

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian analisis teknis mikrohidro ini dilakukan di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung dan dilaksanakan pada Bulan Agustus 2011 sampai dengan Bulan Desember 2011. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi mikrohidro yang ditinjau dari sistem penyaluran dan beda tinggi reservoir terhadap mikrohidro yang ada di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung.

Penelitian ini terdiri dari pengamatan debit air sepanjang aliran pipa yang digunakan sebagai daya untuk membangkitkan listrik mikrohidro dengan pengukuran langsung dan pengamatan aktual. Mikrohidro yang menggunakan aliran sistem tertutup menggunakan pipa serta memiliki beda tinggi air antara *reservoir* dan letak turbin akan menghasilkan daya sembur air yang sangat besar, ditinjau dari ketinggian dan penggunaan pipa sebagai penghantar daya air tersebut.

Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran dan pengamatan langsung terhadap daya air pada aliran pipa. Pengukuran kecepatan air di dalam pipa dilakukan dengan menggunakan 5 bola berisi air yang dialirkan langsung secara berturut-turut di dalam aliran pipa serta menghitung waktu yang ditempuh bola tersebut sehingga mendapatkan data kecepatan dan debit air di dalam pipa penyalur mikrohidro dan dilakukan dengan menggunakan drum. Pengukuran beda tinggi

dan panjang pipa untuk sistem penyaluran air pada mikrohidro ini menggunakan *waterpass* yang diukur di sepanjang aliran pipa mikrohidro sehingga didapatkan beda tinggi aliran mikrohidro sepanjang aliran pipa dan panjang aliran pipa mikrohidro tersebut. Pengukuran belokan dan kemiringan vertikal pipa sepanjang aliran sungai menggunakan kompass yang dilakukan dengan cara menembakan derajat kemiringan pipa dari reservoir sampai generator dan pengamatan terhadap pipa dilakukan secara langsung. Data yang didapatkan merupakan dasar analisis yang dilakukan pada penelitian ini.

4.1. Energi Air Dalam Pipa

Mikrohidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang biasanya berada di dekat aliran sungai dan memiliki potensi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi listrik dengan daya kecil. Prinsip dari mikrohidro adalah dengan memanfaatkan beda tinggi bendung terhadap generator mikrohidro dan debit air yang dimiliki suatu aliran sungai. Secara teknis, prinsip mikrohidro ini yaitu menggerakkan kincir dengan memanfaatkan tenaga air yang dialirkan secara langsung, tertutup ataupun aliran terbuka. Secara lengkap, sebuah mikrohidro harus memiliki komponen seperti bendung, intake, bak pengendap, saluran pembawa, bak penenang, pipa pesat, kincir dan generator.

4.1.1. Pengukuran Head dan Panjang Pipa

Pengukuran tinggi jatuh air dihitung dari tinggi muka air pada bendung sampai dengan posisi turbin. Pengukuran *head* dapat dilakukan dengan menggunakan theodolite atau dengan cara sederhana dengan menggunakan *waterpass*.

Pada penelitian ini pengukuran *head* dilakukan dengan menggunakan *waterpass* yang ditarik disepanjang pipa mikrohidro sehingga didapatkan panjang pipa mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung adalah sebesar 37,79 m dengan beda tinggi sebesar 6,06 m. Adapun data hasil pengukuran head dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran *head* dan panjang pipa.

No	Jarak Pengukuran (m)	Tinggi (m)
1	0 - 1,23	1,00
2	1,23 - 10,98	1,05
3	10,98 - 20,88	0,88
4	20,88 - 28,20	0,82
5	28,20 - 33,75	0,86
6	33,75 - 37,49	1,15
7	37,49 - 37,79	0,30
	37,79	6,06

4.1.2. Pengukuran Kecepatan dan Debit Air Dalam Pipa

Pengukuran kecepatan air dalam pipa dilakukan dengan menggunakan dua metoda yaitu pertama dilakukan dengan menggunakan bola yang diisi air dan dialirkan sepanjang aliran pipa mikrohidro sehingga mendapatkan nilai rata-rata kecepatan 1,45114 m/dt dengan luas penampang 0,051 m² dan debit air 0,0740 m³/dt. Pengukuran kedua dilakukan dengan menggunakan drum 120 liter sehingga mendapatkan waktu rata-rata air terisi dalam drum adalah 1,5531 dt dan debit air 0,0786 m³/dt. Untuk lebih jelasnya, hasil pengukuran kecepatan teoritis air mikrohidro ini dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4. Pengukuran debit air menggunakan bola

Bola	Penampang (m ²)	Waktu (dt)	Kecepatan (m/dt)	Debit (m ³ /dt)
I	0,051	5,57	1,436	0,073
II	0,051	5,47	1,463	0,075
III	0,051	5,48	1,460	0,074
IV	0,051	5,53	1,447	0,074
V	0,051	5,44	1,471	0,075
VI	0,051	5,52	1,449	0,074
VII	0,051	5,57	1,436	0,073
Rata-rata	0,051	5,5114	1,4516	0,0740

Ket: Pengukuran dilakukan pada diameter pipa 10 “ dengan panjang pipa 8 m

Tabel 5. Pengukuran debit air menggunakan drum

No	Volume Drum (m ³)	Waktu (dt)	Kecepatan Pipa 10” (m/dt)	Kecepatan Pipa 8” (m/dt)	Kecepatan Pipa 6” (m/dt)	Debit (m ³ /dt)
1	0,120	1,52	1,560	2,436	4,330	0,079
2	0,120	1,53	1,550	2,419	4,302	0,078
3	0,120	1,47	1,613	2,518	4,477	0,082
4	0,120	1,55	1,530	2,388	4,246	0,077
5	0,120	1,54	1,539	2,404	4,274	0,078
6	0,120	1,52	1,560	2,435	4,330	0,079
7	0,120	1,56	1,520	2,373	4,219	0,077
Rata-rata		1,52	1,5531	2,4247	4,3111	0,0786

Ket: Perhitungan kecepatan air dilakukan berdasarkan diameter pipa yang digunakan pada Sistem penyaluran air mikrohidro Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung

4.2. Kerugian Aliran Dalam Pipa

Hambatan yang terjadi pada pipa di antaranya adalah hambatan kecepatan fluida yang mengalir baik dari *reservoir* atas maupun *reservoir* bawah. Hal ini terjadi karena adanya perubahan dimensi pipa seperti pengecilan, belokan pipa, serta kerugian head yang menyebabkan kerugian energi pada daya teoritis air.

