










# BULETIN UTAMA

# TEKNIK

## DAFTAR ISI

	Hal
<p> Uji Tekan Aksial Model Pondasi Kelompok Tiang 3x3-Rakit Pada Tanah Pasir Tomo Setengah Padat <b>Roesyanto</b> .....</p>	161 - 168
<p>Perbaikan Gradasi Butiran Tanah Dengan Stabilisasi Mekanis Pada Pengujian CBR Laboratorium <b>Banta Chairullah. Husna Asmaul</b> .....</p>	169 - 177
<p> Sistem Pengukuran Kuat Penerangan Berbasis Mikrokontroler 89C51 <b>Marhaposan Situmorang</b> .....</p>	178 - 185
<p> Perbandingan Tegangan Antara Eksperimen Dan Simulasi Dari Helm Industri Dengan Bahan Komposit Gfrp Yang Mendapat Beban Impak Kecepatan Tinggi <b>M. Rafiq Yanhar</b> .....</p>	186 - 191
<p> Studi Faktor-Faktor Penyebab Pekerjaan Ulang (Rework) Pada Proyek Konstruksi Gedung Di Kabupaten Bireuen <b>Jafar Siddik Dan Andrian Kaifan</b> .....</p>	192 - 198
<p> Analisa Perbandingan Pendistribusian Beban Sentris Pada Pile Cap Dengan Cara Konvensional Dan Metode Elemen Solid <b>Robert Panjaitan</b> .....</p>	199 - 204
<p> Analisis Kemampuan Pengukuran Desain Lock-In Amplifier <b>Hamonangan Tambunan</b> .....</p>	205 - 212
<p> Perancangan Kompensator Lead-Lag Elektrik <b>Asahan Pasaribu</b> .....</p>	213 - 221
<p> Analisis Arus Mengalir Pada Penghantar Netral Untuk Saluran Transmisi Sistem 150kv <b>Subhan</b> .....</p>	222 - 230
<p> Analisis Optimasi Sistem Tenaga Listrik Dengan Pengaturan Tegangan Pada Penyulang Saluran Distribusi <b>Said Abubakar</b> .....</p>	231 - 240

# ANALISIS KEMAMPUAN PENGUKURAN DESAIN LOCK-IN AMPLIFIER

Hamonangan Tambunan

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan

## Abstrak

Suatu alat yang dapat digunakan untuk memilih atau memisahkan sinyal dari beberapa sinyal digunakan dalam banyak pekerjaan yang berhubungan dengan bidang fisika dan kelistrikan. Penelitian ini dilakukan untuk mendisain suatu alat yang berdasarkan pada banyak teori dan banyak percobaan yang telah dilakukan. Alat Lock-in Amplifier dapat memisahkan suatu sinyal dari penguat instrumentasi, penyaring, penggeser fasa, dan pengali. Masing-masing kualitas subsistem ditentukan dengan penguat sinyal, lebar band frekuensi yang dapat dilewatkan. Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini rancangan pengujian dilakukan pada masing-masing unit subsistem.

**Kata-kata kunci:** *Lock-in Amplifier*

## Abstract

A tool that can be used to pick or to separate signal out of many signal is used in many working that related to physics and electricals. This study was conducted to design a tool that based on many theories and many experiments had been done. The lock-in amplifier tool is able to separate one signal out from instrumentation amplifier, filter, phase shifter, and multiplier. Each of subsystem quality was considered by signal amplifier, frequency bandwidth that can be passed. Based on them in this study design testing was conducted at each of subsystem unit.

