

Analisis Efek Pelat Berpori pada Serat Tanaman Ekor Kucing (Typha Latifolia) terhadap Koefisien Penyerap Suara

Masri^{a*}, Suhaeri^b, Arhami^c, Mohd. Nizar Machmud^d, M. Faris Afa Masri^e

^{a*,b,c,d} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

^e Mahasiswa S1 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

ABSTRACT

This study aims to determine the value of the sound absorption coefficient of cat tail fiber (*Typha latifolia*) with the effect of weight and pore size resistance of the test sample plate. In this case the researchers made 6 test samples where each sample consisted of cat tail fibers weighing 50 grams and 75 grams with a diameter of 110 mm and a thickness of 20 mm, the test samples were arranged in layers with aluminium plate resistance which had a pore size of 1 mm, 1.5mm, and 2.5 mm. Tests were conducted using the impedance tube transfer function method (ISO 10534-2:1998) at frequencies of 1/1 octave (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz and 8000 Hz). The test results show that the sound absorption value at each frequency of each sample is relatively different. At a frequency of 125 Hz - 250 Hz the best sound absorption was obtained in the test sample with a pore size of 1 mm 75 g, at a frequency of 500 Hz the best sound absorption was obtained in the test sample with a pore size of 1.5 mm 75 g, at a frequency of 1000 Hz - 8000 Hz the best sound absorbing coefficient value occurred in the test sample with a pore size of 1 mm 75 g. From the graph it can be concluded that the pore size of the aluminum plate and density in each test sample can affect the sound absorption value.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien serapan suara serat ekor kucing (*Typha latifolia*) dengan pengaruh berat dan ketahanan ukuran pori pelat sampel uji. Dalam hal ini peneliti membuat 6 sampel uji yang dimana masing-masing sampel terdiri dari serat ekor kucing seberat 50 gram dan 75 gram dengan diameter 110 mm dan tebal 20 mm, sampel uji disusun berlapis-lapis dengan ketahanan pelat aluminium yang mempunyai ukuran pori 1 mm, 1,5 mm, dan 2,5 mm. Pengujian dilakukan dengan metode fungsi transfer tabung impedansi (ISO 10534-2:1998) pada frekuensi 1/1 oktaf (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz dan 8000 Hz). Hasil pengujian menunjukkan nilai serapan bunyi pada setiap frekuensi tiap sampel relatif berbeda. Pada frekuensi 125 Hz – 250 Hz serapan bunyi terbaik diperoleh pada sampel uji dengan ukuran pori 1 mm 75 g, pada frekuensi 500 Hz serapan bunyi terbaik diperoleh pada sampel uji dengan ukuran pori 1,5 mm 75 g, pada frekuensi 1000 Hz – 8000 Hz nilai koefisien serapan bunyi terbaik terjadi pada sampel uji dengan ukuran pori 1 mm 75 g. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa ukuran pori pelat aluminium dan kepadatan pada setiap sampel uji dapat mempengaruhi nilai serapan bunyi.

ARTICLE HISTORY

Received 10 December 2022

Accepted 1 March 2023

Published 25 April 2023

KEYWORDS

Cat tail fiber; Impedance tube; Sound absorption coefficient.

KATA KUNCI

Serat ekor kucing; Impedansi tabung; Koefisien penyerapan suara.

1. Pendahuluan

Kebisingan adalah bunyi atau suara yang dihasilkan dari suatu usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Kebisingan dapat terjadi di pemukiman, jalan raya, perkantoran, pabrik, rumah sakit, bandara, tempat pendidikan, dan lain sebagainya. Kebisingan sering kali dianggap sebagai hal yang lumrah, padahal efek dari kebisingan jika didengar secara terus-menerus dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia [1]. Seiring dengan berkembangnya teknologi, kebisingan merupakan salah satu masalah yang sangat penting untuk diatasi, karena jelas mengganggu aktivitas maupun kesehatan pada manusia. Salah satu cara untuk mencegah perambatan/ radiasi kebisingan pada komponen/ struktur mesin, ruangan/bangunan serta dalam kebisingan industri, ialah dengan penggunaan material akustik yang bersifat menyerap atau meredam bunyi sehingga bisung yang terjadi dapat direduksi [2].

Bunyi atau suara adalah pemampatan mekanis atau gelombang longitudinal yang merambat melalui medium. Medium atau zat perantara ini dapat berupa zat cair, padat, dan gas. Jadi, gelombang bunyi dapat merambat misalnya di dalam air, batu, atau udara. Oleh karena suara merupakan gelombang yang merambat dan membutuhkan medium, maka suara dapat diredam dan ditahan. Salah satu cara untuk meredam atau menahan rambatan suara tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi medium rambatannya. Sehingga diperlukan sebuah material yang terbuat dari bahan yang dapat menahan laju rambatannya. Penahanan laju rambatan gelombang suara dapat berupa material keras yang solid yang dapat memantulkan kembali gelombang suara, dapat pula merupakan sebuah material lunak yang menyerap gelombang. Adapun jenis bahan penyerap suara yang telah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel. Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering dipakai. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis penyerap suara lainnya [3].

Serat pada umumnya terdiri dari dua macam, yaitu serat buatan (serat sintesis) dan serat alamistik di masa depan. Serat buatan (serat sintesis) adalah serat buatan manusia yang terbuat dari bahan non hayati melalui proses kimia. Serat buatan memiliki beberapa kelebihan yaitu ukuran dan kekuatan dari serat umumnya seragam. Sedangkan kekurangan dari serat buatan yaitu limbah buangan dari serat tersebut dapat menyebabkan cemaran berat bagi lingkungan. Serat alami adalah serat yang diperoleh dari alam baik dari tumbuh-tumbuhan maupun dari binatang. Serat alam telah banyak digunakan antara lain serat pisang, serat sabut kelapa, serat ijuk, serat nanas, wol, sutera, kenaf dan rosella. Serat alam memiliki beberapa kelemahan yaitu ukuran dan kekuatan tidak seragam dan kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia [4].

