

Penurunan Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Mikrohidro

Mahfudz Shidiq

Abstrak— Check Dam V Kali Jari dibangun di desa Gadungan, Kecamatan Gandusari, Kabupaten Blitar. Fungsi utama bangunan ini adalah sebagai pengendali sedimen, namun untuk mengoptimalkan manfaat bangunan, pada Check Dam V Kali Jari telah dilengkapi sarana irigasi dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) dengan kapasitas sebesar 15 kVA. Karena jarak yang cukup jauh antara pembangkit dengan Dusun Jari sebagai pengguna listrik, ujung saluran distribusi mengalami jatuh tegangan cukup tinggi, sehingga tegangan yang diterima oleh konsumen di bawah tegangan yang ditetapkan dan tingginya rugi daya. Analisis perbaikan kualitas PLTM dilakukan dengan menyeimbangkan beban di setiap fasa dan penggunaan tegangan lebih tinggi di sisi generator. Penggunaan generator 760 volt/15 kVA dapat menurunkan jatuh tegangan dan mengurangi rugi daya dari semula 949,35 watt/fasa menjadi 194,16 watt/fasa.

Kata Kunci—rugi daya, jatuh tegangan, PLTM.

I. LATAR BELAKANG

CHECK DAM V Kali Jari dibangun di desa Gadungan, Kecamatan Gandusari, Kabupaten Blitar. Fungsi utama bangunan ini adalah sebagai pengendali sedimen, namun untuk mengoptimalkan manfaat bangunan, pada Check Dam V Kali Jari telah dilengkapi sarana irigasi yang dapat mengairi sawah seluas 50 ha dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) dengan kapasitas keluaran sebesar 15 kVA. PLTM digunakan untuk melayani kebutuhan energi listrik Dusun Jari. Penyaluran daya dari pembangkit ke Dusun Jari menggunakan jaringan tegangan rendah. Bentuk jaringan distribusi menggunakan sistem distribusi radial.

Energi listrik di pedesaan pada umumnya digunakan untuk penerangan. Pada saat ini beban listrik yang digunakan di Dusun Jari telah berkembang tetapi penambahan daya pada tiap fasa tidak merata sehingga kondisi beban tersebut menyebabkan ketidakseimbangan di setiap fasa.

Karena jarak yang cukup jauh antara pembangkit dengan Dusun Jari, ujung saluran distribusi mengalami jatuh tegangan cukup tinggi, sehingga tegangan yang diterima oleh konsumen di bawah tegangan yang

ditetapkan.

Dalam makalah ini dibahas upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas listrik PLTM Kali Jari Kabupaten Blitar, yaitu mengatur kembali pembebanan setiap fasa untuk mendapatkan kondisi operasi seimbang dan menaikkan tegangan kerja. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi rugi daya nyata pada saluran serta kemungkinan penggunaan transformator tiga fasa yang ditempatkan di ujung saluran sebelum mencapai beban pertama.

II. ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM RADIAL MENGGUNAKAN METODE GAUSS SEIDEL Z_{BUS}

Dalam bentuk impedansi, persamaan sistem jaringan tenaga listrik dapat dinyatakan sebagai,

$$E_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (2.1)$$

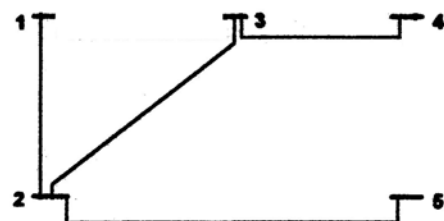
Penyelesaian aliran daya dimulai dengan pembentukan matrik jaringan Z_{bus} . Matrik Z_{bus} untuk jaringan radial dapat disusun dengan menggunakan persamaan,

$$Z_{bus} = K z K' \quad (2.2)$$

dengan K adalah invers matrik topologi jaringan. Elemen-elemen matrik K dapat diperoleh dengan menggunakan ketentuan-ketentuan berikut:

- node referensi dianggap sebagai satu-satunya node sumber.
- baris menyatakan node, dan kolom menyatakan elemen.
- $k_{ij} = -1$, jika arus yang sampai di node i melewati elemen j .
- $k_{ij} = 0$, jika arus yang sampai di node i tidak melewati node j .

z adalah matrik diagonal dimana elemen-elemennya adalah impedansi saluran.