4.2.1. *Headloss Mayor*

Merupakan kerugian *head* yang terjadi sepanjang pipa hisap mikrohidro yang dihitung dengan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach*. Besarnya *headloss mayor* pada mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung telah dihitung dengan mengukur panjang dan diameter pipa untuk mendapatkan angka *Reynold* (*f*) yang kemudian dimasukkan ke dalam diagram Moody yang terdapat pada Gambar 7.

Setelah melakukan pengukuran didapatkan data panjang rangkaian pipa yaitu pipa 10" sepanjang 26,34 m, pipa 8" sepanjang 7,7 m dan pipa 6" sepanjang 3,75 meter. Dari rangkaian pipa tersebut didapat *headloss mayor* pipa 10" sebesar 0,160 meter, pipa 8" sebesar 0,143 meter dan pipa 6" sebesar 0,283 meter. Besarnya nilai *headloss mayor* pada pipa sangat dipengaruhi oleh panjang pipa dan diameter pipa yang digunakan.

Pada penelitian ini juga dilakukan perancangan rangkaian pipa mikrohidro dengan simulasi perhitungan pada diameter dan panjang pipa yang berbeda untuk mencari nilai *headloss mayor* agar mendapatkan nilai *head* turbin yang nantinya akan mempengaruhi besarnya daya teoritis yang dihasilkan pada rangkaian pipa mikrohidro tersebut. Nilai *headloss mayor* tersebut diketahui dengan menghitung koefisien gesek pipa kemudian dikalikan dengan panjang pipa dan diameter pipa yang digunakan pada rangkaian pipa mikrohidro, juga terlihat hubungan antara panjang pipa dan diameter pipa terhadap nilai *headloss mayor* yang dihasilkan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach*.

4.2.2. Headloss Minor

Merupakan kerugian *head* sepanjang sistem pipa yang terjadi karena adanya perubahan diameter maupun sambungan yang terjadi di pipa. Besarnya *headloss minor* yang terjadi pada mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung telah dihitung dengan perhitungan *Darcy-Weisbach*. Perhitungan tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai *losses* pengecilan pipa, sambungan pipa pada rangkaian perpipaan dan perhitungan dimasukkan kedalam persamaan lampiran Tabel 2 harga Kc penyusutan dan pembesaran pipa.

Headloss minor didapatkan pada saat proses penyusutan daya yang disebabkan adanya perubahan penampang pipa sehingga menyebabkan kehilangan energi yang terjadi saat terjadinya penyusutan tersebut. Berikut ini beberapa nilai *headloss minor* yang terdapat pada rangkaian pipa mikrohidro.

4.2.2.1. Headloss Bendung

Merupakan kerugian *head* pada pipa mikrohidro yang terjadi karena adanya perubahan luas penampang antara reservoir atas pipa tempat masuknya air yang langsung berhubungan dengan bendung pada mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung. Hasil perhitungan kerugian head pada bendung ini dicari dengan mengetahui nilai Kc *reentrant fluida* sebesar 0,78 yang terdapat pada lampiran Gambar 7. Maka diketahui nilai *headloss* bendung sebesar 0,089 meter dengan perhitungan *losses* bendung ke pipa *reservoir* atas yaitu pipa 10”.

Untuk *losses* pada bendung ini yang sangat berpengaruh adalah tinggi muka air yang ada pada bendung sebesar 1 meter dari dasar pipa yang tertanam pada

bendung sehingga untuk *reservoir* atas pipa tidak berkurang sehingga menyebabkan air yang mengalir sepanjang pipa dapat selalu konstan karena debit air yang dihasilkan akan selalu sama.

4.2.2.2. Headloss sambungan pipa

Merupakan nilai *losses* yang terjadi karena perubahan penampang dan diameter pada pipa yang menyebabkan terjadi pengurangan energi air didalam pipa tersebut. *Headloss* pada sambungan pipa ini terjadi antara diameter pipa yang sama maupun pipa yang mengecil yaitu pengecilan pipa 10" ke pipa 8" dengan nilai *losses* sebesar 0,032 m, pengecilan pipa 8" ke pipa 6" dengan nilai *losses* sebesar 0,127 m dan pengecilan pada *nossel*.

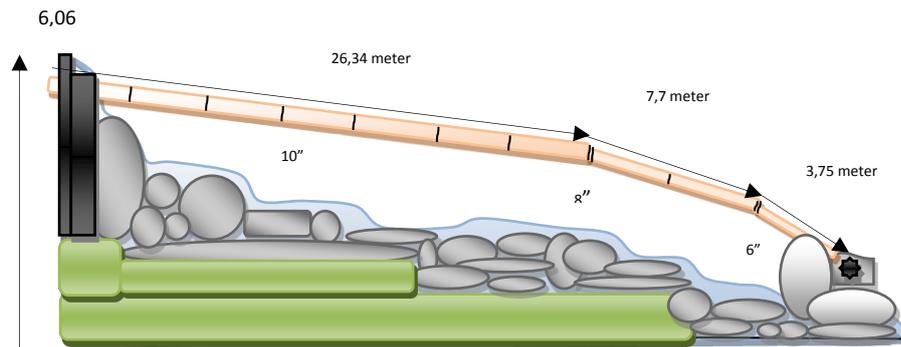
4.2.2.3. Headloss Nossel

Merupakan kerugian *head* pada pipa mikrohidro yang terjadi karena adanya perubahan luas penampang dan diameter pipa di *reservoir* bawah rangkaian aliran keluaran air pipa mikrohidro. Ini terjadi karena adanya penyempitan diameter pada *nossel* yang bertujuan mengeluarkan air secara maksimal untuk mendorong kincir air pada mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung agar terjadi putaran semaksimal mungkin. Dari hasil perhitungan menggunakan *nossel* yang ada pada mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung didapatkan data, untuk *nossel* menggunakan pipa 6" yang dibentuk persegi panjang sehingga mendapatkan data panjang mulut *nossel* 16 cm dan lebar mulut *nossel* 10 cm. Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan nilai *headloss nossel* pada mikrohidro di Desa Bangun Rahayu tersebut sebesar 0,031 meter.

