

Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tipe Turbin Screw di Desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto

M. Reza F¹, Iqbal Guntara², Aris Heri A³, Ratna Hartayu⁴, Izzah Aula W⁵, Santoso⁶
^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru No. 45, Sukolilo, Surabaya 60118, Telp: 031-5931800
¹muhammadrezafatur@gmail.com, ²iqbalguntara88@gmail.com
³aris@untag-sby.ac.id, ⁴rhartayu@untag-sby.ac.id
⁵iwardah@untag-sby.ac.id, ⁶santoso@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas Tentang Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) tipe turbin Screw di desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto. Alat ini dirancang sebagai efisiensi dalam memanfaatkan potensi aliran air yang berada di desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto. Pembangkit listrik tenaga air tersebut agar dapat mengubah energi mekanik ke energi listrik dengan bantuan dari motor DC. Panjang saluran air turbin tersebut sepanjang 8 meter, potensi debit air 0,488 m³/detik, menghasilkan putaran 550 RPM. Penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan energi alternatif yang berkelanjutan.

Kata kunci: Turbin ulir, Generator DC, Charger control, Accu, Inverter

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik semakin besar seiring bertambahnya pertumbuhan jumlah penduduk dan berbagai fasilitas yang bergantung pada energi listrik. Namun ketersediaan energy listrik dari PLN belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia. Karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan potensi sumber-sumber energi terbarukan (renewable energy) yang banyak dimiliki oleh Negara kita Indonesia salah satunya adalah aliran sungai dan saluran irigasi. Potensi aliran sungai/saluran irigasi dapat dibuat pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Jenis-jenis turbin air yang sudah banyak dikenal dan diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah turbin crossflow, turbin Kaplan, turbin propeller, turbin turgo, turbin francis, dan turbin pelton. Turbin ulir merupakan jenis turbin air yang baru diteliti satu decade ini, diadopsi dari teori Archimedean screw. Keunggulan turbin ulir antara lain dapat beroperasi pada head rendah ($H < 10$ m), tidak membutuhkan pipa pesat, mudah pemasangan, mudah perawatan dan tidak merusak ekologi sungai atau fish-friendly[1]–[5]. Turbin ulir dikategorikan jenis turbin reaksi yang bisa dipakai pada head rendah[6]. Energi kinetik dan energi potensial dari aliran air diubah bentuknya menjadi energi mekanik pada sudu ulir menghasilkan putaran poros turbin yang dapat diubah menjadi energi listrik pada generator.

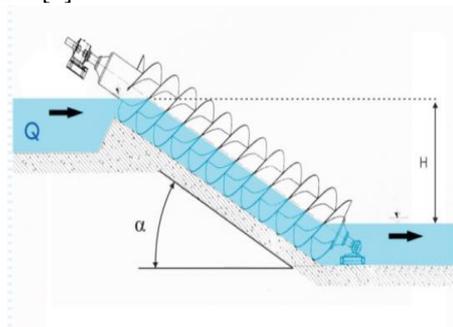
2. LANDASAN TEORI

2.1 Turbin

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

2.1.1 Turbin Screw

Turbin Ulir Archimedes merupakan teknologi yang sejak zaman kuno telah ditemukan dan diterapkan sebagai pompa, dimana pada konstruksinya terdiri dari satu atau beberapa sudu berbentuk heliks yang terpasang pada poros dan berfungsi sebagai bucket bergerak untuk membawa air ke atas[7].



Gambar 1. Turbin ulir

Prinsip kerja turbin ulir Achimedes ialah

1. Air dari ujung atas mengalir masuk ke ruangdi antara kisar sudu ulir (bucket) dan keluar dari ujung bawah;
2. gaya berat air dan beda tekanan hidrostatik dalam bucket di sepanjang rotor mendorong sudu ulir dan memutar rotor pada sumbu;
3. Rotor turbin memutar generator listrik yang disambungkan dengan ujung atas poros turbin ulir[8].

2.2 Generator Arus Searah

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Pada umumnya generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanent dengan proteksi terhadap beban lebih, starter eksitasi, penyearah, bearing dan rumah generator atau casing, serta bagian rotor[9]–[11].

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.