Gambar 1: Jaringan Radial

Mahfudz Shidiq adalah dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang, Indonesia (korespondensi dapat melalui telepon/fax +62-341-554166; email: mahfudz@ub.ac.id).

Misalkan node 1 dalam gambar 1 dipilih sebagai acuan, maka matrik K adalah

$$K = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Jika salah satu bus (node) bukan node tanah dipakai sebagai acuan, maka E_{bus} adalah sebuah vektor kolom dimana elemen-elemennya adalah selisih tegangan antara sebuah bus dengan bus acuan. Jika tegangan bus acuan adalah E_r , maka tegangan bus p adalah

$$E_p = E_r + \sum_{q=1, q \neq r}^n Z_{pq} I_q \quad p = 1, 2, \dots, n \neq r \quad (2.2)$$

dengan,

$$I_q = \frac{P_q - jQ_q}{E_q^*} \quad (2.3)$$

Langkah-langkah penyelesaian aliran daya dengan menggunakan metode Gauss-Seidel Z_{bus} adalah sebagai berikut:

1. Memberikan nilai perkiraan awal bagi tegangan-tegangan bus.
2. Menghitung arus-arus bus dengan menggunakan persamaan (2.3).
3. Menghitung tegangan-tegangan bus dengan menggunakan persamaan (2.2).
4. Menghitung selisih tegangan yang baru saja diperoleh pada langkah 3), dengan tegangan yang dipakai untuk menghitung arus pada langkah 2), dengan menggunakan persamaan

$$\Delta E_p^k = E_p^{k+1} - E_p^k \quad (2.4)$$

5. Jika nilai mutlak ΔE_p^k lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan, lanjutkan ke langkah 5), tetapi jika tidak, kembali ke langkah 2)
6. Tegangan-tegangan bus adalah E_p^{k+1}
7. Selesai.

Setelah proses iterasi untuk mengetahui tegangan setiap bus selesai, daya yang mengalir pada setiap saluran dapat dihitung. Arus yang mengalir dari bus p ke bus q adalah

$$i_{pq} = (E_p - E_q) y_{pq} \quad (2.5)$$

dimana,

y_{pq} adalah admitansi saluran yang menghubungkan bus p dengan bus q.

Daya yang mengalir dari bus p ke bus q adalah

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* i_{pq}$$

atau

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* (E_p - E_q) y_{pq} \quad (2.6)$$

sedangkan daya yang mengalir dari bus q ke bus p adalah

$$P_{qp} - jQ_{qp} = E_q^* (E_q - E_p) y_{pq} \quad (2.7)$$

Rugi-rugi daya saluran p-q merupakan jumlah aljabar dari persamaan (2.6) dan persamaan (2.7).

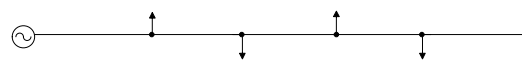
III. SISTEM JARINGAN LISTRIK PLTM

PLTM Kalijari melayani kebutuhan energi listrik Dusun Jari. Penyaluran daya dari pembangkit ke Dusun Jari menggunakan jaringan tegangan rendah. Jaringan tegangan rendah ini merupakan jaringan distribusi tipe radial, yang merupakan sistem jaringan yang paling sederhana dan paling murah. Jaringan radial ini mengalirkan daya dalam satu arah dan jika ada saluran yang mengalami gangguan maka semua beban yang terhubung pada saluran tersebut akan mengalami pemadaman. Oleh sebab itu, jaringan radial ini memiliki tingkat keandalan yang rendah. Sistem jaringan tegangan rendah ini merupakan saluran udara yang menggunakan tegangan 220/380 V, 3 fasa - 4 kawat. Kawat penghantar yang digunakan adalah kawat pilin berisolasi PVC atau *twisted cable* (TC) dengan penghantar aluminium AAC (*All-Aluminium Conductor*). Panjang total penghantar untuk jaringan tegangan rendah adalah 1815 m dengan luas penampang kabel 16 mm. Data teknis kawat penghantar tersebut diberikan dalam tabel 1.