Salah satu cara untuk mencegah perambatan radiasi kebisingan pada komponen/struktur mesin, ruangan/bangunan serta dalam kebisingan industri, ialah dengan penggunaan material akustik yang bersifat menyerap atau meredam bunyi sehingga bisung yang terjadi dapat direduksi [1]. Oleh karena itu, bahan tipis, ringan dan murah yang akan menyerap gelombang bunyi pada daerah frekuensi yang lebih luas sangat diinginkan [5]. Bahan baku pengendali kebisingan suara yang terdapat di pasaran umumnya berasal dari bahan sintetik seperti fiberglass, vinyl acetate, butyl rubber, foam urethane, dan lain-lain.

Material sintetik ini memiliki sifat akustik (kemampuan meredam suara) yang cukup baik, namun sebagian besar material tersebut masih berupa produk impor dan limbah buangnya akan menjadi beban cemaran berat bagi lingkungan [6,7]. Serat alam pada umumnya memiliki kemampuan menyerap suara dengan baik, misalnya pada kendaraan, perkantoran, pabrik dan lain sebagainya [9]. Dari hasil penelitian diketahui bahwa serat kelapa dan serat ekor kucing mempunyai kemampuan menyerap suara yang baik pada frekuensi 500 Hz [10].

Tabel 1. Nilai koefisien penyerap bunyi dan serat alam pada frekuensi 500 Hz [10]

| Material | Hcmp | Kcnaf | Coco | Sheep woll | Cork | Typha |
|---------------------|------|-------|------|------------|------|-------|
| Absorption | 0.6 | 0.74 | 0.42 | 0.38 | 0.39 | 0.66 |
| Non-woven thickness | 30 | 5.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 0.23 |

Serat typha latifolia merupakan serat menyerupai kapas dari buah kapuk yang memiliki sifat lembut, berpori, dapat menyerap air [8]. Serat ekor kucing (typha latifolia) diperkirakan mampu mereduksi kebisingan. Kelas penyerapan suara dapat diklasifikasikan seperti ditabulasikan pada Tabel 2 [13] berdasarkan nilai koefisiennya. Kelas penyerapan suara terbaik kelas penyerapan suara terbaik adalah A dengan rentang koefisien 0.90-1.00 diikuti oleh B, C, D, E dan tidak diklasifikasikan.

Tabel 2. Kelas Absorbs Suara

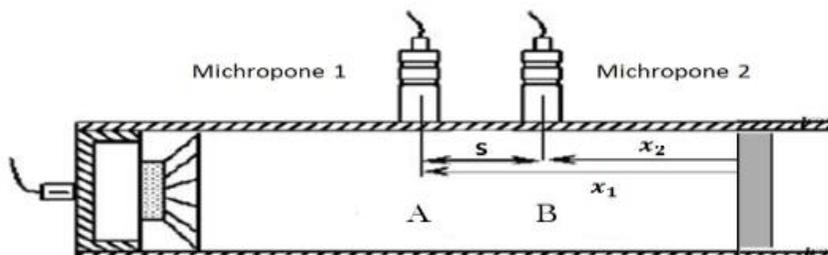
| Sound Absorption Class | Absorption Coefficient, α |
|------------------------|----------------------------------|
| A | 0.90 – 1.00 |
| B | 0.80 – 0.85 |
| C | 0.60 – 0.75 |
| D | 0.30 – 0.55 |
| E | 0.15 – 0.25 |

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kombinasi serat ekor kucing dengan pelapis pelat aluminium berpori terhadap nilai koefisien penyerap suara, mengetahui pengaruh berat spesimen uji terhadap koefisien penyerap suara dan mengetahui hubungan frekuensi sumber bunyi terhadap nilai koefisien penyerap bunyi. Pada penelitian ini serat typha latifolia akan digunakan sebagai sampel uji penyerap suara dimana akan dilakukan pengujian nilai koefisien penyerap suara dari serat tersebut dengan hambatan pelat aluminium berpori.

2. Metodologi Penelitian

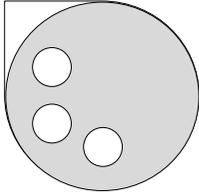
2.1 Metode Transfer Fungsi (ISO 10534-2:1998)

Metode ini menggunakan dua buah mikropon yaitu pada posisi x_1 dan x_2 [12]. Tabung impedansi yang menggunakan metode transfer fungsi diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema tabung impedansi

Pengujian ini diukur dengan menggunakan Tabung Impedansi



Dimana:

A dan B = Amplitudo tegangan (Volt)

K = Nomor gelombang (m-1)

x1 = Jarak antara sampel dan mikropon terjauh (m)

x2 = Jarak antara sampel dan mikropon terdekat (m)

s = Jarak antara kedua mikropon (m)

Tekanan bunyi pada masing-masing mikropon adalah:

$$P_1 = Ae^{-jkkx_1} + Be^{jkkx_1} \quad (1)$$

$$P_2 = Ae^{-jkkx_2} + Be^{-jkkx_2} \quad (2)$$

sehingga transfer fungsi akustik kompleks antara kedua mikropon ini yaitu :

$$H_{21} = \frac{p_1}{p_2} \quad (3)$$

dan faktor refleksinya :

$$r = \frac{H_{21} - H_1}{H_R - H_{21}} e^{2jkkx_1} \quad (4)$$

dimana :

$$H_1 = e^{-jks} \quad (5)$$

$$H_R = e^{jks} \quad (6)$$

maka koefisien serap bunyi dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (7)$$