Gambar 2. Generator arus searah

Prinsip kerja suatu generator arus searah berdasarkan hukum Faraday :

$$E_a = N d\phi / dt$$

Dimana :

N = Jumlah Lilitan

ϕ = Fluksi Magnet

E_a = Tegangan induksi (GGL)

Dengan rumus generator tersebut , apabila suatu konduktor memotong garis-garis fluksi magnetik yang berubah-ubah, maka GGL atau tegangan induksi akan dibangkitkan dalam konduktor itu (Hukum Faraday).

Fluksi dapat dihasilkan oleh arus medan. Akibat perputaran pada belitan jangkar (armature), maka timbul tegangan induksi pada belitan jangkar, yaitu:

$$E_a = c n \phi$$

Dimana:

E_a : Tegangan induksi (volt)

C : Konstanta generator

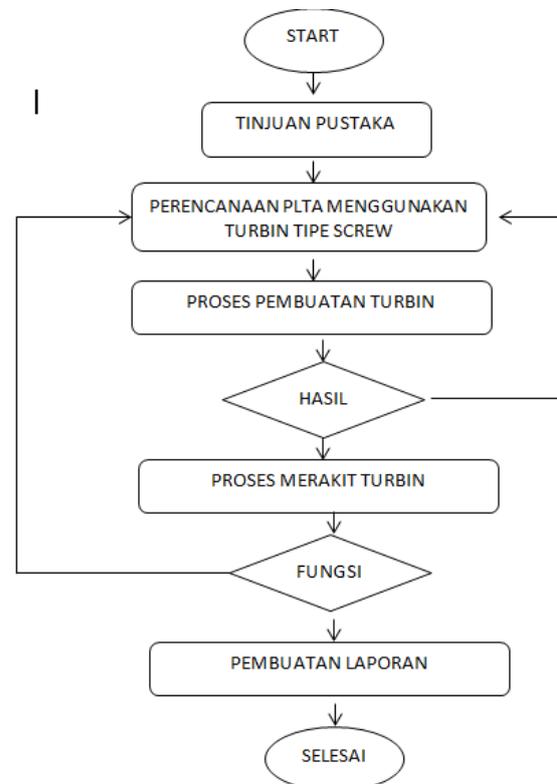
ϕ : Fluksi (weber)

N : Putaran generator(rpm)

3. Perencanaan dan pembuatan perangkat

3.1 Flow Chart

Proses pembuatan dan perakitan kerangka pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan turbin screw



Gambar 3. Alur penelitian

Input : Aliran air yang mengalir akan mendorong turbin dengan kecepatan (V) 220,5 m/s dengan panjang lintasan 8,8 meter kemudian akan dikonversi menjadi energy listrik

Proses :

Aliran air dengan kecepatan 220,5 m/s akan memutar turbin screw tersebut dengan luas penampang dalam dengan ukuran 84cm, panjang lintasan 8,8 meter, debit air 0,488 m³/detik dan luas penampang turbin Ø12,7 cm

Kemudian turbin akan dihubungkan ke generator dc menggunakan V-belt untuk menghasilkan listrik , kemudian tegangan yang dihasilkan generator akan dikontrol melalui charger control, inverter untuk

merubah tegangan searah menjadi bolak-balik (DC to AC)

Output:

Battery menerima dan menyimpan tegangan yang dihasilkan oleh alat tersebut untuk dikeluarkan ke beban dengan daya yang akan dihasilkan ± 100 watt.

Proses:

Aliran air dengan kecepatan 220,5 m/s akan memutar turbin screw tersebut dengan luas penampang dalam dengan ukuran 84cm, panjang lintasan 8,8 meter, debit air 0,488 m³/detik dan luas penampang turbin $\varnothing 12,7$ cm

Kemudian turbin akan dihubungkan ke generator dc menggunakan V-belt untuk menghasilkan listrik, kemudian tegangan yang dihasilkan generator akan dikontrol melalui charger control, inverter untuk merubah tegangan searah menjadi bolak-balik (DC to AC)

Battery menerima dan menyimpan tegangan yang dihasilkan oleh alat tersebut untuk dikeluarkan ke beban dengan daya yang akan dihasilkan ± 100 watt.

