

ANALISIS UNBALANCED LOAD FLOW PADA JARINGAN LISTRIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMh) DENGAN METODE INJEKSI ARUS (*CURRENT INJECTION*)

Maimun*, Fauzan, Radhiah

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280 P.O. Box 90 Buketrata, Lhokseumawe 24301
*Email: maimun.s210@gmail.com

Abstract

In this study the unbalanced load flow analysis with current injection method (current injection) is performed on the electrical grid amid lower that in the electricity grid micro hydro power (MHP) plant in order to determine the characteristics and efficiency of the electricity grid. The case studies carried out on the electrical grid Cokro Tulung Klaten district. MHP Cokro Tulung the MHP stand alone (stand alone) airport beben-load is inductive berupa AC electric motor 3 (three) phase that is used to pump water to the water-boom and loads such as lighting, also the burden of household appliances. Power flow studies in an unbalanced state or unbalanced load flow analysis with current injection method (current injection) is performed with the aid of a software program ETAP 7.0. Based on the results of the analysis result unbalanced load flow with the current injection method (current injection) has been done on the electrical grid MHP Cokro Tulung, it was found that the active power losses in total (ΔP) arising on the power grid MHP full load current of 268.442 W or 0.714% of the total power (37.58 kW). Voltage drop occurs in sktr amounted to 1.123 V or 0.295% of its nominal voltage (380 V). Voltage drop occurs in SUTR respectively 6.994 V or 3.179% of its nominal voltage (220 V). So the power loss (ΔP) and the voltage drop (ΔV) arising on the power grid MHP Cokro Tulung is still small, so the efficiency of the electricity network is still quite good.

Key words: *electric networks, MHP, unbalanced load flow, flow injection method*

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) merupakan pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan keluaran daya listrik kecil. Berdasarkan istilah bahasa mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Jadi mikrohidro adalah pembangkit listrik tenaga air berskala kecil. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun bisa dipastikan bahwa mikrohidro, akan menggunakan air sebagai sumber energinya. Yang membedakan antara istilah mikrohidro dengan minihidro adalah *output* daya yang dihasilkan. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 100 kW (Permen ESDM tahun 2002 berkapasitas < 1 MW), sedangkan untuk minihidro daya keluarannya berkisar antara 100 kW sampai 1 MW [1,2]

Pada prinsipnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik

yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu dialirkan menuju turbin yang terdapat pada rumah instalasi (*power house*). Dirumah instalasi air tersebut akan menumbuk susdu-sudu turbin, dimana turbin itu sendiri dipastikan akan menerima energi potensial air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Poros turbin yang berputar ditransmisikan/dikopel ke generator dengan menggunakan kopling. Kopling tersebut akan menghubungkan poros turbin dengan poros rotor dari generator [3,4]. Dengan berputarnya poros turbin maka akan ikut berputar poros generator sehingga akan menghasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban).

PLTMh Cokro Tulung merupakan PLTMh yang berdiri sendiri (*stand alone*) melayani beban-beban bersifat induktif berupa motor listrik AC 3 (tiga) fasa yang dipergunakan untuk memompa air ke *water-boom* dan beban-beban berupa lampu penerangan, juga beban peralatan rumah tangga. Untuk mengalirkan energi listrik ke beban-beban atau pelanggan maka dibangun jaringan listrik tegangan rendah. Jaringan listrik PLTMh Cokro Tulung terdiri dari dua macam yaitu:

1. SKTR adalah Saluran Kabel Tegangan Rendah yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit (generator induksi) ke beban-beban berupa motor-motor induksi 3 (tiga) fasa.
2. SUTR adalah Saluran Udara Tegangan Rendah yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit (generator induksi) ke beban-beban berupa lampu penerangan dan beban peralatan rumah tangga.