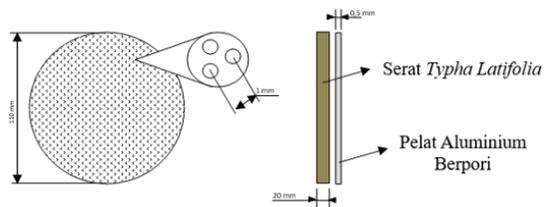
2.2 Rancangan penelitian

Untuk mengumpulkan data dari hasil pengujian penyerap suara maka harus terlebih dahulu mempersiapkan spesimen penyerap suara dengan berbagai variasi besar pori pelat dan berat serat, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3. (*Impedance Tube*) yang kemudian dikembangkan dengan menggunakan rumus perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien absorbs pengukuran dilakukan frekuensi 1/1 oktaf untuk sampel pengujian dengan ketebalan yang berbeda. Faktor-faktor lain yang berperan dalam penentuan koefisien penyerap suara adalah berat dan ketebalan sampel uji. Pada pengujian ini pengujian menggunakan standar (ISO 10534-2:1998) yaitu menggunakan tabung impedansi dengan metode transfer fungsi untuk mendapatkan koefisien absorpsi (α) [11].

Tabel 3. Parameter Sampel Uji

| Bahan | Berat total (gr) | Besar pori pelat (mm) | Temperatur Hot Press (C°) |
|---------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|
| Serat tanaman Ekor Kucing | 50 | 1 | 200 |
| | | 1.5 | |
| | | 2.5 | |
| | 75 | 1 | |
| | | 1.5 | |
| | | 2.5 | |

Adapun sampel uji dalam penelitian ini adalah serat ekor kucing (*typha latifolia*) dengan pelapis pelat berpori seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Susunan sampel uji

2.3 Pembuatan sampel uji

1) Bahan yang digunakan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat aluminium dan serat ekor kucing (*typha latifolia*). Serat ekor kucing (*typha latifolia*) diperoleh langsung dari daerah Lampaseh Kota, Banda Aceh yang kemudian dibersihkan dan dikeringkan menggunakan sinar matahari.



Gambar 3. Serat Ekor Kucing

2) Peralatan yang digunakan

Adapun peralatan dalam pembuatan spesimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Cetakan

Persiapkan alat dan bahan untuk membuat sampel uji yang pertama yaitu pembuatan cetakan dari besi pipa dengan diameter 110 mm dan tinggi 50 mm.



Gambar 4. Cetakan specimen

2.4 Mesin pres panas (hot press)

Mesin pres panas atau hot press merupakan mesin press hidrolik manual dimana alas atau penekan dari press tersebut dapat menghasilkan panas. Mesin press panas pada penelitian ini digunakan sebagai penekan spesimen agar berbentuk solid dan sesuai dengan bentuk cetakan.



Gambar 5. Mesin press panas

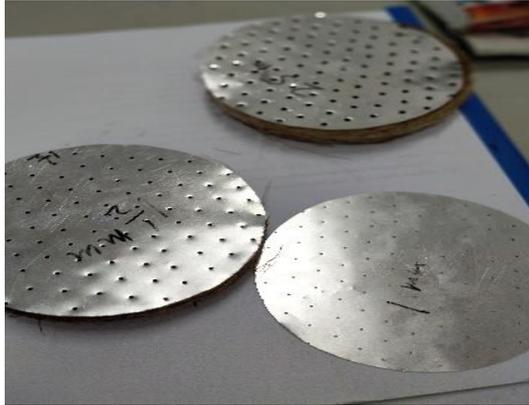
2.5 Alat bantu lainnya

Adapun alat bantu yang digunakan dalam proses pembuatan sampel uji yaitu timbangan, gunting penggaris, tang jepit, aluminium foil, penggaris, jangka sorong dan cok sambung. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan sampel uji adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan cetakan dan penutup cetakan sebagai alat bantu untuk menekan bahan sampel uji.
- 2) Menyiapkan bahan sampel uji yaitu serat sabut kelapa dan serat ekor kucing.
- 3) Serat serat ekor kucing ditimbang dengan berat 75 gr dan 50 gr.
- 4) Menyiapkan mesin press panas dan atur temperatur pada 200 derajat celcius.
- 5) Menyusun serat agar serat memiliki ketebalan 20 mm kedalam cetakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.
- 6) Serat yang telah tersusun di dalam cetakan kemudian ditutup menggunakan penutup cetakan.
- 7) Serat yang telah tertutup dengan penutup cetakan akan dipress menggunakan press panas dimana tekanan ditentukan secara manual menggunakan hidrolik.
- 8) Sampel uji ditekan selama 10 menit dan kemudian dibalik dan ditekan kembali selama 10 menit.
- 9) Setelah sampel uji ditekan sesuai dengan waktu yang ditentukan, cetakan yang berisi sampel uji dikeluarkan dari mesin press.

10) Setelah dikeluarkan dari mesin press, sampel uji dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan bantuan tang penjepit dan palu.

