

DESAIN TURBIN AIR TIPE PROPELER SUMBU HORIZONTAL UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Eko Edy Susanto

Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

Email: ekoedys@yahoo.com

Abstrak: Tenaga listrik adalah sumber energi yang banyak digunakan oleh masyarakat. Listrik dihasilkan dari sebuah pembangkit listrik dimana pembangkit listrik yang digunakan saat ini salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga air. Komponen utama dari pembangkit listrik adalah turbin dan poros. Pada perancangan turbin dibutuhkan head dan debit air yang mengalir selain pemilihan turbin yang sesuai karakteristiknya. Tujuan perancangan menghasilkan turbin propeler dan menganalisis kecepatan aliran air dan tekanan pada turbin dengan menggunakan simulasi software. Dari hasil simulasi pada ukuran diameter turbin sudu 464 mm, diameter leher poros 176 mm dan banyaknya sudu 6 buah. Hasil simulasi didapat kecepatan aliran sebesar 14,64 m/s dan tekanan sebesar 13 Pa terjadi ketika melalui turbin. Terjadi penurunan tekanan dan kecepatan aliran dikarenakan adanya gaya actual untuk memutar turbin tersebut.

Kata Kunci: Mikrohidro, Pembangkit Listrik, Simulasi, Sumbu Horizontal, Turbin Propeler.

Abstract: Electric power is an energy source that is widely used by society. Electricity is produced from a power plant, one of which is currently used is a hydroelectric power plant. The main components of a power plant are the turbine and shaft. In turbine design, the head and flow of flowing water are needed in addition to selecting a turbine that suits its characteristics. The design objective is to produce a propeller turbine and analyze the water flow speed and pressure in the turbine using software simulation. From the simulation results, the turbine blade diameter is 464 mm, the shaft neck diameter is 176 mm and the number of blades is 6. The simulation results showed that a flow velocity of 14.64 m/s and a pressure of 13 Pa occurred when passing through the turbine. There is a decrease in pressure and flow speed due to the actual force to rotate the turbine.

Keywords: Microhydro, Power Generation, Simulation, Horizontal Axis, Propeller Turbine

INTRODUCTION

Listrik telah banyak digunakan oleh manusia sebagai sumber energi untuk aktivitas sehari-hari. Hal ini dikarenakan energi listrik adalah salah satu energi yang paling nyaman, terjangkau, dan aman. Sumber energi listrik dihasilkan melalui sebuah sistem pembangkit. Sistem pembangkit yang ada saat ini antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB), dan lain-lain [1, 2].

Permasalahan yang dihadapi saat ini adalah semakin menipisnya ketersediaan energi berbasis fosil yang tidak dapat di perbaharui sehingga perlu dicari energi alternatif yang dapat diperbaharui. Selain itu efek buruk dari penggunaan energi fosil dapat menyebabkan rusaknya lapisan ozon dan meningkatnya pemanasan global. Untuk itulah perlu dikembangkan pembangkit listrik yang bersumber pada energi yang dapat diperbaharui [3].

Pembangkit Listrik yang banyak dikembangkan saat ini adalah turbin air. Karena di Indonesia air tersedia berlimpah dan merupakan sumber energi alternatif. Turbin air menggunakan fluida kerja air yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Pemanfaatan tenaga air untuk pembangkit listrik merupakan salah satu bentuk teknologi yang murah dan ramah lingkungan dan sangat penting untuk masa depan yang berkelanjutan [4].

Untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik, maka Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dapat menjadi salah satu solusinya. Pembangkit yang digerakkan tenaga air ini berskala kecil dan dapat memanfaatkan aliran sungai atau aliran irigasi sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar generator [5, 6, 7].

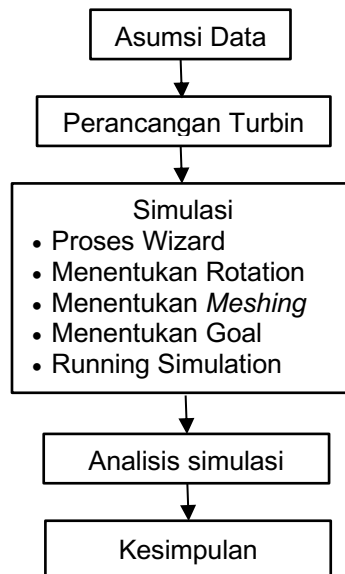
Aspek utama dari setiap pembangkit listrik skala kecil adalah turbin yang mampu menghasilkan listrik dengan daya maksimum melalui putaran poros. Sesuai dengan karakteristik dari turbin air, dimana hubungan daya dengan putaran turbin adalah daya akan turun setelah putaran propeller mencapai putaran tertentu. Pada putaran relatif rendah, semakin besar putaran propeller maka daya meningkat dan pada saat putaran propeller mencapai kondisi *stall* maka daya akan *drop* secara perlahan-lahan. Karena banyak perhatian khusus yang harus di pahami dalam

perancangan turbin [8, 9, 10, 11].

