) **84** kincir
Loire dan Sungai Rhine

(Tahun 1086)

penaklukan Norman atas
Inggris, **Domesday Book**
mengidentifikasi tidak
kurang dari **5.624** kincir air
di negara ini.

BENANG MERAH

BUKU SEJARAH KINCIR AIR DAN TURBIN AIR

Buku sejarah kincir air dan turbin air ini membahas terkait dengan awal mula turbin kincir air dan turbin air ini ditemukan baik melalui teori, penelitian, rekayasa, ujicoba terapan, pengembangan dan pendaftaran paten. Sejarah yang telah dibaca dan dihimpun oleh penulis bahwa mulai sejenak 4 SM kincir air atau turbin air Screw Archimedes mulai ditemukan dan digunakan untuk membantu meringankan kegiatan masyarakat mulai dari mengambil air untuk irigasi, air minum, menguras kapal, dan kincir air yang juga untuk membantu masyarakat dalam memenuhi kebutuhan air bersih, irigasi, mengolah hasil pertanian dan perkebunan.

Pada Bab 1 buku ini berisikan sejarah turbin kincir dan turbin pada abad Sebelum Masehi, Abad Masehi, dan Milenium. Sejarah Kincir Air Abad ke IV SM – Abad 19 M, perbaikan kincir air vertikal: 1824–1890. Sejarah Kincir Air dan Turbin Air Abad ke 19 M – Abad ke 20 M (1826 - 1926), Abad turbin: 1826–1926, Sukses (Burdin dan Fourneyron): 1820 - 1840, Penerus Fourneyron (1840–1847), Turbin Francis (1855), Turbin impuls untuk head (H) sangat tinggi: Girard, Bergès, dan Pelton. Turbin yang efisien untuk saluran dengan head sangat rendah: turbin Kaplan dan turbin bohlam, turbin dan pengembangan pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga air untuk setiap kota (1895–1920), Sejarah Kincir Air dan Turbin Air Abad ke 20 M Tahun 1933 – 2000. Menuju sistem pengelolaan air yang kompleks, Sejarah Singkat Kincir Air dan Turbin Air.

Bab II Berisikan jenis turbin kincir antara lain Overshot Water Wheel, Breastshot Water Wheel, Undershot Water Wheel, Poncelet Water Wheel, Backshot Water Wheel, Stream Water Wheel, Sagebien Water Wheel dan Zuppinger Water Wheel. Pada Bab III buku ini membahas tentang jenis-jenis turbin air antara lain Turbin Screw Archimedes, Turbin Barker (Dr. Barker, 1744) (Reaksi), Turbin Segner

wheel (Johan Andreas Segner, 1750), Turbin Euler (Leonhard Euler, 1754), Turbin Burdin (Prof.Claude Burdin, 1820-1824), Inward-flow Tangensial Turbine Wheel (Tahun 1826), Turbin Fourneyron (Benoit Fourneyron, 1826), Turbin Bouden (Uriah Atherton Boyden, 1844), Turbin Vortex Thomson (James Thomson, 1850), Turbin Francis (James B.Francis, 1837-1885) (Reaksi), Turbin Girard (Loius Dominique Girard, 1860-1880. Berges 1869-1882) (Impuls), Turbin Pelton (Berges 1891, William Doble 1899 - Paten) (Impuls), Turbin cross-flow turbine, Bánki-Michell turbine, or Ossberger turbine (1903, Paten), Turbin Kaplan (Victor Kaplan, 1912) Paten 1912-1913 dan Turbin Air Turgo (Impuls) invented and patented by Eric Crewdson, in 1919.

Pada bab IV terkait dengan klasifikasi turbin air yaitu Turbin Reaksi (Reaction Turbine), Turbin Baling-Baling (Propeller Turbine), Turbin Francis, dan Turbin Kinetik. Impulse Turbine antara lain Turbin Pelton, dan Cross-Flow Turbine. Pada bab V membahas terkait dengan perkembangan turbin air di abad 21 yaitu Turbin Air Populer Abad 21, Turbin Francis, Turbin Propeller (fixed runner blades), Turbin Kaplan,

Turbin Pelton, Turbin Cross Flow, Turbin Turgo, Turbin Inovasi Populer abad 21, Screw Archimedes Turbine, Pumped Storage Plants, Shipon Turbine, dan Tujuh (7) Perusahaan Turbin Populer 2024. Buku ini menyajikan perjalanan kincir air dan turbin air yang dilengkapi dengan pencetus ide, peneliti dan pemilik hak paten.

AKHIR ABAD 12 M
SAMPAI AWAL ABAD KE-13 M

DINASTI AYYUBIYAH

“NORIA” BERASAL DARI BAHASA ARAB,

NA-URAH, MESIN AIR PERTAMA’

DI KOTA KUNO HAMA, SURIAH

*17 kincir air bersejarah yang terletak di
sepanjang Sungai Orontes yang sudah hadir dari
Era Bizantium*

*Mendistribusikan air Sungai ke Desa,
Irigasi dan Pertanian secara gravitasi
Kincir Diameter 20 m & bisa mengangkat 2500
liter air per menit*

BAB 1.

SEJARAH KINCIR AIR DAN TURBIN AIR

1.1 Abad, Sebelum Masehi (SM), Masehi (M), dan Milenium

Pengertian Abad adalah masa seratus tahun atau jangka waktu yang lamanya seratus tahun. Abad ke-1 adalah abad yang berlangsung sejak 1 M hingga 100 M. Abad ke-2 adalah abad yang berlangsung sejak 101 M hingga 200 M. Abad ke-3 adalah abad yang berlangsung sejak 201 M hingga 300 M. Abad ke-4 adalah abad yang berlangsung sejak 301 M hingga 400 M. Abad ke-5 adalah abad yang berlangsung sejak 401 M hingga 500 M. Abad ke-6 adalah abad yang berlangsung sejak 501 M hingga 600 M. Abad ke-7 adalah abad yang berlangsung sejak 601 M hingga 700 M. Abad ke-8 adalah abad yang berlangsung sejak 701 M hingga 800 M. Abad ke-9 adalah abad yang berlangsung sejak 801 M hingga 900 M. Abad ke-10 adalah abad yang berlangsung sejak 901 M hingga 1000 M. Abad ke-11 adalah abad yang berlangsung sejak 1001 M hingga 1100 M. Abad ke-12 adalah abad yang berlangsung sejak 1101 M hingga 1200 M. Abad ke-13 adalah abad yang berlangsung sejak 1201 M hingga 1300 M. Abad ke-14 adalah abad yang berlangsung sejak 1301 M hingga 1400 M. Abad ke-15 adalah abad yang berlangsung sejak 1401 M hingga 1500 M. Abad ke-16 adalah abad yang berlangsung sejak 1501 M hingga 1600 M. Abad ke-17 adalah abad yang berlangsung sejak 1601 M hingga 1700 M. Abad ke-18 adalah abad yang berlangsung sejak 1701 M hingga 1800 M. Abad ke-19 adalah abad yang berlangsung sejak 1801 M hingga 1900 M. Abad ke-20 adalah abad yang berlangsung sejak 1901 M hingga 2000 M. Abad ke-21 adalah abad yang berlangsung sejak 2001 M hingga 2100 M (saat ini).

Pengertian abad Sebelum Masehi (SM) adalah Sebelum Masehi atau sebelum Era Umum (sebelum Era Milenium) adalah periode waktu

dalam sejarah yang terjadi sebelum tahun 1 Masehi. Abad ke 1 SM adalah abad yang berlangsung sejak 1 SM hingga 100 SM. Abad ke 2 SM adalah abad yang berlangsung sejak 101 SM hingga tahun 200 SM. Abad ke 3 SM adalah abad yang berlangsung sejak 201 SM hingga 300 SM. Abad ke 4 SM adalah abad yang berlangsung sejak 301 SM hingga 400 SM. Kalender Masehi dapat diartikan sebagai suatu sistem penomoran tahun yang berasal dari kalender Julian dan Gregorian. Dasar perhitungannya adalah siklus revolusi bumi dalam mengelilingi matahari. Kalender Masehi ini mulai digunakan pada tahun 1582. Dalam kurun waktu satu tahun, perubahan penanggalan ini telah diterapkan oleh Italia, Portugal, Spanyol, dan negara-negara Jerman yang menganut agama Katolik. Secara bertahap, negara-negara lain juga mengadopsi kalender Gregorian, negara Jerman yang menganut agama Protestant pada tahun 1699, Britania Raya beserta koloninya pada tahun 1752, Swedia pada tahun 1753, Jepang pada tahun 1873, Tiongkok pada tahun 1912, Republik-republik sosialis Soviet pada tahun 1918, dan Yunani pada tahun 1923. Negara-negara dengan mayoritas penduduk beragama Islam cenderung menggunakan kalender Gregorian untuk keperluan sehari-hari, sementara tetap mempertahankan kalender berbasis Islam untuk keperluan keagamaan (Detik.com, t.thn.)

Milenium, alaf, sahasrawarsa, atau sasrawarsa adalah bilangan untuk tiap jangka waktu seribu tahun dalam tanggalan. Istilah lain untuk menyebut tahun ke-1000 adalah alaf yang mana berasal dari bahasa Arab dan banyak dipakai di Malaysia. Tahun 2000 disebut sebagai awal dari alaf baru dalam memasuki alaf ketiga (tahun 2000 sampai tahun 2999). (Wikipedia, 2024)

“noria” atau Na-urah



*Sumber Video - <https://www.ikons.id/sejarah-noria-kincir-air-dari-suriah/>
<https://youtu.be/2uHhPDFRum0>*

1.2 Energi Baru Terbarukan

Pengertian Energi Baru adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh teknologi baru, baik itu berasal dari energi terbarukan maupun energi tidak terbarukan.

Pengertian Energi Terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam yang dapat digunakan kembali dengan bebas, mampu diperbarui terus-menerus dan tak terbatas. Penciptaan energi terbarukan melalui perkembangan teknologi hijau (*green technology*) sehingga mampu menghasilkan sumber energi alternatif. Prinsip sumber energi terbarukan sendiri tidak akan habis karena terbentuk lewat proses alam yang berkelanjutan. Pemerintah menargetkan bauran EBT sebesar 23% di 2025.

Jenis-Jenis Energi Terbarukan :

1. Nuklir
2. PLTA - PLTM - PLTMH - PLTPH
 - a. PLTA : Pemangkit Listrik Tenaga Air
 - b. PLTM : Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro
 - c. PLTMH : Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
 - d. PLTPH : Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro
3. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)
4. PLTB (Pemangkit Listrik Tenaga Bayu / Angin)
5. PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)
6. Biomassa
 - a. Biogas
 - b. Bahan Bakar Nabati (BBN) / Bio Fuel
 - 1) Bioetanol
 - 2) Biodisel
 - c. Sampah Organik (Komunal maupun industri) :
 - 1) Biobriket
 - 2) Fermentasi
 - 3) Pyrolisis
 - d. Bio Arang

7. Hidrogen

1.2.1 Manusia, Energi dan Lingkungan

Harmoni kehidupan antara manusia, energi dan lingkungan sangat erat dan bersinergi. Manusia sebagai makhluk ciptaan Tuhan YME yang paling sempurna dengan akal, pikiran dan hati dalam keseimbangannya akan mampu menjaga lingkungan untuk tetap lestari dalam sistemnya. Tanpa Energi manusia dan lingkungan tidak dapat bertahan hidup dan akan mengalami kepunahan. Prabang Setyono, 2008 dalam buku cakrawala memahami lingkungan bahwa energi matahari diubah menjadi energi kimia dalam tumbuhan dan digunakan membentuk jaringan hidup dalam ikatan kimia kompleks dalam protein, lemak, dan karbohidrat. Pada sistem dan tingkatan trofik energi tersebut berpindah dari tumbuhan ke hewan, dari hewan kecil ke hewan besar, dari tumbuhan ke manusia, dari hewan kewanusiaan dan seterusnya. Melalui tingkatan trofik tersebut energi berpindah untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Sejalan dengan Watt 1973 dalam Prabang 2008 tentang 14 asas dasar ilmu lingkungan pada asas pertama hukum termodinamika pertama atau hukum konservasi energi bahwa energi berpindah dari suatu bentuk ke bentuk lain, energi tidak dapat dihancurkan atau diciptakan. Dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta inovasi saat ini energi matahari dapat diubah bentuk menjadi energi listrik melalui sistem pembangkit listrik tenaga matahari (PLTS). Potensi energi yang melimpah dipanen untuk menghasilkan energi listrik untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (sosial, ekonomi, dan lingkungan). PLTS merupakan energi yang ramah terhadap lingkungan dan masuk dalam Energi Baru Terbarukan (EBT), dan dalam produksi listrik tidak menghasilkan karbondioksida (CO₂) sehingga merupakan green energi. Menurunkan CO₂ melalui Energi Baru Terbarukan merupakan program dan kesepakatan internasional dan nasional

sebagai upaya mengantisipasi pemanasan global (Global Warming) dan Perubahan Iklim (Climate Change).

1.2.2 Manusia dan Pemanasan Global (Global Warming)

Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia dari tahun 2007 sampai dengan 2017 sebesar 1,24% pertahun, dan peningkatan juga terjadi pada perekonomian dan industri, hal ini menyebabkan kenaikan kebutuhan energi di Indonesia 8,15 % pertahun sampai tahun 2030 (PT Pertamina, 2018), disisi lain pemenuhan energi berbahan fosil seperti minyak bumi dan batu bara tidak bisa diperbaharui dan terbatas, ketersediaan bahan baku energi fosil di Indonesia hanya bertahan beberapa generasi lagi, berdasarkan ESDM apabila tidak ditemukan cadangan baru maka Minyak Bumi di Indonesia hanya bertahan sampai 12 tahun, Gas Bumi akan bertahan 33 tahun, sedangkan Batu Bara akan bertahan sampai 82 tahun saja (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional, 2017. (Alatas M. , et al., 2020)

Energi fosil terbatas dan tidak bisa diperbaharui, juga merupakan salah satu penyebab timbulnya perubahan iklim dan pemanasan global. Hukum internasional terkait dengan upaya mencegah perubahan iklim yaitu United National Framework Convention On Climate Change (UNFCCC) pada KTT Bumi di Rio de Jenairo, Brazil tahun 1992, Protokol Kyoto di Jepang tahun 1997, Bali Road Map pada COP ke 13 di Nusa Dua Bali 2007, COP-17 tahun 2011 di Durban Afrika Selatan, dan Paris Agreement 2015 yang sepakat untuk menurunkan emisi karbon dengan mengurangi pemakaian energi fosil (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional, 2017), telah diratifikasi sebagai komitmen Indonesia dalam upaya mencegah perubahan iklim dan pengelolaan lingkungan dan berdasarkan UU No. 30/2007 Tentang Energi dan Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 Tahun

2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan secara umum untuk mencapai sasaran dan arah Kebijakan Energi Nasional guna mewujudkan Kemandirian dan Ketahanan Energi Nasional. Serta Peraturan Presiden No. 22/2017, tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

1.3 Sejarah Kincir Air Abad ke IV SM – Abad 19 M

Sejak abad pertama SM, kincir air berkembang seiring dengan meningkatnya aktivitas pra-industri yang menjadi cikal bakal revolusi industri untuk metalurgi, pabrik tekstil, dan pabrik kertas. Sejak abad 19, kincir air menjadi sangat efisien. Tahun 1825 turbin reaksi muncul dan terus mengalami perkembangan teknologi. Tahun 1880 turbin impuls muncul untuk saluran tinggi. Turbin lain untuk saluran dengan head rendah dirancang lebih lanjut. Setelah 1890 pengembangan turbin dikaitkan dengan penggunaan tenaga air untuk menghasilkan listrik, baik untuk industri maupun untuk perkotaan. Abad ke 20 model “satu kota satu pembangkit listrik” dengan skema yang lebih kompleks dan efisien dengan dikembangkan interkoneksi listrik, bersama juga dengan pembangkit listrik tenaga pompa untuk penyimpanan energi.

Munculnya tenaga air, bagi umat manusia, merupakan sebuah revolusi teknologi besar. Sejarah ini dimulai sejak zaman klasik. Teknologi air untuk irigasi gravitasi telah digunakan di Timur Tengah dan Timur Jauh sejak milenium keempat SM, dan saluran air telah dikembangkan di negara-negara sekitar Laut Aegea, sebelum digunakan di wilayah Romawi. Iklim baru yang mendukung inovasi teknologi air muncul sejak abad ketiga SM, selama periode Helenistik, di sekitar pusat pengetahuan seperti Alexandria (Mesir) dan Pergamon (sekarang Turki), dengan alat pengangkat air baru seperti tympanum, saqqya, Archimedes. sekrup, pompa Ctesibios.

Kincir air vertikal lahir di suatu tempat di Timur Tengah pada abad pertama SM, seperti yang disarankan oleh teks paling awal yang disebutkan oleh Strabo tentang kincir air di istana Mithridate di Cabeira (utara Turki saat ini). Kincir air berkembang lebih jauh di masa

kekaisaran Roma dan Tiongkok pada abad pertama hingga ketiga Masehi. Di dunia Romawi, mereka sebagian besar digunakan untuk membuat kisi-kisi biji-bijian, dan kadang-kadang juga, pada abad keempat, untuk menggergaji marmer. Di kekaisaran Cina, diketahui dari sumber tekstual bahwa kincir air digunakan untuk banyak keperluan industri (menggerakan bellow untuk metalurgi, menggergaji). Kincir air Romawi dulunya berbentuk roda vertikal (disebut roda Vitruvius), dengan diameter antara 1,5 dan 3,5 m. Pabrik dengan banyak kincir air ada, misalnya di Barbegal, dekat Arles, di selatan Perancis. Pada Abad Pertengahan, kincir air terus mengalami perkembangan, baik pada peradaban barat maupun timur, seiring dengan perkembangan demografi yang berlangsung hingga abad ketiga belas (dan berakhir dengan peperangan dan wabah penyakit besar pada abad keempat belas). Lanskap kincir air saat ini di pedesaan bagian barat sebagian besar merupakan warisan dari periode perluasan ini.

Pentingnya tenaga air dalam perekonomian dan industri, dari Abad Pertengahan hingga abad kesembilan belas. Pada akhir Abad Pertengahan dan menjelang revolusi industri, kincir air merupakan pendukung banyak aktivitas ekonomi pra-industri : penggilingan biji-bijian, penggergajian, pengisian bahan baku untuk manufaktur tekstil dan pabrik kertas, penginjakan tebu untuk pengolahan gula, moving bellow dan water hammer untuk metalurgi (tempa). Kincir air juga digunakan dalam industri pertambangan untuk mengangkat air dari lubang tambang, mengisi mineral, dll. Sedangkan di Eropa Barat, teknologi yang dominan adalah roda vertikal di utara garis antara La Rochelle dan Lyon dan kincir air horizontal di selatan. garis. Pabrik di atas perahu yang berlabuh di sungai atau digantung di jembatan, dan pabrik pasang surut juga berkembang pada periode yang sama.

Para biksu (khususnya Benediktin dan Cistercian) termasuk komunitas yang paling aktif dalam pengembangan kincir air, karena mereka mempunyai kapasitas untuk mengembangkan keterampilan teknologi, serta tenaga kerja yang tersedia. Diketahui misalnya 84 kincir

air dimiliki oleh biara Saint-Germain-des-Prés di Prancis, salah satu biara besar yang memiliki tanah antara Loire dan Sungai Rhine, pada abad kesembilan. Pada tahun 1086, setelah penaklukan Norman atas Inggris, Domesday Book mengidentifikasi tidak kurang dari 5.624 kincir air di negara ini.

Selama periode antara abad ketujuh belas dan kesembilan belas, terjadi perkembangan progresif atau lokasi industri yang semakin besar yang menggunakan tenaga air sebagai sumber energinya. Tenaga air merupakan cikal bakal revolusi industri awal, penggunaan batu bara sebagai sumber energi baru dikembangkan pada tahap kedua.