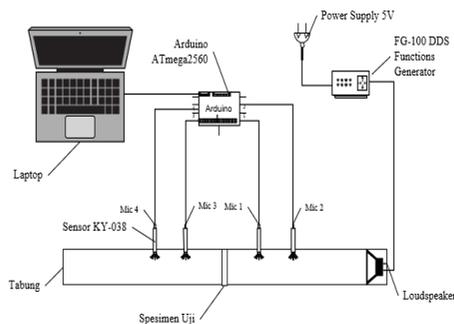
Sampel uji yang sudah selesai dicetak dan mengeras akan menjadi bentuk yang solid dan memiliki ketebalan dan susunan yang sudah ditentukan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Sampel uji

2.6 Experimental Set Up

Secara eksperimental, pengujian dan pengambilan data untuk mendapatkan koefisien serap bunyi dari material dilakukan dengan menggunakan tabung impedansi dan alat-alat pendukung lainnya. Skematis alat untuk pengujian koefisien serap bunyi ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Skema alat uji tabung impedansi

2.7 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Siapkan semua peralatan uji dengan diatur sesuai gambar skema alat uji tabung impedansi.
- 2) Masukkan spesimen uji dalam tabung impedansi, yaitu ditengah ruang uji dengan posisi tegak lurus terhadap arah ruang tabung.
- 3) Hubungkan Functions Generator pada speaker yang berfungsi untuk membangkitkan frekuensi.
- 4) Pengukuran dilakukan pada frekuensi 1/1 oktaf yaitu 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 1500Hz, 2000 Hz, 4000 Hz.
- 5) Hubungkan mikropon 1, mikropon 2, mikropon 3 dan 4 pada arduino.
- 6) Hubungkan arduino ke port USB pada laptop lalu buka software PLX-DAQ untuk

menganalisis sinyal.

- 7) Pada software PLX-DAQ buka program sound recorder 4ch.
- 8) Atur frekuensi pada functions generator, buka kembali PLX-DAQ untuk melihat tegangan dan grafik tegangan suara pada masing-masing mikropon.
- 9) Klik Start/Stop Save untuk logging data. Data grafik akan otomatis tersimpan dalam drive (D:) pada laptop.
- 10) Ambil nilai tegangan rata-rata pada masing-masing mikropon (A dan B) untuk dihitung koefisien absorpsinya dengan bantuan MATLAB.

Ulangi prosedur diatas untuk frekuensi dan sampel yang berbeda.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah hasil pengujian koefisien penyerap bunyi dari kombinasi serat ekor kucing dengan pelat berlubang dengan berbagai variasi ukuran besar lubang pada pelat dan beratnya.

- 1) Pengukuran pada Besar Pori 1 mm dengan Serat 50 gr

Tabel 4. Nilai koefisien absorpsi pada besar pori 1 mm dengan Serat 50gr

| Besar Pori dengan Serat 50 gr (mm) | Frekuensi (Hz) | α |
|------------------------------------|----------------|----------|
| 1 | 125 | 0,3522 |
| | 250 | 0,349 |
| | 500 | 0,3951 |
| | 1000 | 0,3677 |
| | 2000 | 0,3522 |
| | 4000 | 0,3677 |
| | 8000 | 0,3522 |

- 2) Pengukuran pada Besar Pori 1.5 mm dengan Serat 50 gr

Tabel 5. Nilai koefisien absorpsi pada besar pori 1.5 mm dengan Serat 50 gr

| Besar Pori dengan Serat 50 gr (mm) | Frekuensi (Hz) | α |
|------------------------------------|----------------|----------|
| 1.5 | 125 | 0,3306 |
| | 250 | 0,3322 |
| | 500 | 0,402 |
| | 1000 | 0,349 |
| | 2000 | 0,3176 |
| | 4000 | 0,3322 |
| | 8000 | 0,3176 |

- 3) Pengukuran pada Besar Pori 2.5 mm dengan Serat 50 gr

Tabel 6. Nilai koefisien absorpsi pada besar pori 2.5 mm dengan Serat 50 gr

| Besar Pori dengan Serat 50 gr (mm) | Frekuensi (Hz) | α |
|------------------------------------|----------------|----------|
| 2.5 | 125 | ... |
| | 250 | ... |
| | 500 | ... |
| | 1000 | ... |
| | 2000 | ... |
| | 4000 | ... |
| | 8000 | ... |

4) Pengukuran pada Besar Pori 1 mm dengan Serat 75 gr

Tabel 7. Nilai koefisien absorpsi pada besar pori 1 mm dengan Serat 75 gr

| Besar Pori dengan Serat 75 gr (mm) | Frekuensi (Hz) | α |
|------------------------------------|----------------|----------|
| 1 | 125 | 0,6448 |
| | 250 | 0,5142 |
| | 500 | 0,6011 |
| | 1000 | 0,5975 |
| | 2000 | 0,5507 |
| | 4000 | 0,6003 |
| | 8000 | 0,5611 |

5) Pengukuran pada Besar Pori 1.5 mm dengan Serat 75 gr

Tabel 8. Nilai koefisien absorpsi pada besar pori 1.5 mm dengan Serat 75 gr

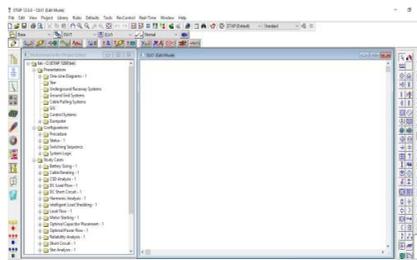
| Besar Pori dengan Serat 75 gr (mm) | Frekuensi (Hz) | α |
|------------------------------------|----------------|----------|
| 1.5 | 125 | 0,5461 |
| | 250 | 0,4696 |
| | 500 | 0,6173 |
| | 1000 | 0,5563 |
| | 2000 | 0,5203 |
| | 4000 | 0,5556 |
| | 8000 | 0,5220 |