3.2 Spesifikasi Aliran Air

Dengan perhitungan awal waktu pengukuran air maka didapatkan :

$$\text{Trata-rata} = (\sum \text{waktu})/N = 8,06/2 = 6,03 \text{ s}$$

Debit air :

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot V \\ &= 0,122 \times 4 \\ &= 0,488 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Perhitungan luas penampang

$$\begin{aligned} A &= L_{\text{rata-rata}} \times H_{\text{rata-rata}} \\ &= 0,61 \times 0,2 \\ &= 0,122 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan air :

$$\begin{aligned} V &= P / (\text{Trata-rata}) \\ &= 882/4 = 220,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Perhitungan jarak sudu dengan luas penampang
Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Diameter ulir } (\varnothing_u) &= 6'' \\ &= 15,2 \text{ cm} = 152 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter AS turbin } (\varnothing_{at}) &= 3'' \\ &= 7,6 \text{ cm} = 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$(\varnothing_u - \varnothing_{at})/2$$

$$\text{Jawab: } (152-76)/2 = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$$

Jadi jarak antara sudu dengan luas penampang adalah 3,8 cm.

3.3 Perancangan Debit Kecepatan RPM Pada Turbin

Pada debit air 0,448 m³ didapat putaran poros sebesar 550 rpm, dengan rpm dan debit sebesar tersebut maka dapat menghasilkan daya sebesar sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= n \times p \times g \times H \times Q \\ &= 0,25 \times 1000 \times 9,81 \times 0,2 \times 0,488 \\ &= 239 \text{ watt} \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan Daya Turbin

Untuk perhitungan daya turbin, kami mendapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{NT} &: \text{Daya turbin} \\ \text{Ng} &: \text{Daya generator} = 750 \text{ w} = 0,75 \text{ kw} \\ \text{ng} &: \text{Efisiensi generator} = 0,9 \\ \text{ntr} &: \text{Efisiensi transmisi generator} = 0,95 \\ \text{NT} &= \text{Ng}/(\text{ng} \times \text{ntr}) \\ \text{NT} &= 750/(0,9 \times 0,95) \\ \text{NT} &= 750/0,855 \\ &= 0,877 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Sehingga daya yang dihasilkan turbin adalah 0,877 Hp

3.5 Kecepatan Sudu Turbin

Untuk perhitungan kecepatan sudu ulir, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} w &= 2\pi n/60 \\ &= (2 \times 3,14 \times 11)/60 \\ &= 1,15 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Metode Pengujian

Pengujian pada alat ini dilakukan setelah semua peralatan yang diperlukan telah selesai dikerjakan sesuai perencanaan dan blok diagram yang telah kami tentukan di awal. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan sebagai pembandingan apakah alat yang telah dikerjakan sesuai dengan perencanaan awal dan bisa dijadikan sebagai evaluasi pada setiap rangkaian lalu kemudian diperoleh hasil kinerja yang sesuai dengan yang diharapkan. Jikalau dalam pengujian masih mendapatkan hasil yang tidak sesuai yang diharapkan maka dilakukan perbaikan terhadap rangkaian atau komponen yang mengalami kekeliruan

4.2 Pengujian Kecepatan Turbin Ulir

Uji coba kecepatan turbin ulir diaplikasikan di saluran air desa sendi Kabupaten Mojokerto. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan maksimal putaran RPM dan debit air yang bisa diperoleh dilokasi tersebut. Untuk mendapatkan data real yang bisa dihasilkan serta menggunakan alat avometer digital dan taco meter adapun hasil pengujiannya adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian turbin air

Debit air Q	Kecepatan Putar RPM	Kondisi Cuaca
0,375	300	Cerah
0,488	550	Hujan

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk menghasilkan RPM sebesar 300 untuk debit sebesar 0,375 m³/detik , sedangkan untuk menghasilkan RPM sebesar 500 dibutuhkan debit sebesar 0,488 m³/detik

4.3 Pengujian kecepatan putar terhadap tegangan yang dihasilkan

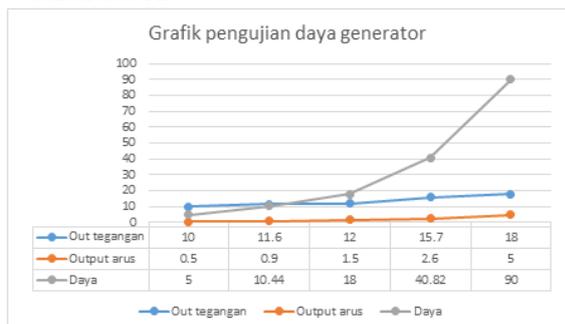
Untuk pengujian kecepatan RPM terhadap yang dihasilkan, kami mendapatkan hasil RPM terendah 300 RPM dapat menghasilkan tegangan sebesar 10 V, sedangkan untuk RPM tertinggi 550 RPM dapat menghasilkan 18 v.