Penempatan yang menggunakan palu dan penghembus bertenaga air dipasang di beberapa kanal yang berasal dari sungai, dengan banyak kincir air yang menggerakkan bengkel-bengkel berbeda dalam rantai antara bahan mentah hingga produk baja akhir. Diketahui dari survei yang diperintahkan oleh seorang menteri Raja Louis XV bahwa sekitar 140 bengkel terintegrasi tersebut beroperasi di Prancis pada tahun 1772. Gambar 1 menunjukkan contoh salah satu bengkel terpadu yang dibangun pada tahun 1770 oleh Buffon, seorang naturalis dan ilmuwan.

Mesin mekanis untuk pembuatan pakaian katun, pemintalan jenny ditemukan di Inggris pada tahun 1767. Mesin ini bertenaga air setelah tahun 1769, dan setelah itu pabrik bertenaga air dengan cepat berkembang di Inggris, di Prancis, dan kemudian di AS. Meskipun di Inggris penggunaan batu bara menggantikan tenaga air setelah tahun 1830 untuk pabrik kapas, tenaga air tetap menjadi sumber energi utama bagi pabrik pemintalan kapas di Prancis dan Amerika Serikat. Di negara ini, di New England dan Massachusetts, pabrik-pabrik yang sangat besar dibangun di atas kanal-kanal, yang digerakkan oleh sejumlah besar kincir air, yang selanjutnya digantikan oleh turbin hidrolik. Pada tahun 1823, sekelompok orang yang disebut Boston Associates memutuskan untuk berkonsentrasi di lokasi Lowell, di mana sudah ada kanal navigasi, yang disebut kanal Pawtucket dan melewati air terjun Sungai Merrimack. Dari

tahun 1823 hingga 1847, sepuluh pabrik tekstil dibangun di lokasi tersebut dengan menggunakan 191 kincir air.

Banyak pabrik tekstil lainnya dibangun di AS. Pekerjaan itu berat dan berbahaya bagi anak-anak perempuan yang bekerja di pabrik tekstil tersebut.

Tenaga air juga sangat penting bagi industri pertambangan. Di Jerman, sejumlah besar bendungan dan kanal dibangun antara abad keenam belas dan kedelapan belas, untuk memasok listrik ke pertambangan di kawasan pegunungan Metal dan Harz. Di pegunungan Harz, yang terletak di antara Hanover dan Leipzig, lebih dari 100 bendungan tanah dibangun pada periode yang disebutkan di atas, dengan total panjang kanal lebih dari 400 km. Teknologi tersebut selanjutnya ditransfer ke Eropa Timur dan Utara. Ada juga yang digunakan di dunia baru (misalnya di tambang perak Potosi di Bolivia). Ilustrasi yang sangat menarik mengenai penggunaan kincir air dalam industri pertambangan pada masa itu dapat ditemukan dalam buku yang ditulis pada tahun 1565 oleh seorang sarjana Jerman (Agricola), dan diterjemahkan ke dalam bahasa Inggris pada tahun 1950 oleh mantan Presiden AS Hoover dan istrinya .

1.3.1 Perbaikan kincir air vertikal: 1824–1890

Besarnya kepentingan ekonomi dari kincir air pada abad ke-19 menjadi motivasi yang kuat untuk melakukan inovasi, dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi kincir air vertikal tradisional, yang hanya sekitar 30 hingga 40%. Para ilmuwan menganalisis mekanika fluida kincir air, misalnya Antoine Parent (1704), Bernard Forrest de Bélidor (1737), John Smeaton (1752). Dengan menggunakan eksperimen model skala, Smeaton menyimpulkan bahwa kecepatan ujung dayung harus $\frac{2}{5}$ dari kecepatan aliran air yang masuk. Di Perancis, pekerjaan dilanjutkan oleh Jean-Charles Borda (1767), Charles Bossut (1771), dan Claude Louis Henri Marie Navier. Dalam *L'architecture hydraulique* edisi tahun 1819 yang dikomentarnya oleh Bélidor, 2 Navier mendukung penilaian

Borda bahwa kecepatan dayung harus setengah dari kecepatan aliran. Pada tahun 1824, “Académie des sciences” Perancis meluncurkan hadiah untuk mendorong inovasi pada kincir air. Hadiah ini diberikan pada tahun 1825 kepada Jean-François Poncelet, untuk desain kincir airnya.

Pada tahun 1855, insinyur Perancis lainnya, Alphonse Sagebien, mengembangkan kincir air dengan efisien 85%, dari publikasi tertanggal 1866), dan dipasang pada saluran bertekanan rendah. (kurang dari 4 m).

Di Swiss, Walter Zuppinger pada tahun 1883 mengusulkan desain baru yang menggabungkan inovasi sebelumnya dan memastikan efisiensi lebih dari 80% pada berbagai kondisi aliran masuk.

Sebagai hasil dari inovasi ini, kincir air vertikal, yang sekarang dibuat dari besi, pada akhir abad kesembilan belas telah mencapai desain yang hampir optimal dengan efisiensi yang sangat baik (80 hingga 90%) untuk saluran dengan head rendah hingga sedang, dan dalam kisaran daya 10 hingga 50 kW per unit. Namun kelemahan kincir air vertikal lainnya adalah terlalu besarnya pengaruh permukaan air di bagian hilir, dan tidak mungkin menggunakan saluran yang tinggi. Jadi, meskipun kincir air baru sudah sempurna, masih ada ruang untuk inovasi.

1.4 Sejarah Kincir Air dan Turbin Air Abad ke 19 M – Abad ke 20 M (1826 - 1926)

1.4.1 Abad turbin: 1826–1926

Tahun 1744–1754

Konsep pertama turbin reaksi dikembangkan secara terpisah pada tahun 1744 oleh Dr Barker di Inggris, dan pada tahun 1750 oleh Johan Andreas Segner dari Göttingen di Jerman, sebuah konsep yang sangat mirip dengan alat penyiram putar yang digunakan saat ini untuk menyiram taman. Leonhard Euler mempelajari penemuan Segner, dan pada tahun 1754 menerbitkan

sebuah makalah berjudul *Théorie plus complète des machines qui sont mises en mouvement par la réaction de l'eau*, dengan desain baru yang dikembangkan dari desain Segner, dengan tambahan distributor tetap di atas kemudi. memungkinkan untuk mengoptimalkan sudut aliran yang mencapai bilah putar rotor.

1.4.2 Sukses (Burdin dan Fourneyron): 1820 - 1840

Selama tahun 1820-1824, Claude Burdin, Profesor di “*École des mines de Saint-Étienne*” mencoba merancang roda yang berorientasi praktis berdasarkan prinsip roda Euler. Menyadari pentingnya distributor yang diusulkan oleh Euler, ia mencoba mengintegrasikan distributor di dalam roda, sehingga mesin yang dihasilkan dapat bekerja terendam di dalam air. Dia mengusulkan nama turbin untuk konsep tersebut. Pada tahun 1826, “*Société d’encouragement à l’industrie nationale*” dari Perancis mengusulkan hadiah untuk turbin yang terbukti beroperasi penuh di lokasi industri nyata. Seorang insinyur muda Perancis, setelah belajar di Saint-Étienne bersama Burdin, bernama Benoit Fourneyron, melakukan eksperimen dengan model turbin kecil (4,5 kW) yang berasal dari model Burdin, di bengkel Pont-sur-l’Ognon (Franche-Comté) di mana dia dulu bekerja sebagai insinyur. Karakteristik utama turbin Fourneyron adalah air mengalir dari dalam ke luar turbin. Pada tahun 1832, turbin industri pertamanya (37 kW) dipasang di bagian bawah tungku metalurgi di Dampierre (Jura). Fourneyron memenangkan hadiah “*Société d’encouragement*”, dan sejak saat itu semakin banyak turbin Fourneyron yang dipasang di lokasi industri. Sebuah langkah besar dicapai pada tahun 1837-1838 ketika dua lokasi industri di Black Forrest dilengkapi dengan turbin Fourneyron (masing-masing 45 kW, efisiensi sekitar 80%) pada saluran yang tinggi (108 m dan 114 m) (dari Morin (20)). Pada tahun 1843, terdapat 129 turbin Fourneyron yang bekerja di lokasi industri Eropa. Pada tahun 1895, tiga turbin Fourneyron dengan daya

masing-masing 3700 kW digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air besar pertama di AS di Air Terjun Niagara.

1.4.3 Penerus Fourneyron (1840–1847)

Menyusul kesuksesan turbin Fourneyron, sejumlah uji coba desain alternatif dilakukan, dengan paten baru: Fontaine-Baron (1840), Jonval (1841), Koechlin (1843). Dalam desain Fontaine-Baron dan Koechlin, distributor ditempatkan di atas rotor, seperti pada ide awal Euler. Pada tahun 1850, proses ini diterapkan pada sejumlah saluran, dengan ketinggian antara 3 hingga 5 m. James Thomson di Inggris (saudara laki-laki Lord Kelvin) merancang turbin “vortex” lainnya pada tahun 1850, yang diterapkan di sejumlah lokasi industri. Pada tahun 1843, turbin Fourneyron diperkenalkan di AS, dengan beberapa perbaikan yang dipatenkan oleh Uriah Boyden. Turbin Boyden ini digunakan di pabrik Appleton di Lowell dan pabrik tekstil lainnya di AS, yaitu pabrik Harmony di Cohoes.

1.4.4 Turbin Francis (1855)

Kepala teknisi di Lowell, antara tahun 1837 dan 1885, bernama James B. Francis, seorang imigran yang tiba di AS pada tahun 1833, pada usia 18 tahun. Francis melakukan banyak eksperimen dan pengujian mulai dari turbin Fourneyron, dan mencoba memperbaiki desain turbin reaksi. Dia menerbitkan pada tahun 1855 hasil Eksperimen Hidraulik Lowell-nya. Desain turbin barunya menggunakan prinsip yang berlawanan dengan turbin Fourneyron, dengan rotor di dalam dan distributor di luar, dan aliran radial di dalam turbin. Belakangan, konsep turbin Francis bergerak sedemikian rupa sehingga alirannya tidak lagi bersifat radial, namun semakin berubah arahnya ke bawah, yang masih menjadi prinsip turbin Francis saat ini. Awalnya dirancang untuk saluran dengan kepala sedang, jangkauan penerapan turbin Francis perlahan-lahan meluas ke saluran yang lebih tinggi: lebih dari 400 m pada tahun 1950 di lokasi pembangkit listrik tenaga air

di Norwegia. Saat ini, turbin Francis 700 MW sedang dikerjakan di pembangkit listrik tenaga air terbesar seperti Grand Coolee (AS), Itaipu, Three Gorges, dan turbin 1000 MW direncanakan untuk proyek di China.

1.4.5 Turbin impuls untuk head (H) sangat tinggi: Girard, Bergès, dan Pelton

Pada tahun 1850–1880, turbin Fourneyron dan Francis belum memungkinkan seseorang untuk menangani peluncuran yang lebih tinggi dari 120 m. Masih terdapat permintaan akan turbin yang memungkinkan penggunaan aliran pegunungan yang lebih kecil, dengan saluran yang lebih tinggi, terutama di Pegunungan Alpen. Prinsip turbin impuls tampaknya menjadi teknologi kunci untuk peluncuran tinggi, dengan semburan air yang berdampak langsung pada bilah rotor, seperti yang terjadi pada kincir air horizontal pra-industri. Masalah utama pada turbin impuls peluncuran tinggi adalah erosi cepat pada roda yang disebabkan oleh fenomena kavitasi. Perkembangan teknologi ditujukan untuk memecahkan masalah ini, sekaligus meningkatkan efisiensi turbin. Di Perancis, Louis-Dominique Girard merancang pada tahun 1854 sebuah turbin impuls dengan sumbu horizontal dan pancaran air terkontrol yang mempengaruhi bilah rotor. Efisiensinya mungkin sekitar 60%. Turbin ini menjadi turbin referensi di Pegunungan Alpen Prancis selama periode penting perkembangan industri kertas di Pegunungan Alpen (1860–1880). Antara tahun 1869 dan 1882, Aristide Bergès mengembangkan eksploitasi saluran tinggi hingga 480 m untuk pabrik kertasnya di Lancey, dekat Grenoble, menggunakan turbin yang berasal dari turbin Girard, dengan masih banyak kesulitan yang terkait dengan erosi kavitasi. Bergès terkadang mengabaikan hak-hak pengguna air lainnya, dan perkembangannya menjadi sasaran sejumlah perselisihan dan persidangan. Pada saat ini, penggunaan tenaga air untuk pembangkit listrik mulai berkembang, dengan kebutuhan

untuk menerangi kota-kota, memindahkan jalur trem, dan mengembangkan proses industri elektrolitik baru untuk industri kimia (elektrokimia), dan elektrometalurgi. Pada tahun 1884, turbin Girard berkekuatan 30 kW digunakan untuk penerangan kemaluan di Greenock di Skotlandia. Pabrik elektrokimia Calypso. dibangun pada tahun 1891 di Valloirette di Perancis, dengan saluran setinggi 135 m, mungkin menggunakan turbin Girard. Pabrik Chedde, yang dibangun pada tahun 1896 menggunakan saluran setinggi 140 m, dengan 12 turbin Girard (masing-masing 630 kW). Tetap saja kavitas merupakan batasan untuk menggunakan saluran yang lebih tinggi.

Di Amerika, pada masa pengembangan tambang emas, jet air biasa digunakan untuk menggerakkan kincir air. Pada tahun 1878, Lester Allan Pelton memperluas idenya dan mengembangkan turbin impuls yang menyandang namanya. Pada tahun 1891, Bergès berhasil menggunakan turbin Pelton untuk saluran barunya setinggi 470 m di Lancey. Sejak perbaikan yang dipatenkan oleh William Doble pada tahun 1899, turbin Pelton hingga saat ini menjadi turbin referensi untuk saluran tinggi. Pada tahun 1902, pabrik Calypso tersebut di atas menggunakan turbin Pelton dengan saluran baru setinggi 600 m. Saluran tertinggi saat ini adalah saluran Dixence - Bieudron, di Swiss, dengan ketinggian 1.883 m: pabrik Bieudron di kaki saluran dilengkapi dengan tiga turbin Pelton (masing-masing 400 MW). Kerusakan penstock pada ketinggian 1234 m terjadi pada tahun 2000, dan lokasi tersebut baru dibuka kembali pada tahun 2014.

1.4.6 Turbin yang efisien untuk saluran dengan head sangat rendah: turbin Kaplan dan turbin bohlam

Turbin Francis tidak cukup untuk mengalirkan tenaga besar dari saluran yang sangat rendah, dan patennya diberikan pada tahun 1912 oleh Victor Kaplan, dari Wien Technische Hochschule. Rotor turbin ini berbentuk heliks dengan sumbu

horizontal. Efisiensinya sangat baik (90%), namun karena putaran sudut kecepatan tinggi turbin dalam kondisi laju aliran tinggi, masalah kavitasi ditemui. Solusinya muncul pada tahun 1926 ketika seorang insinyur Swedia bernama Olov Engleson mendefinisikan sebuah perintah yang memungkinkan seseorang untuk menyesuaikan sudut bilah pisau. Setelah tanggal ini, turbin Kaplan menjadi referensi untuk pembangkit listrik sungai dengan head run rendah, seperti pada pembangkit listrik Kembs di Rhine, yang dibangun pada tahun 1933. Peningkatan pada turbin Kaplan untuk saluran dengan head sangat rendah adalah yang disebut turbin bohlam, dengan alternator terintegrasi di dalam turbin, sehingga penyimpangan aliran hampir nol ketika melewati turbin. Turbin bohlam digunakan di pembangkit listrik tenaga pasang surut Rance pada tahun 1960–1966 (Gbr. 10), dan, setelah keberhasilan tersebut, turbin bohlam digunakan setelah tahun 1967 untuk pembangkit listrik baru di Sungai Rhine dan Rhône.

1.4.7 Turbin dan pengembangan pembangkit listrik tenaga air

Pembangkitan listrik dari tenaga air dimulai pada tahun 1880, dengan turbin Thomson berkekuatan 7 kW pada saluran setinggi 8,8 m, di Cragside (Northumberland). Sejak saat itu, pembangkit listrik berkembang pesat, menggunakan berbagai jenis turbin. Dan sejak tahun 1889, semua proyek pembangkit listrik tenaga air dikhususkan untuk pembangkit listrik. Dua pendorong utama perkembangan ini dulunya adalah: industri, dengan perhatian khusus pada elektrokimia dan elektrometalurgi, dengan contoh pembangkit listrik Calypso dan Chedde di Pegunungan Alpen yang diberikan sebelumnya, tetapi juga pembangkit yang dibangun di sungai besar, dengan contoh utama Rheinfelden di sungai Rhine pada tahun 1899 (11,2 MW), atau Shawinigan di Saint-Maurice (Kanada), dikembangkan dari tahun 1901 hingga 1948 (juga menyediakan listrik ke Montréal); menyediakan listrik bagi kota-

kota, untuk penerangan umum dan jalur trem, sebagaimana dijelaskan di bawah ini.

1.4.8 Pembangkit listrik tenaga air untuk setiap kota (1895–1920)

Karena transportasi listrik jarak jauh belum dikembangkan pada saat itu, sejumlah pembangkit listrik tenaga air perkotaan bermunculan, untuk setiap kota yang memiliki akses terhadap sumber daya tenaga air. Berikut adalah beberapa perkembangan pionir utama menurut model ini.

Air Terjun Kerbau dan Niagara. Pada tahun 1895, pabrik industri pertama di sisi Amerika dari air terjun Niagara dipasang, untuk memasok listrik ke kota Buffalo. Pabrik tersebut menggunakan air terjun setinggi 60 m, dengan tiga, dan kemudian sepuluh turbin Fourneyron dipasang di dasar lubang vertikal. Total laju aliran adalah 250 m³/s, dan air dievakuasi ke hilir melalui kanal bawah tanah sepanjang 2 km. Pembangkit tersebut menyalurkan tenaga listrik 11 MW (dan kemudian 37 MW) ke kota Buffalo. Pembangkit listrik lainnya dibangun pada tahun 1901 di dalam penggalian di dasar air terjun, dengan 11 turbin menghasilkan 46 MW; pabrik ini hancur pada tahun 1956 setelah ledakan spektakuler dan memakan korban jiwa. Jenewa dan Chèvres. Pada tahun 1896, pabrik aliran sungai Chèvres di Sungai Rhône, 7 km hilir dari Jenewa, dengan ketinggian 8,8 m, mulai beroperasi. Perusahaan ini menyalurkan tenaga listrik sebesar 4 MW ke kota Jenewa, pemilik pembangkit tersebut. Tenaganya ditingkatkan pada tahun 1899 menjadi 13 MW, dengan 15 turbin Francis (dua turbin pada poros yang sama). Milan dan Paderno. Pada tahun 1898, pabrik Paderno ditugaskan untuk menyediakan listrik bagi kota Milan. Pembangkit ini menggunakan aliran air sebesar 45 m³/s yang berasal dari Sungai Adda, dengan empat, dan kemudian tujuh turbin Francis, yang menghasilkan masing-masing 1,5 MW, yang merupakan rekor pada saat itu. Tanaman ini masih ada sampai sekarang.

Lyon dan Cusset. Pembangkit listrik Cusset ditugaskan pada tahun 1899 oleh “Société des force motrices du Rhône”, menyalurkan tenaga listrik sebesar 16 MW ke Lyon. Pembangkit tersebut berada di kanal Jonage, berasal dari Rhône, dengan saluran setinggi 12 m, dan menggunakan 16 turbin Francis. Pabrik bersejarah ini masih beroperasi sampai sekarang. Setelah tahun 1920–1930, perkembangan interkoneksi listrik memungkinkan seseorang untuk berbagi pembangkit listrik tenaga air dalam skala yang lebih besar dibandingkan jaringan lokal yang terkait dengan contoh yang disebutkan di atas. Misalnya, pembangkit listrik La Truyère di Massif Central Prancis dibangun pada tahun 1932–1934 untuk memasok listrik ke Paris (tetapi juga Lyon dan Clermont-Ferrand).