**Keywords:** *Lock-in Amplifier*

## Pendahuluan

Dalam pengamatan gejala yang terkait dengan kelistrikan atau fisika memerlukan peralatan yang dapat digolongkan dalam dua bagian, yaitu peralatan utama dan peralatan pendukung. Peralatan pendukung terdiri dari alat ukur dasar. Peralatan ini mungkin sebagian ada yang sudah tersedia, namun alat utama belum sepenuhnya tersedia sehingga menyebabkan keterbatasan lingkup pengkajian bidang kelistrikan maupun fisika. Penelitian ini merupakan

pengembangan kemampuan untuk dapat menguasai penerapan ilmu kelistrikan. *Lock-in amplifier* sangat penting manfaatnya pada pengujian-pengujian terkait dengan kelistrikan dan fisika karena merupakan salah satu alat pendukung utama yang digunakan dalam pengamatan dalam ilmu bahan, penentuan pembawa muatan pada semikonduktor, pengamatan efek hole, pengamatan efek histeresis suatu bahan. Selain itu lock-in amplifier juga bermanfaat dalam penentuan hambatan jenis bumi, serta penentuan jumlah dan tebal lapisan bumi



sampai kedalaman tertentu (Lawrence, 1971). Berdasarkan ini lock-in amplifier dirancang selanjutnya dilakukan pengujian tentang akurasi pengukurannya.

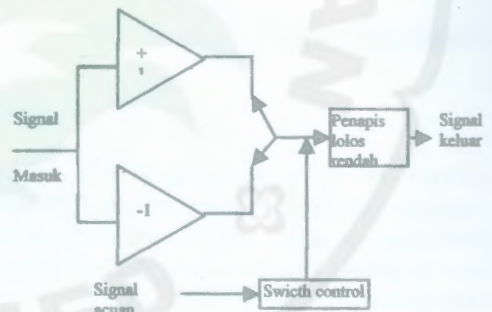
Beberapa subsystem lock-in amplifier berfungsi secara sendiri-sendiri, namun tidak dapat terlepas satu sama lain karena merupakan suatu system yang akan menghasilkan suatu hasil ukur. Subsystem penguat (*amplifier*) berfungsi untuk memperkuat signal yang masuk, Subsystem penapis (*filter*) berfungsi meloloskan signal yang dipilih sedemikian, Subsystem penggeser fasa (*phase shifter*) berfungsi untuk menggeser fasa dari signal yang ditera dan selanjutnya dibandingkan dengan signal referensi, subsystem pengali (*multiplier*) berfungsi untuk memperkuat signal yang diinginkan sekaligus menghilangkan noise (derau) yang ada pada signal tersebut.

Penelitian ini mengkaji tentang penguatan signal, lebar rentang frekuensi yang lolos, faktor kualitas, rangkaian nilai batas frekuensi terukur serta perbandingan antara signal dengan derau. Selanjutnya ditentukan besar penguatan yang dihasilkan oleh lock-in amplifier, lebar rentang frekuensi yang dapat diloloskan filter lolos pita, nilai faktor kualitas yang dihasilkan oleh penapis lolos pita dan batas frekuensi yang dihasilkan oleh filter lolos rendah. Dengan hasil ini selanjutnya diperoleh suatu penguat dan sekaligus alat dapat memisahkan signal-signal yang dapat diloloskan atau dibaca.

Lock-in amplifier adalah sejenis penguat yang berfungsi untuk mengubah isyarat tegangan (Lawrence, 1971). Apabila dilakukan suatu pengukuran terhadap gejala fisika yang dinyatakan dalam bentuk signal tegangan, signal pada umumnya bercampur dengan derau terutama kalau signal tersebut sangat kecil. Cara umum yang digunakan untuk memisahkan sinyal dari derau adalah dengan penyaringan (Howard, 1974). Apabila signal yang membawa informasi tentang besaran fisika yang mempunyai

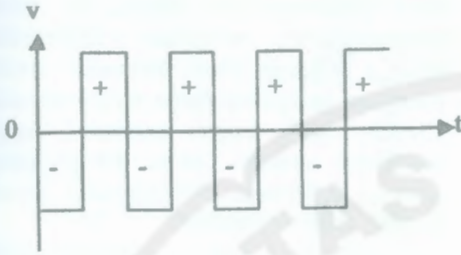
spectrum yang berbeda dari derau maka memungkinkan untuk merancang filter yang dapat meredam derau dari signal. Apabila bentuk gelombang signal tegangan yang akan diukur tenggelam didalam derau dan merupakan gelombang sinus, gelombang persegi atau gelombang lain yang simetris dan periodik, maka dapat digunakan lock-in amplifier untuk mengukur signal tersebut. Signal keluaran dari penguat ini berbentuk signal tegangan searah yang telah dikuatkan. Penguatan ini dapat mencapai ratusan ribu kali sesuai kebutuhan. Lock-in amplifier ini pada dasarnya terdiri dari dua bagian besar, yaitu detector peka fasa dan filter lolos rendah.