Nossel pada rangkaian pipa mikrohidro ini tidak berpengaruh sangat besar terhadap daya teoritis air yang dihasilkan mikrohidro, *nossel* ini bekerja sebagai penekan air agar kecepatan semburan semakin cepat kearah sudu pada turbin sehingga turbin pada mikrohidro dapat berputar. Hal ini diketahui setelah melakukan perhitungan untuk rangkaian pipa mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung dengan menggunakan *nossel* dan tidak menggunakan *nossel*, sehingga didapatkan data untuk rangkaian pipa mikrohidro didapatkan besar *head nossel* sebesar 5,117 meter dengan daya teoritis air yang keluar dari *nossel* sebesar 3830 Watt hingga mendapatkan efisiensi pipa sebesar 84%.

4.3. Pengukuran Daya Teoritis Air Pada Pipa

Pengukuran daya teoritis air pada pipa ini dilakukan dengan menggunakan data yang didapat pada saat melakukan pengukuran head, debit air dalam pipa. Sehingga didapatkan data yaitu *head* total pipa mikrohidro sebesar 6,06 meter dan debit yang digunakan adalah $0,0763 \text{ m}^3/\text{dt}$. Didapatkan hasil perhitungan daya teoritis air untuk mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung dengan menggunakan rangkaian pipa 10" dengan panjang 26,34 m, pipa 8" dengan panjang 7,7 m dan pipa 6" dengan panjang 3,75 m dan debit air $0,0763 \text{ m}^3/\text{dt}$ adalah sebesar 3830 Watt dengan efisiensi daya hidraulik air pada pipa sebesar 84% dari daya teoritis air total sebesar 4536 Watt. Sketsa rangkaian pipa mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian pipa mikrohidro

4.3.1. Rancangan Pipa Mikrohidro Di Desa Bangun Rahayu

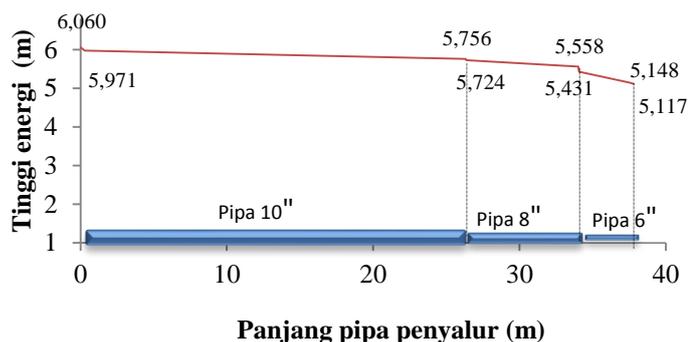
Pada penelitian ini dilakukan perhitungan rancangan pipa dengan modifikasi pada panjang dan diameter pipa. Berikut adalah Tabel 6 nilai *head* energi pipa mikrohidro Desa Bangun Rahayu dan rancangan pipa tersebut menjadi parameter rancangan pipa selanjutnya pada penelitian ini.

Tabel 6. Nilai *head* energi pipa mikrohidro Desa Bangun Rahayu

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di reservoir bendung (m)	Losses (m)	Head energi (m)
Bendung	0,0	0,089	6,060
Pipa 10", Panjang 26,34 m	26,32	0,215	5,971
Sambungan 10" ke Pipa 8"	26,36	0,032	5,756
Pipa 8", Panjang 7,7 m	34,02	0,166	5,724
Sambungan Pipa 8" ke Pipa 6"	34,06	0,127	5,558
Pipa 6", Panjang 3,75 m	37,49	0,283	5,431
<i>Nossel</i>	37,79	0,031	5,148
<i>Head di Nossel (m)</i>			5,117

Nilai energi didapatkan dari pengurangan nilai garis energi yang dikurangi dengan koefisien nilai *headloss* sepanjang pipa dan pengecilan pipa. Maka didapatkan *head* pada *nossel* sebesar 5,117 m.

Berdasarkan tabel nilai energi tersebut, penurunan yang terjadi tidak terlalu besar yaitu untuk penurunan garis energi sebesar 0,943 m. Pengurangan tersebut terjadi karena pemasangan saluran pipa mikrohidro sangat stabil walaupun tidak begitu maksimal, ini menunjukkan bahwa hubungan antara diameter pipa dan panjang pipa terhadap *headloss* untuk menghasilkan energi sangat berpengaruh karena adanya pengurangan losses karena perubahan panjang dan diameter pipa serta hambatan lainnya yang ada dalam suatu rangkaian pipa mikrohidro. Garis *head* energi yang ada pada rangkaian pipa mikrohidro Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung terdapat pada Gambar 9.



Gambar 9. Garis *Head* energi pipa mikrohidro di Desa Bangun Rahayu

Terlihat pada gambar di atas adalah garis energi rangkaian pipa mikrohidro Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung, dimana garis energi pada rangkaian pipa ini akan semakin turun karena adanya faktor gesekan dari panjang pipa, serta hambatan lainnya dan perubahan luas penampang pipa.

4.3.2. Rancangan Mikrohidro Dengan Pipa 6"

Rancangan pipa untuk mikrohidro dengan menggunakan 6" termasuk ke dalam kategori rangkaian pipa daya terkecil dengan panjang total keseluruhan pipa 37,79 m. Pada rancangan ini diasumsikan bahwa pipa yang digunakan untuk mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung hanya menggunakan pipa 6" saja. Untuk rancangan pipa seperti ini didapatkan daya *head nossel* senilai 1,962 m dan hasil output daya hidraulik air pada pipa senilai 1469 Watt dengan efisiensi pipa sebesar 32% dari total daya hidraulik air total sebesar 4536 Watt. Nilai *head* energi rancangan mikrohidro dengan menggunakan pipa 6" dapat dilihat pada Tabel 7.