1.5 Sejarah Kincir Air dan Turbin Air Abad ke 20 M Tahun 1933 - 2000

1.5.1 Menuju sistem pengelolaan air yang kompleks

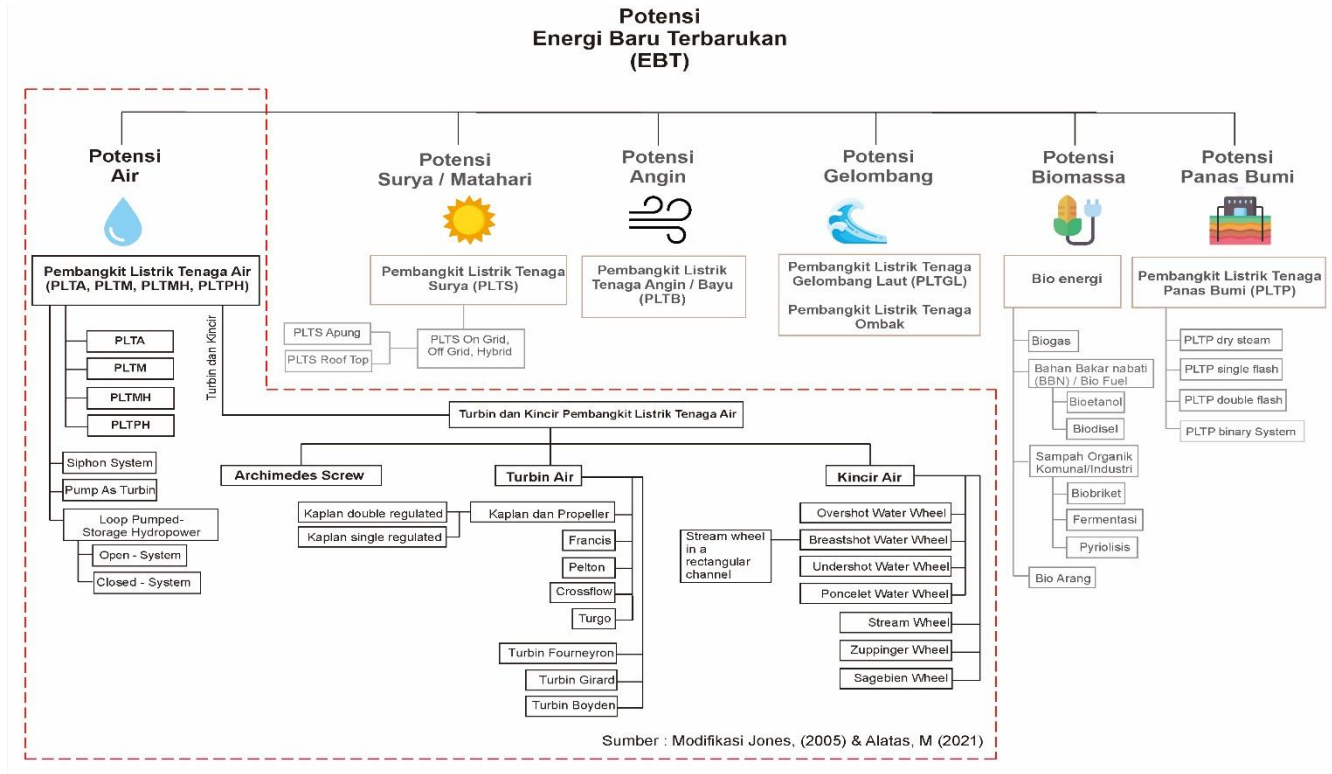
Karena pembangkitan tenaga listrik mengikuti konsumsi daya, konsep penyimpanan air sejak dini mulai bermunculan. Berdasarkan model pembangkit listrik satu kota-satu yang dijelaskan sebelumnya, perusahaan “Énergie électrique du Rhin” menugaskan pabrik Kembs pada tahun 1933 di sebuah kanal yang berasal dari Sungai Rhine. Tujuannya adalah untuk menyediakan listrik bagi kota Mulhouse. Pembangkit tersebut, ditunjukkan pada Gambar 9, berada pada saluran setinggi 15 m, dan menggunakan enam turbin Kaplan (masing-masing 4,6 MW). Untuk menyimpan energi pada jam-jam dengan permintaan rendah dan menghasilkan energi tambahan pada jam sibuk, pabrik penyimpanan dipasang menggunakan dua danau, Lac Blanc dan Lac Noir, dengan perbedaan ketinggian 130 m antara kedua danau. Pabrik penyimpanan ini seharusnya mulai beroperasi pada tahun 1934, namun ledakan penstock menyebabkan korban jiwa, dan pabrik tersebut akhirnya dioperasikan pada tahun 1938. Konsep

pembangkit listrik penyimpanan yang dipompa dikembangkan lebih lanjut sejak periode tersebut, dan sekarang menjadi teknologi penyimpanan energi listrik yang dominan, dengan dua periode pengembangan:

1. 1970–1990, terkait dengan pengembangan pabrik besar,
2. Sejak tahun 2000, angin terkait pengembangan energi angin dan matahari.

Kincir air telah menjadi pendamping aktivitas manusia sejak awal perkembangannya pada abad pertama Masehi. Hal ini memungkinkan berkembangnya aktivitas pra-industri pada Abad Pertengahan, dan menjadi sumber revolusi industri –batu bara kemudian digunakan, sebagai pengganti pembangkit listrik tenaga air di beberapa negara (Inggris). Pada abad ke-19, kincir air telah mencapai desain kuasi-optimal. Turbin yang dikembangkan sejak tahun 1850 dan seterusnya memungkinkan pembangkit tersebut untuk tidak terlalu bergantung pada kondisi batas hilir, menggunakan saluran yang tinggi, dan meningkatkan daya, dengan variasi dalam desain yang memungkinkan seseorang untuk mencakup seluruh jangkauan antara saluran dengan head rendah (beberapa meter tinggi) hingga peluncuran yang sangat tinggi (hingga 1800 m), dan unit daya dari beberapa kW hingga 700 MW (dan mungkin dalam waktu dekat 1000 MW). Gambar. Gambar 13 dan 14 menunjukkan kemajuan historis pengembangan turbin selama satu abad, dalam hal kepala saluran dan daya unit, menunjukkan desain turbin yang berbeda. Berkontribusi pada pengembangan sumber energi terbarukan, pembangkit listrik tenaga air berkembang pesat di negara-negara yang memiliki potensi pengembangan seperti: Asia (terutama di Cina), Amerika Selatan. Hal ini dapat dikembangkan secara luas di Afrika. Mesin hidrolik saat ini menghadapi tantangan fleksibilitas. Masalah jangka pendek pasar listrik dan pengembangan energi angin dan matahari yang serba guna menuntut pembangkit listrik tenaga air untuk

memberikan layanan yang lebih fleksibel. Sistem yang sangat tidak stabil yang terkait dengan jasa-jasa ini berdampak buruk bagi mesin, dan berdampak buruk bagi lingkungan perairan. Di Padang, Indonesia, kincir air (PWW) adalah yang paling populer dalam sistem energi pedesaan tradisional karena rendahnya biaya konstruksi, pengoperasian, rendahnya pemeliharaan, dan ketersediaan bahan. Dua bahan utama kincir air yang ditemukan di Padang, Indonesia adalah kayu keras dan bambu. Sebenarnya kincir air tradisional sudah banyak diterapkan untuk membantu aktivitas pertanian masyarakat di pedesaan. Salah satu kincir air tertua yang ditemukan oleh Raffles di Padang pada tahun 1718 dibuat dari bambu dan digunakan untuk mengairi air ke sawah. PWW sebagian besar dibangun dari bambu dan kayu keras karena keberadaan sumber daya alam serta terbatasnya ketersediaan energi listrik untuk mengoperasikan pompa (Muin, 1993).



Gambar 1. Potensi Energi Baru Terbarukan

Sumber : (Alatas M. , Budiastuti, Gunawan, & Setyono, 2021)

Tabel 1. Perkembangan Turbin Kincir dan Turbin Air di Dunia dan di Indonesia

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
1	Abad 4 SM	Timur Tengah Laut Aegea			Diromawi untuk menggergaji marmer
2	Abad 3 SM	periode Helenistik, di sekitar pusat pengetahuan seperti	Alexandria (Mesir) dan Pergamon (sekarang Turki),	alat pengangkat air baru seperti tympanum, saqqya, Archimedes. sekrup, pompa Ctesibios	
	abad ke 3 SM, Dasawarsa 2-9 Tahun 287-212 SM	Syracuse	Archimedes	Archimedean Screw adalah penemuan kuno, yang dikaitkan dengan Archimedes dari (287-212 SM),	dan biasanya digunakan untuk menaikkan air dari aliran air untuk tujuan irigasi. Archimedes dari Syracuse adalah seorang matematikawan, fisikawan, insinyur, astronom, dan penemu

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
					Yunani Kuno dari kota kuno Syracuse di Sisilia.
3	Abad 1 SM	Timur Tengah		Kincir air vertikal lahir	kincir air di istana Mithridate di Cabeira (utara Turki saat ini)
4	Abad 1 SM	kekaisaran Roma dan Tiongkok		biji-bijian, Kincir air Romawi dulunya berbentuk roda vertikal (disebut roda Vitruvius),	dengan diameter antara 1,5 dan 3,5 m. di Barbegal, dekat Arles, di selatan Perancis
5	Abad 1	Tahun 0-99)		Kincir air telah menjadi pendamping aktivitas manusia sejak awal perkembangannya pada abad pertama Masehi	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
6	Abad Pertengahan	abad 5-15 M		kincir air terus berkembang Hal ini memungkinkan berkembangnya aktivitas pra-industri pada Abad Pertengahan,	dan menjadi sumber revolusi industri –batu bara kemudian digunakan, sebagai pengganti pembangkit listrik tenaga air di beberapa negara (Inggris). Pada abad ke-19, kincir air telah mencapai desain kuasi-optimal.
8	Abad ke 9 Tahun 800-899	biara Saint-Germain-des-Prés di Prancis,	biksu (Benediktin dan Cistercian)	Biksu (khususnya Benediktin dan Cistercian) termasuk komunitas paling aktif pengembangan kincir air, karena mereka mempunyai kapasitas untuk mengembangkan keterampilan	Diketahui misalnya 84 kincir air dimiliki oleh biara Saint-Germain-des-Prés di Prancis, salah satu biara besar yang memiliki tanah antara Loire dan Sungai Rhine,

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				teknologi, serta tenaga kerja yang tersedia.	
9	1086	penaklukan Norman atas Inggris,		Domesday Book mengidentifikasi tidak kurang dari 5.624 kincir air di negara ini.	
10	akhir Abad 12 M sampai awal abad ke-13 M (Abad 12 : 1100-1199) (Abad 13 :1200-1299)	Dinasti Ayyubiyah	https://www.ikons.id/sejarah-noria-kincir-air-dari-suriah/	Kata “noria” berasal dari bahasa Arab, Na-urah, yang berarti “mesin air pertama.” Noria terletak di kota kuno Hama, Suriah. Merupakan 17 kincir air bersejarah yang terletak di sepanjang Sungai Orontes	Noria adalah kincir air yang digunakan untuk mengalirkan air dari sungai sehingga bisa mengalir melalui gravitasi melalui saluran air ke desa dan lahan pertanian untuk irigasi. Noria yang digunakan di dunia Islam abad pertengahan berukuran besar dengan diameter 20 meter dan bisa mengangkat

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				yang sudah hadir dari Era Bizantium	sebanyak 2.500 liter air per menit.
	 https://youtu.be/2uHhPDFRum0				
11	Akhir abad pertengahan (abad 15) Tahun 1400-1499	La Rochelle dan Lyon menjelang revolusi industri		kincir air mendukung banyak aktivitas ekonomi pra-industri. teknologi yang dominan adalah roda vertikal di utara garis antara La Rochelle dan Lyon	dan water hammer untuk metalurgi (tempa). Kincir air digunakan dalam industri pertambangan untuk mengangkat air dari lubang tambang, mengisi mineral, dll.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				dan kincir air horizontal di selatan penggilingan biji-bijian, penggergajian, pengisian bahan baku manufaktur tekstil dan pabrik kertas, penginjakan tebu untuk pengolahan gula, moving bellow	
12	Antara abad ke 16-18	Jerman abad 16 (tahun 1500-1599) abad 18 (tahun 1700-1799)		bendungan dan kanal dibangun untuk memasok listrik ke pertambangan di kawasan pegunungan Metal dan Harz. Di pegunungan Harz,	lebih dari 100 bendungan tanah dibangun pada periode yang disebutkan di atas, dengan total panjang kanal lebih dari 400 km

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				yang terletak di antara Hanover dan Leipzig,	
13	1565	seorang sarjana Jerman (Agricola)		Ilustrasi yang sangat menarik mengenai penggunaan kincir air dalam industri pertambangan pada masa itu dapat ditemukan dalam buku yang ditulis pada tahun 1565 oleh seorang sarjana Jerman (Agricola),	dan diterjemahkan ke dalam bahasa Inggris pada tahun 1950 oleh mantan Presiden AS Hoover dan istrinya
14	Awal Abad 17-19	Abad 17 (tahun 1600-1699) Abad 19 (tahun 1800-1899)		Kincir air	perkembangan progresif atau lokasi industri yang semakin besar yang menggunakan tenaga air sebagai sumber energinya
15	1704		Antoine Parent	ilmuwan menganalisis	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				mekanika fluida kincir air	
15	1718	Padang Indonesia	kincir air	Salah satu kincir air tertua yang ditemukan oleh Raffles di Padang pada tahun 1718 dibuat dari bambu dan digunakan untuk mengairi air ke sawah Kincir air PWW (PWW WM) dapat menghasilkan tenaga mekanik untuk penggilingan padi atau penumbuk padi tradisional. Kapasitas WM lebih kecil	 

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				dibandingkan WW karena penumbuknya hanya membutuhkan energi yang rendah. WM khusus yang diteliti di Bukittinggi, daerah pegunungan di Wilayah Padang, terdiri dari tujuh pon (Gambar 6). Biasanya penumbuknya terbuat dari kayu yang keras dan berat. Menurut informan, kincir air berkapasitas tujuh pon ini mampu	Figure 5...The capacity of water wheel to elevate water (see online version for details)  Figure 6...Water mill generates seven pounds simultaneously (see online version for details) 

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				menghasilkan 600 kg tepung beras dalam sehari. WW dan WM merupakan sistem teknologi yang cocok dan efektif untuk mendukung sistem irigasi (Gambar 7). Salah satu aspek terpenting dari kincir air tradisional adalah konstruksinya menggunakan desain sederhana dengan teknologi yang sangat mendasar. Tidak diperlukan keahlian	Figure 7 Two types of water wheels were constructed from hardwood and bamboo (see online version for colours) 

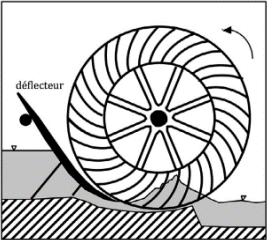
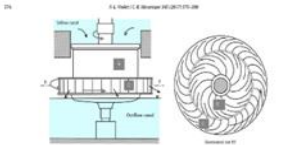
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				khusus dalam membangun kincir air, namun pengetahuan tentang cara mentransfer energi dari air menjadi tenaga mekanik sangatlah penting.	
16	1737		Bernard Forrest de Bélidor	ilmuwan menganalisis mekanika fluida kincir air,	
17	1744	Inggris	Dr Barker	Konsep pertama turbin reaksi dikembangkan secara terpisah pada tahun 1744 oleh Dr Barker di Inggris	
18	1750	Göttingen di Jerman	Johan Andreas Segner	pada tahun 1750 oleh Johan Andreas	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Segner dari Göttingen di Jerman, sebuah konsep yang sangat mirip dengan alat penyiram putar yang digunakan saat ini untuk menyiram taman	
19	1752		John Smeaton	eksperimen model skala, Smeaton menyimpulkan bahwa kecepatan ujung dayung harus $\frac{2}{5}$ dari kecepatan aliran air yang masuk	
20	1754		Leonhard Euler	Leonhard Euler mempelajari penemuan Segner, dan pada tahun	dengan desain baru yang dikembangkan dari desain Segner, dengan tambahan distributor

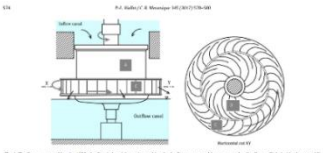
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				1754 menerbitkan sebuah makalah berjudul <i>Théorie plus complète des machines qui sont mises en mouvement par la réaction de l'eau</i> ,	tetap di atas kemudi. memungkinkan untuk mengoptimalkan sudut aliran yang mencapai bilah putar rotor
21	1767	Prancis		Jean-Charles Borda (1767) Charles Bossut (1771) Claude Louis Henri Marie Navier	
22	1767-1769	berkembang di Inggris, di Prancis, dan kemudian di AS New England dan Massachusetts	Pemintalan Jenny	Mesin tenaga air Pemintalan kapas	Mesin mekanis untuk pembuatan pakaian katun

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				kepentingan ekonomi dari kincir air pada abad ke-19 menjadi motivasi yang kuat untuk melakukan inovasi,	
27	1819		Bélidor, 2 Navier	L'architecture hydraulique edisi tahun 1819	Dalam L'architecture hydraulique edisi tahun 1819 yang dikomentarnya oleh Bélidor, 2 Navier mendukung penilaian Borda bahwa kecepatan dayung harus setengah dari kecepatan aliran
Sukses (Burdin dan ourneyron) 1820-1840:					
28	1820-1824	di "École desmines de Saint-Étienne"	Claude Burdin, Profesor	Selama tahun 1820-1824, Claude Burdin, Profesor di "École desmines de Saint-Étienne"	Menyadari pentingnya distributor yang diusulkan oleh Euler, ia mencoba mengintegrasikan

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				mencoba merancang roda yang berorientasi praktis berdasarkan prinsip roda Euler.	distributor di dalam roda, sehingga mesin yang dihasilkan dapat bekerja terendam di dalam air.
29	1823		sekelompok orang yang disebut Boston Associates	berkonsentrasi di lokasi Lowell, di mana sudah ada kanal navigasi, yang disebut kanal Pawtucket dan melewati air terjun Sungai Merrimack	
30	1823-1847		191 kincir air	sepuluh pabrik tekstil dibangun di lokasi ini, seperti ditunjukkan pada Gambar 2, menggunakan 191 kincir air.	 Fig. 2. The industrial site of Lowell (then England, 1846) by 1850. The canal cuts were along to 1847 (1850 water wheels). These wheels were installed after 1840 (see Thompson, Rogers or French websites)

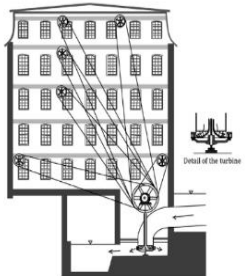
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
Perbaikan Kincir Air Vertikal (1824-1890)					
31	1824	Perancis		Pada tahun 1824, “Académie des sciences”	Perancis meluncurkan hadiah untuk mendorong inovasi pada kincir air.
32	1825	Perancis	Jean-François Poncelet	Hadiah ini diberikan pada tahun 1825 kepada Jean-François Poncelet, untuk desain kincir air yang ditunjukkan pada Gambar	 3a. Left : Poncelet (1825).
33	1826 Abad 19: 1800-1899	Tahun 1826 adalah tahun ke-27 pada Abad ke-19 M.		Turbin Reaksi	 Fig. 6 The Thompson turbine, by 1895, was first industrial reaction turbine. In the Thompson turbine, water enters the draft tube (A), is guided by the (B), and is then directed to the (C) and (D) by the (E). Industry pertama turbin reaksi
Abad Turbin (1826-1926)					

