ISSN 1411-8289

JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME II, NOMOR 1 AGUSTUS - SEPTEMBER 2002

- Pengantar Redaksi
- Filter Band-Pass Comb-Line (Bagian I) — *Yuyu Wahyu [1)], Rustini S. Kayatmo [2)]*
- Pembuatan Keramik Barium Titanat untuk Peralatan Elektronika — *Yunasfi*
- Investigation of Oxide Quality — *Ika Ismet [1)], Jamal Rahman [2)], Shobih [3)], Amilia Sinta Y [4)], Nurman Setiawan [5)]*
- Potentiometric Flow Injection Analysis Measurements of pH and pS — *H i s k i a*
- Perencanaan Rangkaian Input untuk Penguat Daya Besar dengan Bidang Frekuensi Lebar pada Daerah Frekuensi "Very High Frequency (VHF)" — *Rustini S. Kayatmo[1)], Soemaryato Kayatmo[2)]*
- Pembuatan Microtip sebagai Elektroda Ionisasi Gas — *Nana Subarna[1)], Soegijardjo Soegijoko [2)], Samaun Samadikun [3)], Adang Suwandi [4)], Goib Wiranto [5)]*
- Manajemen Sumber Daya Air Berbasis Scada — *Djohar Syamsi*
- Pengaruh Dimensi Komponen & Komposisi Pasta terhadap Proses Pembuatan Rangkaian Hibrid Film Tebal — *Lilis Retnaningsih[1)], Lia Muliani [2)], Gandi Sugandi [3)], Elli Herlina Efendi [4)]*
- Sistem Modulator Tipe Lini pada Radar X-Band — *Deni Permana[1)], Syamsyu Ismail [2)]*

PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI - LIPI
Jl. Cisitu No. 21/154 D Tlp. (022) 250 4660, 250 4661 Fax. (022) 250 4659 - Bandung 40135
http : //www.telkoma.lipi.go.id

JURNAL ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI, NO. 1 VOL. II AGUSTUS - SEPTEMBER 2002 ISSN 1411-8289

JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Kasi (PPET - LIPI)

Dewan Redaksi :
Prof. Dr. M. Barmawi
Prof. Ir. Ahmadi Djajasugita M.Sc
Prof. Dr. Ir. Soegijardjo Soegijoko
Prof. Dr. Ir. Djoko Hartanto
Dr. Anung Kusnowo, M.Tech
Dr. Masbah RT. Siregar
Dr. Totok MS Soegandi, APU
Dr. Goib Wiranto
Ir. Sukarna Djaja, APU
Ir. Rustini S. Kayatmo, DIC
Ir. Yahya Sukri
Ir. Elly Herlia Effendi
Syamsu Ismail, ST

Redaksi Pelaksana :
Ketua : Ir. Yuyu Wahyu, MT

Anggota :
Ir. Pamungkas Daud
Deni Permana, ST
Dedi, ST
Bagus Edy Sukoco, ST
Drs. Slamet Widodo

Sirkulasi :
Lilis Retnaningsih, SSi
Endang Ridwan

Alamat Redaksi :
Seksi JASA DAN INFORMASI
PPET - LIPI
Jl. Cisitu No. 21/154 D Bandung 40135
Tlp. (022) 250 4661 Fax. (022) 250 4659
E-mail : info@ppet-lipi.go.id

DAFTAR ISI

Kata Pengantar ii

Filter Band-Pass Comb-Line (Bagian I) 1
(Yuyu Wahyu)

Pembuatan Keramik Barium Titanat untuk Peralatan Elektronika 7
(Yunasfi)

Investigation of Oxide Quality 11
(Ika Ismet[1] Jamal Rahman[2] Shobih[3] Amilia Sinta Y.[4] Nurman Setiawan[5])

Potentiometric Flow Injection Analysis Measurements of pH and pS 14
(H i s k i a)

Perencanaan Rangkaian Input untuk Penguat Daya Besar dengan Bidang Frekuensi Lebar pada Daerah Frekuensi "Very High Frequency (VHF)" 19
(Rustini S. Kayatmo[1] Soemaryato Kayatmo[2])

Pembuatan Microtip sebagai Elektroda Ionisasi Gas 29
(Nana Subarna[1] Soegijardjo Soegijoko [2] Samaun Samadikun[3] Adang Suwandi [4] Goib Wiranto[5])

Manajemen Sumber Daya Air Berbasis Scada 34
(Djohar Syamsi)

Pengaruh Dimensi Komponen dan Komposisi Pasta terhadap Proses Pembuatan Rangkaian Hibrid Film Tebal 37
(Lilis Retnaningsih [1] Lia Muliani [2] Gandi Sugandi [3] Elli Herlina Efendi [4])

Sistem Modulator Tipe Lini pada Radar X-Band 42
(Deni Permana[1] Syamsu Ismail [2])

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Pembaca *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* yang budiman.

Perlu kami sampaikan bahw sesuai dengan Keputusan Presiden Nomor 43 Tahun 2002 dan Keputusan Kepala LIPI NO. 1151/M/2001, tanggal 5 Juni 2001, nama Pust Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Elektronika Strategis, Komponen dan Material (Puslitbang Telkoma) - LIPI telah berubah menjadi Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) - LIPI.

Terbitan kedua Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi mengalami keterlambatan. Hal ini disebabkan oleh jumlah materi yang terkumpul terlambat dan masalah teknis lainnya.

Pada terbitan kedua ini materi jurnal meliputi mikroelektronika, sensor, bahan elektronika, telekomunikasi khususnya *microwave*, dan telemetri. Sedangkan penulis sudah menyebar dari berbagai instansi antara lain P2ET - LIPI, P2I - LIPI, Batan, Itenas dan ITB.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk kesempurnaan jurnal ini.

Terima kasih atas perhatiannya. Semoga apa yang kami sajikan dapat menambah informasi dan bermanfaat bagi kita semua.

Selamat Membaca.

Redaksi

JURNAL ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI, NO. 1 VOL. II AGUSTUS - SEPTEMBER 2002 ISSN 1411-8289

FILTER BAND-PASS COMB-LINE (BAGIAN I)

Oleh :
Yuyu Wahyu[1] dan Rustini S. Kayatmo[2]

ABSTRACT

As had been described in the previous paper[7], there are two methods for designing the Combline band-pass filter, that are Butterworth systern and Tchebyscheff system. This paper describes the implementation of Butterworth system for designing the combline band-pass filter that is use, in GPS (Global Positioning System) receiver that is needed for receiving and processing the GPS signals from satellite. The structure of the filter can be implemented in slab-fine or microstrip thin film. This paper describes the design and it's experiment that implemented in slab-line.

INTISARI

Seperti telah diuraikan pada makalah terdahu [7], untuk merancang suatu Combline band-pass filter terdapat dua aproksimasi yaitu dengan menggunakan pendekatan Butterworth atau Tchebyscheff. Pada makalah ini diuraikan mengenai penggunaan pendekatan Butterworth untuk merancang combline band-pass filter yang digunakan pada penerima GPS (Global Positioning System) yang digunakan untuk menerima dan memproses signal-signal yang diterima dari satelit. Struktur filter ini dapat diterapkan oleh slab-line ataupun mikrostrip thin film. Dalam tulisan ini diuraikan desain dan realisasinya yang diterapkan pada slab-line.

1. PENDAHULUAN

Dalam penelitian ini dirancang dan direalisasikan band pass filter untuk penerima GPS yang diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari satelit GPS. Ada dua gelombang pembawa yang digunakan yaitu gelombang pembawa berfrekuensi 1.575,42 MHz dan 1.227,6 MHz. Adapun spesifikasi yang akan dirancang dan dibuat dalam tulisan ini adalah sebagai berikut :

- Passband Freq : 1.575,42 MHz
- 1 dB Bandwidth : 16 MHz
- Insertion Loss : 0.4 dB
- 3 dB Bandwidth : 26 s/d 34 MHz
- 70 dB Bandwidth : 140 MHz
- USWR : 1,25 : 1

Spesifikasi microwave filter tersebut diatas dibuat dari susunan combline, potongan saluran berupa slab line. Perancangan di dasarkan pada persamaan perancangan dari G.L. Matthaei [4] dan kurva-kurva dari E.G Cristal.[5]

TEORI

Combline bandpass filter terdiri dari beberapa resonator yang saling berhubungan, yang panjangnya secara fisik kurang dari seperempat panjang gelombang dan yang salah satu ujungnya dihubungkan dengan pentanahan (grounding) dan ujung lainnya mempunyai beban kapasitif. Jarak antara line cukup besar, sehingga toleransi bukan merupakan masalah yang berarti, bahkan untuk bandwidth (pita) yang cukup lebar sekalipun. Panjang resonator dapat dipilih, kecuali yang harus diperhatikan adalah harus kurang dari 90 derajat, karena pada kepanjangan 90 derajat, magnetik dan elektrostatik kopling akan saling menghilangkan. Panjang line resonator dari 45 derajat sampai kurang dari 30 derajat akan menghasilkan struktur yang kompak dengan penampilan stopband yang sangat bagus.

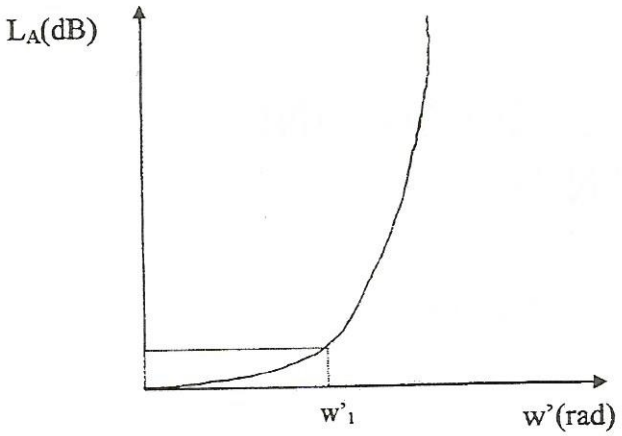
Karakteristik bandpass filter akan lebih mudah dianalisa, apabila ditransformasikan kedalam low pass filter, maka sebelum melangkah ke desain combline filter, perlu diuraikan teori mengenai low pass filter dan transformasinya ke band pass filter terlebih dahulu.

Bentuk Karakteristik Redaman Low-Pass Filter

Bentuk karakteristik redaman low-pass filter secara, matematis telah diketahui.

Karakteristik redaman low-pass filter dari Butterworth yang dikenal dengan sebutan karakteristik redaman *'maximally flat'* low-pass filter, dapat dilihat pada .

Korespondensi:
1) & 2) Puslit Elektronika dan Telekomunikasi-LIPI
Jl. Cisitu No. 21/154D - Bandung 40135



Gambar 1. Karakteristik Redaman Maximally Flat LPF

Secara matematis dapat dinyatakan :

$$L_A(w') = \log\left[1+\epsilon\left(\frac{w'}{w'1}\right)^{2n}\right] \quad \text{dB}$$

dengan $$\epsilon = \left(10 \exp \frac{L_{Ar}}{10}\right) - 1$$

L_{Ar} = Redaman 3 dB, merupakan batas pass band

w'1 = Frekuensi Batas pada Redaman L_{Ar}

n = Banyaknya unsur reaktif pada prototip low-pass filter (orde filter)

Fungsi redaman dari Buttetworth tersebut diatas dapat digambarkan dalam bentuk kurva n = 1 s/d 15, seperti pada gambar 2.

$$\frac{C_1}{\epsilon} = \frac{C_6}{\epsilon} = 3{,}782 \text{ pF}$$

$$\frac{C_2}{\epsilon} = \frac{C_5}{\epsilon} = 4{,}643 \text{ pF}$$

$$\frac{C_3}{\epsilon} = \frac{C_4}{\epsilon} = 4{,}758 \text{ pF}$$

Sedangkan kapasitas bersama :

$$\frac{C_{01}}{\epsilon} = \frac{C_{67}}{\epsilon} = 1{,}141 \text{ pF}$$

$$\frac{C_{12}}{\epsilon} = \frac{C_{56}}{\epsilon} = 0{,}205 \text{ pF}$$

$$\frac{C_{23}}{\epsilon} = \frac{C_{45}}{\epsilon} = 0{,}106 \text{ pF}$$

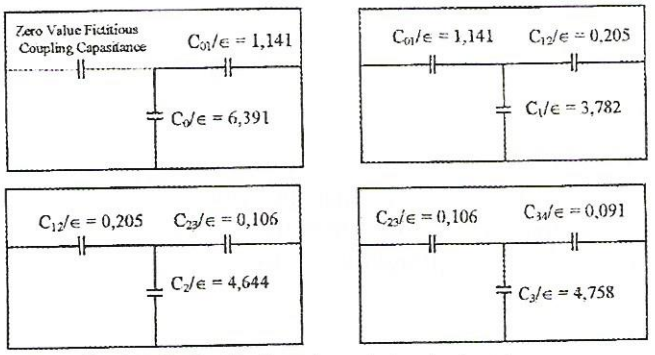
$$\frac{C_{34}}{\epsilon} = 0{,}091 \text{ pF}$$

Menentukan Dimensi Filter

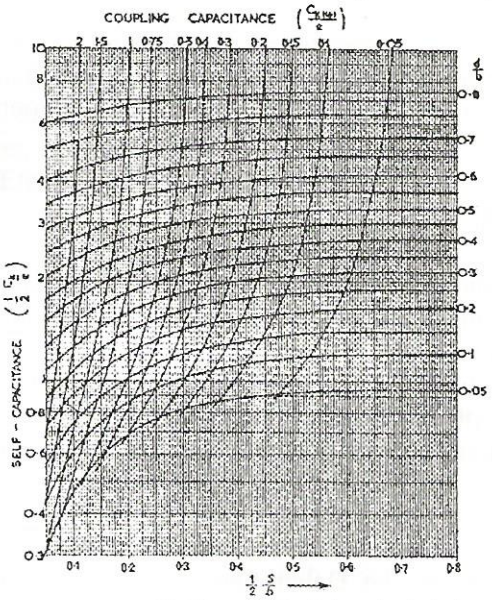
Dimensi filter dapat ditentukan dengan cara pengelompokan seperti metoda yang digunakan oleh Edward G. Cristal berikut ini :

Dengan mempergunakan grafik Nicholson pada Gambar 2 yang dikembangkan dari dua buah grafik E.G Cristal maka di dapat dimensi filter combline sebagai berikut :

Dengan menggunakan grafik Nicholson pada gambar 2 yang dikembangkan dari dua buah grafik E.G Cristal maka di dapat dimensi filter combline sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik diameter rod dan jarak antaranya.