Jaringan listrik yang sudah lama dioperasikan perlu dilakukan evaluasi agar efisiensi jaringan listrik tersebut dapat terjaga sehingga kontinuitas pelayanan terhadap konsumen atau beban semakin baik. Cara evaluasi yang dilakukan adalah dengan melakukan studi aliran daya pada jaringan listrik tersebut. Salah satu studi aliran daya yang dipergunakan adalah studi aliran daya dalam keadaan tak-seimbang (fasa tak-seimbang) dengan melakukan analisis *unbalanced load flow* dengan metode injeksi arus (*current injection*).

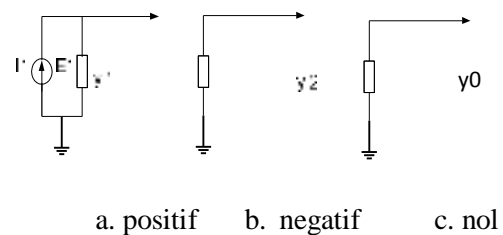
Tujuan penulisan ini adalah untuk analisis *unbalanced load flow* pada jaringan listrik pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan metode injeksi arus (*current injection*) pada PLTMh Cokro Tulung

Unbalanced Load Flow Analysis

Suatu sistem tenaga listrik tiga fase, pusat pembangkitan, saluran transmisi, dan saluran distribusi telah dirancang agar seimbang. Standar kualitas besar perubahan tegangan yang diperbolehkan biasanya berkisar antara -10 % sampai +5 %, toleransi rugi daya yang diperbolehkan pada saluran transmisi sistem Sumatera utara sebesar 3 % dan untuk distribusi 10 %. Standar ini mengikuti rekomendasi dari IEC (*International Electrical Commission*) [4],[5].

Model Generator

Model matematis yang digunakan pada sebagian besar metode aliran daya, berbentuk referensi fasa *a-b-c*. ini disebabkan karena induktansi timbalbalik (*mutual inductance*) antara fasa-fasa yang berbeda-beda pada saluran transmisi tak simetris dan tidak sama antara fasa satu dengan fasa yang lain. Konsekwensinya model saluran transmisi tak simetris yang dibentuk dalam referensi urutan posisi-negatif nol tidak dapat diuraikan menjadi model urutan “positif, negatif, dan nol, secara terpisah [5,6]. Berikut ini diperlihatkan model matematis dari elemen sistem tenaga (Gambar 1)



Gambar 1 Model generator dalam bentuk urutan

Studi Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus

Studi aliran daya dengan metode *Newton-Raphson* biasanya digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sistem transmisi. Sedangkan metode injeksi arus merupakan pengembangan dari metode *Newton-Raphson* yang digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sistem distribusi. Metode Injeksi Arus mempunyai struktur matriks *Jacobian* yang mirip dengan matriks admitansi bus dimana elemen diagonal matriks tersebut diperbaharui pada setiap iterasi dan elemen matriks bukan diagonalnya konstan pada setiap iterasi. Dengan adanya matriks bukan diagonal yang konstan membuat metode injeksi arus iterasinya lebih cepat konvergen dibandingkan dengan metode *Newton-Raphson*.

Adapun Matriks *Jacobian* pada metode injeksi arus ini digunakan untuk menghitung besarnya arus injeksi dan rugi-rugi arus yang nantinya digunakan untuk menghitung besarnya daya aktif dan reaktif pada masing-masing bus beserta rugi-ruginya dan juga nantinya digunakan untuk menghitung tegangan pada setiap bus. Jika belum konvergen, maka tegangan hasil perhitungan sebelumnya digunakan kembali untuk menghitung matriks *Jacobian*, arus injeksi, daya aktif maupun reaktif dan rugi-rugi sampai konvergen [7].

Prinsip kerja dari metode injeksi arus adalah dengan cara menginjeksi arus pada masing-masing bus yang bertujuan untuk memperkecil rugi-rugi daya pada saluran distribusi.