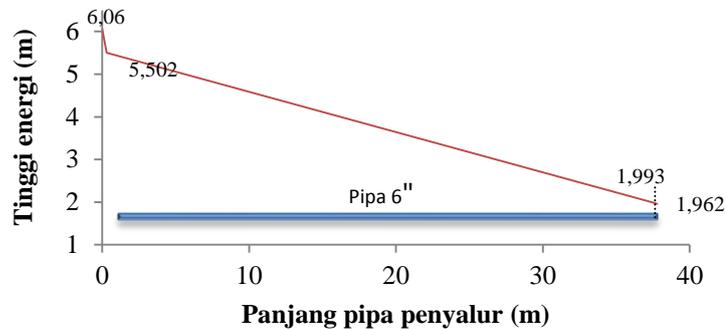
Tabel 7. Nilai *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 6"

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di reservoir bendung (m)	<i>Losses</i> (m)	<i>Head</i> energi (m)
Bendung	0,0	0,558	6,060
Pipa 6", Panjang 37,79 m	37,49	3,509	5,502
<i>Nossel</i>	37,79	0,031	1,993
<i>Head di Nossel</i> (m)			1,962

Nilai energi tabel diatas didapatkan dari pengurangan nilai garis energi yang bernilai 6,06 m yang dikurangi dengan koefisien nilai headloss bendung, sepanjang pipa dan pengecilan *nossel*. Maka didapatkan nilai *head* pada *nossel* sebesar 1,963 m. Berdasarkan pengurangan nilai energi tersebut penurunan yang terjadi sangat besar yaitu untuk penurunan garis energi sebesar 4,098 m. Pengurangan terjadi karena pemasangan saluran pipa mikrohidro menggunakan diameter yang sangat kecil dan panjang sehingga menyebabkan nilai *losses* yang terjadi dalam pipa semakin tinggi.

Tabel di atas menunjukkan hubungan antara diameter pipa dan panjang pipa terhadap *headloss* untuk menghasilkan energi berpengaruh besar karena adanya pengurangan *losses* sepanjang pipa dan diameter pipa serta hambatan lainnya yang ada dalam suatu rangkaian pipa mikrohidro.

Dalam rancangan pipa seperti ini pengurangan *losses* pada *nossel* tidak begitu besar. Garis *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 6'' dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Garis *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 6''

Berdasarkan garis energi rangkaian pipa di atas, dimana garis energi pada rangkaian pipa tersebut menurun sangat drastis. Hal tersebut disebabkan karena pemasangan rangkaian pipa dengan diameter sangat kecil yaitu hanya 6'' sehingga menyebabkan pengurangan energi hidraulik air yang sangat besar. Semakin panjang pipa tersebut maka *losses* yang terjadi akan semakin besar dan garis energinya akan semakin turun karena adanya faktor gesekan dari panjang pipa, serta hambatan pengecilan *nossel*.

4.3.3. Rancangan Mikrohidro Dengan Pipa 10", 8" dan 6"

Rancangan pipa untuk mikrohidro dengan menggunakan pipa 10", pipa 8" dan pipa 6" ini termasuk rangkaian pipa mikrohidro dalam kategori sedang dengan panjang pipa 10 " sepanjang 3,75 meter, pipa 8" sepanjang 15,22 m dan panjang pipa 6" sepanjang 18,82 m sehingga total keseluruhan pipa adalah 37,79 m.

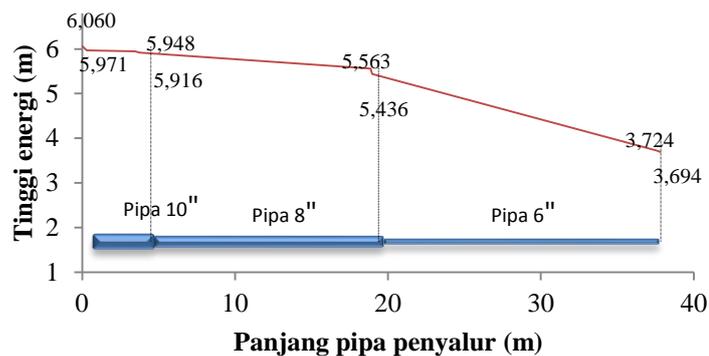
Pada rancangan ini diasumsikan pipa yang digunakan untuk mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung menggunakan rangkaian pipa 8" dan pipa 6". Untuk rancangan pipa seperti ini didapatkan daya *head* di *nossel* senilai 3,694 m dan hasil output daya hidraulik air pada pipa senilai 2765 Watt dengan efisiensi pipa sebesar 61% dari total daya hidraulik air total sebesar 4531 Watt. Nilai *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10", 8" dan 6" terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10", 8" dan 6"

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di reservoir bendung (m)	<i>Losses</i> (m)	<i>Head</i> energi (m)
Bendung	0,0	0,089	6,060
Pipa 10", Panjang 3,75 m	3,45	0,023	5,971
Pipa 10" ke Pipa 8"	3,75	0,032	5,948
Pipa 8", Panjang 15,22 m	18,87	0,353	5,916
Pipa 8" ke Pipa 6"	18,97	0,127	5,563
Pipa 6", Panjang 18,82	37,59	1,712	5,436
<i>Nossel</i>	37,79	0,031	3,724
<i>Head di Nossel (m)</i>			3,694

Nilai energi tabel di atas didapatkan dari pengurangan nilai garis energi dan nilai garis gradian yang bernilai 6,06 yang dikurangi dengan koefisien nilai headloss sepanjang pipa dan pengecilan *nossel*. Maka didapatkan nilai *head* pada *nossel* sebesar 3,694 m.

Berdasarkan pengurangan nilai energi tersebut penurunan yang terjadi yaitu sebesar 2,366 m. Pengurangan nilai energi sangat besar terjadi karena pada pemasangan pipa mikrohidro menggunakan diameter 6" sehingga mendapatkan nilai losses 1,712 m. Jika pemasangan pada rangkaian pipa seperti ini tidak menggunakan pipa 6" maka memungkinkan penurunan energi tidak begitu besar dan itu menunjukkan panjang pipa dan diameter pipa serta hambatan lainnya yang ada dalam suatu rangkaian pipa ini tidak sebesar hambatan pada pipa 6". *Head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10", 8" dan 6" dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Garis *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10", 8" dan 6"

Garis energi di atas menunjukkan energi pada rangkaian pipa tersebut menurun tidak begitu besar. Untuk garis energi pada pemasangan pipa 10", 8", sambungan pipa 10" ke 8", sambungan pipa 8" ke 6" dan nossel terjadi penurunan energi yang sangat kecil, namun terjadi penurunan paling besar terhadap pemasangan pipa dengan diameter 6".