Gambar 3. Grafik Diameter Rod dan Jarak Antaranya

Panjang resonator :

$$\theta_0 = 33{,}32 \text{ mm}$$

Untuk b = 3 cm, maka didapat :

$$_0 = 1{,}581 \text{ cm} = d_7$$

$$d_1 = 1{,}017 \text{ cm} = d_6$$

$$d_2 = 1{,}074 \text{ cm} = d_5$$

$$d_3 = 1{,}071 \text{ cm} = d_4$$

$$\frac{c_{k,k+1}}{b} = \frac{s_{k,k+1}}{b} + \frac{1}{2}\left(\frac{d_k}{b}\right) + \left(\frac{d_{k+1}}{b}\right)$$

dengan b = 3 cm, maka didapat :

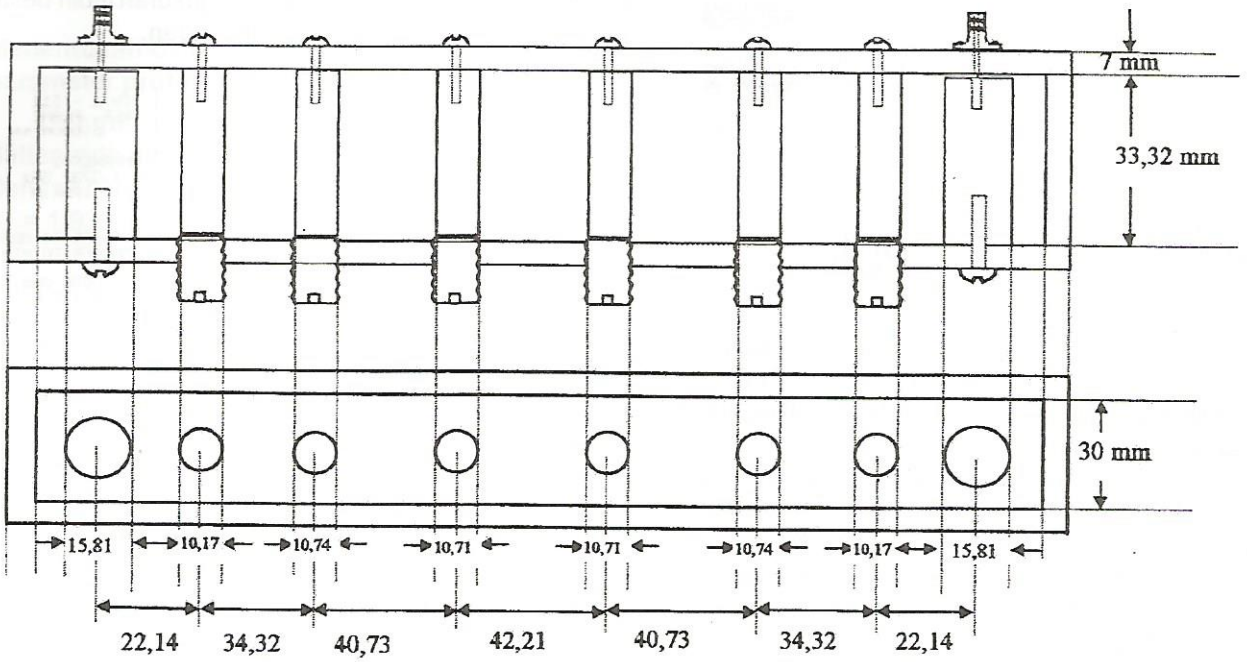
$c_{01} = 2{,}214 \text{ cm} = d_{67}$

$c_{12} = 3{,}432 \text{ cm} = d_{56}$

$c_{23} = 4{,}0725 \text{ cm} = d_{56}$

$c_{34} = 4{,}221$

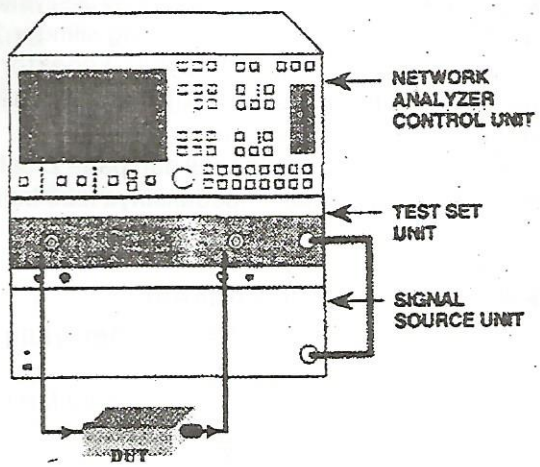
Konstruksi Filter



Gambar 4. Gambar Atas : Pandangan Atas dengan Grund-Plane Atas Terbuka dan Gambar bawah : Penampung Melintang dengan Gambar-Plane Atas terpasang

Gambar 4 di atas menunjukkan bagan filter band-pass comb-line yang difabrikasi sesuai dengan hasil perhitungan diatas. Bahan yang digunakan adalah aluminium. Untuk mendapatkan kondisi yang dipersyaratkan, harusnya dibuat dari bahan yang dilapisi perak sesuai dengan besaran-besaran yang dftnasukkan kedalmn rumus, namun hal ini belum dilakukan untuk prototipe di atas, karena keterbatasan bahan.

Sistem Pengukuran Filter L1



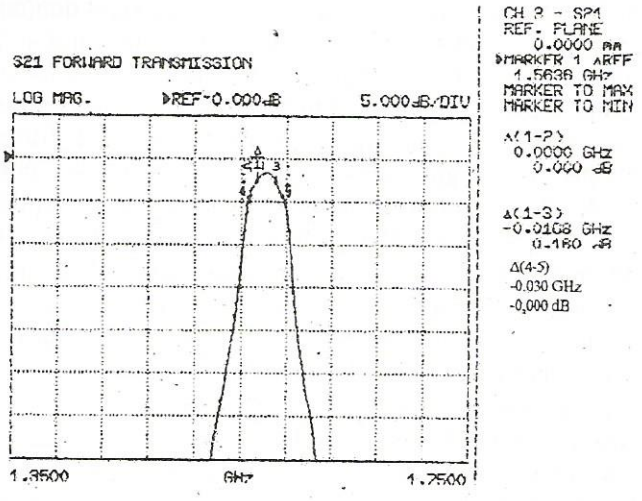
Gambar 5. Peralatan Sistem Pengukuran Filter L1

HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

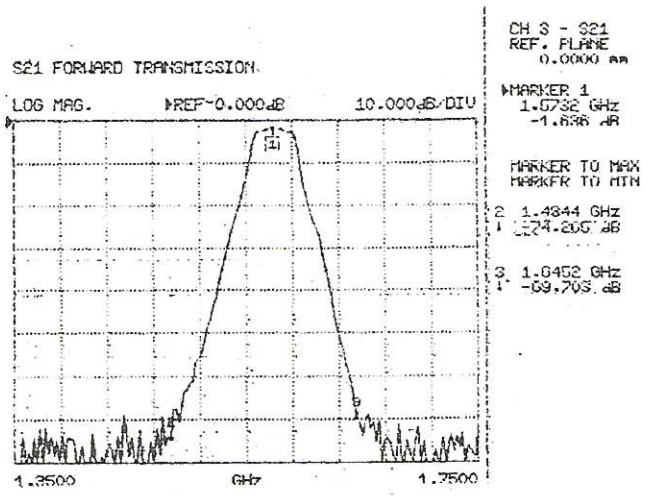
Untuk melihat karakteristik filter L_1 dipergunakan alat Vector Network Analyzer Model 360 B-Wiltron seperti yang terlihat pada gambar 4.1 yang mempunyai frekuensi kerja : 40 MHz - 20 GHz;.

Impedansi masukan diukur dari parameter S_{11}. Redaman dan fasanya dilihat dari parameter S_{21}.

Pengukuran S_{21} untuk Filter.



Gambar 6. Redaman Filter L_1 pada skala Ordinat 5dB/div



Gambar 7. Redaman Filter Pada Skala Ordinat 10 dB/Div

Hasil pengukuran redaman untuk filter L_1 ditunjukkan pada gambar 6 yang mempunyai skala absis 40 MHz/ div dan dan ordinat 5 dB/div sedangkan pada gambar 7 skala absis 40 MHz dan skala ordinat 10 dB/div, nampak bahwa, insertion loss pada frekuensi tengah f_o = 1.575,42 MHz yaitu pada marker 1 gambar 7 sebesar 1,636 dB lebih besar dari pada spesifikasi perancangan yaitu maksimum 0,4 dB.

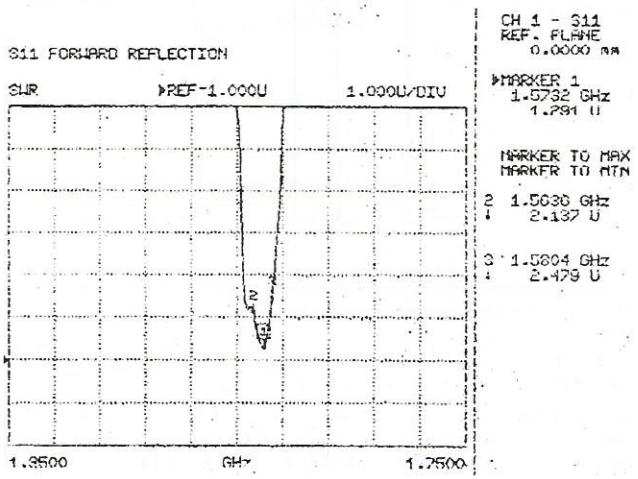
Hal ini didapatkan antara lain oleh :

a. Rugi-rugi bahan yang ditimbulkan oleh resistansi dan bahan alumunum
b. Kontak tutup filter yang mengandalkan kekuatan skrup bagaimanapun juga masih ada rongga yang menimbulkan kebocoran sehingga menimbulkan rugi-rugi disipasi. Demikian juga halnya dengan kapasitor tuner yang dibuat dalam bentuk skrup.
c. Impedance Matching (penyesuaian impedansi) yang tidak baik pada terminal masukan

Pada gambar 6 terlihat bahwa bandwidth pada 1dB yaitu antara marker-1 dengan marker-3 sebesar 16,8 MHz, bandwidth pada 3dB yaitu antara marker-4 dengan marker-5 sama dengan 30 MHz dan pada gambar 7 bandwidth pada 70 dB sama dengan 153,33 MHz, apabila dlibandingkan dengan spesifikasi perancangan yang diinginkan yaitu masing-masing bandwidth 1dB = 16 MHz, bandwidth 3dB = 30 MHz dan bandwidth -70dB = 140 MHz nampak hasil pengukuran untuk bandwidth 1dB lebih besar 0,8 MHz, untuk bandwidth -3dB sesuai dengan bandwidth -3dB perancangan, sedangkan pada bandwidth -70dB lebih besar dari pada spesifikasi. Hal ini disebabkan oleh kesalahan estrapolasi pada grafik E.G Cristral sehingga berakibat kesalahan dimensi. Dengan demikian jarak antar permukaan resonator S_{34} (yang paling dominan mempengaruhi bandwidth -1dB) lebih besar dari pada S_{34} seharusnya yang menyebabkan bandwidth 1dB menjadi lebih besar. Karena yang paling dominan mempengaruhi bandwidth -70dB adalah jarak S_{12} dan S_{56} berarti lebih besar dari jarak S_{12} dan S_{56} seharusnya. Dengan demikian menyebabkan bandwidth -70dB lebih besar daripada spesifikasi perancangan.

Faktor kecuraman (steepness factor) hasil pengukuran filter L1 sebesar 153,33/30, sementar itu faktor kecuraman perancangan sebesar 140/30. Dengan demikian faktor kecuraman hasil pengukuran lebih besar dari pada faktor kecuraman perancangan.

- **Pengukuran S11 Filter L1**



Gambar 8. VSWR Filter L1

Gambar 8 menunjukkan bahwa VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) filter L1. Pada daerah bandwidth-3dB VSWR yang maksimum terjadi marker-3 sebesarnya 1.5804 MHz sebesar 2,479. Apabda dinyatakan dalam S_{11}, maka :

$$S_{11} = \frac{VWR-1}{VWR+1}$$

Dengan memasukan VSWR = 2,479, maka didapat S_{11} = 0,4251221615 atau S_{11} = -7,429725096 dB. Sementara itu VSWR yang diinginkan maksimum 1,25, berarti VSWR filter L1 tidak masuk spesifikasi perancangan atau penyesuaian impedansi-nya kurang baik. Hal ini disebabkan kesalahan konstruksi yaitu jarak antara batang silinder 0 dengan batang silinder 1 tidak tepat sesuai perhitungan dan iner konektor yang dihubungkan ke batang silinder 0 tidak menyatu karena tidak bisa disodler (kuningan vs alumunium). Untuk bandwidth-1dB VSWR lebih kecil dari pada 2, sehingga penerimaan penyesuaian impedansinya lebihbaik.