6) Pengukuran Besar Pori 2.5 mm dengan Serat 75 gr

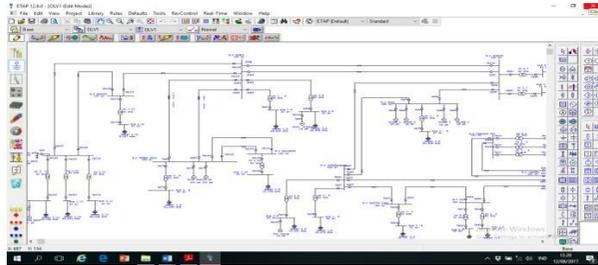
Tabel 9. Nilai oefisien absorpsi pada besar pori 2.5 mm dengan Serat 75 gr

| Besar Pori dengan Serat 75 gr (mm) | Frekuensi (Hz) | α |
|------------------------------------|----------------|----------|
| 2.5 | 125 | 0,4711 |
| | 250 | 0,3951 |
| | 500 | 0,5142 |
| | 1000 | 0,5142 |
| | 2000 | 0,4107 |
| | 4000 | 0,4107 |
| | 8000 | 0,5389 |

Setelah melakukan pengukuran dan pengolahan data, hasil perbandingan variasi besar pori pelat dan berat dari serat ekor kucing dapat dilihat pada gambar 15. Berikut ini adalah komponen – komponen ETAP 12.6.0 beserta langkah – langkah dalam membuat *single line diagram* (SLD) sub sistem Aceh untuk melakukan simulasi pengaruh penambahan kapasitor bank 25 Mvar di gardu induk Banda Aceh. Membuat single line diagram sub-sistem Aceh kondisi saat ini (sebelum adanya penambahan kapasitor bank).

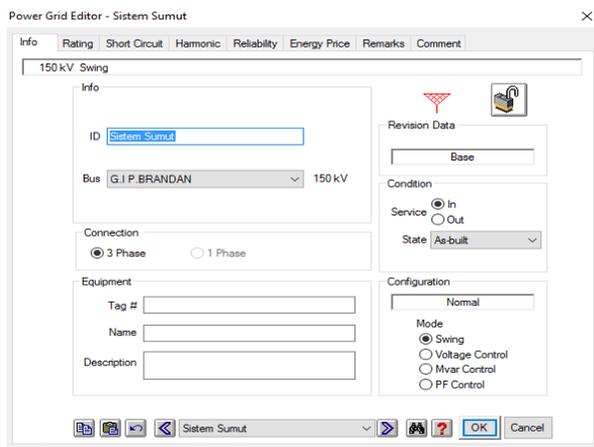
Gambar 8. Tampilan ETAP 12.6.0 untuk membuat *single line diagram*

Pada gambar 8 terdapat ruang untuk menggambar *single line diagram* dengan menggunakan *template* yang terletak pada *toolbar* sebelah kanan. Single line diagram akan dibuat seperti yang terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Single line diagram subsistem Aceh saat ini

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat single line diagram subsistem Aceh saat ini (sebelum adanya penambahan kapasitor bank), SLD yang lebih jelas dapat dilihat pada lampiran. Data peralatan untuk simulasi yang diperlukan pada ETAP 12.6.0 dimasukkan. Data peralatan – peralatan yang dimasukkan meliputi data generator atau pembangkit, data transformator, data beban, racking bus, dan data saluran. Berikut ini adalah gambar tampilan dari beberapa data peralatan yang dimasukkan pada ETAP 12.6.0 :



Gambar 10. Tampilan data slack bus pada ETAP 12.6.0

Dari gambar 10 diatas terlihat tampilan data yang dimasukkan untuk menentukan slack bus dari subsistem Aceh. Pemilihan mode swing diperlukan untuk menetapkan bus Pangkalan Brandan sebagai slack bus yaitu bus referensi yang akan menanggung kekurangan suplai daya dari subsistem Aceh.

3.1 Skenario 1

Pada skenario pertama, simulasi dilakukan pada kondisi sub sistem Aceh saat ini yaitu belum terpasangnya kapasitor bank 25 Mvar. Hasil aliran daya simulasi skenario pertama dibandingkan dengan hasil rekap aliran daya pada tanggal 27 Juli 2017 yang disampaikan secara *real time* oleh setiap operator gardu induk UPT Banda Aceh dan disampaikan secara berkala didalam grup O & M aplikasi Whatsapp. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi software ETAP 12.6.0 dengan kondisi real time subsistem Aceh.

Tabel 10. Perbandingan hasil simulasi dengan rekap operator GI

| Perbandingan Aliaran Daya | | | Date : 27 Juli 2017 | | | | |
|---------------------------|--------|-------------|---------------------|--------|---------------------------|------|--------|
| Segmen | CCC(A) | ETAP 12.6.0 | | | Rekap Operator (O &M Upt) | | |
| | | Beban (MW) | | | Beban (MW) | | |
| | | | Arus | | | Arus | |
| LSA- P BR 1 | 1250 | 30 | 124,1 | 9,9 % | 30 | 131 | 10,5% |
| LSA-P BR 2 | 1250 | 30 | 124,1 | 9,9 % | 30 | 131 | 10,5 % |
| LSA-T CUT 1 | 600 | 12,2 | 49,9 | 8,3% | 11,2 | 48 | 8,0% |
| LSA-T CUT | 600 | 12,2 | 49,9 | 8,3 % | 11,2 | 48 | 8,0% |
| LSA-IDIE | 1250 | 13,1 | 65,7 | 5,3 % | 14,7 | 74 | 5,9 % |
| LSA-LSW | 1250 | 0,4 | 25,4 | 2,0 % | 1,8 | 32 | 2,6 % |
| IDIE-PLB | 1250 | 2,3 | 33 | 2,6 % | 0,9 | 41 | 3,3 % |
| PLB-LSW | 1250 | 17,8 | 83,5 | 6,7 % | 15,1 | 80 | 6,4 % |
| LSW-ARN | 1250 | 57,1 | 233,6 | 18,7 % | 63,1 | 257 | 20,6% |
| LSW-BRN | 600 | 23,6 | 93,2 | 15,5 % | 23,6 | 96 | 16,0 % |
| LSW-BRN | 600 | 23,6 | 93,2 | 15,5 % | 23,6 | 96 | 16,0 % |
| ARN-BRN | 600 | 50,4 | 194,4 | 32,4 % | 51,3 | 205 | 34,2 % |
| BRN-SGL1 | 600 | 19,2 | 76,9 | 12,8 % | 19,9 | 77 | 12,8 % |
| BRN-SGL2 | 600 | 19,2 | 76,9 | 12,8% | 19,9 | 77 | 12,8 % |
| SGL-N RA 1 | 1600 | 44,6 | 173,8 | 10,9 % | 44,1 | 174 | 10,9% |
| SGL-N RA 2 | 1600 | 44,6 | 173,8 | 10,9 % | 44,1 | 174 | 10,9 % |
| SGL-JTO | 600 | 45,2 | 179,6 | 29,9 % | 45,3 | 180 | 30,0 % |
| JTO-BAC | 600 | 42,2 | 168,2 | 28,0% | 41 | 165 | 27,5 % |
| SGL-BAC | 600 | 45,2 | 178,4 | 29,7 % | 45,7 | 176 | 29,3 % |
| NRA-MBO1 | 600 | 5,5 | 21,5 | 3,6 % | 6,1 | 23 | 3,8 % |
| NRA-MBO2 | 600 | 5,5 | 21,5 | 3,6 % | 6,1 | 23 | 3,8 % |