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
34	1826	Perancis	“Société d’encouragement à l’industrie nationale” Benoit Fourneyron	Pada tahun 1826, “Société d’encouragement à l’industrie nationale” dari Perancis mengusulkan hadiah untuk turbin yang terbukti beroperasi penuh di lokasi industri nyata. Seorang insinyur muda Perancis, setelah belajar di Saint-Étienne bersama Burdin, bernama Benoit Fourneyron, melakukan eksperimen dengan model turbin kecil	Karakteristik utama turbin Fourneyron adalah air mengalir dari dalam ke luar turbin

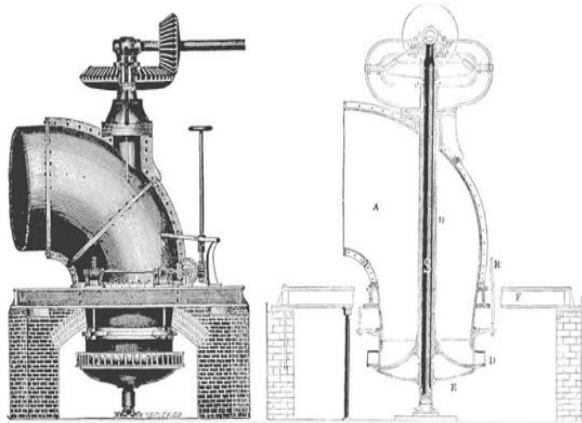
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				(4,5 kW) yang berasal dari model Burdin, di bengkel Pont-sur-l'Ognon (Franche-Comté) di mana dia dulu bekerja sebagai insinyur.	
35	1830	Perancis dan Amerika Serikat		Pabrik kapas	
36	1832	Dampierre (Jura).	Fourneyron	Pada tahun 1832, turbin industri pertamanya (37 kW) dipasang di bagian bawah tungku metalurgi di Dampierre (Jura). Fourneyron	Turbin Fourneyron 

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				memenangkan hadiah “Société d’encouragement”, dan sejak saat itu semakin banyak turbin Fourneyron yang dipasang di lokasi industri.	
37	1837-1838	dua lokasi industri di Black Forrest		Sebuah langkah besar dicapai pada tahun 1837-1838 ketika dua lokasi industri di Black Forrest dilengkapi dengan turbin Fourneyron (masing-masing 45 kW,	efisiensi sekitar 80%) pada saluran yang tinggi (108 m dan 114 m)

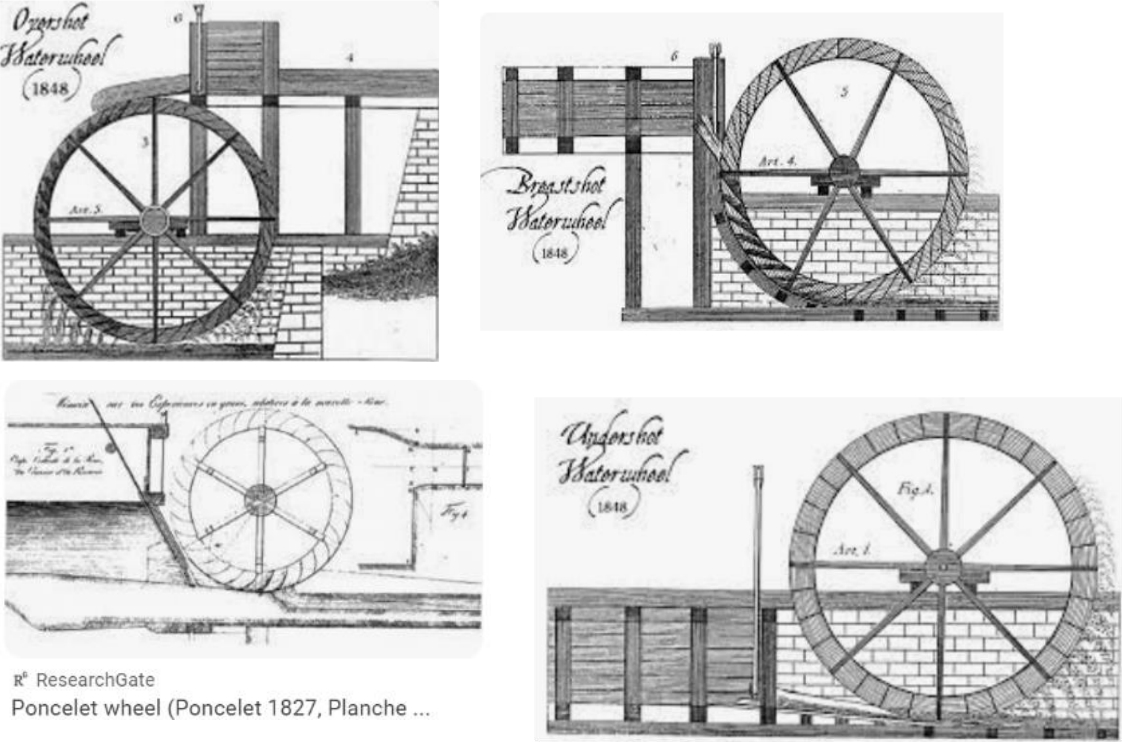
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
Penerus Fourneyron (1840–1847)					
38	1840 1841 1843		Fontaine-Baron Jonval Koechlin	Menyusul kesuksesan turbin Fourneyron, sejumlah uji coba desain alternatif dilakukan, dengan paten baru: Fontaine-Baron (1840), Jonval (1841), Koechlin (1843).	Dalam desain Fontaine-Baron dan Koechlin, distributor ditempatkan di atas rotor, seperti pada ide awal Euler

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
	 Jonval Turbine				
39	1843	Eropa		Pada tahun 1843, terdapat 129 turbin Fourneyron yang bekerja di lokasi industri Eropa	
40	1843	AS Cohoes pabrik Appleton di Lowell dan pabrik tekstil pabrik Harmony di Cohoes,	Uriah Boyden Turbin Boyden	Pada tahun 1843, turbin Fourneyron diperkenalkan di AS, dengan beberapa perbaikan yang dipatenkan oleh Uriah Boyden. Turbin Boyden ini digunakan di pabrik	 Fig. 9. The Harmony mills in Lowell (USA), by 1837, with two Boyden turbines (600 kW each).

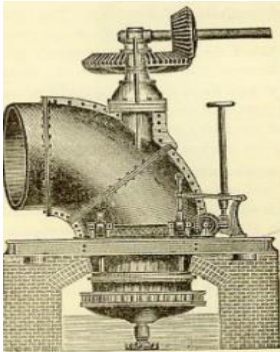
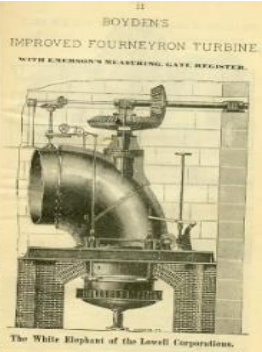
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Appleton di Lowell dan pabrik tekstil lainnya di AS, yaitu pabrik Harmony di Cohoes,	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
		Boyden Hydraulic Turbines-Turbomachines-Lecture Slides, Slides of Turbomachinery Boyden Hydraulic Turbines •The ancestor of the modern, radial flow, turbine was invented by two French Engineers, Claude Burdin (1790-1873) a professor at the Ecole des Mines at Saint Etienne and his student, Benoit Fourneyron (1802-1867). •In 1833, the Societe de Encouragement pour le Industrie National, offered a prize to any person producing a large scale, commercial hydraulic turbine. •Fourneyron won the prize, for his turbine design. •The turbine was licensed to others to manufacture. In 1855, Sir Francis, Prove that Not A Great Idea For A Turbine... However, doccity.com			Uriah A. Boyden (1804-1879) invented an outward-flow turbine in 1844 that improved the performance of the Fourneyron turbine and was, in time, superseded by the Francis-type inward-flow machine.  Boyden type turbine manufactured by the Holyoke Machine Company. This is not one of the Landmark turbines but is an illustration of a similar machine taken from the company catalog of 1876.

(American Society of Mechanical Engineers, 1975)

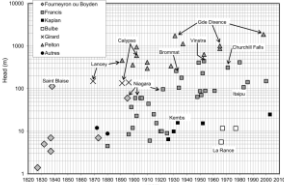
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
41	1848				

R^e ResearchGate
Poncelet wheel (Poncelet 1827, Planche ...

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
	   Sumber : https://www.frenchriverland.com/1852_fourneyron.htm Nenek moyang turbin aliran radial modern ditemukan oleh dua Insinyur Perancis, Claude Burdin (1790-1873) seorang profesor di Ecole des Mines di Saint Etienne dan muridnya, Benoit Fourneyron (1802-1867). Pada tahun 1833, Societe de Encouragement pour le Industrie National, menawarkan hadiah kepada siapa pun yang memproduksi turbin hidrolik komersial berskala besar. Fourneyron memenangkan hadiah untuk desain turbinnya. Turbin tersebut dilisensikan kepada pihak lain untuk diproduksi. Pada tahun 1844, Uriah A, Boyden dari Chicopee, Massachusetts memodifikasi dan mematenkan perbaikan desainnya. Pada tahun 1849, ia mulai memproduksi turbinnya di Perusahaan Manufaktur Ames di Sungai Chicopee.				
43	1850-1880	Pegunungan Alpen	turbin Fourneyron dan Francis	Pada tahun 1850-1880, turbin Fourneyron dan	Masalah utama pada turbin impuls peluncuran tinggi adalah erosi cepat

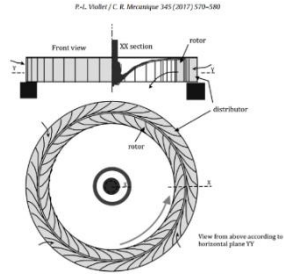
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Francis belum memungkinkan seseorang untuk menangani peluncuran yang lebih tinggi dari 120 m. Masih terdapat permintaan akan turbin yang memungkinkan penggunaan aliran pegunungan yang lebih kecil, dengan saluran yang lebih tinggi, terutama di Pegunungan Alpen. Prinsip turbin impuls tampaknya menjadi teknologi kunci untuk peluncuran tinggi,	pada roda yang disebabkan oleh fenomena kavitasi. Perkembangan teknologi ditujukan untuk memecahkan masalah ini, sekaligus meningkatkan efisiensi turbin.

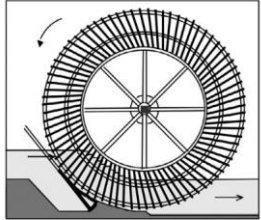
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				dengan semburan air yang berdampak langsung pada bilah rotor, seperti yang terjadi pada kincir air horizontal pra-industri.	
44	1850	Asia (terutama di Cina), Amerika Selatan di Afrika.	H hingga 1800 P hingga 700 MW - 1000 MW	Turbin yang dikembangkan sejak tahun 1850 dan seterusnya memungkinkan pembangkit tersebut untuk tidak terlalu bergantung pada kondisi batas hilir, menggunakan saluran yang tinggi, dan meningkatkan daya, dengan variasi dalam desain yang	Fig. 13. The increase of hydroelectric unit power between 1825 and 2000.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				memungkinkan seseorang untuk mencakup seluruh jangkauan antara saluran dengan head rendah (beberapa meter tinggi) hingga peluncuran yang sangat tinggi (hingga 1800 m), dan unit daya dari beberapa kW hingga 700 MW (dan mungkin dalam waktu dekat 1000 MW). Gambar. Gambar 13 dan 14 menunjukkan kemajuan historis pengembangan	 Fig. 14. The increase of turbines from 1923 to 2006.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				turbin selama satu abad, dalam hal kepala saluran dan daya unit, menunjukkan desain turbin yang berbeda. Berkontribusi pada pengembangan sumber energi terbarukan, pembangkit listrik tenaga air berkembang pesat di negara-negara yang memiliki potensi pengembangan seperti: Asia (terutama di Cina), Amerika Selatan.	

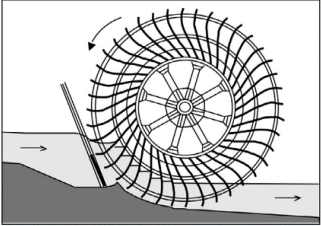
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Hal ini dapat dikembangkan secara luas di Afrika.	
45	1854	Perancis	Louis-Dominique Girard	Di Perancis, Louis-Dominique Girard merancang pada tahun 1854 sebuah turbin impuls dengan sumbu horizontal dan pancaran air terkontrol yang mempengaruhi bilah rotor.	Efisiensinya mungkin sekitar 60%. Turbin ini menjadi turbin referensi di Pegunungan Alpen Prancis selama periode penting perkembangan industri kertas di Pegunungan Alpen (1860–1880).

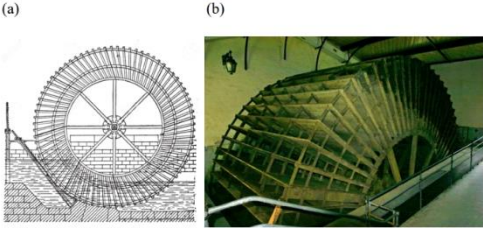
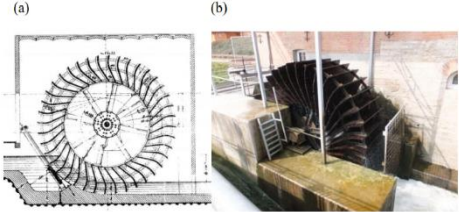
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
46	1855 Turbin Francis	Perancis di Lowell	James B. Francis Desain turbin barunya menggunakan prinsip berlawanan dengan turbin Fourneyron	Kepala teknisi di Lowell, antara tahun 1837 dan 1885, bernama James B. Francis, seorang imigran yang tiba di AS pada tahun 1833, pada usia 18 tahun. Francis melakukan banyak eksperimen dan pengujian mulai dari turbin Fourneyron , dan mencoba memperbaiki desain turbin reaksi. Dia menerbitkan pada tahun 1855 hasil Eksperimen Hidraulik Lowell-nya. Desain turbin	 P.-L. Vallet / J. C. R. Mécanique 345 (2017) 576-588 Fig. 6. The initial design of the Francis turbine (1855), with a strictly radial flow in the rotor.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				barunya menggunakan prinsip yang berlawanan dengan turbin Fourneyron, dengan rotor di dalam dan distributor di luar, dan aliran radial di dalam turbin (Gbr. 6).	
47	1855	Perancis	Alphonse Sagebien,	Pada tahun 1855, insinyur Perancis lainnya, Alphonse Sagebien, mengembangkan kincir air efisien lainnya, ditunjukkan pada Gambar. 3b, dengan efisiensi	 3b. Sagebien (1858)

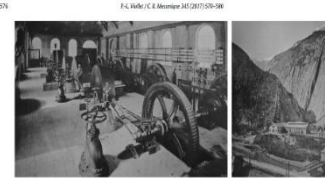
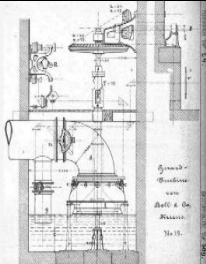
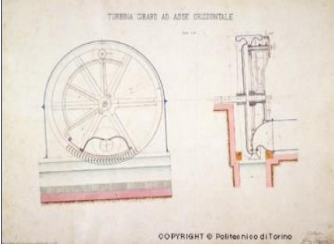
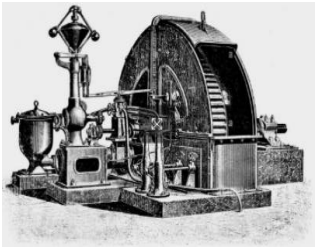
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				sekitar 85% dalam kondisi optimal	
48	1860-1880	Pegunungan Alpen		di Pegunungan Alpen Prancis selama periode penting perkembangan industri kertas di Pegunungan Alpen (1860-1880).	
49	1869 dan 1882	pabrik kertasnya di Lancey, dekat Grenoble,	Bergès turbin Girard,	Antara tahun 1869 dan 1882, Aristide Bergès mengembangkan eksploitasi saluran tinggi hingga 480 m untuk pabrik kertasnya di Lancey, dekat Grenoble, menggunakan turbin yang berasal	Bergès terkadang mengabaikan hak-hak pengguna air lainnya, dan perkembangannya menjadi sasaran sejumlah perselisihan dan persidangan

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				dari turbin Girard, dengan masih banyak kesulitan yang terkait dengan erosi kavitasi .	
50	1878	Lester Allan Pelton	turbin impuls Pelton	Di Amerika, pada masa pengembangan tambang emas, jet air biasa digunakan untuk menggerakkan kincir air.	Pada tahun 1878, Lester Allan Pelton memperluas idenya dan mengembangkan turbin impuls yang menyangg namanya.
51	1880			Turbin Impuls	Turbin head rendah pada saluran dirancang
52	1880	di Cragside (Northumberland)	Turbin Thomson	Pembangkitan listrik dari tenaga air dimulai pada tahun 1880, dengan turbin Thomson berkekuatan 7 kW	Sejak saat itu, pembangkit listrik berkembang pesat, menggunakan berbagai jenis turbin

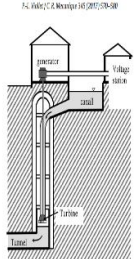
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				pada saluran setinggi 8,8 m, di Cragside (Northumberland).	
53	1883	Swiss	Walter Zuppinger	Di Swiss, Walter Zuppinger pada tahun 1883 mengusulkan desain baru yang menggabungkan inovasi sebelumnya (Gbr. 3c), memastikan efisiensi lebih dari 80% pada berbagai kondisi aliran masuk	 3c. Right : Zuppinger (1899)

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				  Figure 1 (a) Typical <i>Sagebien</i> water wheel (Industrial encyclopedia E.-O. Lami - 1875). (b) typical <i>Sagebien</i> water wheel (Île de France, Trilbardou, photo of Patrick, H.M, 2007): $D = 11$ m, $B = 6$ m, 70 blades, $P = 110$ kW Figure 2 (a) Typical <i>Zuppinger</i> water wheel (Müller, 1899); (b) Existing <i>Zuppinger</i> water wheel (Germany, photo of Müller, 2016): $D = 5$ m, $B = 2$ m, $H = 1.7$ m, $Q = 1.8$ m³s⁻¹, $P \approx 23$ kW, rotational speed = 5 rpm	
54	1884	di Greenock di Skotlandia Pabrik elektrokimia Calypso		Pada tahun 1884, turbin Girard berkekuatan 30 kW digunakan untuk penerangan di Greenock di Skotlandia.	
55	1885	Jawa Barat Indonesia		Di Jawa Barat, salah satu teh andalan	

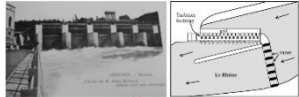
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				wilayah di Indonesia yang pertama turbin dipasang pada tahun 1885.	
56	1886			publikasi tertanggal 1866), dan dipasang pada saluran bertekanan rendah. (kurang dari 4 m)	
57	1889			Dan sejak tahun 1889, semua proyek pembangkit listrik tenaga air dikhususkan untuk pembangkit listrik.	Dua pendorong utama perkembangan ini dulunya adalah: industri, dengan perhatian khusus pada elektrokimia dan elektrometalurgi, dengan contoh pembangkit listrik Calypso dan Chedde di Pegunungan Alpen yang diberikan sebelumnya
58	1890			Tenaga air untuk Listrik	Untuk industry dan perkotaan

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
					1 kota 1 pembangkit Listrik
59	1891	di Valloirette di Perancis	turbin Girard	Pabrik elektrokimia Calypso (Gbr. 8) dibangun pada tahun 1891 di Valloirette di Perancis, dengan saluran setinggi 135 m, mungkin menggunakan turbin Girard.	 Fig. 8. The Calypso plant by 1902, in the Swiss Alps. Photo from the 1902 'L'Espresso de la Suisse Romande' - archives of the ICR.
	    Water turbine by a French hydraulic engineer Louis Dominique Girard. Illustration of the 19th century. Germany. White background.				