PERANCANGAN DAN FABRIKASI

Sesuai dengan spesifikasi Filter yang telah ditentukan didepan:

- Passband Freq : 1.575,42 MHz
- 1 dB Bandwidth : 16 MHz

- Insertion Loss : 0.4 dB
- 3 dB Bandwidth : 26 s/d 34 Mhz
- VSWR : 1,25 : 1
- 70 dB Bandwidth : 140 MHz
- Impedansi masukan dan keluarannya sama dengan 50 Ohm

Menentukan Orde (banyaknya resonator) dan harga parameter prototip lowpass filter (g value)

Dengan menggunakan grafik Maximally Flat Butterworth didapat n = 6

Dengan harga $g_0 = 1$, $g_1 = 0{,}5176$, $g_2 = 1{,}414$, $g_3 = 1{,}932$, $g_4 = 1{,}932$, $g_5 = 1{,}414$, $g_6 = 0{,}5176$, $g_7 = 1.000$

$$\sum_{k=1}^{6} g_k = 7{,}7272$$

Menentukan Panjang Elektris Resonator θ_0 Dengan menggunakan rumus Nicholson dan dengan memasukkan harga insertion loss sebesar 0,4 dB (dari spesifikasi yang ditentukan), maka diperoleh harga

$Q_L = \frac{1575{,}42}{30}$, dan Q_u = 4405,767528. Dimana Q_L adalah harga Q terbeban dan Q_u adalah harga Q tanpa beban.

Dengan mempertimbangkan jarak antar ground 'b' dan

$$C_k^s = Y_A \left(\frac{Y_{ai}}{Y_A}\right) \frac{\cot\theta_0}{w_0}$$

, maka didapat θ_0 = 63° dan harga b = 3 cm. Dengan demikian panjang resonator dalam satuan panjang adalah :

$$\theta_0 = \frac{63}{360} \times \frac{3.10^{10}\ \text{cm/det}}{1575{,}42\ \text{MHz}} = 3{,}332\ \text{cm} = 33{,}32\ \text{mm}$$

Menentukan Kapasitasi Sendiri dan Kapasitansi Bersama

$$w = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{30}{1575{,}42} = 0{,}0190427827\,9$$

atau $\approx 1{,}904\%$ (narrow band)

$$Y_A = 0{,}02\ \text{mho}$$

$$Y_{ak} = \frac{1}{76} = 0{,}01315789474\ \text{mho}$$

$$\frac{Y_{ak}}{Y_A} = 0.6578947368$$

Dengan mempergunakan rumus-rumus didepan, maka didapat kapasitasi sendiri :

$$\frac{C_0}{\epsilon} = \frac{C_7}{\epsilon} = 6{,}391\ \text{pF}$$

Harga Unsur Prototip untuk Filter Butterworth

Untuk bentuk karakteristik filter Butterworth seperti pada gambar-1, harga unsurunsur prototip yang telah dinormalisasi untuk keadaan $g_0 = 1$ dan $w_1' = 1$ dapat dihitung dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$g_0 = 1$$

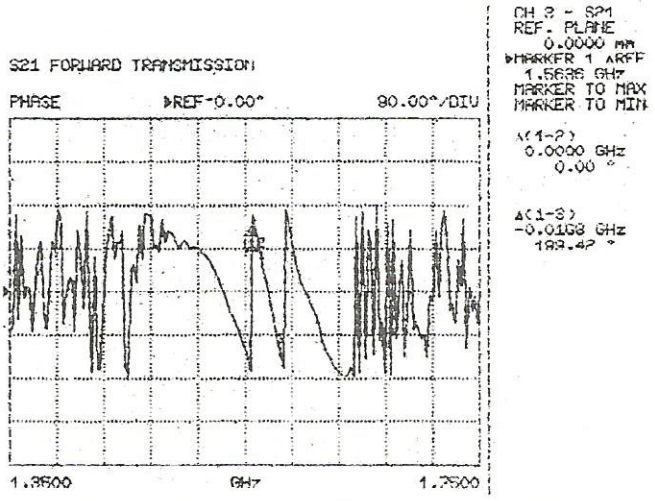
$$g_0 = 2\sin\frac{(2k-1)\pi}{2n};\ k = 1, 2, \ldots\ldots n$$

$$g_{n+1} = 1$$

Berdasarkan persamaan di atas, untuk n = 1 s/d 15, harga elemen prototipenya dapat dilihat seperti paa tabel 1 berikut ini :

Value of n											
1	2.000	1.000									
2	1.414	1.414	1.000								
3	1.000	2.000	1.000	1.000							
4	0.7654	1.848	1.848	0.7654	1.000						
5	0.6180	1.618	2.000	1.618	0.6180	1.000					
6	0.5176	1.414	1.932	1.932	1.414	0.5176	1.000				
7	0.4450	1.247	1.802	2.000	1.802	1.247	0.4450	1.000			
8	0.3902	1.111	1.663	1.962	1.962	1.663	1.111	0.3902	1.000		
9	0.3473	1.000	1.532	1.879	2.000	1.879	1.532	1.000	0.3473	1.000	
10	0.3129	0.9080	1.414	1.782	1.975	1.975	1.782	1.414	0.9080	0.3129	1.000

VAUGE of n								
11	0.2846	0.8308	1.3097	1.6825	1.9189	2.0000	1.9189	1.6825
12	0.2610	0.7653	1.2175	1.5867	1.8477	1.9828	1.9828	1.8477
13	0.2410	0.7092	1.1361	1.4970	1.7709	1.9418	2.0000	1.9418
14	0.2239	0.6605	1.0640	1.4142	1.6934	1.8877	1.9874	1.9874
15	0.2090	0.6180	1.0000	1.3382	1.6180	1.8270	1.9563	2.0000
11	1.3097	0.8308	0.2846	1.0000				
12	1.5867	1.2175	0.7653	0.2610	1.0000			
13	1.7709	1.4970	1.1361	0.7092	0.2410	1.0000		
14	1.8877	1.6934	1.4142	1.0640	0.6605	0.2239	1.0000	
15	1.9563	1.8270	1.6180	1.3382	1.0000	0.6180	0.2090	1.0000



Gambar 9. Perubahan Fasa Terhadap Frekuensi Filter

Gambar 9 menunjukkan perubahan fasa terhadap frekuensi filter pada kondisi S_{21} . Perubahan fasa yang penting diamati adalah perubahan fasa pada daerah

passband. Pada gambar 9 tampak bahwa perubahan fasa pada daerah pasband linier yang berarti perubahan fasa terhadap frekuensi atau group-delaynya konstan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam percobaan ini dirancang dan direalisasikan sebuah filter yang dapat digunakan pada penerima GPS yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Filter tersebut mempunyai frekuensi tengah 1575,42 MHz, insertion loss maksimum sebesar 0,4 dB, bandwidth-1dB sebesar 16 MHz, bandwidth-3dB sebesar 30 MHz, VSWR maksimum pada bandwidth-1dB sebesar 1,25 dan bandwidth-700dB sebesar 140 MHz.

Hasil pengukuran realisasi filter menunjukkan bahwa :

- Filter tersebut mempunyai frekuensi tengah 1575,42 MHz, insertion loss maksimum sebesar 1,636 dB, bandwidth-1 dB sebesar 16,8 MHz, bandwidth-3dB sebesar 30 MHz, VSWR maksimum pada bandwidth-1dB sebesar 2,479 dan bandwidth-70dB sebesar153,33 MHz.

Faktor kecuraman hasil pengukuran filter sebesar 153,33/30 = 5,111, sementara itu faktor kecuraman perancangan filter sebesar 140/30 =4,67. Dengan demikian perlu faktor koreksi untuk perancangan filter L1 sebesar kurang lebih 91,3% dari faktor kecuramannya.

Untuk mengurangi insertion loss perlu dilakukan pelapisan pada bahan aluminium dengan bahan yang mempunyai konduktifitas yang lebih tinggi, misalnya perak atau emas (proses pelapisan terlampir), selain itu VSWR-nya perlu diperkecil (mendekati 1) sehingga penyesuaian impedansinya baik. Untuk menghindari kontak yang jelek antara tutup filter yang terbuat dari aluminium dengan penyangga filter diberi pasta konduklor, misalnya pasta perak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rhea, R.W, ***HF Filter Design and Computer Simulation***, Noble Publishing Atlanta,1994
2. Malherbe J.A.G., ***Microwave Transmission Line Filters***, Artech House, Inc, Washington, 1980.
3. Matthaei, G.L., Young, L.,and Jones, E.M.T, ***Microwave Fifter, Impedance Matching Network, and Coupling Structure***, Artech House, Inc, 1980.
4. Matthaei, G.L, ***'Comb-line band-pass filter of narrow or moderate bandwidth'***, Microwave J, 6, p.82, August 1963.
5. Cristal, E.G, ***'Coupled circular cylindrical rods between parallel ground plane'***, Trans. Inst. Elect. Electronics Engrs, MTT- 12, July, 1964.
6. Nicholson, B.F, ***The practical design of interdigital and comb-line filter***, The Radio and Electronic Engineer, Juli, 1967.
7. Rustini S. Kayatmo, Yuyu Wahyu, ***"Perancangan Filter Combline"***, Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi, Januari - Maret 2001.

PEMBUATAN KERAMIK BARIUM TITANAT UNTUK PERALATAN ELEKTRONIK

*Yunasfi *)*

ABSTRACT

PREPARATION OF BARIUM TITANATE CERAMIC FOR ELECTRONIC DEVICE. Preparation of barium titanate ceramic ($BaTiO_3$) from high purity powder (99.99%) of $BaTiO_3$ has been carried out. Sample of this powder were pressed at 3000 kg/cm² and calcined at various temperatures of 900 °C (for 6 hours), 1000 °C (for 7.5 hours), 1100 °C (for 9 hours), 1200 °C (for 10 hours 40 minutes), and 1350 °C (for 12 hours 50 minutes). Formed ceramics were measured for the value of dielectric conctant and dielectric loss by LCR methode. In this study, it was found that dielectric constant was increased by increasing of calcination temperatures, while dielectric loss was decreased. At the lowest calcination temperature (900 °C), dielectric constant is 818 and dielectric loss is 56.1 %, while at the highest calcination temperature (1350 °C), the dielectric constant is 3820 and dielectric loss is 10.1 %. This phenomenon was caused by the perfection of ceramic formation at higher temperature of calcination.

INTISARI

PEMBUATAN KERAMIK BARIUM TITANAT UNTUK PERALATAN ELEKTRONIK : Telah dilakukan pembuatan keramik barium titanat ($BaTiO_3$) dari bubuk $BaTiO_3$ yang mempunyai kemurnian tinggi (99,99 %). Contoh bubuk ini dimampatkan dengan tekanan 3000 kg/cm², kemudian dikalsinasi pada berbagai temperatur yaitu : 900 °C (selama 6 jam), 1000 °C (selama 7 jam, 30 menit), 1100 °C (selama 9 j am), 1200 °C (selama 10 jam 40 menit) dan 1350 °C (selama 12 jam 50 menit). Keramik yang terbentuk diukur nilai konstanta dielektrik dan nilai "dielectric loss"nya dengan metode, LCR meter. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur kalsinasi, nilai konstanta, dielektriknya semakin besar, sedangkan nilai "dielectric loss"nya semakin kecil. Pada temperatur kalsinasi yang terendah (900 °C nilai konstanta dielektriknya adalah 818 dan nilai "dielectric loss"nya adalah 56,1 %, sedangkan pada temperatur kalsinasi tertinggi (1350 °C nilai konstanta dielektriknya menjadi 3820 dan nilai "dielectric loss"nya menjadi 10,1 %. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur kalsinasinya, keramik yang terbentuk semakin sempurna.

Korespondensi:
*) Pusat Pendayagunaan Iptek Nukhr (PHIN) - BATAN

1. PENDAHULUAN

Barium titanat ($BaTiO_3$) adalah suatu bahan yang bersifat feroelektrik dan mempunyai struktur kristal perovskite (ABO_3) yang sampai saat ini masih banyak diteliti secara luas. $BaTiO_3$ ini mempunyai struktur kristal yang jauh lebih sederhana bila dibanding dengan bahan feroelektrik lainnya. Ditinjau dari segi penggunaannya, bahan ini sangat praktis karena sifat kimia dan mekaniknya sangat stabil, mempunyai sifat feroelektrik pada temperatur ruang sampai di atas temperatur ruang karena mempunyai temperatur Curie (Tc) pada 120 °C. Bahan ini dapat dibuat dengan mudah dan digunakan dalam bentuk keramik [1-3].

Keramik $BaTiO_3$ mempunyai nilai konstanta dielektrik yang sangat besar pada temperatur ruang, tetapi juga mempunyai nilai "dielectric loss" yang besar pula. Namun demikian, keramik $BaTiO_3$ ini sangat banyak digunakan dalam industri bahan elektronik, terutama sebagai bahan kondensor, dan juga banyak digunakan pada peralatan pembangkit tekanan tinggi, detektor infra merah, dan industri-industri peralatan elektronik lainnya. Besarnya nilai konstanta dielektrik ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah temperatur kalsinasi saat pembuatan keramiknya. Oleh karena itu, nilai konstanta dielektrik dari suatu keramik merupakan suatu fungsi temperatur. Semakin tinggi temperatur kalsinasi saat pembuatan keramiknya maka nilai konstanta dielektriknya semakin besar pula [2,3].