Prinsip kerja detector fasa dapat digambarkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Diagram detector

Signal gelombang acuan berfungsi untuk mengubah polaritas signal masukan dalam bentuk yang simetris, sehingga signal gelombang keluaran dari detector peka fasa menjadi gelombang keluaran dari detector peka fasa menjadi gelombang setengah penuh. Signal keluaran dari detector peka fasa oleh filter lolos rendah dibuat menjadi tegangan DC yang sebanding dengan amplitudo signal. Selanjutnya signal masukan dari signal acuan tidak sefasa, maka bentuk signal gelombang keluaran detector peka fasa menjadi seperti gambar 2.



Gambar.2. Keluaran Detector peka fasa dan Filter lolos rendah

Peran detector peka fasa adalah pengali sehingga keluaran  $V_o$  merupakan perkalian antara signal masukan  $V_i$  dengan signal acuan  $V_r$ , yang dinyatakan dalam persamaan  $V_o = V_i(t) \times V_r(t)$ .

Signal acuan  $V_r(t)$  pada umumnya berbentuk gelombang persegi dengan perioda  $T_r$ . Bentuk ini dapat dinyatakan sebagai super posisi dari komponen-komponen sinusoida yaitu,

$$V_r(t) = \frac{4}{\pi} \left[ \cos(\omega t + \phi) - \frac{1}{3} \cos(3\omega t) + \dots \right]$$

Seperti pada gambar 2. komponen yang dominan adalah pada frekuensi dasar  $\omega = 2\pi$ . Jika signal masukan beserta derau dinyatakan dalam bentuk  $V_i(t) = A_i \cos(\omega t + \phi) + \dots$  maka bentuk signal keluarannya adalah seperti gambar 3.



Gambar 3. Signal keluaran detector peka fasa

Dalam bentuk persamaan dinyatakan sebagai berikut.

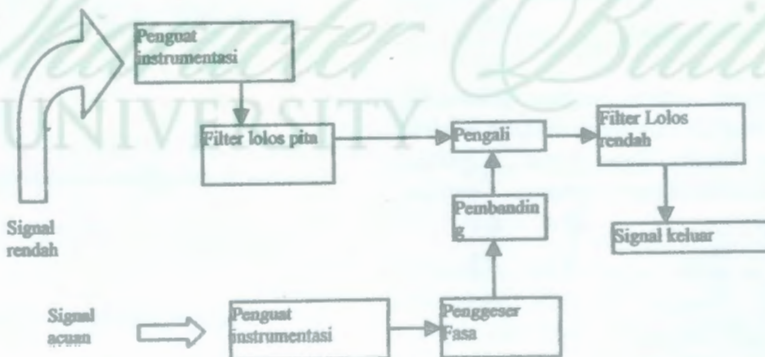
$$V_o(t) = V_i(t) \times V_r(t)$$

$$= \frac{2A_i}{\pi} \left[ \cos \omega t \pm \phi - \frac{1}{3} \cos(3\omega t \pm \omega t + 3\pi \pm \phi) + \dots \right]$$

Bila frekuensi derau adalah  $f_n \neq f_r$  dan filter lolos rendah mempunyai frekuensi potong  $f_c$  jauh lebih rendah dari frekuensi dasar  $f_0$  maka suku yang mengandung  $(f_0 + f_r)$  akan diredam.

Dengan demikian lock-in amplifier akan menyaring tegangan yang tidak pada frekuensi acuan, sehingga hanya signal masukan yang koheren dengan signal acuan yang akan ditanggapi dan menghasilkan tegangan rata-rata.