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
60	1891	di Lancey.	Bergès turbin Pelton	Pada tahun 1891, Bergès berhasil menggunakan turbin Pelton untuk saluran barunya setinggi 470 m di Lancey.	
61	1895	AS di Air Terjun Niagara		Pada tahun 1895, tiga turbin Fourneyron dengan daya masing-masing 3700 kW digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air besar pertama di AS di Air Terjun Niagara	
62	1895-1920			Akses setiap kota listrik berbasis tenaga air	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
63	1895	AS Air Terjun Buffalo dan Niagara (Head 60 m)	turbin Fourneyron H 60 Q 250 m ³ /s Kanal bawah tanah 2 Km 11 MW 37 MW	Pabrik industri pertama dari energi listrik air terjun Niagara memasuk listrik ke kota Buffalo tiga, dan kemudian sepuluh turbin Fourneyron dipasang di dasar lubang vertikal	
64	1896		turbin Girard	Pabrik Chedde, yang dibangun pada tahun 1896 menggunakan saluran setinggi 140 m, dengan 12 turbin Girard (masing-masing 630 kW). Tetap saja kavitasi merupakan batasan	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				untuk menggunakan saluran yang lebih tinggi	
65	1899		William Doble turbin Pelton	Sejak perbaikan yang dipatenkan oleh William Doble pada tahun 1899, turbin Pelton hingga saat ini menjadi turbin referensi untuk saluran tinggi.	
66	1899	Rheinfelden di sungai Rhine		contoh pembangkit listrik Calypso dan Chedde di Pegunungan Alpen yang diberikan sebelumnya, tetapi juga pembangkit yang dibangun di sungai besar, dengan contoh	atau Shawinigan di Saint-Maurice (Kanada), dikembangkan dari tahun 1901 hingga 1948 (juga menyediakan listrik ke Montréal)

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				utama Rheinfelden di sungai Rhine pada tahun 1899 (11,2 MW),	
67	Akhir abad 19 (1890-1899)			hasil dari inovasi ini, kincir air vertikal, yang sekarang dibuat dari besi, pada akhir abad kesembilan belas telah mencapai desain yang hampir optimal dengan efisiensi yang sangat baik (80 hingga 90%)	untuk saluran dengan head rendah hingga sedang, dan dalam kisaran daya 10 hingga 50 kW per unit.
68	1896	Jenewa dan Chèvres pabrik aliran sungai Chèvres (Gbr. 12)	Turbin Francis H : 8,8 P : 4 MW	Jenewa dan Chèvres. Pada tahun 1896, pabrik aliran sungai Chèvres di Sungai	 Fig. 12. The Chèvres plant, commissioned in 1896 by Geneva (from the 1962 "Sungai dan Turbin Francis" - author of the book) with the scheme of the Francis turbine.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Rhône, 7 km hilir dari Jenewa, dengan ketinggian 8,8 m, mulai beroperasi. Perusahaan ini menyalurkan tenaga listrik sebesar 4 MW ke kota Jenewa, pemilik pembangkit tersebut. Tenaganya ditingkatkan pada tahun 1899 menjadi 13 MW, dengan 15 turbin Francis (dua turbin pada poros yang sama).	
69	1898	kota Milan Sungai Adda	Milan dan Paderno 4 dan 7 Turbin Francis Q : 45 m ³ /s	Milan dan Paderno. Pada tahun 1898, pabrik Paderno ditugaskan untuk	

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
			P masing masing : 1,5 MW	menyediakan listrik bagi kota Milan. Pembangkit ini menggunakan aliran air sebesar 45 m ³ /s yang berasal dari Sungai Adda, dengan empat, dan kemudian tujuh turbin Francis, yang menghasilkan masing-masing 1,5 MW, yang merupakan rekor pada saat itu.	
70	1899	Pembangkit listrik Cusset di kanal Jonage, berasal dari Rhône	Lyon dan Cusset “Société des force motrices du Rhône”	P : 16 MW, H : 12 m Turbin Francis : 16 Unit turbin Lyon dan Cusset. Pembangkit listrik	Pembangkit tersebut berada di kanal Jonage, berasal dari Rhône, dengan saluran setinggi 12 m, dan menggunakan 16 turbin Francis. Pabrik

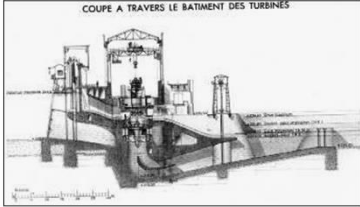
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Cusset ditugaskan pada tahun 1899 oleh “Société des force motrices du Rhône”, menyalurkan tenaga listrik sebesar 16 MW ke Lyon.	bersejarah ini masih beroperasi sampai sekarang.
71	1899	Jenewa dan Chèvres pabrik aliran sungai Chèvres	Turbin Francis 13 MW Jumlah 15 turbin	Tenaganya ditingkatkan pada tahun 1899 menjadi 13 MW, dengan 15 turbin Francis (dua turbin pada poros yang sama).	
72	1901-1948	Shawinigan di Saint-Maurice (Kanada),		atau Shawinigan di Saint-Maurice (Kanada), dikembangkan dari tahun 1901 hingga 1948	(juga menyediakan listrik ke Montréal)

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
73	1901			Pembangkit listrik lainnya dibangun pada tahun 1901 di dalam penggalian di dasar air terjun, dengan 11 turbin menghasilkan 46 MW;	pabrik ini hancur pada tahun 1956 setelah ledakan spektakuler dan memakan korban jiwa
74	1902	pabrik Calypso	turbin Pelton	Pada tahun 1902, pabrik Calypso tersebut di atas menggunakan turbin Pelton dengan saluran baru setinggi 600 m Saluran tertinggi saat ini adalah saluran Dixence - Bieudron, di Swiss, dengan ketinggian 1.883 m	pabrik Bieudron di kaki saluran dilengkapi dengan tiga turbin Pelton (masing-masing 400 MW).

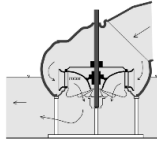
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
75	1910	Jawa Barat Indonesia		Pada tahun 1910, empat puluh teh pribadi perkebunan milik pembangkit listrik tenaga air mikrohidro	
76	1912	dari Wien Technische Hoschschule	Victor Kaplan,	Turbin yang efisien untuk saluran dengan head sangat rendah: turbin Kaplan dan turbin bohlam Turbin Francis tidak cukup untuk mengalirkan tenaga besar dari saluran yang sangat rendah, dan patennya diberikan pada tahun 1912 oleh	Rotor turbin ini berbentuk heliks dengan sumbu horizontal. Efisiensinya sangat baik (90%), namun karena putaran sudut kecepatan tinggi turbin dalam kondisi laju aliran tinggi, masalah kavitasi ditemui.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				Victor Kaplan, dari Wien Technische Hoschschule.	
77	1920-1930 1932-1934	pembangkit listrik La Truyère di Massif Central Prancis memasok listrik ke Paris (tetapi juga Lyon dan Clermont-Ferrand).	Interkoneksi Jaringan dalam skala besar	tahun 1920-1930, perkembangan interkoneksi listrik memungkinkan seseorang untuk berbagi pembangkit listrik tenaga air dalam skala yang lebih besar dibandingkan jaringan lokal yang terkait dengan contoh yang disebutkan di atas.	Misalnya, pembangkit listrik La Truyère di Massif Central Prancis dibangun pada tahun 1932-1934 untuk memasok listrik ke Paris (tetapi juga Lyon dan Clermont-Ferrand).
78	1925	Jawa Barat Indonesia		pada tahun 1925 ada sudah 400 dengan total kapasitas	

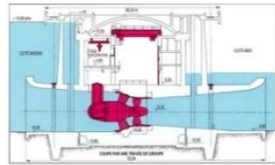
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				sekitar. 12,5 MW,	
79	1926	insinyur Swedia	Olov Englesson	Solusinya muncul pada tahun 1926 ketika seorang insinyur Swedia bernama Olov Englesson mendefinisikan sebuah perintah yang memungkinkan seseorang untuk menyesuaikan sudut bilah pisau.	Setelah tanggal ini, turbin Kaplan menjadi referensi untuk pembangkit listrik sungai dengan head run rendah, seperti pada pembangkit listrik Kembs di Rhine, yang dibangun pada tahun 1933.
TAHUN 1933 Abad 20 M					
80	1933	pembangkit listrik Kembs di Rhine	H = 15 m P masing masing : 4,6 MW	pembangkit listrik Kembs di Rhine, yang dibangun pada tahun 1933. berada pada saluran setinggi 15 m, dan	Untuk menyimpan energi pada jam-jam dengan permintaan rendah dan menghasilkan energi tambahan pada jam sibuk, pabrik

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				menggunakan enam turbin Kaplan (masing-masing 4,6 MW)	penyimpanan dipasang menggunakan dua danau, Lac Blanc dan Lac Noir, dengan perbedaan ketinggian 130 m antara kedua danau.
		 COUPE A TRAVERS LE BATIMENT DES TURBINES P.-L. HUBER / C.B. MONTAUDO 345 (2017) 570-580 Fig. 9. View across the old Kemble plant, with sketch of one of the six Kaplan turbines, from a technical brochure dated 1932.			
81	1938			Pabrik penyimpanan ini seharusnya mulai beroperasi pada tahun 1934, namun ledakan penstock menyebabkan korban jiwa, dan	sekarang menjadi teknologi penyimpanan energi listrik yang dominan, dengan dua periode pengembangan: • 1970–1990, terkait dengan pengembangan pabrik besar,

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				pabrik tersebut akhirnya dioperasikan pada tahun 1938. Konsep pembangkit listrik penyimpanan yang dipompa dikembangkan lebih lanjut sejak periode tersebut, dan	sejak tahun 2000, angin terkait pengembangan energi angin dan matahari.
82	Abad 20 Tahun 1900- 1999			Komplek dan efisien interkoneksi	Pembangkit listrik tenaga pompa untuk penyimpanan energi
83	1950	mantan Presiden AS Hoover dan istrinya			Menterjemahkan buku kincir ir dalam industry pertambangan karya sarjana Jerman (Agricola)

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
84	1950	Norwegia Grand Coolee (AS), Itaipu, Three Gorges, China		Belakangan, konsep turbin Francis bergerak sedemikian rupa sehingga alirannya tidak lagi bersifat radial, namun semakin berubah arahnya ke bawah, yang masih menjadi prinsip turbin Francis saat ini (11). Awalnya dirancang untuk saluran dengan kepala sedang, jangkauan penerapan turbin Francis perlahan-lahan meluas ke saluran yang lebih tinggi: lebih dari 400	 Saat ini, turbin Francis 700 MW sedang dikerjakan di pembangkit listrik tenaga air terbesar seperti Grand Coolee (AS), Itaipu, Three Gorges, dan turbin 1000 MW direncanakan untuk proyek di China.

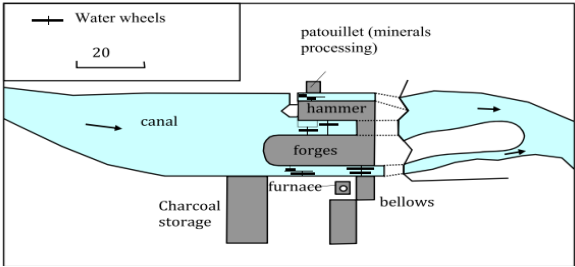
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
				m pada tahun 1950 di lokasi pembangkit listrik tenaga air di Norwegia.	
85	1960-1966		Turbin Kaplan Turbin Bohlam	Peningkatan pada turbin Kaplan untuk saluran dengan head sangat rendah adalah yang disebut turbin bohlam, dengan alternator terintegrasi di dalam turbin, sehingga penyimpangan aliran hampir nol ketika melewati turbin.	Turbin bulb digunakan di pembangkit listrik tenaga pasang surut Rance pada tahun 1960-1966, dan, setelah keberhasilan tersebut, turbin bulb digunakan setelah tahun 1967 untuk pembangkit listrik baru di Sungai Rhine dan Rhône.

No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
86	1967	di Sungai Rhine dan Rhône	turbin bulb	turbin bohlam digunakan setelah tahun 1967 untuk pembangkit listrik baru di Sungai Rhine dan Rhône.	 Fig. 10. Cross section of the La Bâle 1500 plant (1960), showing use of the 36 bulb-turbines. Total plant power is 148 MW (capacity 1200).
87	1970-1990			1970–1990, terkait dengan pengembangan pabrik besar,	sejak tahun 2000, angin terkait pengembangan energi angin dan matahari.
88	2000			Kerusakan penstock pada ketinggian 1234 m terjadi pada tahun 2000,	dan lokasi tersebut baru dibuka kembali pada tahun 2014
89	2000,			sejak tahun 2000, angin terkait pengembangan energi angin dan matahari.	

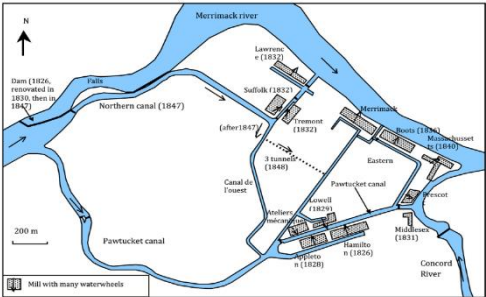
No	Tahun	Lokasi	Tokoh/Penemu	Temuan/Perkembangan	Keterangan
90				Mesin hidrolik saat ini menghadapi tantangan fleksibilitas. Masalah jangka pendek pasar listrik dan pengembangan energi angin dan matahari yang serba guna menuntut pembangkit listrik tenaga air untuk memberikan layanan yang lebih fleksibel.	Sistem yang sangat tidak stabil yang terkait dengan jasa-jasa ini berdampak buruk bagi mesin, dan berdampak buruk bagi lingkungan perairan.

Sumber : (Viollet, 2017), (Ibrahim, Haron, & Azhari, 2011)

Ide memanfaatkan tenaga air, untuk dapat dirubah menjadi Ide tenaga mekanis sudah dimulai sejak abad yang samar-samar pada zaman prasejarah. Pada tahun 2200 SM, bangsa India Selatan sudah berhasil untuk merubah tenaga air menjadi tenaga mekanis yaitu dengan menggunakan kincir air. Air yang ada dialirkan melalui saluran dan langsung menumbuk kincir air yang dipasang pada ujung saluran. Tenaga yang ditimbulkan oleh aliran air dapat mengakibatkan kincir air tersebut berputar. Berputarnya kincir air diteruskan ke poros kincir dan dengan dibantu oleh susunan roda gigi dapat digunakan untuk memutar generator atau alat yang lain, seperti penumbuk padi atau jagung dan lain sebagainya. Pada mulanya kincir air dibuat dari kayu, tetapi lama kelamaan dibuat dari bahan yang lebih baik, sehingga efisiensi yang dihasilkan memuaskan.



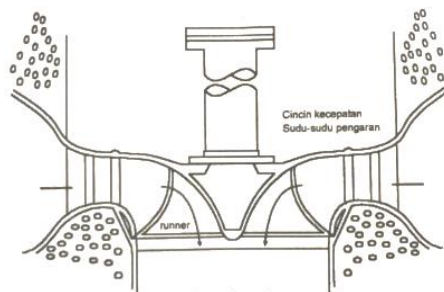
Gambar 2. Sketsa denah lokasi 8 water wheel pada Armancon River (France) tahun 1882



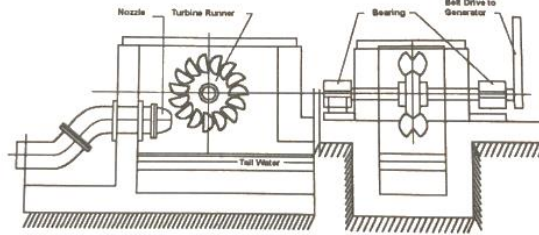
Gambar 3. Sketsa denah 191 water wheels pada 10 industri pemintalan (cotton mills) pada tahun 1850 tranformasi menjadi turbin Fourneyron, turbin Boyden dan turbin Francis

Dari model PLTA yang pertama yang dibuat di India tersebut kemudian diikuti oleh negara lain seperti negara Eropa, Amerika dan sebagainya. Para ahli yakin bahwa kincir air mulai digunakan di negara Eropa sekitar 500 tahun sesudah ditemukannya di India. Baru kemudian tepatnya pada abad 18 kincir air mengalami perkembangan yang sangat pesat dan dapat diubah menjadi turbin air. Kemajuan yang sangat pesat dan dapat diubah menjadi turbin air. Kemajuan yang sangat pesat dari kincir air menjadi turbin air dilakukan oleh Francis. Tepatnya tahun 1855 Francis berhasil membuat turbin dan mencapai sukses pada tahun 1910. Turbin Francis mempunyai poros tegak untuk ukuran yang besar, sedangkan untuk ukuran yang kecil dengan poros mendatar. Turbin Francis memakai roda propuler atau runner yang dapat berputar secara bebas Turbin Francis merupakan turbin reaksi. (lihat gambar 4)

Awal mula yang membawa kesuksesan Francis adalah Pelton yang telah membangun turbin aksi pada tahun 1870. pelton membangun turbin dengan ketinggian jatuh air yang besar. Permasuk air melalui saluran yang kemudian oleh pipa pesat (penstok) air tersebut dirubah menjadi kecepatan tinggi dan langsung memukul sudu jalan. (lihat gambar 5)



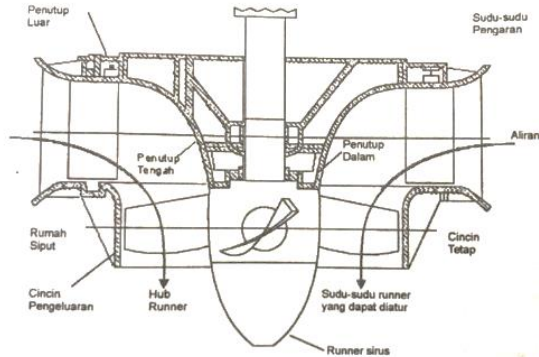
Gambar 4. Turbin Francis



Gambar 5. Turbin Pelton

Sudu-sudu jalan dari turbin Pelton berupa bucket atau ember atau sekop yang dibuat runcing pada sisi sebelah luarnya. Apabila sudu tersebut dipasang, maka pada bagian tengah sudu tersebut kelihatan pendek atau masuk ke dalam. Hal ini dimaksudkan agar air yang mendorong sudu tersebut segera dapat habis sewaktu melalui titik yang terendah. Sedangkan bagian sisi luarnya agak menjorok ke luar, ini dimaksudkan untuk memudahkan penangkapan air dari pipa pesat atau nosel. Pengembangan bucket atau ember tersebut diperkirakan dimulai pada tahun 1889. Rumah roda sudu jalan berupa vortex yang melindungi roda sudu jalan. Sudu jalan yang dipasang diharapkan mempunyai efisiensi yang tinggi, sehingga semua tenaga air digunakan untuk menggerakkan sudu secara penuh. Turbin Pelton memanfaatkan kecepatan air yang keluar dari pipa pesat, sehingga turbin ini termasuk aksi. Hampir 95% air yang diberikan menjadi dikenetis.

Tenaga Turbin reaksi yang lain adalah turbin Kaplan. Turbin Kaplan mempunyai sudu jalan yang berupa propeler yang dapat bergerak secara otomatis mengikuti arus air. Sudu-sudu runner dapat diatur sedemikian rupa, sehingga diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi di bawah semua kondisi kerja. (lihat gambar 6)



Gambar 6. Turbin Kaplan

Dari beberapa penemuan ini, maka turbin digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik, dan dikembangkan di beberapa negara. Terutama di negara Jepang pada tahun 1910 sudah dibangun PLTA dengan kekuatan 480 MW dan mengalami perkembangan yang akhirnya tahun 1959 telah dibangun sebanyak 14.116 MW.