Bahan dari keramik $BaTiO_3$ terdiri dari campuran bubuk barium karbonat ($BaCO_3$) dan bubuk titanium oksida (TiO_2) dengan perbandingan 3 : 1. Dengan bantuan temperatur kalsinasi yang tinggi maka akan terjadi reaksi pembentukan keramik dari campuran

kedua jenis bubuk ini. Reaksi pembentukan keramik tersebut adalah sebagai berikut [4] :

$$BaCO_3 + TiO_2 \longrightarrow BaTiO_3 + CO_2 \nearrow \quad (1)$$

Keramik $BaTiO_3$ ini akan terbentuk secara sempurna melalui 3 tingkatan temperatur kalsinasi [4].

a. Sekitar 900 °C mulai terjadi reaksi pembentukan keramik yang disertai dengan pelepasan gas CO_2 dari hasil samping reaksinya dan gas-gas lain yang terkandung di dalam bubuk ini, seperti H_2, H_2O dan lain-lainnya.
b. Mencapai temperatur sekitar 1100 °C mulai terjadi persenyawaan antara atom barium dan atom titan, dengan timbulnya pemuaian atom-atom ini.
c. Pada temperatur mencapai sekitar 1350 °C, penyusutan atom-atom yang mengalami pemuaian tersebut dan reaksinya berakhir sehingga terbentuk keramik $BaTiO_3$ dengan sempurna.

Untuk meningkatkan nilai konstanta dielektrik dari suatu keramik (bahan) maka akan diikuti juga dengan peningkatan nilai "dielectric loss"nya, karena nilai konstanta dielektrik berbanding lurus dengan nilai "dielectric loss". Sedangkan dari suatu keramik yang digunakan di bidang elektronika adalah keramik yang mempunyai nilai konstanta dielektrik besar tetapi nilai "dieclectric loss" nya kecil. Untuk itu, dalam tulisan ini disajikan hasil penelitian yang telah kami lakukan di Kazawa Institute of Technology, Jepang pada tahun 1995, untuk mendapatkan nilai konstanta dielektrik besar dan nilai "dielectric loss"nya kecil dari keramik $BaTiO_3$ Dari penelitian ini diharapkan bahwa hasil yang diperoleh dapat memberikan informasi pembuatan keramik $BaTiO_3$ bagi industri peralatan elektronik dan industri lainnya.

2. PERCOBAAN

Keramik $BaTiO_3$ dibuat dari bubuk $BaTiO_3$ (kira-kira 0,510 g) yang mempunyai kemurnian tinggi (99,99 %), kemudian dimampatkan dengan tekanan 3000 kg/cm^2 dengan menggunakan mesin pres (oil pressure). Pemampatan dilakukan dengan tekanan tinggi agar lempengan keramik yang terbentuk tidak rapuh (tidak mudah pecah) dan ketika dikalsinasi, permukaan lempengan keramik ini tidak melengkung [5,6]. Lempengan keramik ini berbentuk bulat dengan ukuran sebagai berikut: diameter 20 mm dan tebal 0,5 mm. Lempengan keramik ini diletakkan di atas plat alumina dan dimasukkan ke dalam tungku listrik (electric fumace) untuk dikalsinasi. Kalsinasi dilakukan pada temperatur yang divariasikan yaitu : 900 °C (selama 6 jam), 1000 °C (selama 7 jam 30 menit), 1100 °C (selaina 9 j am), 1200 °C (selama 10 jam 40 menit) dan 1350 °C (selama 12 jam 50 menit). Variasi waktu kalsinasi dilakukan agar kenaikan temperatur secara bertahap sehingga reaksi menjadi lebih sempuma dan keramik yang terbentuk tidak retak dan tidak rapuh.

Semua lempengan keramik hasil kalsinasi ini diukur nilai konstanta dielektrik dan nilai "dielectric loss"nya dengan menggunakan metoda LCR meter pada temperatur ruang (30 °C). Metode LCR meter ini didasarkan pada pengukuran kapasitansi dari bahan (Cx), sehingga dengan menggunakan rumus berikut nilai konstanta dielektrik dapat dihitung, sedangkan data untuk nilai "dielectrik loss" bahan langsung terbaca pada alat [6].

$$\varepsilon_X = \frac{t_a \times C_X}{A \times \varepsilon_0} \quad (2)$$

Keterangan :

ta = tebal bahan (m)
A = luas permukaan bahan (m^2)
C_x = kapasitansi bahan (F)
ε_0 = konstanta dielektrik pada ruang hampa
= 8,854 x 10^{-12} (F/m)
ε_X = konstanta dielektrik bahan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan keramik $BaTiO_3$ dengan 6 jenis temperatur kalisnasi, yang ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2. Pada tabel 1 ditunjukkan ukuran dan berat keramik $BaTiO_3$ sesuai dengan temperatur kalsinasinya. Keramik-keramik yang terbentuk ini mempunyai sifat fisika yang berbeda sesuai dengan temperatur kalsinasinya, terutama warna dan ukuran (tebal dan diameter) keramik-keramik ini. Dari tabel I ini dapat terlihat bahwa keramik-keramik sebelum dikalsinasi mempunyai berat sekitar 0,510 g, tebal sekitar 0,723 mm dan diameter 20,0 mm. Tetapi setelah dikalsinasi pada temperatur 900 °C, maka terjadi penurunan berat dan pengurangan ukurannya, yaitu : beratnya menjadi 0,492 g, tebal menj adi 0,652 mm dan diameter menjadi 19,453 mm. Pada temperatur 1100 °C, mulai terjadi perubahan warna disamping perubahan berat dan ukuran keramiknya. Perubahan warna keramik terjadi dari putih menjadi kuning muda, berat menjadi 0,489 g, tebal menjadi 0,605 mm dan diameternya menjadi 18,625 mm. Perubahan ini berlanjut sampai temperatur kalsinasi yang paling tinggi (yaitu 1350 °C). Pada temperatur 1350 °C warna keramik berubah menjadi kuning, berat menjadi 0,486 g, tebal menjadi 0,551 dan diameter menjadi 18,018 mm. Terjadinya perubahan sifat fisika keramik $BaTiO_3$ ini dapat dijelaskan sesuai dengan reaksi (1). Penurunan berat dan ukuran ini disebabkan kerena kalsinasi pada temperatur tinggi, disamping reaksi pembentukan keramik $BaTiO_3$ terjadi juga/disertai dengan pelepasan gas CO_2 serta gas-gas lain yang terkandung dalam bubuk yang digunakan

sebagai bahan percobaan. Perubahan ini terus berlanjut sampai temperatur kalsinasi yang sangat tinggi (1350 °C), karena semakin tinggi temperatur kalsinasinya maka reaksi pembentukkan keramik $BaTiO_3$ semakin sempurna.

Tabel 1. Efek Temperatur Kalsinasi terhadap Sifat Fisika Keramik $BaTiO_3$

No.	Temperatur Kalsinasi (^{0}C)	Warna	Berat (g)	Tebal (mm)	Diameter (mm)
1.	Sebelum Kalsinasi	Putih	± 0,510	± 0,723	20,000
2.	900	Putih	0,492	0,652	19,453
3.	1000	Putih	0,491	0,624	19,017
4.	1100	Kuning muda	0,489	0,605	18,625
5.	1200	Kuning muda	0,489	0,603	18,333
6.	1300	Kuning	0,486	0,554	18,122
7.	1350	Kuning	0,486	0,551	18,018

Pada tebel 2 ditunjukkan nilai konstanta dielektrik dan "dielectric loss" keramik $BaTiO_3$ pada variasi temperatur kalsinasi. Pada tabel 2 ini telihat bahwa semakin tinggi temperatur kalsinasi pembuatan keramik $BaTiO_3$ maka nilai konstanta dielektriknya semakin tinggi, sedangkan nilai "dielectric loss"nya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur kalsinasi, keramik yang terbentuk semakin sempurna. Dari hasil penelitian ini dapat terlihat bahwa nilai konstanta dielektrik dan nilai "dielectric loss" dari suatu keramik sangat dipengaruhi oleh temperatur kalsinasinya.

Tabel 1. Nilai konstanta dielektrik dan nilai "dielectric loss" keramik $BaTiO_3$

No.	Temperatur kalsinasi (^{0}C)	Konstanta dielektrik	Dielectric loss (%)
1.	900	818	56,1
2.	1000	1194	45,6
3.	1100	1728	36,2
4.	1200	2218	28,2
5.	1300	3633	10,7
6.	1350	3820	10,1

Pada temperatur kalsinasi paling rendah yaitu 900 °C, konstanta dielektrik keramik $BaTiO_3$ menunjukkan nilai paling kecil (818), sedangkan "dielectric loss"nya menunjukkan nilai paling besar. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 900 °C baru mulai terbentuk reaksi pembentukan keramik ini dan melepaskan gas CO_2 dan gas-gas lainnya yang terkandung di dalam bahan dasarnya (bubuk $BaTiO_3$) sebagai hasil samping dari reaksi ini, sehingga pembentukan keramik belum sempurna. Pada temperatur 1100 °C terlihat nilai konstanta dielektrik pengalami peningkatan yang besar (menjadi 1728) sedangkan nilai "dielectric loss"nya mengalami penurunan yang besar pula. Dari hasil ini dapat terlihat bahwa pada temperatur 11 00 °C ini mulai terbentuk reaksi pembentukan keramik $BaTiO_3$ - Pada temperatur 1100 °C ini, terjadi reaksi antara Ba dan Ti yang dimulai dengan pemuaian atom-atom tersebut. Dengan peningkatan temperatur kalsinasi ini maka nilai konstanta dielektriknya meningkat terus sedangkan nilai "dielectric loss"nya menurun terus sesuai dengan peningkatan temperatur. Nilai konstanta dielektrik terbesar yaitu 3820 sedangkan nilai "dielectric loss"nya paling kecil yaitu 10,1 %, didapat pada temperatur kalsinasi 1350 °C. Ini berarti bahwa pada temperatur 1350 °C reaksi pembentukan keramik $BaTiO_3$ sudah sempurna. Jelaslah bahwa nilai konstanta dielektrik dan

nilai "dielectfic loss" ini merupakan fungsi dari temperatur.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai konstanta dielektrik dan nilai "dielctric loss" dari keramik $BaTiO_3$ sangat dipengaruhi oleh temperatur kalsinasinya. Semakin tinggi temperatur kalsinasi maka reaksi pembentukan keramik $BaTiO_3$ semakin sempurna sehingga nilai konstanta dielektriknya semakin besar sedangkan nilai "dielectric loss"nya semakin kecil. Dalam penelitian ini, temperatur kalsinasi terendah untuk pembuatan keramik $BaTiO_3$ adalah 900 °C sehingga didapatkan nilai konstanta dielektriknya 818 dan nilai "dielctric loss"nya 56,1 %. Sedangkan temperatur kalsinasi tertingginya adalah 1350 °C, didapatkan nilai konstanta dielektriknya sebesar 3820 dan nilai "dielectric loss"nya sebesar 10,1 %.

Daftar Pustaka

1. CHOUDHARY B.K., RAO K.V., CHOUDHARY R.N.P., Mater Lett. 8 (1989), 31-35.
2. HAUG A., "Theoritical Solid State Physics", Vol. 1, Pergamon Press., New York (1986), p. 471 - 487.
3. KETTEL C., "Introduction to Solid State Physics", 6th ed., John Wiley & Son, New York (1984), p. 345 - 386.
4. OKAZAKI K., "Ceramics Dielectric Engineering". Gakusho Co. LTD., Japan (1977), p. 8 - 36 (in Japanese).
5. Solov's S.P., Kuzmin I.I., Zakurkin V.V., Ferroelectric, Vol. 1 (I 970), 19 - 22.
6. Uchida G., "Ceramic Experiments", Uchida Rokukacho Co. LTD., Japan (1988), p. 256 - 273 (in Japanese).

INVESTIGATION OF OXIDE QUALITY *)

Ika Ismet, Jamal Rahman, Shobih, Amilia Sinta Y and Nurman Setiawan **)

ABSTRACT

The investigation of oxide quality using a C-V plot with bias-temperature stress or Bias Heat Treatment (BHT) is described. In this case the insulator of silicon dioxide (SiO_2) was modified by the addition of 120 and 150 ml/min of Trichloroethylene (TCE)/N_2 vapor during thermal oxidation, with a flow rate of 1.0 l /min of dry O_2 for 5 min. It was found that after BHT the flatband shift is around 0.2 ~ 0.3V for 120 ml flow of TCE with 7 - 13 x 10^{10}/ cm^2 range of mobile ions density, N_{ss} = 0.81 - 2.15 x $10^{11}/cm^2$, and breakdown at electric fleld of 8 - 11 MV/cm (when current density reached a magnitude of 0.012 mA/mm^2), makes it provides high quality oxide. This process will contribute to our wafer processing, especially to improve the high performance and the stability of MOS devices used in integrated circuits.

1. INTRODUCTION

THERMAL oxidation of Silicon (Si) is an important process in the manufacture of microelectronics as a diffusion mask or a passivation film. It is also used in stabilizing the properties of the Si surface. In MOS (Metal Oxide Silicon) devices the film is an active, integral part of the device, and device operations are very sensitive to its properties. In order to obtain good passivation, it was recognized that pre-oxidation cleaning and a high degree of cleanliness during oxidation are required.

The careful fabrication of the devices is essential to stable operation. The first MOS field effect transistors were plagued by turn-on voltage instability. After a few hours or even minutes of operation, depending on temperature, the turn-on voltage would shift. If these devices are unstable then the instability will create problems for the circuit designer.

Korespondensi:

*) The Paper has been presented in the Eght International Conference on Microelectronics, December 16-18-1996, Cairo-Egypt.