Beban listrik yang pada awal pengoperasian hanya berupa beban penerangan dengan daya masing-masing pelanggan 50 VA, kini berkembang ke pemakaian non penerangan seperti televisi, radio, peralatan rumah tangga, dll sehingga daya sebesar itu tidak dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Dusun Jari. Diagram satu garis sistem PLTM Kalijari diberikan dalam gambar 2 sedangkan kondisi pembebanan diberikan dalam tabel 2. Dalam tabel itu terlihat bahwa sistem PLTM Kalijari beroperasi dalam kondisi tidak seimbang.

TABEL 1
SPESIFIKASI KAWAT PENGHANTAR 2

| | |
|------------------|-------------------------------|
| Jenis Penghantar | Twisted Cable 4 x 25 mm |
| Tegangan | 0,6 / 1 kV |
| Bahan | Aluminium dengan isolator PVC |
| Resistansi | 1,09 Ω/km |
| KHA | 58 A |



Gambar 2: Diagram satu garis sistem PLTM Kalijari

IV. KESEIMBANGAN BEBAN

Salah satu metode untuk mengurangi rugi-rugi daya adalah mengusahakan sistem PLTM beroperasi dalam kondisi seimbang, yaitu mengelompokkan kembali beban-beban pada kelompok fasa yang tepat dan setiap fasa menanggung beban hampir sama. Hasil

pengelompokkan daya setiap fasa diberikan dalam Tabel 3. Beban satu fasa di setiap titik adalah nilai rata-rata dari ketiga fasanya.

TABEL 2:
DAYA BEBAN TIAP FASA

| Titik | Daya beban tiap fasa (VA) | | |
|-------|---------------------------|---------|---------|
| | Fasa | | |
| | R | S | T |
| A | 0 | 352,54 | 0 |
| B | 1502,37 | 1510,96 | 2016,05 |
| C | 281,92 | 374,725 | 745,49 |
| D | 2962,77 | 0 | 0 |
| E | 0 | 1077,77 | 1916,57 |

TABEL 3
DAYA BEBAN TIAP FASA SETELAH DISETIMBANGKAN

| Titik | Daya beban tiap fasa (VA) | | | Rata-rata (VA) |
|-------|---------------------------|---------|---------|----------------|
| | Fasa | | | |
| | R | S | T | |
| A | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 1799,56 | 1710,79 | 1788,93 | 1766,43 |
| C | 502,69 | 456,93 | 505,13 | 488,25 |
| D | 1076,93 | 963,40 | 923,89 | 988,07 |
| E | 970,02 | 1077,77 | 946,65 | 998,14 |

V. JATUH TEGANGAN DAN RUGI DAYA

Jatuh tegangan dan rugi daya dapat diketahui dengan melakukan analisis aliran daya. Dalam data teknis (tabel 1) disebutkan bahwa resistansi penghantar adalah 1,09 Ω /km, oleh karena itu resistansi total setiap sub penghantar adalah 1,09 kali panjang sub penghantar masing-masing (dalam km). Karena di titik A dipindahkan ke titik lain, maka titik ini dapat dihilangkan dan hasil perhitungan resistansi saluran diberikan dalam tabel 4. Beban satu fasa di setiap titik diasumsikan sebagai nilai rata-rata dari jumlah daya ketiga fasanya. Dengan analisis aliran daya, diketahui tegangan di setiap titik, yaitu $E_B = 186,17$ volt, $E_C = 185,47$ volt, $E_D = 184,81$ volt, dan $E_E = 184,53$ volt sedangkan daya yang mengalir di setiap saluran dan total rugi-rugi daya disajikan dalam tabel 5. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa sistem PLTM Kalijari beroperasi dalam kondisi kurang baik.