1. Sejarah ilmiah singkat tentang kincir air

Risalah teknis pertama yang membahas tentang kincir air adalah *Pneumatik* oleh Philo dari Byzantium pada abad ketiga SM, namun deskripsi yang jelas tentang kincir air hanya dibuat oleh *Vitruvius* di *De Architectura* pada abad pertama SM. Kincir air tersebar luas selama Abad Pertengahan, sebagai salah satu komponen kincir air. Kincir air mulai diselidiki secara ilmiah untuk tujuan rekayasa pada abad kedelapan belas. Kincir air aliran dianalisis oleh banyak insinyur dan ilmuwan *Parent*, *de Borda* dan *Smeaton*. Sejak abad kedelapan belas dan seterusnya, roda aliran sering digunakan untuk menghasilkan energi mekanik. Hal ini dianggap hemat biaya karena hanya diperlukan sedikit pekerjaan teknis.

Pada tahun 1704 *Antoine Parent* menerbitkan teorinya tentang jet dan menghitung efisiensi roda aliran, memperkirakan efisiensi maksimum $\eta = 8/27$ bila kecepatan tangensial sudu-sudu sama dengan sepertiga kecepatan aliran absolut, namun karena kesalahan,

Parent membatasi efisiensi hidraulik kincir air sungai menjadi hanya $\eta = 27/4$.

Pada tahun 1767, *de Borda* menerbitkan teorinya dan mengoreksinya *Parent* analisis, memperkirakan efisiensi maksimum dalam $\eta = 1/2$, bila kecepatan sudu adalah setengah dari kecepatan aliran absolut.

John Smeaton kemudian menerbitkan data eksperimen dan menunjukkan bahwa efisiensi maksimum kincir air sungai adalah $\eta = 1/3$, lebih besar dari yang disediakan oleh *Parent* ($\eta = 4/27$) tetapi lebih rendah dari yang disediakan oleh *de Borda* ($\eta = 1/2$). Pada tahun 1759 *John Smeaton* diterbitkan juga data eksperimen pada roda gravitasi, menunjukkan efisiensi roda gravitasi yang lebih tinggi dibandingkan efisiensi roda aliran. Kemudian, pada awal abad kesembilan belas, *J. V. Poncelet* melakukan desain bilah baru untuk kincir air di mana aliran air hanya memiliki energi kinetik, meningkatkan efisiensi maksimum hingga $\eta = 0,55 - 0,6$. Bilahnya *Poncelet* roda dibentuk untuk meminimalkan kehilangan daya selama masuknya air; bilahnya melengkung sehingga air bisa mengalir dari ujung bilahnya ke arah akar, sehingga mendorong bilahnya juga karena beratnya.

Pada abad ke-19 dan awal abad ke-20, teori-teori tambahan dikembangkan, uji coba eksperimental terhadap kincir air dilakukan, dan kincir air tersebar luas. Pada tahun 1820 Perancis memiliki 60.000 kincir air, pada tahun 1850 Inggris memiliki 25–30.000 kincir air, dan pada tahun 1925 Jerman memiliki 33.500 kincir air.

Di tabel 2 beberapa buku literatur sejarah dilaporkan, menyoroti jenis informasi apa yang terdapat dalam setiap buku (model teoretis, hasil eksperimen, resep desain). Sebagian besar informasi berkaitan dengan saran desain praktis, didukung oleh pertimbangan teoretis yang bertujuan memperkirakan kerugian daya dan efisiensi. Nilai efisiensi juga dilaporkan, meskipun tidak selalu

jelas apakah nilai ini diperoleh dari eksperimen atau secara empiris dari instalasi nyata. Namun, teori-teori yang dikembangkan pada tahun-tahun tersebut umumnya tidak divalidasi melalui uji eksperimental, meskipun teori tersebut memiliki tingkat detail yang baik. Beberapa ketentuan mengenai desain kincir air bersifat empiris dan tidak didasarkan pada bukti ilmiah. Selain itu, uji eksperimental memiliki beberapa ketidakpastian.

Perbaikan signifikan terakhir dalam desain kincir air diperkenalkan pada pertengahan abad kesembilan belas, dengan diperkenalkannya dua jenis kincir air undershot water wheels : the *Sagebien* water wheel, dengan bilah datar dan depan, dan *Zuppinger* water wheel, dengan bilah melengkung. Mereka mengambil nama penemunya, dan mengganti roda undershot yang klasik dan kurang efisien dengan bilah lurus dan radial. *Zuppinger* wheels terkadang digunakan sebagai pelindung dada.

Pada akhir abad kesembilan belas, dengan munculnya turbin modern (*Pelton, Francis dan turbin Kaplan*) dan pembangkit listrik tenaga air yang besar, minat ilmiah terhadap kincir air menurun. Meskipun kincir air terus beroperasi (tetapi lebih sedikit dibandingkan abad sebelumnya), kincir air dianggap sebagai mesin hidrolik kuno dan kuno.

Penelitian ilmiah dilakukan hingga awal abad kedua puluh. Jenis kincir air yang diselidiki dilaporkan (kincir air overshoot, breastshot dan undershot). “T” berarti bahwa karya teoretis telah dilaporkan, “E” berarti bahwa pengujian eksperimental telah dilakukan (umumnya prosedur eksperimen tidak dijelaskan) dan “D” berarti bahwa aturan desain diperlihatkan.

Tabel 2. Penelitian ilmiah yang dilakukan hingga awal abad kedua puluh

Tahun	Pengarang	Lembaga	Negara	Overshot	Breatshot	Undershot
1849	Weisbach	Academy of Freiburg	Germany	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain
1851	Pacinotti	University of Pisa	Italy	Teoritis Desain	Teoritis Desain	Teoritis Desain
1866	Sagebien	-				Teoritis Eksperimental Desain
1869	Bresse	Ecole des Ponts	France	Teoritis Desain	Teoritis Desain	Teoritis Desain
1871	Cullen	-		Eksperimental Desain	Eksperimental Desain	Eksperimental Desain
1886	Bach	Polytechnic Zu Stuttgart	Germany	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain
1896	Chaudy	-		Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain

1897	Garuffa	-		Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain
1899	Mueller	-		Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain
1906	Busquet	Ecole de Lion	France	Teoritis Desain	Teoritis Desain	Teoritis Desain
1913	Weidner	University of Wisconsin	USA	Teoritis Eksperimental Desain		
1914	Church	Cornell University	USA	Teoritis Eksperimental	Teoritis Eksperimental Desain	Teoritis Eksperimental Desain

Makalah ilmiah tentang kincir air gravitasi diterbitkan dalam beberapa dekade terakhir. Jenis kincir air yang diselidiki dilaporkan (kincir air overshoot, breastshot dan undershot). “T” berarti kerja teoretis, “E” berarti kerja eksperimental, dan “N” berarti simulasi numerik. Semua makalah yang dilaporkan juga melaporkan saran desain berdasarkan hasil yang dicapai. (Emanuele Quaranta, R. R. (2018).)

Tabel 3. Makalah ilmiah tentang kincir air gravitasi yang diterbitkan dalam beberapa dekade terakhir

Tahun	Penulis	Lembaga	Negara	Overshoot	Breastshot	Undershot
2000	Williams and Bromley	Nottingham Trent University	UK	Teoritis Eksperimental		
2002– 2004	Müller and Kauppert	Southampton University	UK	Esperimental	Eksperimental	Eksperimental
2004	Müller and	Southampton University	UK		Teoritis	

Tahun	Penulis	Lembaga	Negara	Overshot	Breastshot	Undershot
	Wolter				Eksperimental	
2005	Dubas	Haute Ecole Valaisanne	France	Teoritis Eksperimental		
2013	Wahyudi et al.	Polytechnic of Malang	Indonesia	Eksperimental		
2013	Von Harten et al.	University of Stuttgart	Germany			Eksperimental
2015	Pelliciardi	University of Siena	Italy	Teoritis Eksperimental		
2015	Quaranta and Revelli	Politecnico di Torino	Italy	Teoritis Eksperimental		
2015–2016	Quaranta and Revelli	Politecnico di Torino	Italy		Teoritis Eksperimental	Teoritis Eksperimental
2016	Vidali et al.	Politecnico di Torino	Italy		Teoritis Eksperimental	
2016	Quaranta and Revelli	Politecnico di Torino	Italy		Numerik	Numerik
2017	Quaranta	Politecnico di Torino	Italy			Numerik
2017	Quaranta and Müller	Politecnico di Torino-Southampton University	Italy-UK			Eksperimental
2017	Paudel et al.	Darmstadt University of Applied Sciences	Germany			Eksperimental
2017	Masrur Alatas et al	Institut Teknologi Yogyakarta	Indonesia			Eksperimental

Karakteristik geometris dari beberapa kincir air gravitasi yang sedang beroperasi, dengan tekanan yang dieksploitasi (H), laju aliran (Q), diameter (D), lebar (b), jumlah bilah (n), kecepatan rotasi (N) dan tenaga listrik (P_{el}) Tabel juga menentukan jenisnya: overshoot “O”, breastshot “B”, *Sagebien* “S” dan *Zuppinger* “Z”. (modifikasi : Emanuele Quaranta, R. R. 2018)

Tabel 4. Karakteristik geometris beberapa kincir air gravitasi yang beroperasi

No.	Perusahaan/Pe milik	H [m]	Q m ³	D [m]	b [m]	n -	N [rp m]	P_{el} [k W]	Situs Web/Referensi	Jen is	Negara
1	Smith Engineering ^a	-	-	4. 1	-	24	-	-	http://www.smith-eng.co.uk/hydro/	O	US
2	Woodson's Mill (not work)	-	-	7. 2	-	40	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
3	Jasper City Mills	-	-	7. 2	1.4 4	64	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
4	Spring Mill	-	-	7. 5	-	60	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
5	Pine Run Grist Mill	-	-	4. 8	0.6	40	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
6	Hoover Mill	-	-	8. 1	0.6	84	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
7	Hopkins Old Water Mill (not work)	-	-	5. 7	3	48	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US

No.	Perusahaan/Pe milik	H [m]	Q m ³	D [m]	b [m]	n -	N [rpm]	Pel [kW]	Situs Web/Referensi	Jenis	Negara
8	PhoeniX Mills	-	-	6	0.9	-	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
9	PhoeniX Mills	-	-	4.5	1.2	36	-	-	http://oldmills.scificincinnati.com/	O	US
10	Free flow 69 ^b	-	-	2	-	24	-	-	http://www.freeflow69.com/	O	UK
11	Free flow 69	-	-	3.2	-	32	-	-	http://www.freeflow69.com/	O	UK
12	Hydrowatt ^c	3	0.6	2.6	2.5	24	11	10	http://hydrowatt.de/de/en/	O	Germany
13	Hydrowatt	3	0.2	2.7	1	28	11	3.5	http://hydrowatt.de/de/en/	O	Germany
14	Hydrowatt	5.3	0.12	5	1	48	5.7	5	http://hydrowatt.de/de/en/	O	Germany
15	Hydrowatt	4.6	0.4	4.2	1.5	36	7	11	http://hydrowatt.de/de/en/	O	Germany
16	Hydrowatt	3.4	1.3	2.9	4	36	12	27	http://hydrowatt.de/de/en/	O	Germany
17	Hydrowatt	3	0.3	2.7	1	-	-	5.5	http://hydrowatt.de/de/en/	O	Germany

No.	Perusahaan/Pe milik	H [m]	Q m ³	D [m]	b [m]	n -	N [rp m]	Pel [k W]	Situs Web/Referensi	Jen is	Negara
1 8	Cooperation project MAE- FAO	3.5	0.15	3	0.8 4	32	10	2.5		O	Nepal
1 9	PI Mitterfellner GMBH ⁱ	4.0	0.2	4. 0	1	36	7-8	6.44	http://www.planing.at/	O	Austria
2 0	PI Mitterfellner GMBH	4.0	0.08	4	0.7 5	36	8	2.2	http://www.planing.at/	O	Austria
2 1	Ciconio mill ^{e,i}	-	0.05 8	3	2	24	-	-		O	Italy
2 2	Dronero mill ⁱ	-	-	3	1.3	30	-	-	http://www.mulinodellariviera.com	O	Italy
2 3	Mulino di Verolengo ⁱ	0.7	-	4	1.4	32	-	-		B	Italy
2 4	Mulino del Pericolo ⁱ	1.3	0.5	3. 9	0.5	24	14	-	Pers. Comm.	B	Italy
2 5	Mulino di Borgo Cornalese ⁱ	1.8 5	1	3. 6	1.3 5	36	-	11.8	Pers. Comm.	B	Italy
2 6	Franklin Creek Grist Mill	-	-	3. 6	1.5	36	10	15	http://oldmills.scificincinnati.com/	B	US

No.	Perusahaan/Pe milik	H [m]	Q m ³	D [m]	b [m]	n -	N [rp m]	Pel [k W]	Situs Web/Referensi	Jen is	Negara
2 7	Hydrowatt ^c	1	3	6. 5	2.3	42	4.5	20	http://hydrowatt.de/de/en/	S	Germa ny
2 8	Patrick H. Marceau ⁱ	-	-	11	6	70	-	112. 5	www.panoramio.com	S	France
2 9	Les Avins Roue ^g	-	-	9. 2	-	70	-	13- 18	http://coopcec.be/wcec/	S	France
3 0	Marie-Paule DUPUY ^{h,i}	-	-	7. 5	-	32 - 40	-	-	Pers. Comm.	S	France
3 1	Marie-Paule DUPUY ^h	-	-	7	3	56	-	-	Pers. Comm.	S	France
3 2	Müller and Kauppert	1	-	6. 5	2.3	-	-	0.7		Z	Germa ny
3 3	Hydrowatt ^c	2.1	1	6. 5	1.2	36	4.5	12	http://hydrowatt.de/de/en/	Z	Germa ny
3 4	Hydrowatt	2	1	4. 2	2.9	24	6.5	11	http://hydrowatt.de/de/en/	Z	Germa ny
3 5	Hydrowatt	1.1	4	5. 5	4	30	5.5	26	http://hydrowatt.de/de/en/	Z	Germa ny

No.	Perusahaan/Pe milik	H [m]	Q m ³	D [m]	b [m]	n -	N [rp m]	Pel [k W]	Situs Web/Referensi	Jen is	Negara
3 6	Hydrowatt	2.1	2	6	2	36	4.8	27	http://hydrowatt.de/de/en/	Z	Germa ny
3 7	Hydrowatt	2	1.5	4	2	-	-	12	http://hydrowatt.de/de/en/	Z	Germa ny
3 8	Müller, G. ⁱ	1.7	1.8	5	2	-	5	23		Z	Germa ny

^A perusahaan Amerika. ^B Perusahaan Inggris. ^C perusahaan Jerman. ^D Kantor profesional Austria. ^E Pabrik air di Italia. ^F Pabrik air di Italia. ^G Koperasi Perancis Condros Energies Citoyennes. ^H Wilayah Aquitaine Limousin Poitou-Charentes. ^I Kincir air. (Emanuele Quaranta, R. R. 2018)

Pada akhir abad kesembilan belas, dengan munculnya turbin modern (turbin Pelton, Francis dan Kaplan) dan pembangkit listrik tenaga air yang besar, minat ilmiah terhadap kincir air menurun. Meskipun kincir air terus beroperasi (tetapi lebih sedikit dibandingkan abad sebelumnya), kincir air dianggap sebagai mesin hidrolik kuno dan kuno.

1.6 Sejarah Singkat Kincir Air dan Turbin Air

Tabel 5. Sejarah Kincir Air dan Turbin Air

Abad 3 SM	Archimedean Screw adalah penemuan kuno, yang dikaitkan dengan Archimedes dari Syracuse (287–212 SM), dan biasanya digunakan untuk menaikkan air dari aliran air untuk tujuan irigasi.
1819	Claude Louis Marie Henri Navier insinyur Perancis menyarankan penggunaan Archimedean Screw sebagai jenis kincir air .
1916	William Moersch mengajukan permohonan paten AS pada turbin Screw hidrodinamik.
Abad turbin (1826–1926)	
1744 – 1754	
1744	Dr Barker di Inggris Konsep Pertama Turbin Reaksi
1750	Johan Andreas Segner dari Göttingen di Jerman yang sangat mirip konsep dengan alat penyiram putar untuk menyiram taman
1754	Leonhard Euler mempelajari penemuan Segner menerbitkan sebuah makalah berjudul <i>Théorie plus complète des machines qui sont mises en mouvement par la réaction de l'eau</i> , dengan desain baru yang dikembangkan dari desain Segner, dengan mengoptimalkan sudut aliran yang mencapai bilah putar rotor
Sukses (Burdin dan Fourneyron) 1820–1840	
1820-1824	Claude Burdin , Profesor di “École des mines de Saint-Étienne” merancang roda yang berorientasi praktis berdasarkan prinsip roda Euler. Menyadari pentingnya distributor yang

	diusulkan oleh Euler, ia mengintegrasikan distributor di dalam roda, sehingga mesin yang dihasilkan dapat bekerja terendam di dalam air.
1826	Société d'encouragement à l'industrie nationale” dari Perancis mengusulkan hadiah untuk turbin yang terbukti beroperasi penuh di lokasi industri nyata. Seorang insinyur muda Perancis, setelah belajar di Saint-Étienne bersama Burdin, bernama Benoit Fourneyron , melakukan eksperimen dengan model turbin kecil (4,5 kW) yang berasal dari model Burdin , di bengkel Pont-sur-l'Ognon (Franche-Comté) di mana dia dulu bekerja sebagai insinyur. Karakteristik utama turbin Fourneyron adalah air mengalir dari dalam ke luar turbin.
1832	turbin Fourneyron Turbin industri pertamanya (37 kW) dipasang di bagian bawah tungku metalurgi di Dampierre (Jura). Fourneyron memenangkan hadiah “Société d'encouragement”, dan sejak saat itu semakin banyak turbin Fourneyron yang dipasang di lokasi industri. Sebuah langkah besar dicapai pada tahun
1837-1838	Dua lokasi industri di Black Forrest dilengkapi dengan turbin Fourneyron (masing-masing 45 kW, efisiensi sekitar 80%) pada saluran yang tinggi (108 m dan 114 m).
1843	Jumlah 129 turbin Fourneyron yang bekerja di lokasi industri Eropa.
1895	Jumlah 3 turbin Fourneyron dengan daya masing-masing 3700 kW untuk pembangkit listrik tenaga air besar pertama di AS di Air Terjun Niagara.
1840 - 1847 (Penerus Fourneyron)	
1840	Fontaine-Baron , paten baru
1841	Jonval , paten baru
1843	Koechlin , paten baru

	Baron, Jonval dan Koechin, desain distributor ditempatkan di atas rotor, seperti pada ide awal Euler
1843	turbin Fourneyron diperkenalkan di AS, dengan beberapa perbaikan yang dipatenkan oleh Uriah Boyden. Turbin Boyden ini digunakan di pabrik Appleton di Lowell dan pabrik tekstil lainnya di AS, yaitu pabrik Harmony di Cohoes
1850	diterapkan ada saluran dengan Head 35 m
1850	James Thomson di Inggris (saudara laki-laki Lord Kelvin) merancang turbin “vortex” diterapkan di sejumlah lokasi industri
1855 (Turbin Francis)	
1837 – 1885	Kepala teknisi di Lowell, James B. Francis (imigran yang tiba di AS pada tahun 1833, pada usia 18 tahun). Francis melakukan eksperimen dan pengujian turbin Fourneyron dan memperbaiki desain turbin reaksi.
1855	Francis menerbitkan hasil Eksperimen Hidraulik Lowell-nya. Desain turbin barunya menggunakan prinsip yang berlawanan dengan turbin Fourneyron, dengan rotor di dalam dan distributor di luar, dan aliran radial di dalam turbin.
	Turbin Francis meluas ke saluran yang lebih tinggi lebih dari 400 m pada di lokasi pembangkit listrik tenaga air di Norwegia. Turbin Francis 700 MW pembangkit listrik tenaga air terbesar seperti Grand Coolee (AS), Itaipu, Three Gorges, dan turbin 1000 MW untuk proyek di China.
1844 (Turbine Boyden (Uriah Atherton Boyden, 1844))	

Turbin impuls untuk head (H) sangat tinggi: Girard, Bergès, dan Pelton	
1850-1880	Turbin Fourneyron dan Francis untuk Head 120 m. Prinsip turbin impuls menjadi teknologi kunci untuk Head tinggi, dengan semburan air yang berdampak langsung pada bilah rotor, seperti yang terjadi pada kincir air horizontal pra-industri. Masalah utama pada turbin impuls peluncuran tinggi adalah erosi cepat pada roda yang disebabkan oleh fenomena kavitasi. Perkembangan teknologi ditujukan untuk memecahkan masalah ini, sekaligus meningkatkan efisiensi turbin.
1854	Di Perancis, Louis-Dominique Girard merancang turbin impuls dengan sumbu horizontal dan pancaran air terkontrol yang mempengaruhi bilah rotor. Efisiensinya mungkin sekitar 60%.
1860 - 1880	Turbin rancangan Louis Dominique Girard menjadi turbin referensi di Pegunungan Alpen. Francis ada industri kertas di Pegunungan Alpen.
1869 - 1882	Aristide Bergès mengembangkan eksploitasi saluran tinggi hingga 480 m untuk pabrik kertasnya di Lancey, dekat Grenoble, menggunakan turbin yang berasal dari turbin Girard, dengan masih banyak kesulitan yang terkait dengan erosi kavitasi. Bergès terkadang mengabaikan hak-hak pengguna air lainnya, dan perkembangannya menjadi sasaran sejumlah perselisihan dan persidangan. Penggunaan tenaga air untuk pembangkit listrik mulai berkembang, dengan kebutuhan untuk menerangi kota-kota, mengembangkan proses industri elektrolitik baru untuk industri kimia (elektrokimia), dan elektrometalurgi.