4.3.4. Rancangan Pipa Mikrohidro Dengan Pipa 10"

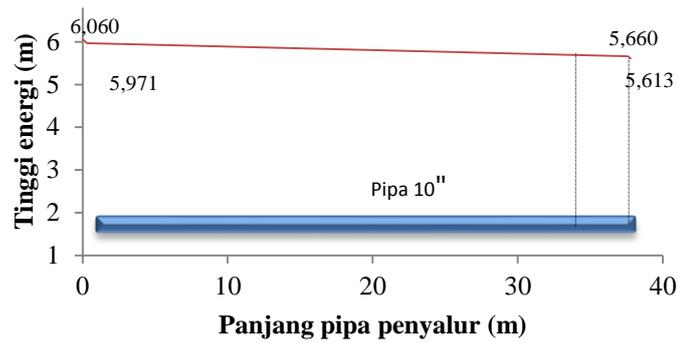
Rancangan pipa mikrohidro menggunakan pipa 10" termasuk ke dalam rancangan pipa mikrohidro dengan kategori besar dengan panjang total keseluruhan pipa adalah 37,79 m. Pada rancangan ini diasumsikan bahwa pipa yang digunakan untuk mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung menggunakan pipa 10" langsung menggunakan *nossel*. Untuk rancangan pipa seperti ini didapatkan daya *head nossel* senilai 5,613 meter dan hasil output daya hidraulik air pada pipa senilai 4201 Watt dengan efisiensi pipa sebesar 93% dari total daya hidraulik air total. Nilai *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10" dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10"

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di reservoir bendung (m)	<i>Losses</i> (m)	<i>Head</i> energi (m)
Bendung	0,0	0,089	6,060
Pipa 10", Panjang 37,79 m	33,74	0,311	5,971
<i>Nossel</i>	37,79	0,046	5,660
<i>Head di Nossel</i> (m)			5,613

Nilai energi tabel di atas didapatkan dari pengurangan nilai garis energi yang bernilai 6,06 m dikurangi dengan koefisien nilai headloss sepanjang pipa dan pengecilan *nossel*, maka didapatkan *head* pada *nossel* sebesar 5,613 m.

Berdasarkan pengurangan nilai energi tersebut, penurunan garis energi sebesar 0,446 m. Garis *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10" dapat dilihat pada Gambar 12.

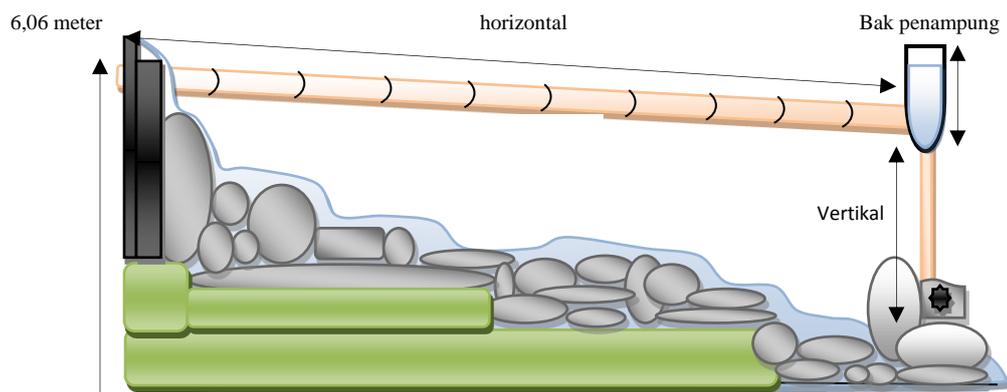


Gambar 12. Garis *head* energi rancangan mikrohidro dengan pipa 10''

Berdasarkan garis energi di atas, garis energi menurun sangat kecil, karena pemasangan rangkaian pipa menggunakan pipa besar dengan diameter pipa 10'' dan *nossel* sehingga daya hidraulik air yang didapatkan sangat besar.

4.4. Rancangan Pipa Mikrohidro Dengan Penampung

Didapatkan beberapa desain pipa untuk mikrohidro dengan menggunakan bak penampung yang dipasang dengan jarak peletakan penampung 37,79 m dari bendung dan air dialirkan menggunakan pipa saluran vertikal, kemudian diteruskan dengan pipa horizontal dan *nossel*. Setelah melakukan perhitungan dengan rancangan pipa menggunakan bak penampung ini diketahui beberapa nilai *losses* serta daya hidraulik air yang mengalir dalam pipa. Berikut ini adalah rancangan pipa mikrohidro dengan menggunakan bak penampung dengan perbedaan diameter pada pipa vertikal dan sketsa pemasangan rangkaian pipa mikrohidro dengan menggunakan penampung terdapat pada Gambar 13.



Gambar 13. Sketsa rancangan pipa mikrohidro dengan bak penampung

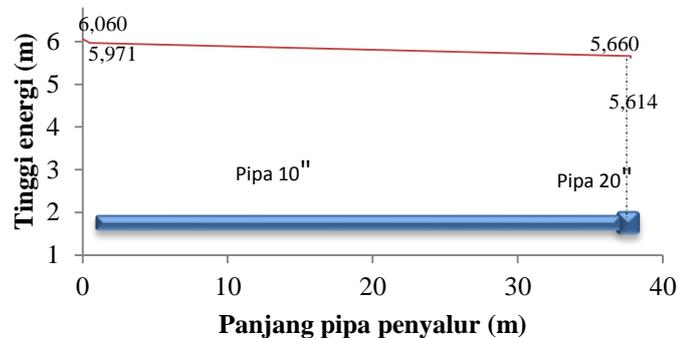
4.4.1. Rancangan Pipa Horizontal 10" dan Pipa Vertikal 20"

Pada rancangan ini diasumsikan pipa yang digunakan adalah pipa 10" dan drum plastik 20". Pipa 10" dipasang secara horizontal dengan panjang 37,79 m dari bendung dan berakhir di bak penampung, kemudian diteruskan dengan drum 20" yang dipasang secara vertikal dan langsung mengarah ke turbin menggunakan *nossel*. Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan nilai *head nossel* sebesar 5,614 m dengan daya teoritis air 4202 Watt dengan efisiensi sebesar 93% dari daya hidraulik air total sebesar 4531 Watt. Nilai *head energi* pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 20" dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai *head energi* pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 20"

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di reservoir bendung (m)	<i>Losses</i> (m)	<i>Head energi</i> (m)
Bendung	0,0	0,089	6,060
Pipa Horizontal 10"	37,79	0,311	5,971
Pipa Vertikal 20"	6,06	0,0	5,660
<i>Nossel</i>	0,0	0,046	5,660
<i>Head di Nossel</i>			5,614

Nilai *head* energi tabel di atas didapatkan dari pengurangan nilai garis energi 6,06 m yang dikurangi dengan koefisien nilai *headloss* bendung 0,089 m, saluran pipa pembawa 0,331 m, saluran pipa penekan 0,00009 m dan *nossel* 0,046 m, maka didapatkan nilai *head* pada *nossel* sebesar 5,614 m. Berdasarkan pengurangan *head* energi pada tabel diatas, penurunan garis *head* energi sebesar 0,446 m. Garis *head* energi pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 20" terdapat pada Gambar 14.