Diagram lengkap lock-in amplifier terdiri dari beberapa diagram blok rangkaian antara lain, penguat instrumentasi, filter lolos pita, pengali, filter lolos rendah, pembanding, pengali dan filter lolos rendah seperti gambar 4 berikut.



Gambar 4. Diagram blok lock-in amplifier



Rangkaian instrumentasi menggunakan 2 buah Op-Amp dan 5 buah resistor yang presisi. Bentuk rangkaian yang dibangun seperti gambar 5 berikut.

Dari rangkaian pada gambar 5 diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$I_o = \frac{V_o - EA}{R_4};$$

$$I_1 = \frac{EA - EB}{R_3} = \frac{EA - EB \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}{R_3}$$

$$I_2 = \frac{EA - EB}{R_5}$$

Berdasarkan hukum Kirchoff tentang arus, yaitu  $I_o = I_1 + I_2$ . Sehingga didapat hubungan,

$$V_o = EA \left(1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_4}{R_5}\right) - EB \left(\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_5}\right)$$

Selanjutnya dibuat agar  $\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} = 1$ ,

dengan cara  $R_2 = R_3$  dan  $R_2 R_1 = R_4$  Sehingga diperoleh

$$V_o = \left(1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_5}\right) (EA - EB),$$

atau  $A_v(dif) = 1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_5}$ . Jika

$R_2$  dan  $R_4$  tidak tepat sama dengan  $R_1$  dan  $R_3$  maka disebut bahwa  $\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} = 1 + \Delta$ . Dengan  $\Delta \ll 1$ , maka

untuk syarat  $EA = EB = E_{CM}$  diperoleh  $V_o = (\Delta) E_{CM}$  atau

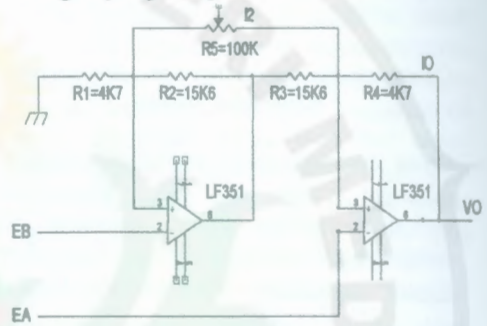
$A_{VCM} = \Delta$ , dimana  $\Delta =$  toleransi resistor yang digunakan. Penguat common mode adalah  $A_c = \frac{V_o}{E_{CM}} = \Delta$ .

Perbandingan antara penguat diferensial dengan penguat common mode disebut Common Mode Rate Ratio (CMRR), yang didefinisikan sebagai berikut.

$$CMRR = \frac{A_{VDF}}{E_{CM}} = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_4}{R_5}}{\Delta}$$

(Milman, 1973).

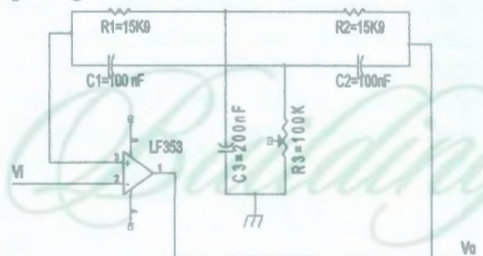
Dari persamaan ini bahwa  $R_3$  tidak mempengaruhi penguatan differensial ( $A_{VCM}$ ) sehingga dapat digunakan untuk mengatur penguatan tanpa mempengaruhi CMRR. Jadi dengan memberi harga hambatan tertentu, dapat dibuat suatu penguat differensial berpenguatan sesuai dengan yang diinginkan.



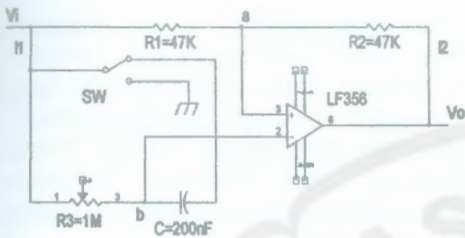
Gambar 5 Rangkaian penguat instrumentasi

Signal yang telah diperkuat masih mempunyai derau. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dirancang penyaring lolos pita Twin-T, dengan menggunakan sebuah Op-Amp dan beberapa resistor dan kapasitor seperti gambar 6.