4.4 Pengujian tegangan generator untuk supply charger control

Untuk pengujian tegangan generator mengisi charger control kami mendapatkan hasil terendah 11,5 V dan 13,6 V yang dihasilkan oleh generator, tegangan yang dihasilkan oleh generator untuk supply charger control sebesar 18 V untuk Vin dan untuk tegangan Vout dari tegangan generator ke charger control sebesar 13,8 V

4.5 Pengujian Daya Generator

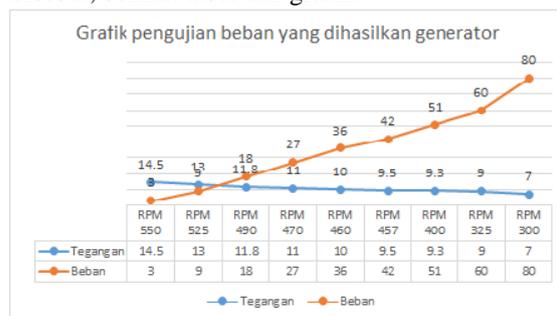
Pengujian daya listrik yang dihasilkan oleh generator DC Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) tipe turbin Screw di desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto dilakukan untuk mengetahui daya listrik yang dapat dihasilkan pada generator DC. Pengukuran dapat menggunakan perhitungan rumus daya listrik $P = V \times I \times \cos$, maka hasil dari daya generator sebesar 90 watt untuk daya maksimal yang dihasilkan dengan tegangan 18 V dan arus 5 A.



Gambar 4. Pengujian daya generator

4.6 Pengujian beban yang dihasilkan generator

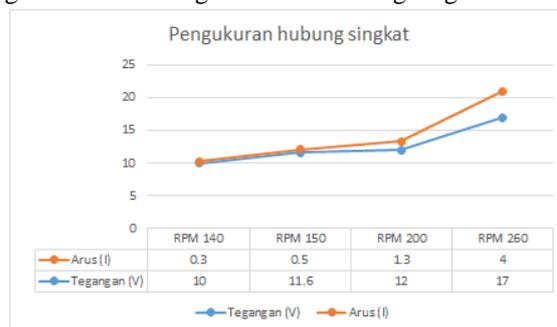
Pengukuran ini berfungsi untuk mengetahui jumlah beban yang dihasilkan oleh generator, dari tabel dan grafik dibawah maka dapat di simpulkan bahwa setiap beban yang digunakan akan mempengaruhi tegangan dan rpm dari generator tersebut, berikut tabel dan grafik.



Gambar 5. Pengujian beban

4.7 Pengukuran Hubung singkat

Pengukuran ini berfungsi untuk mengetahui jumlah arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator DC dengan metode hubung singkat :

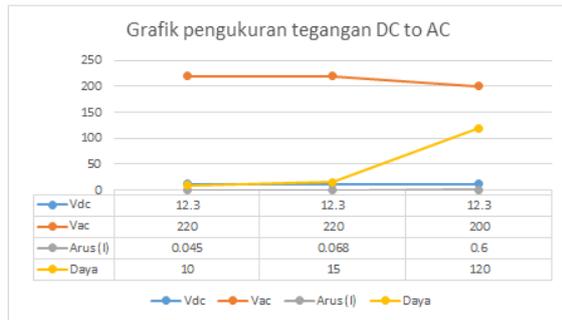


Gambar 6. Pengukuran hubung singkat

Dapat dilihat dari grafik diatas, untuk kecepatan RPM terendah mendapatkan tegangan, arus sebesar 10 V dan 0,3 A dengan tegangan , arus sebesar tersebut akan menghasilkan daya 3watt, sedangkan untuk kecepatan RPM 260 mendapatkan tegangan, arus sebesar 17 V dan 4 A dengan tegangan, arus sebesar tersebut akan menghasilkan daya 68 watt.

4.8 Pengukuran tegangan DC to AC melalui inverter

Pengukuran ini untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan dari battery/accu, tegangan DC akan dirubah menjadi tegangan AC, dan berapa daya yang dihasilkan dari inverter tersebut. Berikut tabel hasil dari pengukuran tersebut:



Gambar 7. Pengukuran tegangan DC ke AC

Dari grafik diatas maka hasil untuk pengukuran tegangan DC to AC akan mendapatkan tegangan AC sebesar 220 Vac , 0,045 A, dan beban sebesar 10 watt. Sedangkan untuk beban 120 watt mendapatkan tegangan AC sebesar 200 Vac, dan arus sebesar 0,6 A. Perlu diketrahui untuk merubah tegangan DC to AC dibutuhkan tegangan yang konstan sebesar 12 x 110%.