Gambar 14. Garis *head* energi pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 20"

Berdasarkan grafik di atas, penurunan energi terjadi sepanjang pipa pembawa 10" dengan besar tinggi garis energi 6,06 m, menurun menjadi 5,660 m. Kemudian penurunan terjadi kembali pada saluran pipa penekan menjadi 5,614 m dan menjadi nilai akhir pengurangan energi.

4.4.2. Rancangan Pipa Horizontal 10" dan Pipa Vertikal 10"

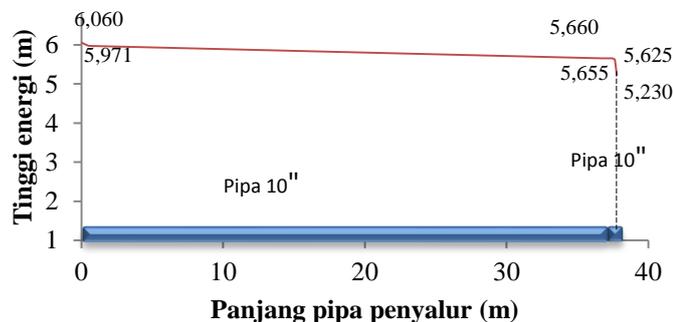
Pada rancangan ini diasumsikan pipa yang digunakan adalah pipa 10" dengan menggunakan bak penampung. Pipa 10" pada rangkaian ini digunakan sebagai pipa horizontal dengan panjang 37,79 m dari bendung dan berakhir di bak penampung, kemudian diteruskan dengan pipa vertikal 10" dengan *nossel* yang

langsung mengarah ke turbin. Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan nilai *head nossel* 5,230 m dengan daya teoritis air 3915 Watt dengan efisiensi sebesar 86% dari daya hidraulik air total sebesar 4531 Watt. Nilai *head* energi pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 10" dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai *head* energi pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 10"

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di <i>reservoir</i> bendung (m)	<i>Losses</i> (m)	<i>Head</i> energi (m)
Bendung	0,0	0,089	6,060
Pipa horizontal 10"	37,79	0,331	5,971
Penampung	0,0	0,005	5,660
Pipa vertikal 10"	6,06	0,031	5,655
<i>Nossel</i>	0,0	0,394	5,625
<i>Head di Nossel</i>			5,230

Nilai energi tabel di atas didapatkan dari pengurangan nilai garis energi 6,06 m yang dikurangi dengan nilai *headloss* bendung 0,089 m, saluran pipa pembawa 0,031 m, saluran pipa penekan 0,031 m dan *nossel* 0,394 m. Maka didapatkan nilai *head* pada *nossel* sebesar 5,230 m. Berdasarkan pengurangan nilai energi tersebut penurunan garis *head* energi sebesar 0,830 m. Garis energi rancangan pipa daya hidraulik air terbesar terdapat pada Gambar 15.



Gambar 15. Garis *head* energi pipa horizontal 10" dan pipa vertikal 10"

Berdasarkan grafik di atas, penurunan energi terjadi sepanjang pipa saluran horizontal 10" dengan besar tinggi garis energi 6,06 m menurun menjadi 5,660 m, hal tersebut terjadi karena pengurangan nilai energi terhadap *losses* sepanjang pipa vertikal. Kemudian penurunan terjadi kembali pada pipa penekan menjadi 5,230 m dan menjadi nilai akhir pengurangan energi.

4.4.3. Rancangan Pipa Horizontal 10" dan Pipa Vertikal 8"

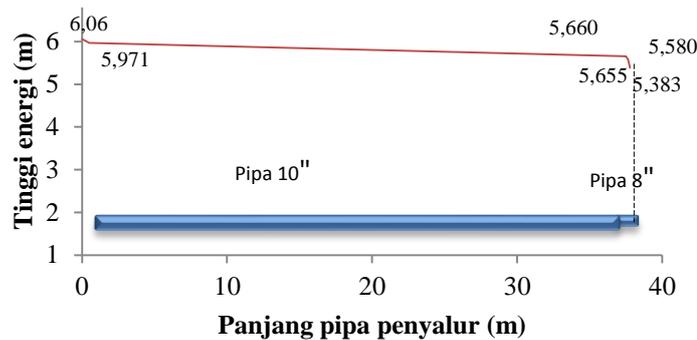
Pada rancangan ini diasumsikan pipa yang digunakan adalah pipa 10" dan 8". Pipa 10" pada rangkaian ini digunakan sebagai pipa horizontal dengan panjang 37,79 m dari bendung dan berakhir di bak penampung, kemudian diteruskan dengan saluran pipa vertikal 8" dengan *nossel* yang langsung mengarah ke turbin. Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan nilai *head nossel* 5,384 m dengan daya teoritis air 4030 Watt dengan efisiensi 89% dari daya hidraulik air total sebesar 4531 Watt. Nilai *head* energi pipa horizontal 10" dan vertikal 8" dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai *head* energi pipa horizontal 10" dan vertikal 8"

Penyaluran air	Jarak dari pangkal pipa di reservoir bendung (m)	<i>Losses</i> (m)	<i>Head</i> energi (m)
Bendung	0	0,089	6,060
Pipa pembawa 10"	37,79	0,331	5,971
Penampung	0	0,005	5,660
Pipa penekan 8"	6,06	0,075	5,655
<i>Nossel</i>	0	0,197	5,580
<i>Head di Nossel</i>			5,383

Nilai energi tabel di atas didapatkan dari pengurangan nilai garis energi 6,06 m yang dikurangi dengan koefisien nilai *headloss* bendung 0,089 m, pipa horizontal

0,331 m, penampung 0,005 m, pipa vertikal 0,075 m dan *nossel* 0,197 m. Maka didapatkan nilai *head* pada *nossel* sebesar 5,383 m. Berdasarkan pengurangan nilai energi tersebut penurunan garis *head* energi sebesar 0,667 m. Garis energi rancangan pipa daya hidraulik air terbesar terdapat pada Gambar 16.