Demikian juga penggeser fasa dirancang untuk menghasilkan bentuk signal keluaran tepat sama, baik amplitudo maupun frekuensinya dengan isyarat masukan dengan fase  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$ . Rangkaian bagian ini seperti tampak pada gambar 8 berikut



Gambar 6. Rangkaian penyaring lolos pita



Gambar 7. Rangkaian penggeser fasa

Dari rangkaian persamaan arus diperoleh,

$$I1 = \frac{Vi - Vo}{R1} \text{ dan } I2 = \frac{Va - Vo}{R2}$$

di buat  $R1 = R2$  dan  $R3 = 0$ , maka  $Vi - 2 Va = -Vo$ . Oleh karena titik a dan b berada dalam hubungan singkat maka,

$$Va = Vb = \frac{R3}{\frac{1}{j\omega C} + R3} Vi$$

Dari persamaan ini diperoleh

$$Vi - \frac{2R3}{\frac{1}{j\omega C} + R3} Vi = -Vo \quad \text{Fungsi}$$

transferya dapat ditentukan menjadi

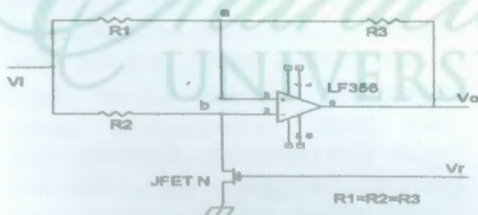
$$G(\omega) = \frac{Vo}{Vi} \left( \frac{j\omega R3C - 1}{j\omega R3C + 1} \right), \quad \text{atau}$$

$$G(\omega) = \left( \frac{j\omega - \omega o}{j\omega + \omega o} \right), \quad \text{dimana}$$

$\omega o = \frac{1}{R3C}$ . Beda fasa antara signal masukan dengan keluraran adalah,

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{2\omega\omega o}{\omega - \omega o} \right)$$

Signal keluaran penyaring lolos pita dan signal acuan akan bertemu pada rangkaian pengali. Rangkaian pengali tampak seperti gambar 8. Rangkaian ini menggunakan Op-Amp JFET dan dan tiga buah resistor.



Gambar 8. Rangkaian pengali

Dari gambar 8 perhitungan untuk arus adalah sebagai berikut.  $I1 = \frac{Vi - V1}{R1}$  dan

$$I2 = \frac{Vi - Vo}{R2}$$

Karena  $I3=0$ , maka  $I1=I2$ , dan  $R1=R2$ . Sehingga  $Vi - V1 = V1 - Vo$ . Jika ada pulsa Vr, maka JFET pada keadaan saturasi. Dalam hal ini  $R_{JFET} = 0$

$$\text{Akibatnya } V1 = \frac{R_{JFET}}{R3 + R_{JFET}} Vi = 0$$

Sehingga diperoleh  $\frac{Vo}{Vi} = -1$ . Hal ini

menunjukkan bahwa dalam keadaan ini signal masukan akan dikali (-1). Sebaliknya bila Vr tidak ada pulsa maka JFET dalam keadaan Cut-off. Pada keadaan ini  $R_{JFET} = \infty$ , sehingga

$$V1 = \frac{R_{JFET}}{R3 + R_{JFET}} Vi, \text{ dan diperoleh}$$

$$\frac{Vo}{Vi} = +1. \text{ Artinya bahwa pada keadaan}$$

ini signal masuk akan dikalikan dengan (+1). Signal dari rangkaian pengali untuk beberapa harga perbedaan fasa dapat digambarkan seperti yang tertera pada 10 berikut.

Selanjutnya rangkaian penyaring lolos rendah yang juga disebut filter sellen-key dirancang dengan memanfaatkan sifat OP-Amp.