1878	Di Amerika, pada masa pengembangan tambang emas, jet air biasa digunakan untuk menggerakkan kincir air. Lester Allan Pelton memperluas idenya dan mengembangkan turbin impuls
1884	Turbin Girard berkekuatan 30 kW penerangan di Greenock di Skotlandia.
1891	Pabrik elektrokimia Calypso dibangun di Valloirette di Perancis, dengan Head 135 m, dengan turbin Girard.
1891	Bergès berhasil menggunakan turbin Pelton Head 470 m di Lancey.
1896	Pabrik Chedde, dengan Head 140 m, dengan 12 turbin Girard (masing-masing 630 kW). Tetap saja kavitasi merupakan batasan untuk menggunakan saluran yang lebih tinggi.
1899	perbaikan dipatenkan oleh William Doble, turbin Pelton hingga saat ini menjadi turbin referensi untuk saluran tinggi.
1902	pabrik Calypso menggunakan turbin Pelton dengan Head 600 m. Saluran tertinggi saat ini adalah saluran Dixence - Bieudron, di Swiss, dengan Head 1.883 m: pabrik Bieudron di kaki saluran dilengkapi dengan tiga turbin Pelton (masing-masing 400 MW). Tahun 2000 Kerusakan penstock pada ketinggian 1234 m. Tahun 2014 lokasi tersebut baru dibuka kembali
Turbin yang efisien untuk saluran dengan head sangat rendah: turbin Kaplan dan turbin bohlam	
1912	Victor Kaplan , dari Wien Technische Hochschule . Rotor turbin ini berbentuk heliks dengan sumbu horizontal. Efisiensinya sangat baik (90%), namun karena putaran sudut kecepatan tinggi turbin dalam kondisi laju aliran tinggi, masalah kavitasi ditemui.

A cross-flow turbine, Bánki-Michell turbine, or Ossberger turbine (1903, Paten)	
1922	Free Jet Turbine (Anthony Mitchell - Australia and Fritz Ossberger - German)
	Sejarah Ossberger Cross Flow Turbines (Sumber : https://www.ossbergerhydro.com/cross-flow-turbines.html) Ketika Insinyur Sipil Fritz Ossberger berangkat pada awal tahun 1920-an untuk menemukan sumber listrik yang andal dan ekonomis untuk industri, bengkel, dan pabrik, tujuannya adalah untuk menghilangkan hambatan besar bagi kemajuan pesat industrialisasi. Dengan pandangan jauh ke depan, dia menghubungi Australian Genius, A.G.M. Michell, yang karyanya telah dipelajari Ossberger. Kedua pria tersebut dengan cepat menjalin hubungan kerja yang kuat dan bersama-sama mengembangkan turbin tenaga air yang cocok untuk digunakan oleh perusahaan manufaktur skala menengah. Desain "Turbin Cross-Flow" yang baru diberikan Paten Kekaisaran Jerman No. 361 593, dan lahirlah Turbin OSSBERGER. Dari pengembangan awal pada tahun 1920an hingga saat ini, Turbin OSSBERGER telah mengalami kemajuan yang signifikan. Teknik khusus untuk pemanfaatan tabung draft, konstruksi dan penerapan bantalan serta bentuk baling-baling pemandu yang terbagi adalah semua penemuan yang menunjukkan kepemimpinan teknologi berkelanjutan dari Turbin OSSBERGER. Pada tahun 1990an, Turbin OSSBERGER terus ditingkatkan dan menjadi subyek paten lainnya. Saat ini Turbin OSSBERGER dibuat dan digunakan di seluruh dunia dan tersedia untuk berbagai aplikasi.
1926	Solusinya muncul ketika seorang insinyur Swedia bernama Olov Englesson mendefinisikan sebuah perintah yang memungkinkan seseorang untuk menyesuaikan sudut bilah pisau.

	Setelah temuan Olov Engleson, turbin Kaplan menjadi referensi untuk pembangkit listrik sungai dengan head run rendah
Cross-Flow Turbine (Fritz Ossberger-Paten) 1933	
1933	Pembangkit listrik Kembs di Rhine, Head Rendah, Turbin Kaplan
1960-1966	Perkembangan Turbin Kaplan dengan head rendah yaitu turbin Bohlam. Turbin Bohlam dengan alternator terintegrasi didalam turbin. Turbin bohlam digunakan di pembangkit listrik tenaga pasang surut Rance
1967	Turbin bohlam digunakan untuk pembangkit listrik baru di Sungai Rhine dan Rhône.
Turbin dan pengembangan pembangkit listrik tenaga air	
1880	Turbin Thomson untuk Pembangkitan listrik dari tenaga air 7 kW Head 8,8 m, di Cragside (Northumberland). S
1889	Pembangkit listrik berkembang pesat, menggunakan berbagai jenis turbin. semua proyek pembangkit listrik tenaga air dikhususkan untuk pembangkit listrik. industri elektrokimia dan elektrometalurgi, pembangkit listrik Calypso dan Chedde di Pegunungan Alpen
1899	Pembangkit utama Rheinfelden di sungai Rhine 11,2 MW,
1901-1948	Pembangkit Shawinigan di Saint-Maurice (Kanada) menyediakan listrik ke Montréal, menyediakan listrik bagi kota-kota, untuk penerangan umum dan jalur trem.

Pembangkit listrik tenaga air untuk setiap kota (1895–1920)	
1895	Air Terjun Buffalo dan Niagara.
1895	Pabrik industri pertama di sisi Amerika dari air terjun Niagara dipasang, untuk memasok listrik ke kota Buffalo. Head 60 m (3-10 buah Turbin Fourneyron dipasang di dasar lubang vertikal), Q 250 m ³ /s. Pembangkit tersebut menyalurkan tenaga listrik 11 MW (dan kemudian 37 MW) ke kota Buffalo.
1896	Jenewa dan Chèvres, pabrik aliran sungai Chèvres di Sungai Rhône 7 km hilir dari Jenewa, Head 8,8 m, mulai beroperasi. Perusahaan ini menyalurkan tenaga listrik sebesar 4 MW ke kota Jenewa, pemilik pembangkit tersebut.
1899	Tenaganya ditingkatkan menjadi 13 MW, dengan 15 turbin Francis (dua turbin pada poros yang sama).
1898	Milan dan Paderno. Pabrik Paderno menyediakan listrik bagi kota Milan. Q = 45 m ³ /s dari Sungai Adda, 4-7 Turbin Francis, P 7x1,5 MW, yang merupakan rekor pada saat itu.
1899	Lyon dan Cusset. Pembangkit listrik Cusset oleh “Société des force motrices du Rhône”, P = 16 MW ke Lyon, lokasi di kanal Jonage, berasal dari Rhône, Head 12 m, dengan 16 turbin Francis.
1901	Pembangkit listrik lainnya dibangun di dalam penggalian di dasar air terjun, dengan 11 turbin menghasilkan 46 MW; pabrik ini hancur pada tahun 1956 setelah ledakan spektakuler dan memakan korban jiwa.
1920 – 1930	Perkembangan interkoneksi listrik dari pembangkit listrik tenaga air dalam skala yang lebih besar

1932 - 1934	Pembangkit listrik La Truyère di Massif Central Prancis memasok listrik ke Paris, Lyon dan Clermont-Ferrand.
----------------	--

PERKEMBANGAN KINCIR AIR & TURBIN AIR

1933 A cross-flow turbine,

or Bánki-Michell turbine, or Ossberger turbine (1903, Paten)

1919 Turbin Turgo,

Eric Crewdson (Manchester, Lancashire, England)

1916 Archimedean Screw - Turbin Air

William Moerscher (AS)

1912 Turbin Kaplan - Turbin Reaksi

Viktor Kaplan (Austria)

1888 Breastshot Water wheel - Kincir Air

Whitmore & Binyon, Wickham Market, Suffolk, England

1878 Turbin Pelton - Turbin Impuls

Lester Allan Pelton (Amerika)

1855 Turbin Francis - Prinsip berlawanan dengan Turbin Fourneyron

James B. Francis (Francis)

1854 Turbin Girard

Louis Dominique Girard (Paris, Francis)

1850 Zuppinger Water Wheel - Kincir Air

Walter Zuppinger (Wädenswil, Zurich, Switzerland)

1850 Sagebien Water Wheel - Kincir Air

Alphonse Sagebien (Amiens, Francis)

1850 Turbin Vortex Thomson

James Thomson (Belfast, Inggris)

1844 Turbin Boyden - Optimalisasi dari Turbin Fourneyron

Uriah A. Boyden (Amerika)

1826 Turbin Fourneyron - Air mengalir dari dalam keluar turbin

Benoit Fourneyron (Prancis)

1824 Pengembangan Euler - Turbin bekerja terendam dalam air

Prof. Claude Burdin (Prancis)

1824 Poncelet Water Wheel - Kincir Air

Jean Victor Poncelet (Francis)

1820 Undershot Water Wheel - Kincir Air

B. S. & W. Whiteley Ltd

1819 Archimedean Screw - Kincir Air

Claude Louis M.H. Navier (Prancis)

1813 Overshot Water Wheel - Kincir Air

James Watt (Scotlandia, Inggris)

1754 Konsep Turbin Segner - dikembangkan sudut aliran ke bilah rotor

Leonhard Euler (Swiss) besar di St. Petersburg, Rusia, dan di Berlin, Prusia.

1750 Konsep Turbin Seperti Penyiram Tanaman

Johan A. Segner (German)

1744 Konsep Pertama Turbin Reaksi

Dr. Barker (Inggris)

Abad 12 M: 1100-1199 & Abad 13 M: 1200-1299

Kincir Noria atau Na-Urah di kota kuno Hama, Suriah.

3 SM Archimedean Screw

Archimedes Yunani Kuno
Syracuse Sisilia, Italia

4 SM Kincir Air

Mesir Kuno

DAFTAR PUSTAKA

- (t.thn.). Diambil kembali dari OpenLearn:
<https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=73762§ion=8>
- (t.thn.). Diambil kembali dari Nustreem: <https://nustreem.com/wp-content/uploads/2021/05/NuSTREEM-Sales-Brochure.pdf>
- (t.thn.). Diambil kembali dari Hydropower Internasional:
<https://www.hallidayshydropower.com/>
- (2011). Diambil kembali dari The Victorian: James Thomson
- A, Y. D., & WD, L. (2020). Archimedes Screw Turbines: A Sustainable Development Solution for Green and Renewable Energy Generation—A Review of Potential and Design Procedures . *Sustainability*, 18(12). Diambil kembali dari <https://doi.org/10.3390/su12187352>
- Alatas, M., Budiastuti, M. T., Gunawan, T., & Setyono, P. (2021). The Potential of Micro-hydro Power Cascade in Irrigation Channel of Kalibawang. 11(5). doi:10.18517/ijaseit.11.5.12593
- Alatas, M., Budiastuti, M. T., Gunawan, T., Setyono, P., Burlakovs, J., & Yandri, E. (2020). The Identification of Micro-hydro Power Plants Potential in Irrigation Areas Based on Unmanned Air Vehicle (UAV) Image Processing. doi:10.1051/e3sconf/202019000024
- Alatas, M., Budiastuti, T. S., Gunawan, T., & Setyono, P. (2022, September). Spiral Cycle Micro-Hydro Community System Model For Sustainable Development In Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Sustainability Science and Management*, 9(17), 44-61. doi:10.46754/jssm.2022.09.004
- Alatas, M., Ediyono, S., & Putra, D. E. (2017, Oktober). Analisis Desain Turbin Kincir Air Poncelet Water Wheel Pada Saluran

- Terbuka. *Saintis*, 9(2). Diambil kembali dari <https://ejurnal.unisda.ac.id/index.php/saintis/article/view/1678>.
- Alatas, M., Susilowati, E., Budiastuti, M. T., Gunawan, T., Styono, P., & Sunarto. (2022). Horizontal Trash Rack Diverter Trash (HTDT) To Minimize Trash Clogging At The Intake of Micro-hydro Power Plant . *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 6(17). Diambil kembali dari <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170604>
- American Society of Mechanical Engineers*. (1975). Diambil kembali dari <https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/5-boyden-hydraulic-turbines>
- Americanty of Mechanical Engineers Soci*. (1994). Diambil kembali dari <https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/177-barker-turbine-hacienda-buena-vista>
- Andritz Hydro*. (t.thn.). Diambil kembali dari <https://www.andritz.com/resource/blob/33446/d2118386d6a8dbbec556c6e159391c64/hy-small-and-mini-hydropower-solutions-en-data.pdf>
- ASTON, C. R. (t.thn.). *Windsor Castle from across the River Thames* .
- Basar, M. R., Aras, M. S., Ibrahim, K. A., & Boejang, H. (2015). EVOLUTION OF SIMPLE REACTION TURBINE FOR PICO-HYDRO APPLICATIONS. *Jurnal Teknologi*, 72(32).
- Benzon, D. S., Aggidis, G. A., & Anagnostopoulos, J. S. (t.thn.). Development of the Turgo Impulse turbine : Past and Present. Diambil kembali dari https://eprints.lancs.ac.uk/id/eprint/78463/1/APEN_7411_edit_report.pdf
- Britannica, T. E. (1893). *ClipArt ETC*. Diambil kembali dari https://etc.usf.edu/clipart/27100/27134/girard_turbi_27134.htm
- Czech Radio*. (1996). Diambil kembali dari <https://archiv.radio.cz/en/static/inventors/kaplan-turbine>

- d'Aiguebelette, L. P. (2020, December). *EDC Hambost*. Diambil kembali dari http://siteedc.edechambost.net/Aiguebelette/Claude_Burdin_Turbine.html
- Detik.com*. (t.thn.). Dipetik 2024, dari <https://www.detik.com/jateng/berita/d-7121033/apa-itu-kalender-masehi-ini-pengertian-sejarah-perhitungan-penetapannya>
- Doost, Y., & David, L. W. (2020). *Archimedes Screw Turbines : A Sustainable Development Solution For Green and Renewable Energy Generation - A Review of Potential and Design Procedures Sustain*. University of Guelph, Canada.
- Emanuele Quaranta, R. R. (2018). Gravity Water Wheels as a Micro Hydropower Energy Source : A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 414 - 427. Diambil kembali dari <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.033>.
- Energy Encyclopodia*. (t.thn.). Diambil kembali dari <https://www.energyencyclopedia.com/en/renewable-energy/water-energy/the-segner-wheel>
- Enggining*. (t.thn.). Diambil kembali dari https://goodtopssm.life/product_details/93323750.html
- Engineering and Technology History WIKI*. (2017). Diambil kembali dari https://ethw.org/Pelton_Wheel
- ETH Library*. (t.thn.). Dipetik 2024, dari <https://library.ethz.ch/en/locations-and-media/platforms/short-portraits/leonhard-euler-1707-1783.html>
- Evans, P. S. (1866 - 1867). Water Turbines Of The Woods Point Goldfield. Light Railway Research Society of Australia Inc.
- Forster*. (t.thn.). Diambil kembali dari <https://www.fstgenerator.com/>
- Gene. (2012). *LocalWiki*. Diambil kembali dari https://localwiki.org/oakland/Lester_A._Pelton

- George. (t.thn.). *Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine Shaun Waters*. Engineering Department, Lancaster University Renewable Energy Group and Fluid Machinery Group, United Kingdom.
- Gilkes. (1919). Dipetik 2024, dari Sumber : <https://www.gilkes.com/our-company/our-heritage>
- Gilkes. (2019). Diambil kembali dari THE FRANCIS REACTION TURBINE: <https://www.gilkes.com/small-hydropower-solutions/gilkes-turbines/francis-turbines>
- Gilkes, G., & Gordon. (2019, 3 27). *Hydro Review*. Diambil kembali dari <https://www.hydroreview.com/business-finance/business/from-the-english-lake-district-to-the-world-celebrating-100-years-of-the-turgo-turbine/#gref>
- Gilkes, G., & Gordon. (2019, January 30). Turgo impulse turbine by Eric Crewdson (1888-1967). *The International journal on hydropower & dams*. Diambil kembali dari <https://www.hydropower-dams.com/news/gilkes-celebrates-100-years-of-the-turgo-impulse-turbine/>
- Grgić, D., & Kuzle, I. (t.thn.). *FER ZVN*. Diambil kembali dari https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Elektrane_03_eng.pdf
- Gugler Technology For Hydropower Plants*. (2014). Diambil kembali dari <https://www.gugler.com/produkt/francis-turbines/>
- Hosszúréty, . P., & DrSc. (1992). Possible simplification of the Girard turbine. *1*(78), 79-83. doi:10.1051/lhb/1992004
- Hosszuréty, P. I. (2021). Turbine hydraulique Girard simplifiée pour faibles et très faibles puissances. Diambil kembali dari <http://www.shf-lhb.org>; <http://dx.doi.org/10.1051/>
- HydroPhile*. (2020). Diambil kembali dari History of Hydropower: <https://hydroco.ca/history-of-hydropower/>