Gambar 16. Garis energi pipa pembawa 10" dan penekan 8"

Berdasarkan grafik di atas, penurunan energi terjadi sepanjang pipa pembawa 10" dengan besar tinggi garis energi 6,06 m dan menurun menjadi 5,660 m. Kemudian penurunan terjadi kembali pada pipa penekan menjadi 5,383 m dan menjadi nilai akhir pengurangan energi.

Dari ketiga jenis rangkaian pipa dengan menggunakan bak penampung didapatkan perbedaan diantara ketiganya. Diantara ketiganya didapatkan total penurunan *head* yang terjadi sangat kecil adalah pada penekan dengan menggunakan drum 20", hal tersebut terjadi karena *losses* yang terjadi pada drum 20" sangat kecil sehingga memungkinkan mendapat daya hidraulik air yang lebih besar.

Dari semua perhitungan yang telah dilakukan untuk perancangan pipa mikrohidro didapatkan nilai *headloss nossel* terkecil sebesar 0,446 m yang terdapat pada perancangan mikrohidro pipa 10" dan juga terdapat pada rancangan pipa

horizontal 10” dan pipa vertikal 20”. Keduanya memiliki nilai efisiensi pipa yang sama yaitu sebesar 93% sehingga memungkinkan daya hidraulik air yang masuk kedalam turbin jauh sangat lebih besar dari perancangan pipa mikrohidro sebelumnya yang ada di Desa bangun Rahayu Bandar Lampung.

4.5. Analisis Teknis Turbin dan Generator

Hal yang paling penting dalam mikrohidro selain rangkaian sistem penyaluran air adalah adanya turbin dan generator mikrohidro yang difungsikan sebagai penghasil energi listrik sebagai penunjang kebutuhan energi listrik. Daya output energi listrik yang keluar dari generator diukur langsung menggunakan tang meter digital dengan melihat jumlah *volt* dan *ampere* yang terbaca dalam tang meter tersebut. Pengukuran juga dilakukan dengan mengukur putaran turbin dengan menggunakan tachometer pada waktu siang dan malam hari. Hasil pengukuran turbin dan generator mikrohidro di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung dapat dilihat pada Tabel 13 dan Tabel 14.

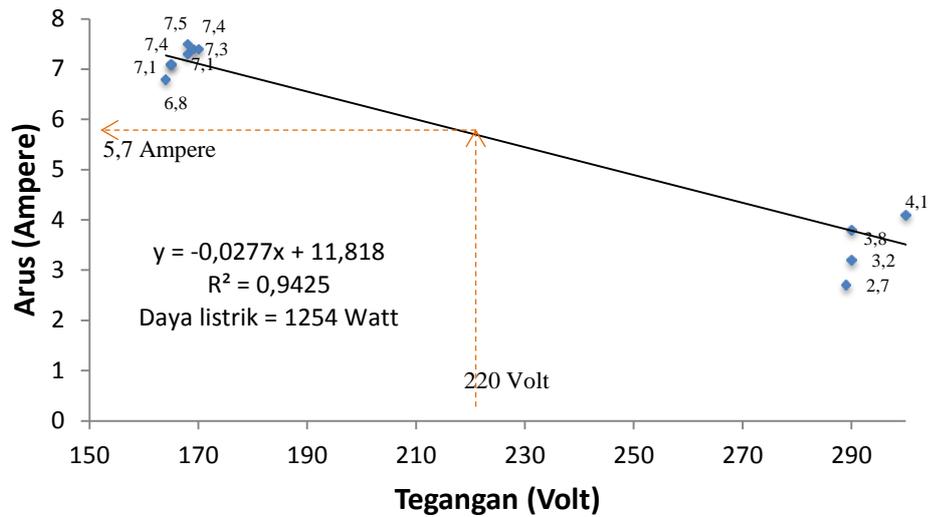
Tabel 13. Pengukuran turbin dan generator waktu siang

Pengambilan data	Turbin		Generator			
	Daya (Watt)	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Putaran (rpm)
1	2962	289	2,7	780	1540	308
2	2962	290	3,2	928	1544	309
3	2962	290	3,8	1102	1545	309
4	2962	300	4,1	1230	1547	309
5	2962	314	3,2	1005	1549	310
6	2962	314	3,9	1225	1548	310
7	2962	325	2,8	910	1550	310

Tabel 14. Pengukuran turbin dan generator waktu malam

Pengambilan data	Turbin		Generator			
	Daya (Watt)	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Putaran (rpm)
1	2962	278	164	6,8	1115	1390
2	2962	288	165	7,1	1172	1443
3	2962	289	165	7,1	1172	1444
4	2962	290	168	7,3	1226	1448
5	2962	290	169	7,4	1251	1450
6	2962	290	170	7,4	1258	1450
7	2962	293	168	7,5	1260	1474