4.9 Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) tipe turbin Screw di desa Sendi, Pacet, Kabupaten Mojokerto, maka dapat disimpulkan bahwa Sistem mekanik dan pergerakan turbin dapat menghasilkan energi listrik. Turbin mampu menghasilkan putaran maksimal 550 RPM dan rata-rata 400 RPM dalam keadaan tidak hujan. Kecepatan putar maksimal 550 RPM menghasilkan tegangan 18 V. Tegangan generator untuk supply PWM sebesar 18 V untuk tegangan masuk dan 13,6 V untuk supply charger control. Daya generator mendapatkan tegangan 18 V, dan arus 5 A.

4.9.1 Saran

Terdapat beberapa kekurangan yang dapat ditambahkan dalam proses penyempurnaan alat yang ada, dan yang dapat ditambahkan yaitu pengukuran panjang dan luas penampang bias lebih dimaksimalkan lagi dimensinya. Pengembangan sistem mekanik dengan memperbanyak ulir yang lebih besar agar mempercepat putaran yang dihasilkan. Dapat menambahkan beberapa jenis bahan atau material, hasil pengukuran dapat pula ditampilkan dalam bentuk digital display.

5. PUSTAKA

- [1] S. Sukamta and A. Kusmantoro, 'Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur', vol. 5, no. 2, p. 6, 2013.
- [2] M. A. Usova and V. I. Velkin, 'Possibility to use renewable energy sources for increasing the reliability of the responsible energy consumers

- on the enterprise', in *2018 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED)*, Mar. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/ACED.2018.8341682.
- [3] P. Molotov, A. Vaskov, and M. Tyagunov, 'Modeling Processes in Microgrids with Renewable Energy Sources', in *2018 International Ural Conference on Green Energy (UralCon)*, Oct. 2018, pp. 203–208. doi: 10.1109/URALCON.2018.8544313.
- [4] E. Irmak, M. S. Ayaz, S. G. Gok, and A. B. Sahin, 'A survey on public awareness towards renewable energy in Turkey', in *2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, Oct. 2014, pp. 932–937. doi: 10.1109/ICRERA.2014.7016523.
- [5] I. Jawad Hashim, 'A New Renewable Energy Index', in *2021 6th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA)*, Feb. 2021, pp. 229–232. doi: 10.1109/ICREGA50506.2021.9388297.
- [6] M. Nasrulloh and I. Y. I. Nakhoda, 'Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir Putaran Rendah', p. 11, 2019.
- [7] D. S. Edirisinghe, K.-B. Ha, S. D. G. S. P. Gunawardane, J.-M. Paik, M.-S. Kim, and Y.-H. Lee, 'Computational Flow Analysis on 45degrees inclined, Real-scale Archimedes Screw Turbine', in *2020 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)*, Dec. 2020, pp. 1–1. doi: 10.1109/CSDE50874.2020.9411567.
- [8] T. Saroinsong, A. Thomas, and A. N. Mekel, 'Performance Of Three-Bladed Archimedes Screw Turbine Using Response Surface Methodology', in *2018 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*, Oct. 2018, pp. 636–640. doi: 10.1109/iCAST1.2018.8751600.
- [9] R. Morales, R. Ordonez, M. A. Morales, and V. Flores, 'Control System Design and Simulation of an AC/DC - DC/DC - DC/AC Power Converter for a Permanent Magnet Wind Power Generator in Rural Power Generation', in *2009 International Conference on Electrical, Communications, and Computers*, Feb. 2009, pp. 79–83. doi: 10.1109/CONIELECOMP.2009.59.
- [10] C.-C. Hua and C.-C. Tu, 'Design and implementation of power converters for wind generator', in *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, May 2009, pp. 3372–3377. doi: 10.1109/ICIEA.2009.5138828.
- [11] W. Li, C. Xiao-qing, Z. Zhuo-ran, and Y. Yang-guang, 'Application of Load Current Forward

Compensating in Digital Voltage Regulation for Doubly Salient Brushless DC Generator', in *2005 International Conference on Power Electronics and Drives Systems*, Nov. 2005, vol. 2, pp. 1480–1484. doi: 10.1109/PEDS.2005.1619922.