Dari tabel perbandingan diatas dapat dilihat nilai beban dan arus saluran yang dihasilkan oleh simulasi ETAP 12.6.0 hampir sama dengan hasil rekap laporan beban dari operator gardu induk UPT Banda Aceh, bahkan terdapat beberapa segmen yang hasilnya sangat mendekati seperti segmen Bireun – Sigli dan segmen Sigli – Nagan Raya dengan pembebanan saluran yang bernilai sama, contoh : hasil pembebanan saluran Sigli – Nagan Raya 1 versi simulasi ETAP sama dengan hasil pembebanan saluran Sigli – Nagan Raya versi rekap operator.

Nilai tegangan tidak ditampilkan pada tabel perbandingan diatas dikarenakan perbedaan format nilai tegangan yang ditampilkan oleh hasil simulasi ETAP 12.6.0 dengan format tegangan yang direkap oleh operator gardu induk. Perbedaan beberapa nilai hasil simulasi ETAP dengan hasil realtime rekap operator dinilai wajar dikarenakan program simulasi tidak mungkin menghasilkan hasil yang sama persis dengan hasil realtime. Namun, dengan adanya perbandingan diatas yang hasilnya tidak terlalu berbeda dapat menjadi acuan bahwa simulasi pengaruh pemasangan kapasitor 25 Mvar di gardu induk Banda Aceh dapat dilakukan.

3.2 Skenario 2

Pada skenario 2, simulasi dilakukan dengan membandingkan tegangan gardu induk Banda Aceh saat ini dengan kapasitor bank eksiting 25 Mvar dan saat setelah unit kapasitor bank tambahan 25 Mvar bekerja. Hasil tegangannya dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan Kapasitor Bank

| Nama Gardu Induk | Nominal kv | Sebelum | Setelah | Peningkatan |
|------------------|------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | | <u>penambahan</u> | <u>penambahan</u> | |
| | | Tegangan (kv) | Tegangan (kv) | Tegangan (kv) |
| G.I Arun | 150 | 150 | 150 | 0 |
| G.I Banda Aceh | 150 | 144,3 | 149,6 | 5,3 |
| G.I Bireun | 150 | 147,5 | 148,5 | 1 |
| G.I Idi | 150 | 145,1 | 145,3 | 0,2 |
| G.I Jantho | 150 | 145,1 | 149,4 | 4,3 |
| G.I Langsa | 150 | 144,5 | 144,6 | 0,1 |
| G.I Lhokseumawe | 150 | 148,2 | 148,4 | 0,2 |
| G.I Nagan Raya | 150 | 149,9 | 150 | 0,1 |
| G.I Panton Labu | 150 | 146,7 | 146,9 | 0,2 |
| G.I Sigli | 150 | 146,3 | 149 | 2,7 |
| G.I Tualang Cut | 150 | 144,1 | 144,1 | 0 |
| G.I Meulaboh | 150 | 149,7 | 149,9 | 0,2 |

Dari tabel 11 diatas dapat dilihat nilai dari tegangan setiap gardu induk pada saat kondisi beban puncak. Menurut standar PLN no 1 tahun 1995 mengenai tegangan standar, tegangan di setiap gardu induk tidak boleh melebihi (*over voltage*) 5% dan kurang (*under voltage*) dari 10%. Nilai tegangan pada gardu induk Banda Aceh sebelum bertambahnya kapasitor bank adalah 144,3 kV dan meningkat menjadi 149,6 kV setelah masuknya unit kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan kualitas tegangan dengan adanya peningkatan sebesar 5,3 kV dari sebelumnya. Drop tegangan pada sistem penyaluran transmisi sangat berpengaruh dari segi pelayanan kepada konsumen, karena tegangan yang terlalu rendah dari tegangan toleransi yang diizinkan dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan instalasi listrik, sehingga kinerja perusahaan akan menjadi kurang baik.

3.3 Skenario 3

Pada skenario 3, simulasi dilakukan untuk melihat peran kapasitor bank baru dengan kapasitas 25 Mvar saat unit PLTU Nagan Raya lepas dari subsistem Aceh. Simulasi ini dinilai perlu dikarenakan saat unit PLTU Nagan Raya lepas dari sistem, akan menyebabkan turunnya nilai tegangan di gardu induk Banda Aceh secara signifikan. Tambahan kapasitor bank ini dinilai akan berperan penting saat kondisi tersebut terjadi sehingga total kapasitor bank yang terpasang di gardu induk Banda Aceh menjadi 50 Mvar dan diharapkan dapat menjaga kualitas tegangan hingga beberapa tahun mendatang seiring laju pertumbuhan beban.