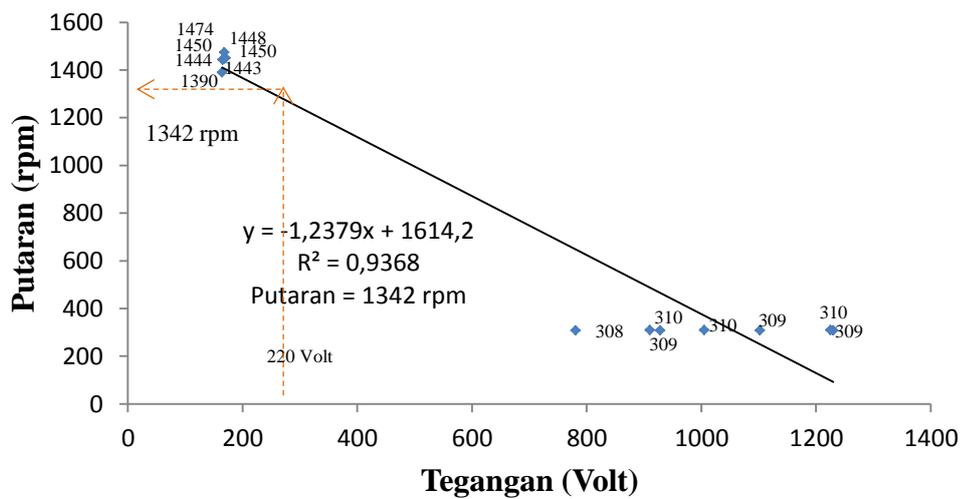
Dari hasil pengukuran energi listrik terhadap generator yang terdapat pada Tabel 13 dan Tabel 14 tidak didapatkan nilai arus dan tegangan yang seharusnya diharapkan, maka dalam penelitian ini dibuat persamaan linier untuk mendapatkan nilai tegangan yang seharusnya terpakai. Persamaan linier dibuat dengan menggunakan nilai *volt* dan *ampere* berdasarkan pengukuran yang ada, kemudian dimasukkan ke dalam garis persamaan nilai (x) dan nilai (y). Setelah melakukan persamaan linier terhadap arus dan tegangan generator maka didapatkan nilai tegangan generator sebesar 220 Volt, arus sebesar 5,7 Ampere dan energi listrik yang dikeluarkan generator sebesar 1254 Watt. Persamaan linier arus dan tegangan generator mikrohidro Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Persamaan linier arus dan tegangan generator

Dapat dilihat pula hubungan antara putaran generator terhadap energi arus listrik yang dikeluarkan generator berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan.

Putaran generator tersebut diketahui setelah melakukan persamaan linier terhadap putaran turbin dan arus yang dihasilkan generator dengan nilai arus listrik 220 volt sehingga mendapatkan putaran generator sebesar 1342 rpm. Hubungan arus terhadap putaran generator dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Hubungan arus terhadap putaran generator

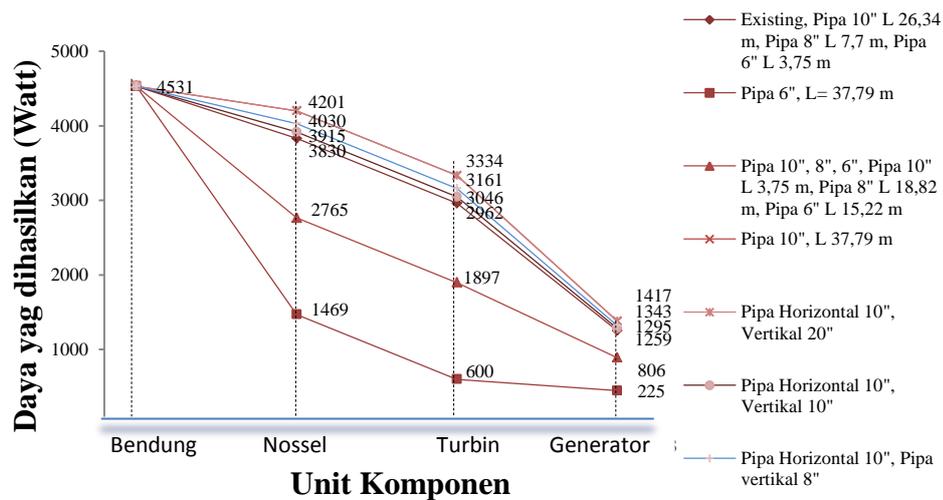
4.6. Analisis Sistem Mikrohidro

Mikrohidro memiliki sistem yang bekerja secara bersama untuk menghasilkan energi listrik, hal yang terkait dalam sistem ini merupakan penunjang berfungsinya mikrohidro sebagai pembangkit listrik. Setelah melakukan pengukuran dan perhitungan maka didapatkan nilai keluaran energi dari berbagai sistem yang ada pada mikrohidro, yaitu pada *nossel*, turbin, dan generator. Perhitungan yang dilakukan merupakan data yang di ambil dari pengukuran dan merupakan hasil parameter dari sistem mikrohidro yang sudah ada di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung. Analisis energi sistem mikrohidro dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Analisis energi sistem mikrohidro

Unit Komponen	Bendung	Nossel	Turbin	Generator
Existing	4531	3830	2962	1254
Pipa 6"	4531	1469	600	449
Pipa 10", 8", 6"	4531	2765	1897	891
Pipa 10"	4531	4201	3334	1381
Pipa Horizontal 10", Vertikal 20"	4531	4201	3334	1381
Pipa Horizontal 10", Vertikal 10"	4531	3915	3046	1283
Pipa Horizontal 10", Vertikal 8"	4531	4030	3161	1322

Berdasarkan Tabel 15, nilai energi yang didapatkan merupakan hasil dari parameter perhitungan yang didapatkan dari pengukuran secara langsung terhadap pipa existing yang ada di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung. Nilai energi pada sistem mikrohidro sangat bergantung terhadap semua komponen penunjang mikrohidro. Penurunan energi sistem mikrohidro yang ada di Desa Bangun Rahayu Bandar Lampung dan sistem mikrohidro yang telah dirancang pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Penurunan energi sistem mikrohidro

Pada Gambar 19, menunjukkan penurunan energi pada sistem mikrohidro yang terjadi pada *nossel*, turbin dan generator. *Nossel* yang merupakan komponen penyaluran air, penurunan energi pada *nossel* ini disebabkan adanya nilai kehilangan (*headloss*) di dalam pipa. Turbin yang merupakan komponen penggerak yang langsung terhubung dengan generator, penurunan energi pada turbin ini disebabkan adanya kehilangan energi pada saat air masuk ke dalam turbin (*head turbin*). Generator merupakan komponen utama penghasil energi listrik, penurunan energi pada generator ini tergantung dari besarnya efisiensi listrik yang dapat dikeluarkan generator.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan beberapa rancangan pipa sebagai komponen untuk mengalirkan air ke arah turbin. Rangkaian pipa tersebut dibuat dengan merubah rangkaian berdasarkan diameter pipa serta panjang pipa yang akan digunakan. Seperti yang terdapat pada Tabel 16, 17 dan 18, didapatkan hasil modifikasi rangkaian pipa dengan mempertimbangkan nilai loss, diameter dan panjang pipa.