Fitur yang terpenting pada persamaan Arus Injeksi adalah sebagian besar dari blok matriks *Jacobian* (2 x 2) tidak ada perubahan selama proses iterasi. Diagonal blok matrik (2 x 2), mempunyai spesifik beban selain dari beban impedansi, harus diperbarui (*update*) pada setiap iterasi.

METODE

Penelitian ini merupakan suatu studi kasus pada jaringan listrik Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) Cokro Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. PLTMh Cokro Tulung adalah suatu PLTMh yang mandiri (*stand olone*). Energi listrik yang dihasilkan dipergunakan untuk keperluan beban-beban *water boom* berupa motor-motor listrik (motor pompa air) dan beban-beban rumah tangga seperti lampu penerangan, kulkas, TV, seterika, penanak nasi dan lain sebagainya. Data-data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah:

- a. Data generator yang diambil dari data *nameplate* generator seperti pada tabel 1.:

Tabel 1. Data-dat generator induksi PLTMh

No	Uraian	Data	Satuan	Ket.
1.	Daya Maksimum	30	KiloWatt	-
2.	Tegangan	220; 380	Volt	Delta; Star
3.	Arus	113,4; 65,65	Ampere	Delta; Star
4.	Putaran	1425	RPM	-
5.	Frekuensi	50	Hertz	
6.	Kutup	4	Buah	-
7.	Faktor Daya	87	Persen	-
8.	Efisiensi (motor)	94,5	Persen	
9.	Efisiensi (generator)	79,8*	Persen	
10.	Frame Size	200 LC		

- b. Data-data penghantar untuk jaringan listrik PLTMh (Tabel 2)

Tabel 2. Data Jaringan Listrik PLTMh

No	Dari Bus	Ke Bus	L (m)	Jenis Penghantar dan luas penampang (mm ²)	Sirkuit
1.	Generator	Utama	15	NFA2X 4 x 35 mm ² /rm	1
2.	Utama	Panel Motor Pompa	8	NY Y 4 x 6 mm ² /re	2
3.	Utama	Panel Motor Pompa	8	NY Y 3 x 6 mm ² /re	2
4.	Utama	Panel Motor Pompa	12	NY Y 3 x 6 mm ² /re	1

Nilai resistansi, reaktansi induktif, KHA dan arus hubungan singkat selama 1 detik untuk masing-masing jenis penghantar yang digunakan pada jaringan listrik PLTMh seperti terlihat di Tabel 3.

Tabel 3. Nilai resistansi, reaktansi induktif, KHA dan arus hubungan singkat penghantar

No	Jenis Penghantar	R (ohm/km)	X _L (Ohm/km)	KHA		I _{sc} t=1 det (kA)
				Dalam Tanah (30°C)	Di Udara (35°C)	
1.	NY Y 4 x 6 re	3,08	0,101	52	44	0,7
2.	NY Y 3 x 6 re	3,08	0,094	32	25	0,29
3.	NFA2X 35 rm	0,868	0,001	-	125	2,3
4.	NFA2X 16 rm	1,91	0,001	-	72	1,86

- c. Data-data motor induksi tiga-fasa sebagai beban PLTMh seperti terlihat di Tabel 4

Tabel 4. Data *nameplate* motor induksi 3 fasa

No	Unit Motor Induksi	Tipe	P (kW)	I (A)	V _t (Volt)	f (Hz)
1.	Mtr 1-Mtr 4	SSg-112M-4	4	15/8,71	220/380	50
2.	Mtr 5-Mtr 8	Frame size 80	0,75	3,44/1,99	220/380	50
3.	Mtr 9-Mtr12	Sh-80-4B	0,75	3,5/2	220/380	50
4.	Mtr13-Mtr15	Sh-90L-4	1,5	6,1/3,7	220/380	50