Tabel 12. Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah penambahan unit kapasitor bank saat PLTU Nagan Raya lepas

| Nama Gardu Induk | Nominal kv | Sebelum | Setelah | Peningkatan |
|------------------|------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | | <u>penambahan</u> | <u>penambahan</u> | |
| | | Tegangan (kv) | Tegangan (kv) | Tegangan (kv) |
| G.I Arun | 150 | 150 | 150 | 0 |
| G.I Banda Aceh | 150 | 132,5 | 138,1 | 5,6 |
| G.I Bireun | 150 | 142,2 | 143,4 | 1,2 |
| G.I Idi | 150 | 143,3 | 143,1 | -0,2 |
| G.I Jantho | 150 | 133 | 137,9 | 4,9 |
| G.I Langsa | 150 | 142,9 | 142,7 | -0,2 |
| G.I Lhokseumawe | 150 | 146,8 | 146,9 | 0,1 |
| G.I Nagan Raya | 150 | 132,5 | 136,1 | 3,6 |

| | | | | |
|-----------------|-----|-------|-------|------|
| G.I Panton Labu | 150 | 145,1 | 145,1 | 0 |
| G.I Sigli | 150 | 134 | 137,7 | 3,7 |
| G.I Tualang Cut | 150 | 142,4 | 142,2 | -0,2 |
| G.I Meulaboh | 150 | 132,4 | 136 | 3,6 |

Rendahnya nilai tegangan di gardu induk Banda Aceh yaitu sebesar 132,5 kV diakibatkan karena lepasnya PLTU Nagan Raya dari sistem. Nilai tegangan tersebut mengharuskan adanya pelepasan beban di sisi penyulang oleh APD (Area Pengatur Distribusi) untuk menaikkan kembali nilai tegangannya. Sedangkan setelah bertambahnya unit kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar pada gardu induk Banda Aceh, nilai tegangan dapat mencapai 138,1 kV dalam kondisi PLTU Nagan Lepas dan memenuhi standar PLN no 1 tahun 1995. Dengan adanya penambahan kapasitor bank di gardu induk Banda Aceh juga dapat mempengaruhi kenaikan tegangan di gardu induk yang berdekatan dengan GI yang dipasang kapasitor karena terjadinya kompensasi daya reaktansi induktif dan reaktansi kapastif yang ditimbulkan oleh kapasitor bank.

Tabel 13. Hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah penambahan kapasitor bank

| Nama Saluran | Sebelum Penambahan | | Setelah Penambahan | |
|------------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | MW Flow | Mvar Flow | MW Flow | Mvar Flow |
| L.Arun-Bireun | 94,854 | 33,28 | 99,891 | 23,201 |
| L.Bireun - Sigli | 64,162 | 10,827 | 68,915 | 1,436 |
| L.Idi – Panton | 43,156 | -24,669 | 48,54 | -26,866 |
| L.Jantho -Banda | 31,919 | 1,891 | 34,47 | -9,023 |
| L.Langsa – Idi | 59,052 | -20,04 | 64,606 | -21,554 |
| L.Langsa – Lhokseumawe | 47,577 | -25,279 | 53,359 | -26,927 |
| L.Langsa -T.Cut 1 | 11,894 | 4,008 | 11,862 | 3,997 |
| L.Langsa-T.cut 2 | 11,894 | 4,008 | 11,862 | 3,997 |
| L.Lhoekseumawe-arun | 12,598 | 64,239 | 7,561 | 63,372 |
| L.Lhoekseumawe-Bireun | 70,039 | 7,483 | 75,392 | 0,033 |
| L.Nagan-Meulaboh 1 | 4,321 | 0,657 | 4,563 | 0,694 |
| L.Nagan – Meulaboh 2 | 4,321 | 0,657 | 4,563 | 0,694 |
| L.Nagan – Sigli 1 | 12,335 | 2,85 | 13,028 | 3,01 |
| L.Nagan – Sigli 2 | 12,335 | 2,85 | 13,028 | 3,01 |
| L.P.Brandan-Langsa 1 | 78,82 | -11,067 | 84,867 | -11,18 |
| L.P.Brandan-Langsa 2 | 78,82 | -11,067 | 84,867 | -11,18 |
| L.Panton-Lhoekseumawe | 27,306 | -29,336 | 32,496 | -32,198 |
| L.Sigli- Jantho | 34,622 | 0,193 | 37,505 | -10,088 |
| L.Sigli-Banda Aceh | 34,416 | 3,048 | 37,21 | -9,276 |

Dari tabel 13 diatas dapat dilihat peningkatan aliran daya yang mengalir pada saluran setelah penambahan kapasitor bank 25 Mvar. Nilai daya aktif dan daya reaktif hasil simulasi ETAP dapat dibuktikan dengan cara melakukan perhitungan menggunakan metode *Gauss-Seidell*. Salah satu saluran yang digunakan untuk pembuktian nilai aliran daya pada tabel diatas adalah saluran yang menghubungkan gardu induk Sigli menuju gardu induk Banda Aceh sebelum penambahan kapasitor bank. Berikut adalah langkah – langkah mendapatkan nilai aliran daya saluran Sigli – Banda Aceh dengan metode *Gauss-Seidell* :