Berdasarkan jenis dan konstruksinya turbin propeller, maka tujuan dari desain dan simulasi ini selain diperoleh prototipe turbin propeler juga menganalisis kecepatan aliran air pada turbin propeller dan *pressure* pada turbin propeller. Dalam melakukan simulasi digunakan *flow simulation* dari software *solidworks*. Diharapkan desain dan simulasi ini dapat menjadi bahan masukan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro ke depannya.

RESEARCH METHODS

Pada desain turbin propeler untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro, terlebih dahulu disusun langkah-langkah yang harus dilalui secara berurutan untuk menghasilkan sebuah produk. Proses perancangan pada pembuatan desain dan analisis turbin propeller dilakukan secara komputasi dengan menggunakan *software Solidworks 2019*, berikut ini akan dijelaskan tentang alur desain dan simulasi menggunakan diagram alir (gambar 1) di bawah:



Gambar 1. Bagan penelitian

Asumsi data ini menggunakan data perancangan yang direncanakan. Dari mulai head, debit, massa jenis air, kecepatan gravitasi, efisiensi turbin dan putaran turbin yang direncanakan. Tahap perancangan turbin adalah pembuatan sebuah turbin propeller dari asumsi data yang digunakan, dan akan didapatkan beberapa hasil yaitu diameter sudu, diameter leher poros dan banyaknya sudu. Simulasi berupa simulasi dari turbin propeler yang sudah direncanakan. Dari simulasi yang sudah dilakukan, didapatkan parameter dari hasil simulasi yaitu :

1. *Average Velocity*
2. *Average Static Pressure*

Setelah memilih hasil yang diinginkan selanjutnya melakukan proses komputasi yang akan dilakukan secara otomatis oleh *software*. Jika terjadi error atau proses berhenti maka bisa melakukan pilihan ulang pada format goals dan kemudian jalankan kembali untuk mengetahui hasil dari proses. Tahap selanjutnya menganalisis hasil simulasi untuk kemudian diambil kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Asumsi

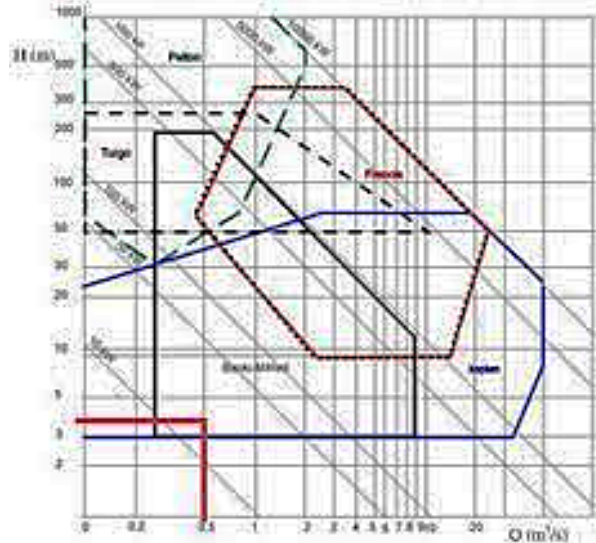
Asumsi data yang disusun dalam perancangan Turbin sebagai penggerak bagi prototipe PLTMH dipilih sesuai besar debit dan headnya, yaitu :

1. Nilai head (H) yang ditentukan 2 m
2. Nilai debit (Q) yang ditentukan 1 m³/s.
3. Putaran turbin (n) direncanakan = 500 rpm
4. Efisiensi turbin propeller (η_t) yang direncanakan 90%.
5. Massa jenis air (air sungai), $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$
6. Gravitasi, $g = 9,81 \text{ m/det}^2$

Dari data diatas jenis turbin yang dipilih adalah Turbin air untuk head yang rendah.

3.2. Pemilihan Tipe Turbin

Berdasarkan nilai debit dan head yang telah diasumsikan, maka dengan menggunakan grafik pemilihan turbin dipilih jenis tipe turbin. Secara grafis dari Gambar 2 turbin yang akan dirancang dalam penelitian ini masih dalam katagori tipe propeller. Turbin propeller merupakan turbin yang beroperasi pada head rendah dan dengan kapasitas air yang tinggi atau bahkan dapat beroperasi pada kapasitas yang rendah.