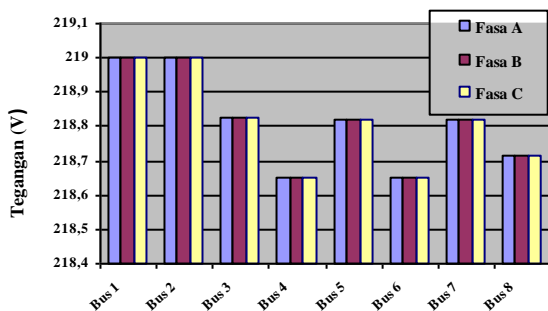
Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat *unbalanced load flow study* pada jaringan listrik tegangan rendah PLTMh dengan bantuan program software ETAP 7.0. Sebelum simulasi dilakukan maka pada halaman kerja ETAP 7.0 dibuat gambar jaringan listrik PLTMh. Jaringan listrik PLTMh tersebut berbentuk radial berupa Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR). SKTR digunakan untuk menyuplai beban-beban bersifat induktif berupa motor-motor induksi tiga fasa dan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan Studi Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus menggunakan program ETAP 7.0, maka terdapat data-data hasil simulasi SKTR.

Berdasarkan data-data SKTR kemudian diringkas atau dirangkum maka dapat diketahui bahwa rugi-rugi daya total (ΔP_t) yang timbul pada SKTR adalah 220,493 W atau 0,59 % dari total daya keseluruhan (37,58 kW) (kondisi standar). Drop tegangan (ΔV) yang lebih besar timbul pada penghantar 1, sebagai penghantar utama SKTR, nilai drop tegangan (ΔV) yang timbul pada penghantar tersebut sebesar 1,123 V atau 0,3 % dari tegangan nominalnya (380 V). Rugi-rugi daya total (ΔP_t) yang timbul pada SUTR masing-masing sebesar 47,95 Watt atau 0,127 % dari total seluruh daya (37,58 kW) yang mengalir pada jaringan listrik PLTMh Cokro Tulung (kondisi standar). Drop tegangan total (ΔV_t) yang timbul pada SUTR masing-masing sebesar 6,994 V atau 3,193 % dari tegangan nominalnya (220 V) (kondisi standar).

Profil tegangan adalah besar tegangan yang timbul pada masing-masing bus atau tiang nilainya tergantung pada besarnya beban yang tersambung dengan bus dan tiang tersebut. Profil tegangan pada masing-masing bus SKTR 3 (tiga) fasa dapat dilihat pada Gambar 2.

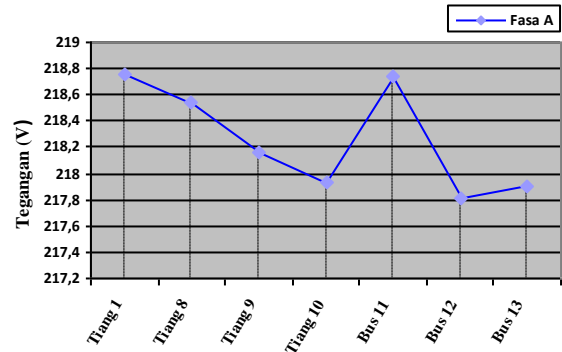


Gambar 2. Grafik profil tegangan pada tiap bus sistem 3 fasa

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa jatuh tegangan paling besar terjadi pada bus 4 dan bus 6 hal ini disebabkan bus 4 dan bus 6 terhubung dengan beban-beban yang besar (motor 4 kW)

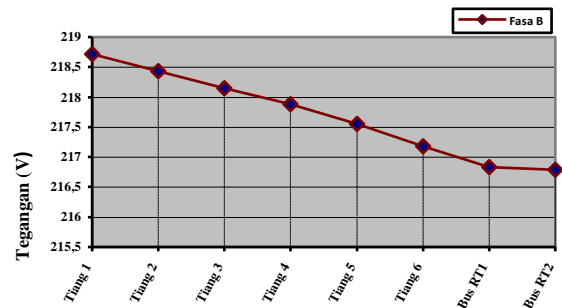
Profil tegangan pada tiap bus atau tiang pada SUTR dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Profil tegangan fasa A; Prpfil tegangan pada masing-masing bus atau tiang fasa A dapat dilihat pada Gambar 3.