Dari rangkaian bahwa kedua masukan Op-Amp ada pada hubungan singkatnya dan dengan menggunakan hukum Kirchoff tentang arus dan dari hubungan

$$I2 = I4 = j\omega CVb \text{ dan } I1 = I2 + I3, \text{ akan}$$

$$\text{diperoleh, } Vb = \left( \frac{R4}{R3 + R4} \right) Vo = \frac{Vo}{G}, \text{ dimana}$$

$$G = 1 + \frac{R3}{R4} = A_{vc1}. \text{ Batas frekuensi}$$

$$\text{yang dapat diteruskan oleh penyaring adalah } \omega o = \sqrt{\frac{1}{R1R2C1C2}}.$$

Signal keluaran penyaring lolos rendah merupakan keluaran keluaran penguat lock-in amplifier. Penguat ini dapat menguatkan signal masukan sekaligus



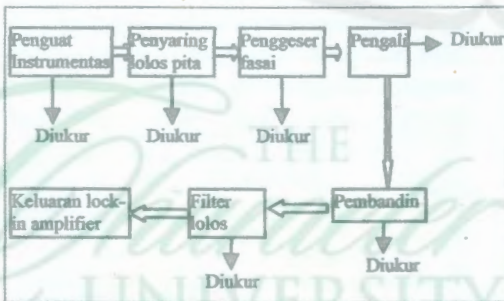
signal lain yang tidak sefasa dengan signal masukan.

## Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen melalui perakitan dan pengujian setiap subsistem. Setiap subsistem dirakit kemudian diukur keluaran masing-masing rangkaian, yang kemudian dibandingkan dengan hasil perbandingan teori pada tingkat kepercayaan 95%.

Prosedur penelitian ini adalah mengikuti langkah yang saling berkaitan dimana subsistem urutan kerja yang harus lebih dahulu diselesaikan kemudian dilanjutkan dengan subsistem berikutnya. Urutan selengkapnya dapat digambarkan dalam bentuk diagram pada gambar 9.

Data merupakan hasil pengukuran keluaran setiap subsistem kemudian dianalisis secara grafis dan selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teori. Pengambilan data dari masing-masing subsistem dilakukan sebagai berikut. Pada penguat instrumentasi diamati besarnya penguatan dan daerah kerja, dengan mengukur signal masukan (Vi), signal tegangan keluaran (Vo), kemudian ditentukan besar G.



Gambar 9 Diagram pelaksanaan penelitian

Pada penyaring lolos pita diamati lebar frekuensi signal yang masih dapat dikuatkan pada penguat yang dikehendaki. Lebar frekuensi ini dinyatakan sebagai factor kualitas rangkaian. Pengamatan lebar daerah frekuensi kerja penyaring

lolos pita meliputi signal tegangan masukan (Vi). Frekuensi signal masukan (Fi). Signal tegangan keluaran (Vo), besar penguatan G. Untuk signal masukan Vi dilakukan pengamatan 20 kali dengan frekuensi yang berbeda. Selanjutnya ditentukan factor kualitas rangkaian

$$\frac{1}{Q} = \frac{F_2 - F_1}{F_0}$$

Pada bagian penggeser fasa diamati derajat perbedaan fasa antara signal masukan dengan signal acuan, melalui pengukuran sudut fasa signal masukan ( $\omega$ ). Pada bagian pengali diamati bentuk signal masukan, dan bentuk signal keluaran. Pengamatan daerah kerja penyaring lolos rendah meliputi daerah kerja frekuensi signal keluaran yang dapat diloloskan, dilakukan dengan mengukur signal tegangan masukan (Vi), frekuensi signal masukan (Fi), dan signal tegangan keluaran (Vo). Selanjutnya dihitung besar penguatan G. Pengamatan ini dilakukan sebanyak 20 kali.

## Hasil Penelitian

Pada bagian penguat instrumentasi dengan memvariasikan R5 pada nilai 23,5 K, secara teori diperoleh besar penguatan sebesar 1,5 kali. Bila pada set ini diumpangkan signal 21 V maka hasil perhitungan memberi tegangan keluaran 31,5 V. Dengan pengukuran jika tegangan pada penguat instrumentasi 15 V keluaran 21 V. Untuk signal masukan 21 V  $F=500\text{Hz}$ , tegangan keluaran adalah 26,9V dan pada tegangan 8,5V, frekuensi 4KHz memberikan tegangan keluaran 36,9V. Perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan adalah 1,429 kali. Hasil ini menunjukkan akurasi alat ini sama dengan 95%.