**) Puslit Elektronika & Telekomunikasi - LIPI
Jl. Cisitu No. 21/154 D Bandung 40135

A number of investigators [1]-[3] have shown that contaminated oxides render both MOS and bipolar devices unstable.

The purpose of this work is to obtain good oxide quality in order to improve the high performance and the stability of MOS devices used in integrated circuits. In this experiment, we consider the simple MOS capacitor since it uses the same processing used in fabricating the integrated circuit.

This paper shows the investigation of oxide quality by using a capacitance-voltage (C-V) plot with BHT and it describes the steps necessary to produce the sample of an MOS capacitor. In this case the insulator of silicon dioxide (SiO_2) was modified by the addition of a small TCE vapor during thermal oxidation. The earlier work [4]-[7] reported that this TCE oxidation process resulted in the reduction of oxide charges and in the stabilization of the ionic migration instability.

The electrical property of oxide layer breakdown is also considered since it will affect determination of oxide quality.

II. EXPERIMENTAL PROCEDURE

In this experiment we consider an MOS capacitor structure, based on a p-type Si, (100) oriented, having resistivity 2-3 Ω cm. The samples were cleaned with a standard process to ensure the removal of moLecular, Ionic and atomic contaminants. After cleaning, the oxide layer on the Si was grown using the addition of 120 and 150 ml/min of TCE/N_2 with a flow rate of 1.0 ℓ /min of dry O_2 for 5 minutes.

The insertion of the wafers into the oxidation furnace, was arranged in the presence of nitrogen (N_2) for 5 min, and prior to the addition of TCE/N_2, a dry oxygen oxide layer was grown for 1 (one) minute in order to (get good oxide quality [6].

The oxidation temperature was held at (1200 $\pm$ 1)° C and the bubbler temperature of gas N_2 flows through liquid TCE was (21 $\pm$ 0.5)° C. After oxidation the wafers were annealed at 1100° C in N_2 for 30 min.

The top and the back side contacts were carried out by sputtering the Aluminium (Al) to the whole surfaces and then patterned photolithography to get the Al dot electrodes with 1.0 mm diameters. Finally the samples were alloyed at 480° C for 30 min to ensure good electrical contact.

Fixed oxide charges and mobile ions were investigated from the flat band voltages based on the high frequency capacitance measurements.

The C-V characteristics of the MOS devices were obtained at room temperature, in the dark, and were automatically recorded on x-y plotter. The C-V tests for contamination in the oxide consist of applying a variable voltage between a metallized area on the oxide and the Si under the oxide. The results are printed out as an initial curve. In this case the MDC (Materials Development Corporation) C-V curve computer program model CSM/2 was used to obtain the C-V curve, and to extract the value of surface charge.

Since the mobile ions can be present at various places in the oxide, the MOS capacitor is subjected to temperature-bias stress or BHT. So the second step, is to force the mobile positive ions in the oxide to the Si-SiO_2 interface. This is carried out by heating the wafer to 200°C and giving a positive bias on the sample with 2×10^6 V/cm electric field for 10 min. The temperature increases the mobility of the ions and the positive bias repels them to the Si-SiO_2 interface. After cooling down to room temperature with the bias still applied, another C-V curve is measured, and is compared to the initial curve. The flat band voltage shift between the C-V curves before and after BHT is used to get the value of mobile charges. The amount of the shift is proportional to the amount of mobile charges in the oxide, the oxide thickness, and the wafer doping.

Dielectric breakdown measurement was performed with the Al dots biased negatively using Keithley I-V Test System model 251. The breakdown voltage was measured on these Al dots when the current density reached 0.012 mA/mm² [7]. The corresponding breakdown field was computed from the breakdown voltage and oxide thickness.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The influence of TCE and flat band voltages on MOS capacitors has been reported by Declerck *et.al* [5] with small flat band shift of 0.5 V occur at about TCE/N_2 flow of 50 to less than 150 ml/min. Our result shows the flatband shift around 0.2 ~ 0.3V for 120 ml flow of TCE. The difference in result may be because of the addition a dry O_2 oxide layer to our samples for 1 (one) min, prior to the flow of TCE/N_2. Das *et. al* [6] reported that this process step was necessary in order to get good oxide quality. They mentioned also, that wafers which were fabricated without the 1 (one) min dry O_2 oxide layer were found to produce pitted oxides.

Acceptable C-V drifts vary between 0.1 and 0.5 V, depending on the sensitivity of the device being made [8]. So our samples with 0.2 ~ 0.3 volt C-V drifts are acceptable.

However, for TCE/N_2 flow around 150 ml/min has the same problem with the earlier work [5], resulted leaky oxides and no other parameter could be measured.

The experimental result of C-V curve typically is shown in fig.1. It was found that in term of mobile ion density, the value of ΔV_{FB} corresponds to 7×10^{10} - 1.3×10^{11} /cm² with fixed oxide charges concentration, $N_{ss} = 8.12 \times 10^{10} \sim 2.15 \times 10^{11}$/cm².

A value of mobile ion in low 10^{10}/cm² will result in a threshold voltage shift of only a few tenths of a volt for an MOS device [9].

Concerning the amount of N_{ss}, the results are slightly higher than Trapp *et al.* [10]. They mentioned that for wafer with (100) oriented, N_{ss} will be around 4×10^{10}/cm² after heat treatment in N_2 at 1100° C. This difference may be due to the fact that the high temperature anneals in N_2 for 30 min is probably too long. Anner [11] reported that the anneal in N_2 could be quite short, around 10 to 15 min. With further annealing, N_2 will diffuse through the oxide layer and form a nitride layer at the Si-SiO_2, interface, causing N_{ss} to increase.

Another important electrical property is the breakdown characteristics. It is used as a measure of oxide quality [8]. Fig. 2 shows typical breakdown characteristics of the samples when the current density reached a magnitude of 0.012 mA/mm². It was found that most breakdown occurs at high fields between 8 to 11 MV/cm with is in good agreement with Liu and Cheng [7] for TCE oxidation. High quality SiO_2 films will typically breakdown at electric field of 5 -10 MV/cm [12].

Nicollian and Brews [13] also reported that the optimal values achieved by modern integrated circuit technology are a mobile ionized sodium density in the low 10^{10}/cm² range, an oxide fixed charge density in the

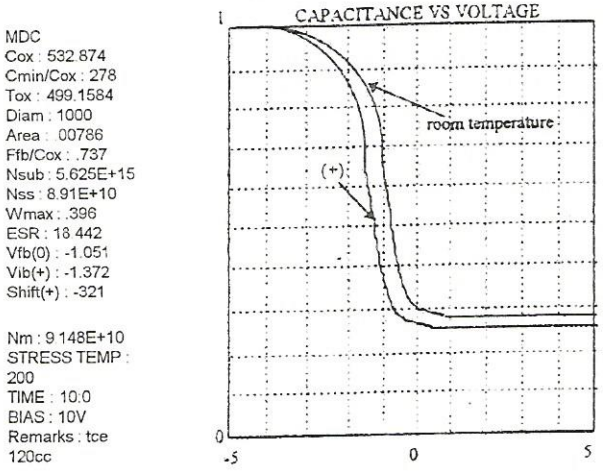


Fig. 1 Typical C-V curve

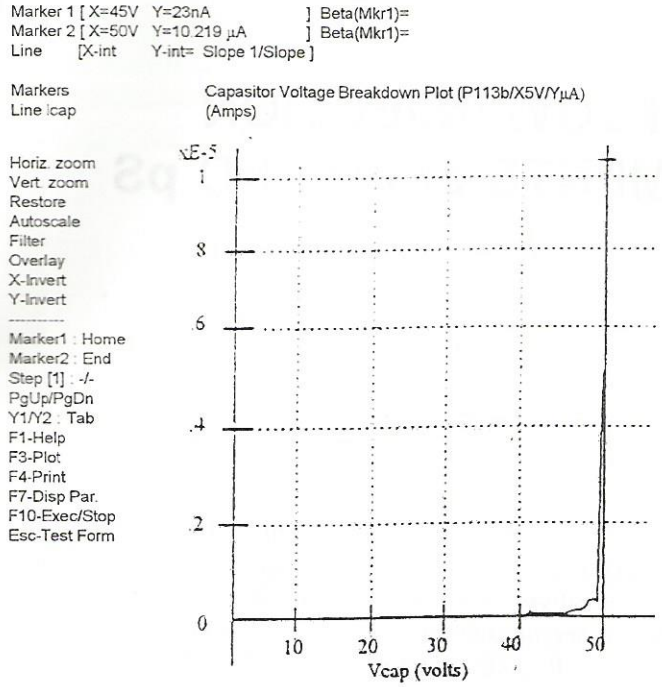


Fig. 2 Typical breakdown characteristic

low $10^{10}/cm^2$ range, and a dielectric breakdown strength from 6 to 10 MV/cm. These values are adequate for most high performance integrated circuit [13].

IV. CONCLUSION

From the discussion above, it can be concluded that the experiment of the oxidation process provides good oxide quality, with low density of surface charges and mobile ions, and high breakdown field, makes it possible to get electrical stability of MOS devices.

Additional work is still required to find out an optimal process from the effect of various TCE flow rates and shorter high temperatures anneal.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank The Director of Technology and Development of PT. LEN INDUSTRI for the opportunity to submit this paper to ICM '96. This work is sponsored in part by The Indonesian Institutes of Sciences (LIPI) under cooperation agreement between LIPI and LEN.

REFERENCES

[1] A. S. Grove, *Physics and Technology of Semiconductor Devices*. John Wiley&Sons Inc. 1967.

[2] G. Revesz, "Thermal Oxidation of Silicon: Growth Mechanism and Interface Properties", *Phys-Stat.* Sol, vol. 19, p. 193, 1976.

[3] J.P. Mitchel and D.R. Wilson, "Surface Effects of Reduction on Serniconductor Devices", *Bell Syst Tech. J*, vol. 46, p. 1, 1967.

[4] Mao-Chieh Chen and J.W. Hile, "Oxide Charge Reduction by Chemical Gettering with Trichloroethylene Duning Thermal Oxidation of Silicon", *J. Electrochem Soc.*, vol. 119, p. 223, 1972.

[5] G.J. Declerck, T. Hattori, G.A. May. J. Beaudouin and J.D. Meindl, "Some Effects of Trichloroethviene Oxidation on the Characteristic of MOS Devices", *J Electrochem. Soc. : Solid State Science and Technology*, pp 436-439, March 1975.

[6] M.B. Das, J.Stach, R.E Tressler, and W.H. Grubbs, "A Comparison of HCl and Trichloroethylene-Grown Oxides on Silicon", *J. Electrochem. Soc. : Solid State Science and Technology*, pp 33 89-3) 92, Feb. 1984.

[7] B.Y. Llu and Y.C. Cheng, "Growth and Characterization of Thin Gate ONides by Dual TCE Process", *J Electrochem Soc.* accelerated briief comm., pp 683-686, March 1984.

[8] P Van Zant, *Microchip Fabrication : A Practical Guide to Semiconductor Processing*, New York : McGraw-Hill Publishing co., 1990.

[9] S. Wolf, *Silicon Processingfor the VLSI Era VoL 1*, California -. Lattice Press, 1990.

[10] O.D. Trapp, RA Blanchard, and W.H. Shepherd, *Semiconductor Technology Handbook*, Technology Associates, 1982.

[11] G.E. Anner, *Planar Processing Primer*, New York .- Van Nostrand Reinhold, 1990.

[12] S. Wolf, *Silicon Processingfor the VLSI Era Vol. 2*, California : Lattice Press, 1990.

[13] ER Nicollian and J.R- Brews, MOS *(Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology*, John Wiley&Sons Inc., 1982.

POTENTIOMETRIC FLOW INJECTION ANALYSYS MEASUREMENTS of pH AND pS

*Hiskia *)*

ABSTRACT

Chemical sensors based on potentiometric principles and fabricated by thick film screen printing processes have been developed for the detection of ions in wastewater. The sensors are based on thick film metal-metal oxide electroactive coatings Sb and W (for pH) and an Ag_2S coating (for S^{2-}) and are integrated into a flow injection analysis (FIA) system to enhance the speed of analysis, sensitivity and accuracy. The response characterisfics under flow injection conditions were measured. It is shown that these electrodes can be used for the development of a low-cost system for the determination of the ion activity in a simple way by potentiometric flow injection analysis measurement. They can be applied to wastewater monitoring.

1. INTRODUCTION

The detection of ionic species in solution is important in a wide variety of industrial and environmental contexts. There is increasing interest in the use of miniaturised ion selective electrodes (ISEs) as chemical sensors particularly when coupled with potentiometric flow-injection analysis because it offers many advantages, including high selectivity, sensitivity, simplicity and low cost (Chen and Alexander 1997; Drost et al. 1997). Potentiometric and other electrochemical sensors applicable for the detection of ionic species in wastewater can be readily fabricated using thick film technology (Atkinson and Siuda 1994).

The use of electrochemical sensors in wastewater analysis is an interesting current development area in thick film technology. Thick film technology is an appropriate means of fabrication of such sensor systems since the materials used in this technology are robust and relatively invert and therefore already satisfy some of the ideal sensor requirements (Atkinson and Siuda 1994). The use of thick film ion species sensors offers a novel approach to the development of low cost and reliable wastewater analysis systems.

There are few reports on the determination of pH and S^{2-} using thick film fabrication processes for ion selective electrodes. The aim of this project is to develop a sensitive, selective and robust thick film multi-ion microsensor incorporated into a flow in ection analysis system for field monitoning. It will be applied initially to the determination of pH and S^{2-}, with later application to other multiple parameters. This is a continuation of previous research on developing pH and S^{2-} sensors using thick film technology (Sirait 1997).