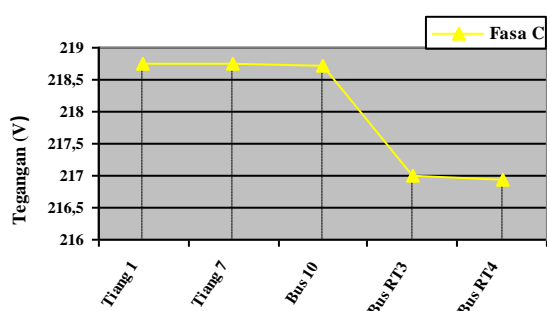
Gambar 3. Grafik profil tegangan pada tiap bus (tiang) fasa A

- b. Profil tegangan pada fasa B; Prpfil tegangan pada masing-masing bus atau tiang fasa B dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik profil tegangan pada tiap bus (tiang) fasa B

- c. Profil tegangan pada fasa C; Prpfil tegangan pada masing-masing bus atau tiang fasa C dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5.. Grafik profil tegangan pada tiap bus (tiang) fasa C

Dari gambar 3 terlihat bahwa pada fasa A tegangan kembali bertambah (naik) pada bus 11 hal ini disebabkan pada bus 11 hanya terdapat sedikit beban atau bebannya turun. Pada gambar 4 terlihat bahwa pada fasa B jatuh tegangannya tidak terlalu drastis, sedangkan pada gambar 5 terlihat bahwa pada fasa C jatuh tegangan drastis terutama pada bus RT3 (bus beban rumah tangga) dan bus RT4 dikarenakan bus RT3 dan RT4 terpasang beban-beban agak besar yaitu beban-beban rumah tangga.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut : Rugi-rugi daya aktif total (ΔP_T) yang timbul pada jaringan listrik PLTMh Cokro Tulung saat beban penuh sebesar 268,442 W atau 0,714 % dari daya total keseluruhan (37,58 kW). Drop tegangan yang timbul pada SKTR sebesar 1,123 Volt atau 0,295 % dari tegangan nominalnya (380 V). Drop tegangan yang timbul pada SUTR masing-masing sebesar 6,994 V atau 3,179 % dari tegangan nominalnya (220 V). Jadi rugi-rugi daya (ΔP) dan drop tegangan (ΔV) yang timbul pada jaringan listrik PLTMh Cokro Tulung masih kecil, sehingga efisiensi jaringan listrik tersebut masih cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manuaba IBG dan Amerta Yasa Kadek. 2009. Analisa Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus Pada Sistem Distribusi 20 kV. *Jurnal Teknologi Elektro Vol. 8, No. 1 Januari-Juli 2009*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana , Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361.
- [2] Da Costa, V.M, Martins, N, Pereira, J.L.R. 1999. Developments in the Newton-Raphson Power Flow Formulation Based on Current Injections. *IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 4*.
- [3] Garcia, P.A.N, Pereira, J.L.R, Caneiro, S.Jr, da Costa, V.M, Martins, N. 2000. Three-Phase Power Flow Calculations Using The Current Injection Method. *IEEE Transactions On Power System, vol. 15, No. 2*.
- [4] Yassir, 2009. Load Unbalanced Power System Analysis Untuk Saluran Transmisi, *Jurnal Litek Vol. 6, No. 2, September 2009*, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [5] Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. International Edition EPRI, McGraw-Hill., New York.
- [6] Yusri Hassan Mohammad. 2008. *Recent developments in three phase load flow analysis*, ISBN 978-983-52-0680-1, Fakulti Kejuruteraan Elektrik, Universiti Teknologi Malaysia (UTM).
- [7] Sudirham, Sudaryatno, 2012. *Analisa Sistem Tenaga*. Darpublic, Kanayakan D-30, Bandung, 40135.