- Ibrahim, G. A., Haron, C. H., & Azhari, C. H. (2011). Sustainable Rural Energy: Traditional Water Wheels in Padang (PWW) Indonesia. *Int. J. Renewable Energy Technology*, 23 - 31.
- Lewis, B. J., Cimbala, J., & Wouden, A. M. (2014). The Design of Water Wheels and Francis Hydroturbines. *Symposium on Hydraulic Machinery and System*. doi:10.1088/1755-1315/22/1/012020
- Lindsley, E. F. (1977, May). Water Power For Your Home. *Popular Science*, 5210), 87 - 93. Diambil kembali dari https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine#/media/File:Ossberger_turbine_runner.jpg
- Lotha, G., Petruzzello, M., & Tikkanen, A. (1998, July 20). *Britannica*. Diambil kembali dari <https://www.britannica.com/biography/James-Bicheno-Francis>
- Meier, U., Eisenrinc, M., & Arter, A. (1983, March). *Appropriate Technology Sourceboo*. Diambil kembali dari The Segner Turbine : A Low - Cost Solution for Harnessing Water Power on a Very Small Scale: https://www.appropedia.org/Appropriate_Technology_Sourcebook/The_Segner_Turbine:_A_low-cost_Solution_for_Harnessing_Water_Power_on_a_very_Small_Scale
- Metorre. (2024, February). Diambil kembali dari Manufacturers and Suppliers: <https://us.metoree.com/categories/6793/https://us.metoree.com/categories/6793/>
- National Hydropower Association. (2024). Diambil kembali dari <https://www.hydro.org/about/history/>
- Ossberger. (2023). Diambil kembali dari <https://www.ossberger.de>
- Paaske, J. M. (2021, August 11). *Norsk Teknisk Museum*. Diambil kembali dari Digital Museum: <https://digitaltmuseum.no>

- Polák, M. (2021). A Brief History of the Kaplan Turbine Invention. *Energies* 14, 19(6211). Diambil kembali dari <https://doi.org/10.3390/en14196211>
- Quaranta, E. (2018). The Revival of Old Hydraulic Turbines for Innovative Hydropower Generation: Water Wheels, Archimedes Screws, Deriaz and Girard Turbines. Italy: Research Center of European Commission.
- Quaranta, E., & Revelli, R. (2018). Gravity Water Wheels as a micro hydropower energy source : A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 414 - 427. Diambil kembali dari <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.033>
- Rantererung, C. I., Tandiseno, T., & Mallisa, M. (2019). Pemanfaatan Energi Potensial Air Sebagai Penggerak Turbin Cross Flow Multi Nozzle. (2). Diambil kembali dari <http://en.hydro-electricity.eu/crossflow-turbine/>
- Rico, P. (1994, July 16). BARKER'S HYDRAULIC TURBINE 1851. Ritterschafft, V. B. (1548). *Science History Institute*. Diambil kembali dari <https://digital.sciencehistory.org/works/47429987k>
- Rorres, C. (2000). The Turn of The Screw : Optimal Design of an Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*. *Science Museum Group*. (t.thn.). Diambil kembali dari Sumber : <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50785/poncelets-water-wheel-1824-waterwheels-undershot-waterwheels-models>
- Setyono, P. (2008). Cakrawala. Memahami Lingkungan.
- Sherrin, H. (2022, Juny 22). Who Really Invented the Archimedes Screw?
- SITEBuilders. (2020, Maret 2). *Vermilion Historical Society*. Diambil kembali dari <https://www.vermilionhistory.org/articles/params/post/1762842/1ester-a-pelton>

- Smith, A. (2014, June 26). How Archimedes Shaped The Modern World Of Pumps.
- Songin, K. (2017). *Experimental Analysis of Archimedes Screw Turbines*. Thesis, University of Guelph, Canada.
- The American Society of Mechanical Engineers*. (1980). Diambil kembali dari <https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/57-kaplan-turbine>
- Turbine sets produced by WTW Poland sp. z o.o.* (2019). Diambil kembali dari WTW Poland: <https://www.wtw-poland.com/en/offer>
- Types of Hydropower Turbines*. (2021). Diambil kembali dari Energy Efficiency Renewable Energy: <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines>
- Viollet, P.-L. (2017). *Water Engineering in Ancient Civilizations: 5,000 Years of History*.
- Wikipedia*. (2009). Diambil kembali dari https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_Girard
- Wikipedia*. (2024). Diambil kembali dari <https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes>

GLOSARIUM

Abad	:	Sebutan untuk jangka waktu seratus tahun. Satu abad bersamaan dengan sepuluh dekade
Sungai	:	Adalah aliran air yang besar dan meamnjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara).
Overshot Water Wheel	:	Air masuk bucket pada bagian atas dari wheel. Wheel akan berputar seluruhnya karena berat air (kadang-kadang sebagian oleh gaya impuls dari air). Air (dari head race) masuk ke bucket melalui suatu adjustable sluice gate.
Breastshot Water Wheel	:	Air masuk bucket pada bagian breast (tengah-tengah) dari wheel. Wheel ini berputar sebagian oleh berat air & sebagian oleh gaya impuls air. Air (dari head race) masuk bucket tanpa kejutan (shock) ke sejumlah laluan (passage) yang dapat terbuka atau tertutup oleh pengaturan rack & pinion pada sluice gate (lihat gambar). Berat air memberikan gaya ke wheel turun sehingga wheel akan berputar.
Undershot Water Wheel	:	Air dalam bentuk semburan (jet) menumbuk sudu pada bagian bawah dari wheel. Wheel ini beroperasi seluruhnya karena gaya impuls air dalam bentuk semburan / jet air. Mula-mula head air yang tersedia dikonversi menjadi head

		kecepatan (sebelum air menumbuk bucket dari wheel).
Poncelet Water Wheel	:	Pada tipe Poncelet Wheel sudutnya lengkung. Tipe ini seluruhnya beroperasi karena gaya impuls dari air. Sudu dibuat lengkung sedemikian sehingga semburan (jet) air masuk sudu secara tangensial (tanpa shock). Blade dibuat cukup panjang sehingga air tidak tumpah pada sisi outlet, tetapi secara aktual mengalir turun ke tail race. Sebagai akibat dari hal ini yaitu efisiensi Poncelet Wheel lebih besar.
Backshot Water Wheel	:	Air masuk bucket pada bagian atas dari wheel. Wheel akan berputar seluruhnya karena berat air (kadang-kadang sebagian oleh gaya impuls dari air). Air (dari head race) masuk ke bucket melalui suatu adjustable sluice gate. Backshot Water Wheel arahnya ke belakang bukan ke depan
Sagebien Water Wheel	:	Kincir air dada tradisional terdiri dari serangkaian bilah datar yang dipasang pada tepi roda. Bilahnya biasanya dipasang sedemikian rupa sehingga menghadap lurus ke sepanjang radius roda. Air dari millstock mengalir ke roda pada suatu titik di sisi rotasi, mengenai bilah dan memberikan momentum pada bilah. Berat air kemudian menarik roda ke bawah melalui gravitasi
Zuppinger Water Wheel	:	Kincir yang didesain dengan bentuk bilah melengkung untuk mengurangi aliran

		tenaga yang keluar kerugian, mengurangi porsi air yang terangkat ke hilir permukaan air.
Turbin Aksi	:	Adalah turbin yang proses ekspansi (perubahan energi potensial uap menjadi energi kinetik, disertai dengan penurunan tekanan) fluida kerjanya hanya terjadi didalam nosel atau sudut tetap saja.
Turbin Reaksi	:	Adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu.
Turbin Screw Archimedes	:	Disebut juga turbin ulir, awalnya digunakan sebagai pompa yang konstuksinya terdiri dari beberapa sudu berbentuk heliks yang terpasang pada poros dan berfungsi sebagai bucket bergerak untuk membawa air keatas.
Turbin Barker	:	desain turbin reaksi praktis paling awal. Air yang mengalir dari nosel di ujung lengan menyebabkan rakitan lengan dan poros berputar. Nozel kuningan disesuaikan untuk menyeimbangkan aliran air ke setiap sisi.
Turbin Segner wheel	:	Memiliki sumbu horizontal dan merupakan pendahulu turbin air modern. Ini adalah mesin yang sangat sederhana yang masih diproduksi hingga saat ini untuk digunakan di lokasi pembangkit listrik tenaga air kecil

Turbin Euler	:	Merupakan persamaan paling mendasar dalam bidang turbomachinery . Persamaan ini mengatur tenaga, efisiensi dan faktor lain yang berkontribusi pada desain mesin turbo. Dengan bantuan persamaan ini, head yang dihasilkan oleh pompa dan head yang digunakan oleh turbin dapat dengan mudah ditentukan. Seperti namanya, persamaan ini dirumuskan oleh Leonhard Euler pada abad kedelapan belas. Persamaan ini dapat diturunkan dari persamaan momen momentum bila diterapkan pada pompa atau turbin.
Turbin Fourneyron	:	Merupakan perbaikan turbin ciptaan burdin dengan menambahkan metode radial aliran keluar air pada turbin air.
Turbin Vortex Thomson	:	Merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros.
Turbin Francis	:	Adalah sebuah turbin aliran kedalam yang menggunakan aliran radial pada sisi masukan dan aliran aksial pada sisi keluarannya. Jenis turbin ini paling banyak digunakan karena menghasilkan daya tinggi, cocok dioperasikan pada tinggi jatuh air rendah hingga tinggi
Turbin Girard	:	Merupakan jenis turbin mixed flow, yaitu gas masuk pada arah radial dan keluar dari sisi keluar secara aksial. Rotor turbin jenis ini biasanya dibuat dari cast nickel alloy, yang memiliki sudu berkurva untuk

		merubah aliran masuk secara radial menjadi keluar dengan arah aksial.
Turbin Pelton	:	Merupakan turbin impuls yang prinsip kerjanya mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dalam bentuk pancaran air. Pancaran air yang keluar dari mulut nozel diterima oleh mangkok-mangkok pada roda jalan sehingga roda jalan berputar.
Turbin cross-flow turbine	:	Adalah mesin fluida yang merubah energi potensial air menjadi energi mekanik pada poros dan dapat dijadikan energi listrik/PLTMH, dalam merancang bangun turbin air crossflow menggunakan metode VDI 2221. turbin air crossflow skala laboratorium relatif ringan dengan panjang 1 m lebar 0,5 m.
Turbin Kaplan	:	adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Prinsip kerja turbin Kaplan adalah memanfaatkan semaksimal mungkin energi air yang dapat ditangkap oleh peralatan utamanya yaitu roda jalan yang digunakan untuk memutar generator.
Turbin Air Turgo (Impuls) invented and patented	:	Merupakan turbin air impuls yang dirancang untuk aplikasi head sedang . Turbin Turgo operasional mencapai efisiensi sekitar 87%. Dalam pengujian pabrik dan laboratorium, turbin Turgo bekerja dengan efisiensi hingga 90%. Ia bekerja dengan kepala jaring antara 15 dan 300 m.

Turbin Baling-
Baling (Propeller
Turbine)

: Disebut juga turbin baling-baling poros horizontal atau vertikal adalah turbin yang bekerja di dalam air yang dapat mengubah head kecil/rendah menjadi power yang besar. Turbin propeler merupakan turbin yang memiliki kecepatan spesifik (n_q) yang tinggi, sehingga cocok untuk head yang rendah dan debit yang tinggi. Semakin tinggi nilai kecepatan spesifiknya (n_q) maka akan lebih ekonomis. Oleh karena itu, kecepatan yang tinggi berarti unit turbinnya lebih kompak dan kecepatan roda turbin bergantung pada konstruksi dan kekuatan material turbin dan generator atau beban.

INDEKS

Abad	1, 4, 8, 15, 66, 72, 76, 90, 126
Breastshot	67,68
Cross Flow	104, 113, 124, 125, 141
Kincir	1, 3, 6, 7, 9, 13, 58, 67, 68, 70, 71, 74, 77, 96
Overshot	67, 68
Turbin	1, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 58, 67, 71, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 121, 148
Turbin Francis	9, 11, 12, 13, 77, 97, 127
Turbin Impuls	3, 9, 10, 103, 113, 123, 124
Turbin Kaplan	11, 13, 77, 106, 127, 134, 146, 147
Turbin Pelton	9, 77, 103, 11, 124, 127, 138
Turbin Reaksi	3, 7, 9, 58, 77, 90, 96, 121, 127
Undershot	67, 70, 71, 74, 96

PENULIS

Penulis : Dr. Masrur Alatas, ST., M.Eng.



Masrur Alatas, lahir tanggal 10 Juni 1982 di Trenggalek, Jawa Timur. Pendidikan Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada lulus 2010. Magister Sistem Teknik Fakultas Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada dengan konsentrasi Energi Baru Terbarukan (EBT) - Mikrohidro lulus tahun 2013. Program Doktor Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret lulus tahun 2021 (Cumlaude) dengan konsentrasi bidang Mikrohidro berbasis pemberdayaan masyarakat Spiral Cycle Microhydro Community System (SCMCS) dan Multistakeholder ABGC-FIT. Program Post Doctoral Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) tahun 2022-2023 dengan konsentrasi Mikrohidro-Pikohidro dan inovasi Picohydro Portable Turbine (PPT). Pengalaman sebagai site manajer pembangunan gedung di UNY dan pembangunan gedung di Istana Kepresidenan Yogyakarta tahun 2007-2008. Tim ESDM Sleman Perencanaan Mikrohidro 7 titik lokasi di Sleman tahun 2005. FS dan DED, Perencanaan dan Pembangunan Mikrohidro di Blitar kegiatan Program Pembangunan Ekoregion Jawa (PPEJ) tahun 2010-2011, Tim UGM - Indonesia Power (IP) perencanaan FS- DED PLTM Kalibeyer, PLTM Lensonso dan PLTM Purbasari tahun 2009-2010. Tim UGM kegiatan optimalisasi PLTA Jelok tahun 2013, optimalisasi Mikrohidro 4 titik di Jambi tahun 2016. Perencanaan PLTM Muratara Sumatra Selatan tahun 2015-2016. Feasibility Study (FS) PLTMH Cascade Kulonprogo, Yogyakarta tahun 2019-2020. Asisten Dosen Teknik Sipil UGM tahun 2004 sampai dengan 2014. Dosen Program Studi Teknik Sistem Energi (TSE) Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Yogyakarta (ITY) sejak tahun 2014 sampai dengan sekarang dengan mengampu mata kuliah Gambar Teknik, Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi

(EBTKE), Hidrologi dan Hidrolika Terapan, Infrastruktur, Engineering Design, Manajemen dan Audit Energi, Laboratorium Pembangkit Energi, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air, dan Pemberdayaan Masyarakat. Kaprodi Teknik Sistem Energi FT ITY tahun 2014-2017, Kaprodi Magister Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana tahun 2021-2023, Kaprodi Magister Teknik Lingkungan Sekolah Pascasarjana tahun 2023 sampai sekarang. Menulis buku Pemberdayaan Masyarakat dalam Pengelolaan Mikrohidro Berkelanjutan tahun 2021, Mudahnya Menggambar Teknik (Kode Keyboard AutoCAD) tahun 2023, dan Pikohidro Portable tahun 2023, serta menulis dan publikasi hasil penelitian pada jurnal internasional bereputasi tinggi Scopus dan Web of Science (WoS). Penulis juga berperan aktif dalam organisasi sebagai pengurus - pengawas pada KSPPS Madani Jawa Timur sejak 2010 sampai dengan sekarang. Menjadi dewan Pembina pada Komunitas Mikrohidro Terpadu Indonesia (KMTI), Gerakan Restorasi Sungai Indonesia (GRSI), Komunitas Lingkungan Hidup Terpadu (KLHT), Komunitas Peduli Drainase dan Lingkungan Hidup (KPD LH), pengurus Forum Komunikasi Daerah Aliran Sungai (FKPDAS-D.I.Yogyakarta), serta komunitas lingkungan lainnya.





Supported by :
Madani Institute
 KSPPS Madani Jawa Timur

EBTKE

SEJARAH TURBIN AIR & KINCIR AIR

Buku ini ditulis untuk memberikan informasi tentang sejarah turbin air dan kincir air. Data dan informasi bahwa sejak abad 4 SM di Mesir kuno telah mengenal kincir air. Abad 3 SM Archimedean Screw ditemukan Archimedes Yunani Kuno di Syracuse Sisilia, Italia. Abad 12 M: 1100-1199 & Abad 13 M: 1200-1299 Kincir Noria atau Na-Urah di kota kuno Hama, Suriah. Tahun 1744 Konsep Pertama Turbin Reaksi ditemukan oleh Dr. Barker (Inggris). 1750 Konsep Turbin Seperti Penyiram Tanaman Johan A. Segner (German). 1754 Konsep Turbin Segner - dikembangkan sudut aliran ke bilah rotor Leonhard Euler (Swiss) besar di St. Petersburg, Rusia, dan di Berlin, Prusia. 1813 Overshot Water Wheel - Kincir Air James Watt (Scotlandia, Inggris). 1819 Archimedean Screw - Kincir Air Claude Louis M.J.H. Navier (Prancis). 1820 Undershot Water Wheel - Kincir Air B. S. & W. Whiteley Ltd. 1824 Poncelet Water Wheel - Kincir Air Jean Victor Poncelet (Prancis). 1824 Pengembangan Euler - Turbin bekerja terendam dalam air Prof. Claude Burdin (Prancis). 1826 Turbin Fourneyron - Air mengalir dari dalam keluar turbin Benoit Fourneyron (Prancis). 1844 Turbin Boyden - Optimalisasi dari Turbin Fourneyron Uriah A. Boyden (Amerika). 1850 Turbin Vortex Thomson James Thomson (Belfast, Inggris). 1850 Sagebien Water Wheel - Kincir Air Alphonse Sagebien (Amiens, Prancis). 1850 Zuppinger Water Wheel - Kincir Air Walter Zuppinger (Wädenswil, Zurich, Switzerland). 1854 Turbin Girard Louis Dominique Girard (Paris, Prancis). 1855 Turbin Francis - Prinsip berlawanan dengan Turbin Fourneyron James B. Francis (Prancis). 1878 Turbin Pelton - Turbin Impuls Lester Allan Pelton (Amerika). 1888 Breastshot Water wheel - Kincir Air Whitmore & Binyon, Wickham Market, Suffolk, England. 1912 Turbin Kaplan - Turbin Reaksi Viktor Kaplan (Austria). 1916 Archimedean Screw - Turbin Air William Moerscher (AS). 1919 Turbin Turgo, Eric Crewdson (Manchester, Lancashire, England). 1933 A cross-flow turbine, or Bánki-Michell turbine, or Ossberger turbine.

Sejarah menyampaikan kepada kita semua bahwa inovasi teknologi yang saat ini berkembang di zaman modern abad 21 seperti Turbin Francis, Turbin Propeller, Turbin Kaplan, Turbin Pelton, Turbin Cross Flow, Turbin Turgo, Turbin Screw Archimedes, Pumped Hydropower Storage, Shipon Turbine System, Pump As Turbine (PAT) dan inovasi hydropower lainnya merupakan perjalanan ilmu pengetahuan yang telah ditekuni, diperjuangkan dengan gigih oleh penemu penemu sebelumnya, dan bahkan mungkin beberapa pejuang tersebut ada yang belum tercatat dalam sejarah, sehingga publikasi penelitian, ide, gagasan, pemikiran dan temuan ilmiah hasil penelitian harus ditulis melalui karya tulis ilmiah, JAKI, dan hak Paten. Sejarah akan terus mengukir dalam tinta emas dan inovasi akan terus berkembang dimasa yang akan datang sesuai dengan kebutuhan masyarakat, peradapan, pranata sosial dan kondisi lingkungan.

Semoga buku ini memberikan wawasan dan informasi serta semangat kepada para akademisi, praktisi, peneliti, dosen, mahasiswa, pelajar, komunitas Energi Baru Terbarukan, komunitas mikrohidro, dan masyarakat pemerhati EBTKE untuk terus berkolaborasi ABQC-FIT riset mewujudkan inovasi teknologi, teknologi ramah lingkungan (Green Technology), teknologi tepat guna (Appropriate technology) untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat, menjaga tripartit hubungan yang harmonis antara Air-Energi-Pangan, sekaligus kelestarian Daerah Aliran Sungai (DAS), sungai sehat menyediakan debit andalan yang stabil, dan lingkungan yang terus lestari dalam pembangunan berkelanjutan SDG's, Green Society, Green Economy & Blue Economy.



CV. Tahta Media Group
 Surakarta, Jawa Tengah
 Web : www.tahtamedia.com
 Ig : tahtamedia group
 Telp/WA : +62 896 5427 3996



ISBN 978-623-147-355-4
 9 786231 473554