2. EXPERIMENTAL

2.1. Instrumentation

The flow injection system used in studies to evaluate the electrode response characteristics consisted of a Gilson Minipuls 2 peristaltic pump, which was used to deliver a constant flow rate of 3 ml. min^{-1} through the specially constructed flow cell, a VICI (Valco Instrument Co. Inc.) injector valve with a 65 µl - 100 µl sample loop and, within the flow cell, the electrodes themselves. These were in the form of miniature antimony (Sb), tungsten (W), and Ag_2S pressed pellets.

The flow cell was designed to achieve the following objectives: minimum dispersion and minimum dead volume, by arranging the sensor in series in the cell. The cell consisted of two perspex halves separated by a rubber gasket which controls the geometric cell volume to around 60.5 mm^3. Its dimensions were 7.0 cm x 4.5 cm x 2 cm. The flow cell and the sensors are shown in Figure 1. The reference electrode used was an Ag/AgCl electrode. The signal conditioning system consisted of a unity gain follower and instrumentation amplifier. The potential difference between the electrodes was monitored with an Orion digital pH/ISE meter model 720A interfaced to a personal computer (PC). The software was written in the QBASIC programming language. A Flow Injection Analysis test system, controlled by a personal computer (PC), was developed to evaluate the performance of the sensors. A schematic of this system is shown in Figure 2.

Korespondensi:
*) Pusat Peneltian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Jl. Cisitu No. 21/154D Bandung 40135

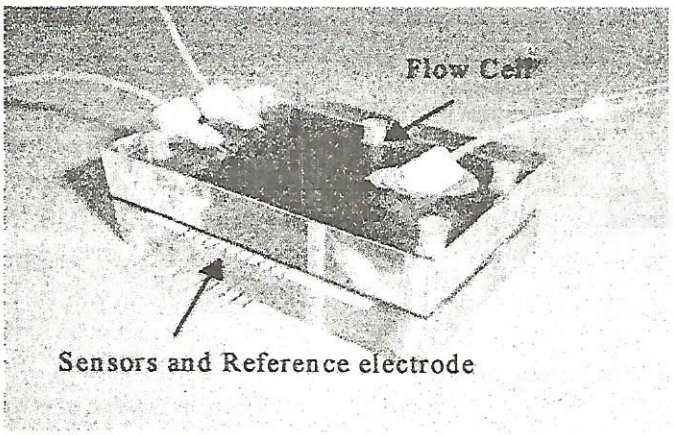


Figure 1. The flow cell and the sensors

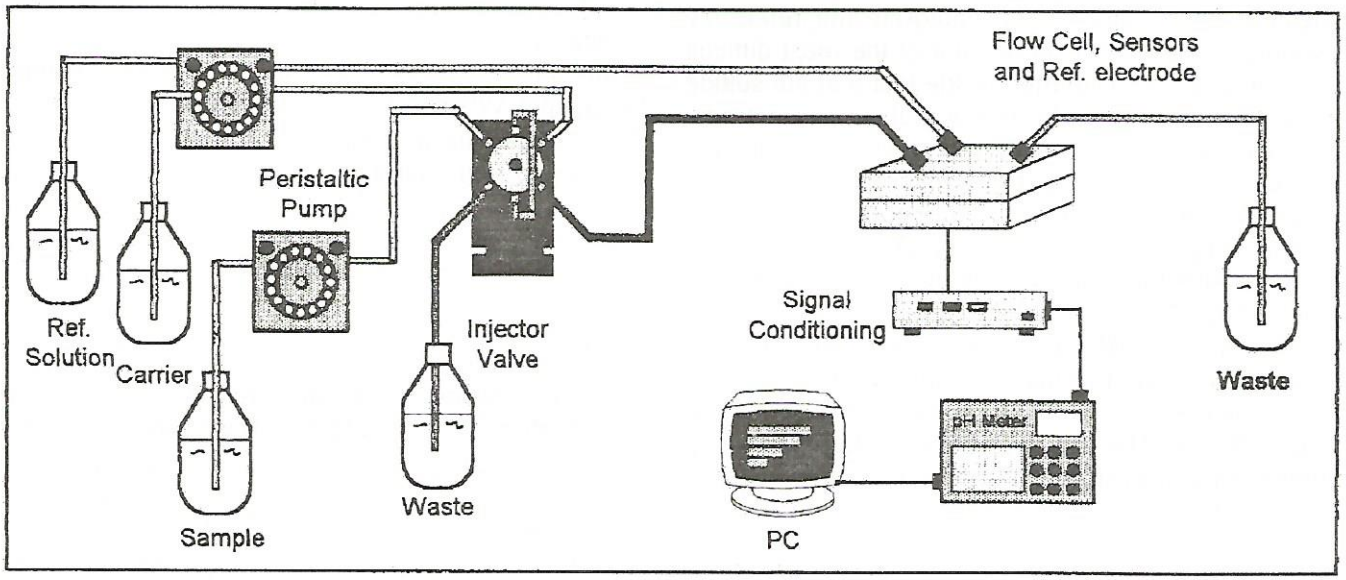


Figure 2. Potentiometric Flow Injection Analysis Experimental Set-up

2.2. Reagents and Solutions

All reagents were analytical reagent grade and were dissolved in water which was purified in a Milli-QPlus water purification system (Millipore, USA). The following chemicals were used without further puriffication: pH buffer 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 and 11 for measurement of the pH response. Serial dilutions of sodium sulfide (Na_2S) have been successfully used by number of authors for the evaluation of sulfide sensors (see for example Vesely et al. 1972; Hu and Leng 1996; Olenic et al. 1997; Tommle L. Royster et al. 1998) was chosen for this present research. Serial dilutions from 1×10^{-1} M to 1×10^{-6} M were freshly prepared. The carrier solution was 10^{-2} M NaCl in Mjlli-Q Plus deionized water and the reference solution was 10^{-1} M NaCl.

2.3. Preparation of pH and S^{2-} sensors

The use of an antimony wire electrode for potentiometric detection of pH is well known (Nilson and Edwall 1983). A report of the use of an oxidised tungsten wire as a potentiometric indicator electrode for on-line monitoring of pH in a portable flow injection analyser (Chen and Alexader 1997) led us to investigate use of both pressed pellet tungsten (W) and antimony (Sb) electrodes as pH sensors in a thick film flow injection analysis system.

For the fabrication of the sensors a multilayer approach was employed. Sensor structures consisted of a conductor and an interfacial layer deposited sequentially by a screen printing process onto an alumina ceramic substrate. The chemically sensitive material (pressed pellet) was then applied while the interfacial layer was still wet and drying carried out in an oven at 150 °C for 2 hours. The pressed pellets were prepared from the respective powders: antimony (Sb), tungsten (W) and Ag_2S. The pellet diameter size was about 1.0 mm and thickness was about 0.2 mm. The cross section of the sensor structure is shown in Figure 3.

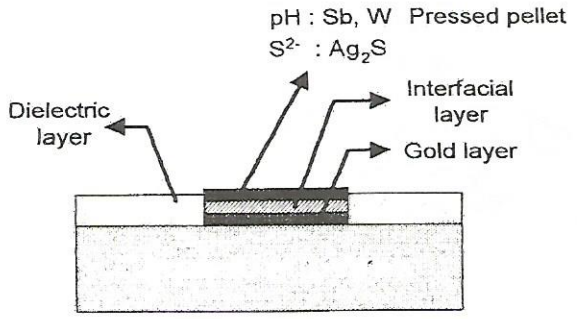


Figure 3. The cross section of the sensor structure

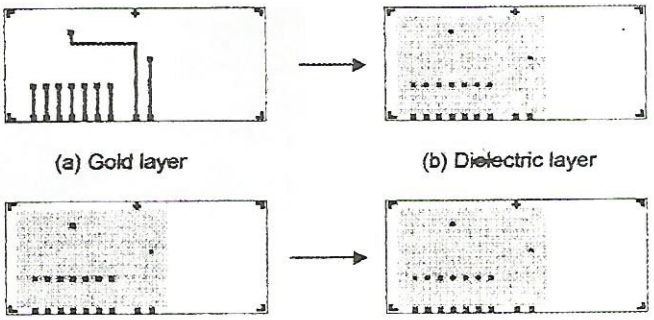


Figure 4. Scheme of electrode screen printing process

Internal Reference Electrode

The internal reference electrode used was Ag/AgCl electrode. The idea, was to integrate the reference system on the sensor array. One of the most difficult aspects of S^{2-} measurement is the fact that the sulfide may chemically react with Ag/AgCl reference electrode. To avoid sulfide attack, the reference electrode was placed separately from the sensors (in a different channel). The internal Ag/AgCl reference electrode was produced by chloridising a silver pressed pellet chemically in 4 wt.% FeCh and 4 vol.% HCl_3 (Lemke and Cammann 1992). The chloride concentration in the reference system was 10^{-1} M. In an earlier test the reference electrode exhibited a stable potential vs a commercial reference electrode (BAS mw 2032) in unstirred 10^{-1} M NaCl solution. The test duration was I hour. Recently more extensive and longer duration has been successfuly performed.

pH Sensors

A gold paste (Dupont, 8352) was firstly printed on the alumina substrate and subsequently dried for 15 min in a belt driven oven (150 °C) then fired for 45 min in a conveyor furnace at 850 °C. Then the glass dielectric paste (Dupont, 8190) was printed on top of the conductor layer and dried and fired as above. Finally, a carbon filled polymer paste (ESL, D-RS-12114) was printed and the antimony or tungsten pressed pellet deposited on top of the wet paste and baked in an oven for 2 hours at 150 °C.

S^{2-} sensor

The S^{2-} sensor was fabricated using a screen printing process, similar to that of the pH sensors except for the nature of the sensitive and interfacial layers. The sensitive layer was an Ag_2S pressed pellet and the interfacial layer was conductive paste (ES1110-S). The scheme of the electrode screen printing process is shown in Figure 4.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Flow injection measurements

The carrier stream was pumped continuously at a constant flow rate of 3 ml.min^{-1}. Such flow rate is required to obtain a short response time and a high sample throughput. When a steady base line had been reached, 50 µl of sample was injected into the carrier stream. The output of the pH/mV meter was recorded using a personal computer (PC). When the base line was reached again, another sample could be injected. The minimum time between samples was about 2 min.

3.2. Response Time

The response of the miniature antimony electrode to pH buffers 2, 4, 7, and 10 is shown in Figure 5. That of the miniature tungsten electrode to pH buffers 2, 4, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, and 11 is shown in Figure 6. That of the miniature Ag_2S electrode to S^{2-} is shown in Figure 7. The limit of Nernstian response for the Ag_2S electrode to Na_2S was about 10^{-3} M. Peaks were reached in less than 1 min after breakthrough, but wash-out was slower.

3.3. Electrode Characteristics

The antimony and tungsten electrodes were tested for sensitivity of pH response.

- Antimony (Sb) electrode
  The electrode process may be formulated as follows:

$$Sb_2O_3 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow 2Sb + 3H_2O \quad (1)$$

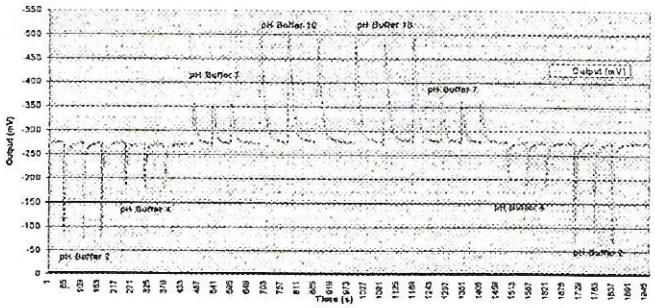
- Tungsten (W) electrode
  The electrode process may be formulated as follows:

$$WO_3 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow W + 3H_2O \quad (2)$$

It is generally accepted that as an optimum operational objective a Nernstian response is desired. i.e. 59 mV per pH unit at 25 °C.

$$E = E_0 - \frac{2.303RT}{F} pH \quad (3)$$

where E = emf of the cell (mV), E_0 = standard potential of the electrode (mV), R is the gas constant, T the temperature in degrees Kelvin, F the Faraday constant, *a* = solution activity and pH = - $\log_{10} a_H^+$.
The antimony-antimony oxide electrode exhibited responses, between 48 - 54 mV / pH, Baseline to baseline time at was about 30 seconds.



Pump speed : 3 ml/min;
Carier : 10^{-2} M NaCl; Sample volume : 65 ul

Figure 5. Response output of antimony (Sb) electrode as pH sensor

The tungsten-tungsten oxide electrode exhibited responses between 40 - 50 mV / pH. Baseline to baseline time was about 35 seconds. The baseline potential drift was about 5 mV.