Diketahui:

$$\Omega Z_{\text{Sigli} - \text{Banda Aceh}} = 4,37553 + j25,9941 \Omega$$

$$puZ_{pu} = 1502(4,37553 + j25,9941) \times 100 = 0,019446 + j0,115529 pu$$

Admitansi (Y) Sigli – Banda Aceh:

$$Y_{Sigli - Banda Aceh} = Z_{pu1} = 0,019446 + j0,1155291 = 1,4168 - j8,4173$$

Tegangan (V) Sigli:

$$V_{Sigli} = 134 \angle -26,48^\circ = 0,79961 - j0,39832 \text{ pu}$$

Tegangan (V) Banda Aceh:

$$V_{Banda Aceh} = 132,5 \angle -29,32^\circ = 0,77017 - j0,43256 \text{ pu}$$

Nilai arus saluran dalam Per Unit:

$$\begin{aligned} \text{Sigli - Banda Aceh} &= Y_{Sigli-Banda} \cdot (V_{Sigli} - V_{Banda Aceh}) \\ &= (1,4168 - j8,4173) \cdot [(0,79961 - j0,39832) - (0,77017 - j0,43256)] \\ &= 0,32991 - j0,19929 \text{ pu} \end{aligned}$$

Aliran daya saluran Sigli – Banda Aceh:

$$\begin{aligned} &V_{Sigli} \cdot I_{Sigli - Banda Aceh}^* \\ &= (0,79961 - j0,39832) \cdot (0,32991 + j0,19929) \\ &= 0,34318 + j0,02794 \text{ pu} \\ &= 34,32 \text{ MW} + 2,79 \text{ Mvar} \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut merupakan langkah untuk membuktikan hasil simulasi dengan perhitungan manual. Hasil keduanya tidak jauh berbeda.

Tabel 14. Perbandingan hasil simulasi Etap dengan perhitungan manual

| Nama Saluran | Simulasi Etap | | Perhitungan Manual | |
|--------------------|---------------|-----------|--------------------|-----------|
| | MW Flow | MVAR Flow | MW Flow | Mvar Flow |
| L.Sigli-Banda Aceh | 34,416 | 3,048 | 34,32 | 2,79 |

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program ETAP 12.6.0, dapat disimpulkan bahwa penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar di gardu induk Banda Aceh mampu meningkatkan nilai tegangan hingga ± 5KV sampai 6KV dan juga memberikan dampak positif pada gardu induk Jantho dan Sigli. Selain itu, penambahan kapasitor bank juga mampu menjaga nilai tegangan tetap memenuhi standar saat terjadi gangguan pada unit pembangkitan PLTU Nagan Raya. Oleh karena itu, penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar merupakan solusi yang efektif untuk mengatasi kendala tegangan rendah di Sub Sistem Aceh khususnya pada gardu induk Banda Aceh.

Referensi

- [1] ATMOJO, L. P. (2019). *ANALISIS PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN MENGGUNAKAN SVC DAN OLTC PADA SUBSISTEM SUMBAGUT 150 KV PROVINSI ACEH*. (Doctoral dissertation, UNISNU Jepara).
- [2] Gonen, T. (1986). *Electrical Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill. Inc., Copyright.
- [3] Gonen, T. (1988). *Modern Power System*. JohnWiley and Sons, Inc., Canada. No RN (Ω) Time Unbalanced Load (%) IN (A) IG (A) PN (kW) PN (%) PG (kW) PG (%).
- [4] Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power Systems Analysis McGraw-Hill*. New York.

- [5] Hakim, M. F., Nurhadi, S., Amaral, H. D. F., & Hermawan, S. L. (2023). *Kapasitor Shunt Sebagai Korektor Tegangan Bus di Gardu Induk*. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(1), 30-35.
- [6] Hakim, M. F., Wibowo, S. S., & Pamuji, A. L. (2017). *Analisis Perencanaan Kompensator Daya Kapasitif Di Gardu Induk (GI) Sumenep Untuk Perbaikan Jatuh Tegangan*. *JURNAL ELTEK*, 15(2), 81-94.
- [7] Kementrian, E. S. D. M. (2020). *Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)*. Menteri Energi dan Sumber Daya Miner. Republik Indones, (3), 417-607.
- [8] Kezunovic, M. (2000, October). *Advanced assessment of the power quality events*. In Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 00EX441) (Vol. 3, pp. 834-839). IEEE.
- [9] Lesnanto Multa P, Restu Prima Aridani. (2013). *Modul Pelatihan Etap*, Yogyakarta: JTE Universitas Gadjah Mada.
- [10] Liklikwatil, Y., & Maulana, H. (2017). *Analisis Luas Daerah Proteksi Petir Jenis Early Streamer pada Tower SUTT*. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 12(1), 9-19.
- [11] Natarajan, R. (2018). *Power system capacitors*. CRC Press.
- [12] Oktaviani, W. A., Suhendra, S., Barlian, T., & Apriani, Y. (2022). *Penempatan Kapasitor Paralel pada Penyulang Pajajaran GI Jakabaring*. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 4(1), 32-37.
- [13] Putra, A. M. N. (2021). *Efektifitas Pemasangan Kapasitor di Gardu Induk Terhadap Kualitas Daya di Jaringan Transmisi*. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 30-35.
- [14] Saadat, H. (1999). *Power system analysis*. McGraw Hill.
- [15] Stevenson, W. D. (1955). *Elements of power system analysis*. McGraw-Hill.
- [16] Tanjung, A., & Monice, M. (2020). *Optimalisasi Pengaturan Tegangan di Jaringan Listrik Dengan Menggunakan Genetik Algoritma*. *Jurnal Teknik*, 14(2), 216-222.
- [17] Yusmartato, Y., Nasution, R., & Armansyah, A. (2018). *Penggunaan Kapasitor Bank Pada Gardu Induk 275 kV/33 kV (Aplikasi PT Indonesia Asahan Aluminium)*. *Buletin Utama Teknik*, 14(1), 62-67.