TABEL 4
DATA RESISTANSI PENGHANTAR

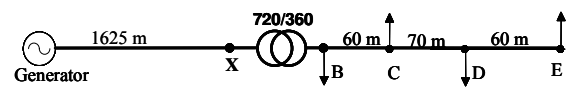
| Sub Penghantar | Panjang (m) | Resistansi/fasa (Ω) |
|----------------|-------------|------------------------------|
| Gen - A | 1575 | 1,71675 |
| A - B | 50 | 0,0545 |
| B - C | 60 | 0,0654 |
| C - D | 70 | 0,0763 |
| D - E | 60 | 0,0654 |

TABEL 5
KONDISI OPERASI PLTM KALIJARI

| Sub Penghantar | Jatuh Tegangan (volt) | Aliran Daya (VA) | Rugi Daya (Watt) |
|-----------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| Gen - B | 33.8294 | 5032.77 | 926.96 |
| B - C | 0.7026 | 2492.47 | 11.72 |
| C - D | 0.6575 | 1994.81 | 8.83 |
| D - E | 0.2831 | 1994.81 | 1.91 |
| Total Rugi Daya (Watt/fasa) | | | 949,35 |

VI. ANALISIS PENGGUNAAN GENERATOR 440/760 VOLT 15 kVA

Saat ini generator yang digunakan oleh PLTM Kalijari dapat dioperasikan pada tegangan 220/380 volt atau 440/760 volt. Jika generator dioperasikan pada tegangan 440/760 volt, maka diperlukan transformator 3 fasa yang mempunyai transformasi 760/380 volt yang diletakkan di sisi beban untuk memperoleh tegangan kerja 220/380 volt. Kedua generator dan transformator ini bekerja pada daya 15 kW. Diagram satu garis simulasi sistem ini diberikan dalam gambar 3.



Gambar 3: Simulasi penerapan generator 440/720 volt.

Dengan analisis aliran daya, dapat diketahui tegangan di setiap titik, yaitu $E_X = 425,68$ volt, $E_B = 212,84$ volt, $E_C = 212,23$ volt, $E_D = 211,66$ volt, dan $E_E = 211,41$ volt. Hasil perhitungan daya yang mengalir di setiap saluran dan total rugi-rugi daya disajikan dalam bentuk tabel 6.

TABEL 6
HASIL SIMULASI PENGGUNAAN GENERATOR 440/760 VOLT

| Sub Penghantar | Jatuh Tegangan (volt) | Aliran Daya (VA) | Rugi Daya (Watt) |
|-----------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| Gen - X | 17,70 | 4397,68 | 177 |
| B - C | 0,76 | 2488,20 | 8,9 |
| C - D | 0,71 | 1992,79 | 6,8 |
| D - E | 0,31 | 999,30 | 1,46 |
| Total Rugi Daya (Watt/fasa) | | | 194,16 |

VII. PENUTUP

Kajian tentang penurunan jatuh tegangan dan rugi daya pada sistem tenaga listrik mikrohidro Check Dan V Kalijari Kecamatan Gandusari Kabupaten Blitar ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

Rugi daya sebesar 926.96 watt/fasa atau 97,64 % dari total rugi daya terjadi pada penghantar antara generator sampai titik beban pertama. Hal ini disebabkan karena panjang penghantar ini mencapai 1575 m.

Penggunaan generator 760 volt/15 kVA dapat menurunkan rugi-rugi daya sampai menjadi 194,16 watt/fasa.

Penggunaan generator 440/760 volt menghasilkan tegangan di semua titik beban memenuhi standar yang

ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 1987. "Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 72 : 1987". Jakarta: PT PLN (Persero)
- [2] Anonim. Tanpa tahun. "Yamanaka, Electric Wires and Cables Mfg". Surabaya: PT Sinar Merbabu
- [3] Gonen, Turan. 1987. "Electric Power Distribution System Engineering". Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- [4] Grainger, Stevenson, 1994, Power System Analysis, McGraw-Hill Series In Electrical and Computer Engineering.
- [5] Hutaaruk, T. S. 1986. "Transmisi Daya Listrik". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] Kadir, Abdul. 1984. "Pengantar Teknik Tenaga Listrik". Jakarta: LP3ES.
- [7] Pabla, AS. 1986. "Sistem Distribusi Daya Listrik". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [8] Pai. MA, 1979, Computer Techniques In Power System Analysis, Tata McGraw-Hill Publishing Company.
- [9] Pansini, Anthony J. 1986. "Electrical Distribution Engineering". Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- [10] Stagg, El Abiad, 1977. "Computer Methods In Power System Analysis". McGraw-Hill International Book Company.
- [11] Uppal, S.L. 1981. "Electrical Power" New Delhi : Khanna Publishers.
- [12] Zuhail. 1991. "Dasar Tenaga Listrik. Bandung": Penerbit ITB.