Response Output of W electrode
(Pump speed : 3 ml/min, Carrier solution : 0.1 M NaCl, Ref. Solu. : 0.1 M NaCl;
Sample Vol. : 100 ul)

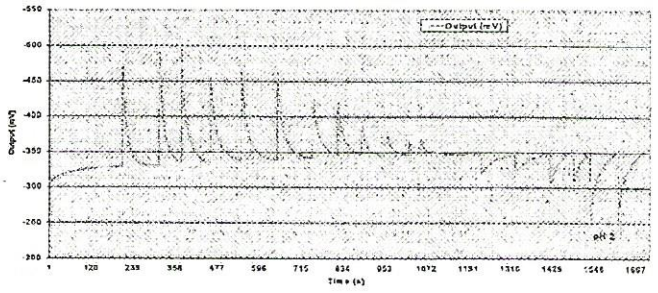
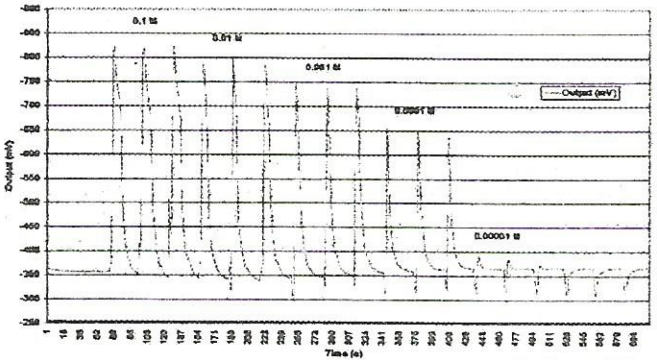


Figure 6. Response output of tungsten (W) electrode as pH sensor

The Ag_2S electrode exhibited responses about 35 mV / decade concentration change, Baseline to baseline time was, about 30 seconds. Good linearity is seen over the S^{2-}range 10^{-1} M - 10^{-4} M. Ideally

$$E = E_0 - \frac{2.303RT}{2F} \log_{10} a_{S^{2-}} \quad (4)$$

where E = emf of the cell (mV), E_0 = standard potential of the electrode (mV), R Is the gas constant, T the temperature in degrees Kelvin, F the Faraday constant, a = solution activity



Pump speed : 3 mil/min; Carrier : 0.01 M NaCl; Sample volume: 65 ul

Figure 7. Response output of Ag_2S electrode as S^{2-} sensor

It should be noted that the activity of sulfide solution is pH dependent. The speciation or distribution diagrarn for the systern $H_2S/HS^-/S^{2-}$ as a function of pH is as follows (Hadjiioannou et al. 1988)

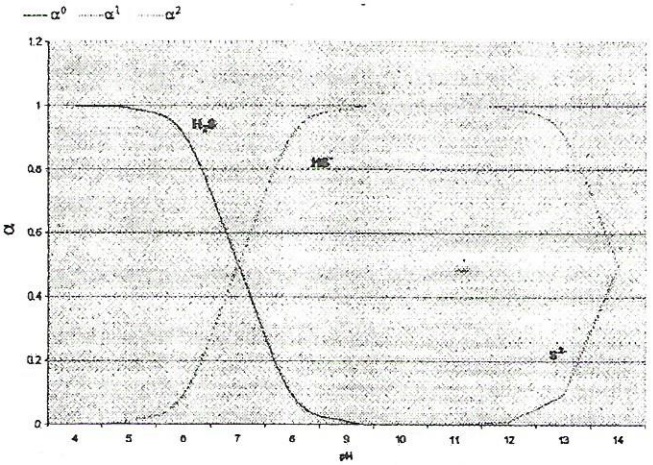


Figure 8. Speciation diagram for $H_2S/HS^-/S^{2-}$ as a fnction of pH

Speciation Diagram

Midgley and Torrance (1991) give details of a suffide antioxidant buffer which ensures a constant high proportion of S^{2-}, as at the far right hand side of this diagram. It also contains ascorbic acid to prevent oxidation of the sulfide and a chelating agent (EDTA). Such a buffer will be used in the next stage of development of this monitoring system. Apparent superNernstian responses, recently observed, will thus be eliminated. Design of a sampling interface for the system is also seen as a way to by-pass some difficulties encountered. Several options, will be explored.

3.4. Applications

A sulfide electrode can be used as a specific indicator in any reaction where, the sulfide concentration should be determined. Some sediments (eq. in mangrove areas) may be highly sulfidic. Suffide in household drains from breakdown of wastewater may be oxidised to acidic sulfate which can cause corrosion. Hydrocrackers, in the

oil and gas refining industry produces H_2S sour waste waters which need to be pH controlled to prevent metal corrosion (Asian Environmental Technology 1997).

IV. CONCLUSION

The design, development and evaluation of thick film pH and S^{2-} sensors in flow injection analysis have been described. The preliminary results indicate that antimony and tungsten pressed pellets have considerable promise for detection of pH in flow injection analysis. The resulting pH sensors had high sensitivity, about 48 to 54 mV / pH unit at room. temperature. For the S^{2-} sensor, with a 100 µl sample injection, the detection limits was found to be in the range of 1.0×10^{-5} M - 1.0×10^{-6} M. Some applications of these electrodes have been identified. It is proposed to develop a heater and temperature sensor to control the temperature in the future.

Acknowledgments

The authors wish to acknowledge the contribution of Mr. Paul White and Mr. J. Bannigan of the Microelectronics Centre for their assistance in laboratory work. Acknowledgrnent is also due DEETYA for providing Targeted Institutional Links Scholarship funds to support the research work between MEC (University of South Australia) and Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

References

Atldnson, J. K., and Siuda, A. W. J. C. a- P. R. (1994). "Organic for Gas Sensing and the Construction of Sensors for Liquids." Thick Film Sensors, M. Prudenziati, ed., Elshavier, 313-340.

Chen, Z. L., and Alexader, P. W. (1997). "Flow-Injection Potentiometric Detection of Metal Ions Based on Tungsten Oxide Electrode." Electroanalysis, 9(2), 141-144.

Droh, S., Wormann, W., Ross, B., Koster, 0., Konz, W., Edler, B., Schuhmann, W., Mebmer, L., and Ferrenti, R. "Microanalytical System for Environmental Control." TRANSDUCERS '97, 1997 International Conference on Sofid-State Sensors andActuators, Chicago, 931-934.

Hadjiioamou, T. P., Christian, G. D., and Nikolelis, C. P. (1988). Problem Solving in Analytical Chemisipy (Solution Manual), Pergamon Press.

Hu, X., and Leng, Z. (1996). "Determination of Trace-levels of Sulfide by High-sensitivity Potentiometry with a Carbon Paste Electrode." Analytical Communications, 33, 297-298.

Lenike, U., and Cammann, K. (1992). "Multisensors an-ay for pK K^+, Na^+ and Ca^{2+} Measurements based on Coated-film Electrode." Sensors andActuators B, 7, 488-491.

Midgley, D., and Toffance, K. (1991). "Determination of Sulphide." Potentiometric Water Analysis, 486-501.

Nilson, E., and Edwall, G. (1983). "Continuous pH Monitoring with Monoczystalline Antimony Electrode: Toxicity Considerations from Studies on Heparinezed Human Plasma." Scand J Lab. Invest., 43, 539-542.

Olenic, L., Hopirtean, E., and Olenic, L. (1997). "Potentimetric Differential Microdetector With Interchange Solid Membranes Used in Flow Injection Analysis." Analyst, 122(February), 107109.

Sirait, H. "Charactefistics of a Thick Film Microsensor Arrays for Determinaton of pH and S^{2-}., 14th AustralianMicroelectronics Conference, Melbourne, Aust-alia, 216-220.

Technology, A. E. (1997). "pH Measurements of H_2S Sour Water." Asian Environmental Technology,37.

Tommie L. Royster, J., Chatte~ee, D., Paz-Pujalt, G. R., and Marrese, C. A. (1998). "Fabrication and evaluation of thin-film solid-state sensors for hydrogen sulfide detection." Sensors and Actuators B, 53, 155-162.

Vesely, J., Jensen, 0. J., and Nicolai~ B. (1972). Ion-Selective Sectrodes Based on Silver Sulphide." Anal. Chim. Acta, 62, 1-13.

PERENCANAAN RANGKAIAN INPUT UNTUK PENGUAT DAYA BESAR DENGAN BIDANG FREKUENSI LEBAR PADA DAERAH FREKUENSI "VERY HIGH FREQUENCY (VHF)"

*Rustini S. Kayatmo dan Soemaryato Kayatmo *)*

ABSTRACT

This paper describes how to choose of input circuit for wide-band frequency bandwidth that usually used in high power amplifier. The power amplifier uses electronic vacuum tube, while the driver amplifier uses solid state power amplifier without needed adjustment circuitry for the bandwidth that has been decided from the start of designing. This circuit has much been used in the implementation of high power amplifier for television transmitters.

INTISARI

Didalam makalah ini dibahas mengenai pemilihan rangkaian input untuk frekuensi lebar yang sering dipergunakan pada penguat daya besar. Penguat daya yang dimaksud, menggunakan tabung elektron hampa yang penguat mukanya menggunakan rangkaian penguat daya solid state tanpa harus menyetel rangkaian input tersebut untuk selebar bidang frekuensi yang telah ditentukan dari awal. Pemanfaatan rangkaian ini banyak diterapkan pada penguat daya di pemancar-pemancar televisi.

1. PENDAHULUAN

Dalam pembuatan pemancar atau relay televisi yang menggunakan daya lebih dari 1 (satu) kilowatt peak, masih banyak digunakan tabung elektron hampa sebagai penguat daya akhirnya. Untuk pemancar yang mempunyai bidang frekuensi lebar berdaya rendah, penguat dayanya dapat menggunakan komponen transistor daya tinggi dan komponen "very large scale Integration" (VLSI) dan atau beberapa integrated circuit (IC). Pembuatan penguat daya linear untuk bidang frekuensi lebar yang berdaya tinggi dengan menggunakan transistor sudah sampai 1000 Watt peak, tetapi untuk daya yang lebih besar, masih banyak yang menggunakan tabung elektron, karena apabila menggunakan transistor daya tinggi mengalami kendala dalam hal, cross modulation, pendinginan, catu daya tegangan rendah dengan arus besar yang harus mempunyai ripple yang sangat kecil dan bertegangan konstan sehingga pembuatannya relatif cukup mahal.

Dengan adanya tabung hampa (Electronics Vacuum Tube) tetrode dengan sistim thermionic yang memiliki penguatan antara 10 sampai 20 dB, untuk memperoleh daya output power sebesar 10 Kwatt peak, cukup dipacu (di "drived") dengan penguat depan sebesar 100 Watt peak, yang keseluruhan rangkaiannya sudah dapat dibuat dengan menggunakan komponen solid state. Oleh karena input impedansi penguat daya yang menggunakan tabung hampa dan impedansi output penguat depannya (driver) tidak selalu memiliki besaran yang sama, apalagi apabila harus berbidang frekuensi lebar (satu band frekuensi seperti band frekuensi I, Band III, Band IV atau Band V). Dengan demikian perlu dibuat suatu rangkaian penghubung antara penguat akhir dan penguat pemacunya yang mampu menyesuaikan impedansi selebar bidang frekuensi tersebut diatas (harus selalu "matched" dalam toleransi yang diijinkan), cukup murah dan mudah penanganannya oleh para operator pemancar atau relay yang menggunakan sistim tersebut.

Rangkaian penyesuai ini sering disebut rangkaian "matching" yang dapat dibuat dengan menggunakan komponen diskrit seperti kapasitor, induktor dan resistor atau dapat pula dengan menggunakan komponen lump circuit, seperti kabel transmisi coaxial cable, "strip line". kawat paralel dan sebagainya. Apabila dipilih komponen sistem transmisi, maka perlu digunakan teori transformasi $\lambda/4$ seperti telah dibahas pada makalah sebelumnya[1]. Pada, umumnya kabel coaxial yang dapat diperoleh tanpa pesanan khusus adalah yang mempunyai karakteristik impedansi 50 Ohm, 60 Ohm atau 75 Ohm, maka dalam metoda pembuatan rangkaian input untuk penguat daya yang dibahas disini diperlukan suatu rekayasa dan teknik-teknik perancangan tertentu, namun harus didukung oleh teori-teori yang ada.

Korespondensi:
*) Puslit Elektronika dan Telekomunikasi
Jl. Cisitu 21/154D Bandung 40135

Pemakaian rangkaian input dengan bidang frekuensi lebar diperlukan dalam perancangan beberapa tahap rangkaian penyesuai (Matching Circuit), karena mempunyai beberapa keuntungan antara lain:

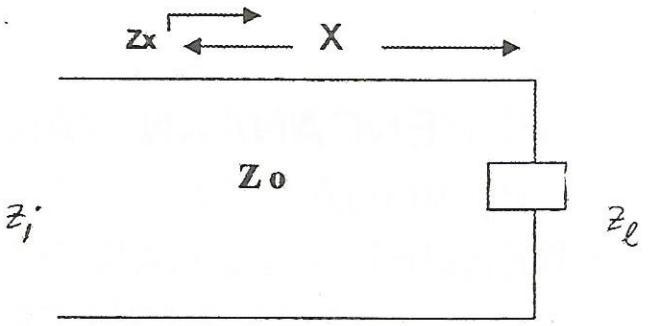
1. Untuk suatu bidang frekuensi yang lebarnya telah ditentukan sebelumnya, rangkaian penyesuai harus tidak banyak menyimpang dari ketentuan yang telah ditetapkan sepanjang lebar bidang frekuensi tadi, sehingga tidak diperlukan lagi adanya pengaturan-pengaturan komponen atau adjustment, maupun netralisasi pada penguat dayanya;
2. Dapat menyederhanakan rangkaian input yang cukup komplek dengan mengurangi komponen pasif seperti induktor, resistor maupun kapasitor yang standard pada rangkaian penyesuai input, dengan demikian mempermudah penggantian tabung elektron yang belum tentu memiliki karakteristik yang benar-benar identik satu sama lain, tanpa melakukan penalaan kembali pada setiap penggantian tabung elektron;
3. Dapat diperoleh stabilitas yang cukup handal pada frekuensi pass-band rangkaian penyesuai di bagian input penguat daya besar dengan tabung hampa thermionic;
4. Mempermudah para operator untuk melakukan penalaan, karena penalaan hanya dilakukan pada bagian rangkaian outputnya saja. Hal ini cukup banyak menolong para operator, khususnya operator pemancar televisi di daerah, terutama di daerah terpencil yang perlu penanganan secara mudah, karena terbatasnya keterampilan operator dan peralatan yang dimiliki di daerah;
5. Membantu mempermudah pemeliharaan (maintenance), karena rangkaian penyesuai pada rangkaian input tidak menggunakan komponen. diskrit seperti kapasitor, induktor dan sebagainya.