Gambar 2. Grafik pemilihan jenis turbin [8].

Turbin propeller adalah turbin reaksi aliran aksial. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu seperti yang terdapat pada baling-baling pesawat terbang. Kemampuan propeler dapat digunakan pada bermacam-macam aliran air. Turbin propeller secara luas digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga hidro dengan jatuhan air (*head*) 2–14 meter. Jenis turbin air propeller digunakan karena memiliki umur pakai yang tahan lama, murah biaya operasinya, murah investasinya, mudah dibongkar pasang, dan tidak merusak lingkungan serta bebas limbah.

3.3. Daya dan Putaran Spesifik Turbin Air

Perancangan suatu turbin air pada suatu lokasi tertentu, diperlukan data-data lokasi minimal yaitu Head dan Debit air. Perhitungan dasar pada sebuah turbin adalah dengan menentukan variabel yang sudah diketahui, antara lain:

1. Daya turbin (P),

$$P = \eta_T \times \rho \times g \times Q \times H$$

Keterangan :

- P = Daya (kW)
- η_T = Efisiensi Turbin
- ρ = Masa jenis air
- g = Gravitasi
- Q = Kapasitas Air debit
- H = Tinggi air jatuh

Sehingga daya turbin adalah :

$$\begin{aligned} P &= 0.8 \times 997 \times 9,81 \times 1 \times 2 \\ &= 15648 \text{ W} \\ &= 15,6 \text{ kW} = 20 \text{ HP} \end{aligned}$$

Jadi daya turbin sebesar 20 kW

2. Kecepatan Aliran

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Keterangan :

- v = Kecepatan Aliran
- g = Gravitasi
- H = Tinggi air jatuh

Sehingga kecepatan aliran adalah :

$$v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 2} \\ = 6,264 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan aliran sebesar 6,264 m/s

3. Menghitung Putaran Spesifik Turbin

$$n_q = n \frac{\sqrt{v}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Keterangan :

n_q = Putaran Spesifik
 n = Gravitasi
 v = Kecepatan Aliran
 H = Tinggi air jatuh

Sehingga putaran spesifik turbin adalah :

$$n_q = 500 \frac{\sqrt{1}}{2^{\frac{3}{4}}} \\ = 297 \text{ l/min}$$

Jadi putaran spesifik turbin berdasarkan kecepatan aliran : 297 l/min

3.4 Dimensi Turbin Air

Dalam menentukan desain alat pengarah hakikatnya sama dengan turbin Kaplan. Pada leher poros terdapat kipas sudu (4 sampai dengan 8). Kipas sudu seperti baling baling pesawat terbang yaitu membawa aliran dengan belokan yang hanya sedikit. Tetapi untuk pesawat terbang dimaksud untuk menambah gaya angkat ke atas tetapi pada turbin kaplan atau propeller untuk mendapatkan data tangensial untuk menghasilkan torsi pada poros turbin. Besar gaya tangensial tergantung dengan selisih $c_{u1} - c_{u2}$ yang harganya kecil. Pada perhitungan ini $c_{u1} - c_{u2} = 0$.

Harga perkiraan untuk menentukan ukuran utama turbin propeler. $u_1 = 1,75$, $u_N = 0,75$, $c_m = 0,36$

1. Menentukan diameter sudu (D_i)

$$\begin{aligned} D1 &= \frac{60 \times u_1}{\pi \times n} \\ U1 &= u_1 \times v \\ &= 1,75 \times 6,264 \\ &= 10,9 \text{ m/s} \\ D1 &= \frac{60 \times 10,9}{\pi \times 500} \\ &= 0,416 \text{ m} \\ &= 416 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, diameter sudu sebesar 416 mm

2. Menentukan diameter leher poros (D_N)

$$\begin{aligned} DN &= 0,425 \times D_i \\ &= 0,425 \times 0,416 \\ &= 0,176 \text{ m} \\ &= 176 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, diameter leher poros sebesar 176 mm

3. Menentukan diameter sudu pengarah (D_L)

$$\begin{aligned} DL &= 1,2 \times D_i \\ &= 1,2 \times 0,416 \\ &= 0,499 \text{ m} \\ &= 499 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Kecepatan meridian ($C_{2m} = C_2$)

$$\begin{aligned} C2 &= Q/A \\ A &= \frac{(D_L^2 - D_N^2)\pi}{4} = 0,5 \text{ m}^2 \\ &= 1/0,5 \\ &= 2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan meridian sebesar 2 m/s