Bagian filter lolos pita dirancang pada frekuensi tunggal dan diperoleh  $F_0=101,16\text{Hz}$ . Hasil pengukuran menunjukkan keluaran tertinggi diperoleh pada frekuensi di atas 100Hz. Akurasi lolos pita ini juga 95%, dan factor kualitas

rangkaian diperoleh 1,0. Lebar frekuensi  $B=628,3\text{Hz}$ . Tampilan filter lolos pita dengan sumber 500Hz pada tegangan 26,9V menghasilkan tegangan keluaran 27V.

Bagian penggeser fasa yang berfungsi untuk meneruskan semua frekuensi dalam daerah lebar pita yang digunakan, menunjukkan respon amplitudo datar, tetapi beda fasa masukan dan keluaran berubah sesuai dengan frekuensi. Pengukuran menunjukkan pada frekuensi 45Hz sampai 300Hz fasa dari signal masukan tidak linear sementara lebar pita berada disekitar frekuensi ini. Selanjutnya frekuensi di atas 300Hz penggeser fasa linear.

Penyaring lolos rendah merupakan filter yang meneruskan frekuensi dan pada frekuensi tinggi tegangan keluaran akan diperkecil. Dengan mengatur R3, frekuensi yang dilewatkan dimulai dari frekuensi 100-1000Hz adalah 0,84. Sehingga akurasi bagian ini adalah 97,7%.

## Pembahasan

Untuk tegangan masukan yang tetap dengan frekuensi dari 45-240Hz tidak menunjukkan tegangan keluaran yang konsisten, walaupun dalam hal ini tampak dalam penguatan yang dihasilkan dengan akurasi bagian ini adalah 86%. Hal ini lebih nyata diperlihatkan pada penguatan yang dapat terbedakan satu sama lain. Pada frekuensi 300-600Hz pada tegangan masukan yang sama dapat memberi tegangan keluaran yang konsisten sekitar 87%. (penguatan rancangan 1,5 dan dari pengamatan besar penguatan 1,3).

Untuk variasi frekuensi 500-4000Hz dengan mengumpankan signal pada tegangan yang bergerak dari 21V hingga 8,5V memberikan tegangan keluaran yang konsisten dimana pada frekuensi yang semakin tinggi pada tegangan masukan semakin kecil memberi penguatan semakin besar. Jadi penguat instrumentasi

ini mempunyai tegangan kerja sebagai penguat pada frekuensi 500Hz. Hal ini sejalan dengan temuan Sihombing dkk (1998)

Filter lolos pita dirancang untuk frekuensi tunggal  $F_0=101,6\text{Hz}$ . Pada frekuensi 100Hz memberikan tegangan keluaran yang paling besar dibanding lainnya (diatas atau dibawah 100Hz). Karena itu bagian ini memberi lebar pada 628,3Hz dengan faktor kualitas rangkaian sebesar 1, dan akurasi alat ini adalah 98,8%. Bersarkan hasil yang diperoleh bagian ini beroperasi sebagai penyaring lolos rendah pada frekuensi 100Hz hingga 4000Hz karena tegangan keluaran semakin kecil dengan bertambahnya frekuensi. Tetapi bagian ini nyata konsisten sebagai penyaring lolos rendah pada frekuensi 500Hz yaitu dengan tegangan masukan yang sama, memberikan tegangan yang semakin rendah dengan bertambahnya frekuensi. Hasil tampilan bagian ini belum sesuai dengan yang diharapkan karena tidak tepat bekerja pada tegangan yang dirancang yaitu sekitar lebar pita.