5. Effisiensi turbin (η_t)

$$\begin{aligned}\eta_t &= \frac{P}{H \times Q \times V \times g} \\ &= \frac{15,6}{2 \times 1 \times 6,264 \times 9,81} \\ &= 0,1\end{aligned}$$

Jadi, effisiensi turbin sebesar 0,1

6. Kecepatan masuk runner (C_u)

$$\begin{aligned}C_u &= \frac{\eta_t \times g \times H}{U_l} \\ &= \frac{0,1 \times 9,81 \times 2}{10,9} \\ &= 0,18 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Jadi, kecepatan masuk runner sebesar 0.18 m/s

7. Segitiga kecepatan (C_1)

$$\begin{aligned}C_1 &= \sqrt{(C_2)^2 + (C_u)^2} \\ &= \sqrt{(2)^2 + (0,18)^2} \\ &= 2,04 \text{ m/s}\end{aligned}$$

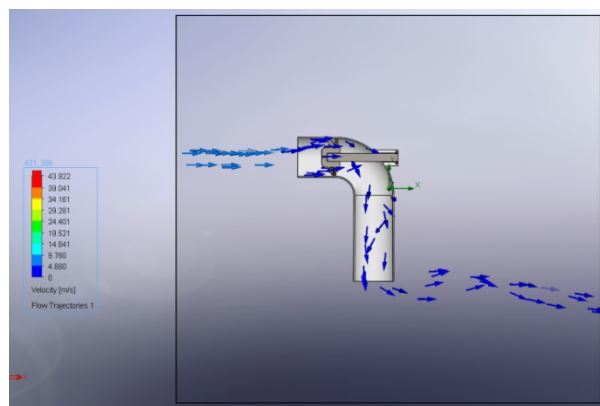
Jadi, segitiga kecepatan didapatkan sebesar 2,04 m/s

8. Jumlah sudu pengarah (Z_l)

$$\begin{aligned}Z_l &= 0,25 \times (D_l)^{0,5} + (4/6) \\ &= 0,25 \times (416)^{0,5} + (4/6) \\ &= 5,7 \approx 6 \text{ sudu}\end{aligned}$$

3.5 Hasil dan Analisa Velocity

Kecepatan yang ditampilkan secara pola *arrow line* disekitar turbin. Seperti terlihat pada gambar 3 warna biru merupakan kecepatan minimum sedangkan berwarna merah merupakan kecepatan maksimum. Didapatkan kecepatan terbesar sebelum melalui sudu turbin sebesar 14,64 m/s dan terjadi penurunan kecepatan setelah melalui sudu turbin sebesar 4,8 m/s.

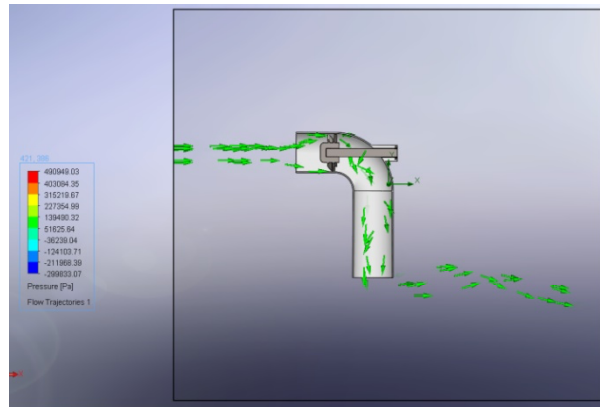


Gambar 3. *Velocity Simulation*

Terjadinya penurunan kecepatan aliran dikarena untuk menggerakkan sebuah turbin membutuhkan energi. Energi yang dibutuhkan berasal dari kecepatan aliran air dan tekanan. Penurunan ini disebabkan karena daya aktual dari segitiga kecepatan.

3.6 Dimensi Turbin Air

Tekanan yang ditampilkan secara pola *arrow line* disekitar turbin. Seperti terlihat pada gambar warna biru merupakan tekanan minimum sedangkan berwarna merah merupakan kecepatan maksimum. Didapatkan tekanan yang terbesar di sekitar inlet turbin yang digunakan untuk menggunakan turbin dan terjadi penurunan tekanan setelah melalui turbin. Tekanan terbesar adalah 13 Pa dan nilai minimum adalah 5 Pa.



Gambar 4.1 *Pressure Simulation*

Akibatnya terjadi penurunan pada tekanan tidak jauh berbeda dari akibat penurunan kecepatan. Dimana untuk memutar turbin diperlukan gaya dan daya. Gaya yang diperlukan membutuhkan dari tekanan dan terjadi karena segitiga kecepatan, dimana setelah memasuki derajat akan mengakibatkan penurunan

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada sebuah perancangan turbin propeller yang berfungsi sebagai penggerak dari generator untuk pembangkit listrik tenaga air skala mikro. Dalam merancang turbin propeller ini diperlukan karakteristik dan komponen agar tidak terjadi kesalahan. Didapatkan hasil perancangan yaitu, diameter sudu adalah 416 mm, Diameter leher poros adalah 176 mm dan jumlah sudu sebanyak 6 buah.
2. Nilai yang di hasilkan dari simulasi berupa nilai tekanan. Nilai tekanan terbesar 14,64 m/s Pa terjadi di sudu propeller dan nilai terkecil sebesar 4,8 m/s. Kecepatan terbesar terjadi ketika memasuki inlet dan menuju turbin setelah itu terjadi penurunan daya yang diakibatkan gaya untuk memutar turbin. Dan terjadi daya aktual yang didasari oleh segitiga kecepatan.
3. Nilai yang di hasilkan dari simulasi berupa nilai tekanan. Nilai tekanan terbesar 13 Pa terjadi di sudu propeller dan nilai terkecil sebesar 5 Pa. Tekanan terbesar terjadi ketika memasuki inlet dan menuju turbin setelah itu terjadi penurunan daya yang diakibatkan gaya untuk memutar turbin.

REFERENCES

- [1] Andri Suherman, Widia Tri Priane, Ajra Salmah, Rosdiansyah. (2017). "Studi Kelayak-an Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Panjang", *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-15.
<http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/Gravity>
- [2] Ramadoni Syahputra. (2020). "Teknologi Pembangkit Tenaga Listrik". Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
https://elektro.umy.ac.id/wp-content/uploads/2023/04/Ramadoni-Syahputra_Teknologi-Pembangkit-Tenaga-Listrik-DIKTAT.pdf
- [3] I Gede Wiratmaja, Edi Elisa, (2020), "Kajian Peluang Pemanfaatan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Utama Kendaraan Masa Depan Di Indonesia". *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, Vol.8 No.1, pp. 1-8.
<https://doi.org/10.23887/jptm.v8i1.27298>
- [4] Abdurahim Sidiq, Sobar Ihsan, Muhammad Najibul Khair. (2022). "Perancangan Turbin Air Tipe Propeller Dengan Jumlah 1 Dan 2 Propeller". *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, Vol. 7 No. 1, pp. 41-45.
<http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v7i1.7636>
- [5] Bahtiar, A., Hidayat, D., Mindara, J.M., Syakir, N dan Wibawa, B.M. (2015) "Aplikasi Pem-bangkit Listrik Mikrohidro Untuk Penerangan Lingkungan Masyarakat Di Kecamatan Ciwidey Kabupaten Bandung", *Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat* Vol. 4, No. 1, pp. 15-17
<https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v4i1.9031>
- [6] Beni Ardo, Emidiana. Perawati. (2022). "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Tanjung Raman Talang Air Selepah Kecamatan Pendopo Kabupaten Empat Lawang". *Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Elektrical Engineering and Industrial Engineering)*, Vol. 19, No : 1, pp. 81-92.
<https://doi.org/10.33557/jtekno.v19i1.1665>
- [7] Pribadyo Pribadyo, Hadiyanto H, Jamari J. (2020). "Simulasi Performa Turbin Propeller Dengan Sudut

- Pitch Yang Divariasikan”, *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, Vol. 6. No.1, pp. 54-63.
<https://doi.org/10.35308/jmkn.v6i1.2257>
- [8] Kusnadi, Agus Mulyono, Gunawan Pakki, Gunarko. (2018), “Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro”, *TURBO: Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 7 No. 2. pp. 207-213.
<http://dx.doi.org/10.24127/trb.v7i2.817>
- [9] Wibowo Paryatmo. (2007), “Turbin Air”, *Graha Ilmu*. Yogyakarta.
- [10] Amar Ma`ruf Al Bawani, Sudarti. (2022). ”Analisis Kelemahan Dan Kelebihan Pem-bangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik”, *Jurnal Kumparan Fisika*, Vol. 5 No. 2, Hal. 99-104. <https://journal.binadarma.ac.id/index.php/jurnaltekn/article/download/1665/885/>
- [11] Deni Almanda, Rahmat Kartono. (2020).” Analisi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Sistem Distribusi Air di P.T. Astra Honda Motor Plant 5 Karawang”, *RESISTOR: (Elektronika Kendali Tele-komunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, Vol. 3 No. 1, pp. 1-7.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/resistor/article/download/5955/4527>