Pada bagian penggeser fasa pada frekuensi 45-400Hz dengan tegangan masukan yang berubah semakin menurun maka tegangan keluaran tetap artinya beda fasa antara signal acuan dengan signal yang diukur perubahannya untuk tiap beda frekuensi tidak linear sedangkan pada frekuensi 500-4000Hz perubahan fasa antara signal acuan dengan signal yang diukur adalah linear. Dari pengamatan tampilan bagian ini terlihat bahwa beda fasa antara signal acuan dengan signal yang diukur adalah  $180^\circ$ .

Penyaring lolos rendah ini berfungsi sebagai peenyaring lolos rendah pada rentang frekuensi 100-1000Hz. Tampilan bagian ini menunjukkan bahwa tegangan signal masukan jauh lebih besar dibandingkan dengan tegangan signal keluaran. Walaupun demikian terlihat signal keluaran tidak tajam, sehingga dapat diperkirakan signal tersebut masih mengandung derau.



Rancangan penguat instrumentasi ini secara umum dapat beroperasi dengan akurasi 95,3%. Namun demikian penguatan signal masukan yang tetap untuk frekuensi yang bertambah besar menunjukkan penguatan yang semakin menurun jika dibandingkan dengan penguatan sebelumnya atau pada frekuensi yang lebih rendah. Hal ini diduga bahwa penentuan tipe komponen yang digunakan pada saat merancang memiliki toleransi yang cukup besar. Demikian juga kemungkinan impedansi dari jenis IC yang digunakan kurang berpengaruh atau kecil dan masih terdapat derau.

Filter lolos pita mempunyai frekuensi kerja yang rendah. Hal ini terlihat kurang simetris perubahan rentang frekuensi ke atas dan ke bawah. Hal ini mungkin merupakan salah satu penyebab bahwa rangkaian tidak bekerja konsisten pada frekuensi 500Hz. Bagian penggeser fasa menunjukkan tegangan signal masukan yang menurun dengan frekuensi yang semakin besar tetapi untuk frekuensi yang bertambah, memberi beda fasa yang tetap. Sedangkan untuk frekuensi di bawah 500Hz berubah menurut frekuensi dan mempunyai fasa yang bervariasi sesuai dengan tegangan signal masukan dan frekuensi signal tertentu.

Penyaring lolos rendah semestinya bekerja di bawah rentang frekuensi 100Hz. Hal ini disebabkan ketidak simetrisan frekuensi lolos pita. Untuk ini diperlukan komponen-komponen yang lebih presisi lagi dan impedansi Op-Amp yang besar untuk dapat mengurangi derau.

## Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dalam hal ini adalah (1) Penguat instrumentasi dapat dibangun dengan akurasi 95% dengan frekuensi kerja 500Hz, (2) Filter lolos pita mempunyai akurasi 98,8% dengan faktor kualitas 1 serta lebar frekuensi 628,3Hz. Walaupun

akurasinya tinggi namun masih belum simetri, (3) Penggeser fasa meneruskan semua frekuensi dalam daerah lebar pita yang digunakan. Hasil pengukuran fasa di tegangan signal frekuensi 45Hz sampai 300Hz tidak linear sementara lebar pita berada disekitar frekuensi fasa. Pengukuran yang linear adalah pengukuran fasa dengan frekuensi di atas 300Hz, dan (4) Penyaring lolos rendah memiliki akurasi 97,7% dan frekuensi yang di lewatkan sekitar 100-1000Hz.

## Daftar Acuan

- Howard V. Malmstadt. 1974. *Optomation of Electronic Measurement*. California: W.A. Benjamin, Inc.
- Lawrence C Caplan and Richard Stern. 1971. *An Inexpensive Lock-in Amplifier*. Rev.Sci.Instr. Vol 42-5.
- Milman, J.C.C Halkias. 1973. *Integrated Circuit: Analog and Digital Circuit dan System*. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- Sutrisno. 1992. *Elektronika Lanjutan: Teori Dasar dan Penerapannya*. Bandung: Jurusan FMIPA ITB.
- Sihombing, Eidi dkk. 1998. *Analisis Kemampuan Pengukuran Rancangan Penguat Pungunci*. UNIMED: Laporan Penelitian.