TEORI TRANFORMATOR λ/4 TERHADAP BIDANG FREKUENSIN

Didalam usaha melakukan penyesuai impedansi (matching impedance) banyak cara, yang dapat ditempuh antara lain dengan:

- Mempergunakan komponen diskrit seperti inductor (L), Capacitor (C) dan Resistor(R).
- Mempergunakan komponen terdistribusi seperti pada saluran transmisi.

Didalam menghindari atau memperkecil parasitic component yang mungkin timbul maka para designer rangkaian untuk pembuatan peralatan elektronika banyak memilih cara kedua sepanjang dimensi yang terkait dengan panjang gelombang memungkinkan yaitu mempergunakan distributed component dengan cara mempergunakan prinsip pada kawat rransmisi seperti kabel koaksial, strip line circuit dan sebagainya.



Gambar. 1

Dimana θ adalah panjang saluran dalam derajat. maka :

$$Zx = Zo\frac{Z\ell + jZo\tan\theta}{Zo + jZ\ell\tan\theta}$$

$$Zx = Zo\frac{Z\ell + jZo\tan\theta}{Zo + jZ\ell\tan\theta} x \frac{Zo - jZ\ell\tan\theta}{Zo - jZ\ell\tan 2\theta}$$

$$= Zo\left\{\frac{ZoZ\ell + ZoZ\ell\tan^2\theta + j(Z^2o - Z^2\ell\tan\theta}{Z^2o + Z^2\ell\tan^2\theta}\right\}$$

$$Zx = Zo\left\{\frac{ZoZ\ell\tan^2\theta\left(\frac{1}{\tan^2\theta}+1\right) + j\tan\theta(Z^2o - Z^2\ell)}{ZoZ\ell\tan^2\theta\left(\frac{Zo}{Z\ell\tan^2\theta}+\frac{Z\ell}{Zo}\right) + jZ\ell\tan\theta}\right\}$$

$$Zx = Zo\left\{\frac{\left(\frac{1}{\tan^2\theta}+1\right) + j\frac{Z^2o - Z^2\ell}{ZoZ\ell\tan^2\theta}}{\frac{Zo}{Z\ell\tan^2\theta}+\frac{Z\ell}{Zo}}\right\}$$

$$\text{karena....}\theta \to \frac{\pi}{2}\text{,...maka } \frac{1}{\tan^2\theta} \cong 0$$

$$\therefore \to Z_x \approx Z_o\left\{\frac{1 + j\frac{Z_o^2 - Z_\ell^2}{Zo.Z\ell\tan\theta}}{\frac{Z_\ell}{Z_o}}\right\} = \frac{Z_o^2}{Z_\ell}\left[1 + j\frac{Z_o^2 - Z_\ell^2}{Zo.Z\ell\tan\theta}\right]$$

apabila .....θ

$$= \frac{\pi}{2} x \frac{\lambda_o}{\lambda} = \frac{\pi}{2} x \left\{ \frac{\lambda_o}{\lambda_o + \Delta\lambda} \right\} = \frac{\pi}{2} x \left\{ \frac{1}{1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o}} \right\}$$

Sesuai..deret...

$$(9+y)^p = 1 + py + \frac{p(p-1)}{2!} y^2 + ... + \frac{p(p-1)...(p-n+1)}{n!} + y^n + ...$$

Andaikan.... $y = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o}$

$$\Rightarrow \text{maka } \theta = \frac{\pi}{2} x \frac{\lambda_o}{\lambda} = \frac{\pi}{2} x \left(1 - y + \frac{2y^2}{2!} - \frac{6}{3!} y^3 + ... \right)$$

Karena .... $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \langle\langle 1 ...$

maka... y^n ... dim ana... $n \geq 2$ ... maka... $y^n \approx 0$

$$\theta = \frac{\pi}{2} x (1 - y)$$

$$\tan\theta = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \right) ... \Rightarrow \text{maka...} \tan^{-1}\theta = \cot\theta$$

Menurut.... Deret...

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \right) ... \Rightarrow \text{maka...} \tan^{-1}\theta = \cot\theta$$

Dan... oleh... karena... $\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \langle\langle 1$ (sangat... kecil)

maka... $\tan^{-1}\theta = \cot\theta \cong \theta$

atau..... $\tan\theta = \frac{1}{\theta}$

Dengan demikian diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$Z_x = Z_o \left\{ \frac{1 + j\theta \frac{\left(Z_o^2 - Z_\ell^2\right)}{Z_o - Z_\ell}}{\frac{Z_\ell}{Z_o}} \right\} = \frac{Z_o^2}{Z_\ell^2} + \left\{ 1 + j\theta \left(\frac{Z_o^2}{Z_o^2 Z_\ell^2} - \frac{Z_\ell^2}{Z_o^2 Z_\ell^2} \right) \right\}$$

Agar supaya terjadi matching dengan saluran $\lambda/4$ maka

Zo harus sama dengan $\sqrt{Z_1 . Z_\ell}$

$$\therefore \Rightarrow Zx \cong \frac{Z^2 o}{Z1} + \left\{ 1 + j\frac{\pi}{2} . \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left[\sqrt{\frac{Z_1}{Z_L}} . \sqrt{\frac{Z_L}{Z_1}} \right] \right\}$$

Apabila hubungan di atas dinyatakan dalam bentuk frekuensi, maka akan diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$\lambda = \lambda_o + \Delta\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{f_o + \Delta f}$$

$$1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{c}{\lambda_o + f} \left(\frac{1}{1 + \frac{\Delta f}{f_o}} \right) = 1 - \frac{\Delta f}{f_o} + \frac{2}{2!} \left(\frac{\Delta f}{f_o} \right)^2 - \frac{3}{3!} \left(\frac{\Delta f}{f_o} \right)^3 + ...$$

karena... $\frac{\Delta f}{f_o}$ ... kecilsekali $\Rightarrow 1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \cong 1 - \frac{\Delta f}{f_o} \Rightarrow \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \cong \frac{\Delta f}{f_o}$

Maka persamaan impedansi untuk titik yang berjarak X dari beban dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\Rightarrow Z_X \cong \frac{Z_o^2}{Z_\ell} \left[1 - j\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta f}{f_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right]$$

Voltage Standing Wave Ratio atau VSWR = S untuk di-terminal input adalah | Zin/Z1 | atau | Zx/Z1 |. Apabila dinyatakan dalam bentuk $\Delta\lambda / \lambda_o$, maka akan diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$Z_X \cong \frac{Z_o^2}{Z_\ell} \left\{ 1 + j\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right\}$$

$$S = \left| \frac{Z_x}{Z_1} \right| \cong \left| \frac{Z_o^2}{Z_\ell . Z_1} \left\{ 1 + j\frac{\pi}{2} \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right\} \right|$$

Karena ..... $\frac{Z_o^2}{Z_\ell} = Z_1$

$$S \cong \left| 1 + j\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right| = 1 + |\Delta S|$$

$$\Rightarrow \Delta S = \left| j\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right| = -\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right)$$

$$\therefore \Rightarrow S = 1 + |\Delta S| = 1 - \frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right)$$

Demikian pula apabila VSWR pada bentuk persamaan di atas hendak diadakan bentuk persamaan Δf dan fo , maka diperoleh hubungan sebagai berikut ini :

$$Z_X \cong \frac{Z_o^2}{Z_\ell} \left\{ 1 - j\frac{\pi}{2} x \frac{\Delta f}{f_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right\}$$

demikian... pula... $\frac{Z_o^2}{Z_\ell} = Z_1$

Maka...

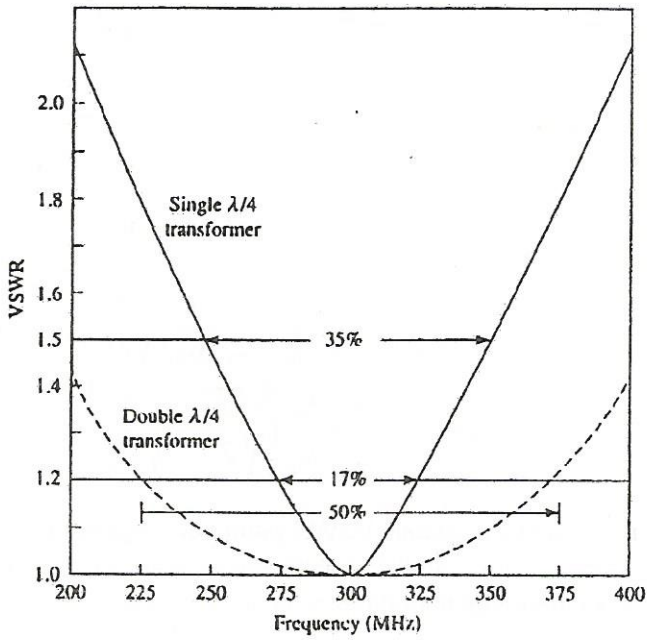
$$S = \frac{Z_x}{Z_\ell} = 1 + |\Delta S| = 1 - \left| \frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right) \right|$$

$$\therefore \Rightarrow S = 1 + - \frac{\pi}{2} x \frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right)$$

Apabila dikehendaki untuk memeproleh lebar bidang frekuensi yang cukup lebar, maka diperlukan transformator $\lambda/4$ lebih dari satu tahap[2]. Untuk transformator $\lambda/4$ dua tahap dan harus men-transformasikan impedansi Z_ℓ ke-impedansi Z1, maka dengan melakukan penurunan matematik yang serupa akan diperoleh persamaan untuk VSWR sebagai berikut :

$$S \cong 1 - j \frac{\pi^2}{4} x \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} \right)^2 \left[\sqrt{\frac{Z_1}{Z_\ell}} - \sqrt{\frac{Z_\ell}{Z_1}} \right]$$

Dari Gambar 2 berikut ini dapat dilihat pengaruh pemakaian transformator $\lambda/4$ secara tunggal dan transformator ganda akan memperlihatkan adanya



pelebaran bidang frekuensi yang cukup signifikan.

Gambar. 2.

Pada gambar 2 diatas dapat dilihat lebar bidang frekuensi untuk VSWR = 1.2 diperoleh sebesar 17% untuk single transformer dan 50% untuk double transformer $\lambda/4$. Untuk mengetahui perkiraan VSWR yang menggunakan n-tahap transformator $\lambda/4$ telah diturunkan secara matematik dengan menggunakan uraian binomial [3,4,5], diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$S \approx 1 + (\cos\theta)^N \ln . R$$

dimana :

S = VSWR

0 = panjang saluran seperempat lamda dalam derajat

N = jumlah seksi transformator $\lambda/4$

R = perbandingan impedasi $Zi/Z\ell$ atau $Zi/Z\ell$ tergantung mana yang sama atau lebih besar dari satu.

Andaikan dikehendaki untuk men-designed 'transformator $\lambda/4$ dua tahap dan untuk memperoleh lebar bidang frequency 60 MHz, dengan VSWR tidak boleh lebih dari 1.4 maka perbandingan impedansi yang harus ditrasformasikan tidak boleh lebih dari 4 atau $Z\ell$ / Zi ≤ 4 atau Zi/ $Z\ell \leq$ 4 tergantung dari impedansi yang ditranformasikan.

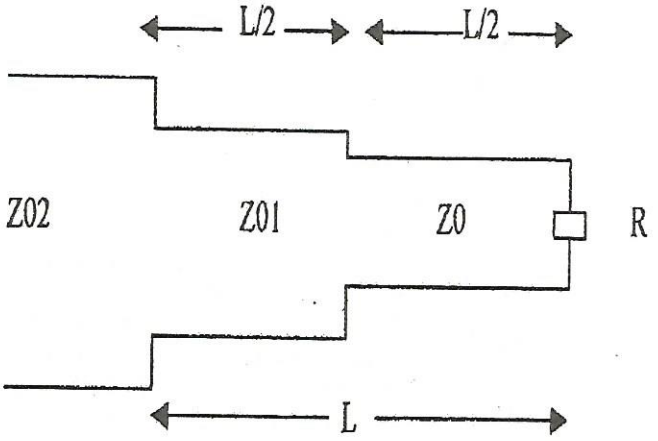
Pemanfaatan transformator $\lambda/4$,memiliki keuntungan dan kerugian sendikit.Kerugian dari pemakaian transfonnator $\lambda/4$ antara lain adalah sangat sensitive terhadap perubahan frequency, akan tetapi masalah ini dapat diatasi apabila dipergunakan transfonnator $\lambda/4$ dipasang lebih dari satu tahap. Agar dapat diperoleh matching antara impedansi beban dan impedansi input (impedansi masuk),sebaiknya diperhatikan bubungan antar impedansi beban, impedansi karakteristik saluran dan impedansi input yang ditentukan dan dengan memperhatikan gambar 3 dibawah diperoleh hubungan sebagai berikut[6] :

Namun apabila hubungan diatas tidak dapat dipenuhi, maka sepanjang bidang frequency disekitar fo akan terjadi VSWR yang bergelombang (ripple), hal ini seperti yang diuraikan oleh Cohn S.B[7], dimana apa bila panjang setiap saluran transformator tersebut tidak sama panjangnya, maka sebap saluran $\lambda/4$ akan memililki frequency resonansi tersendiri dan setiap resonansi memiliki VSWR-nya sendiri. Untuk dapat memenuhi hal tersebut, maka setiap karakteristik impedansi dari saluran dapat diperoleh dari penyimpangan beberapa percent terhadap hubungan impedansi sebagai berikut :

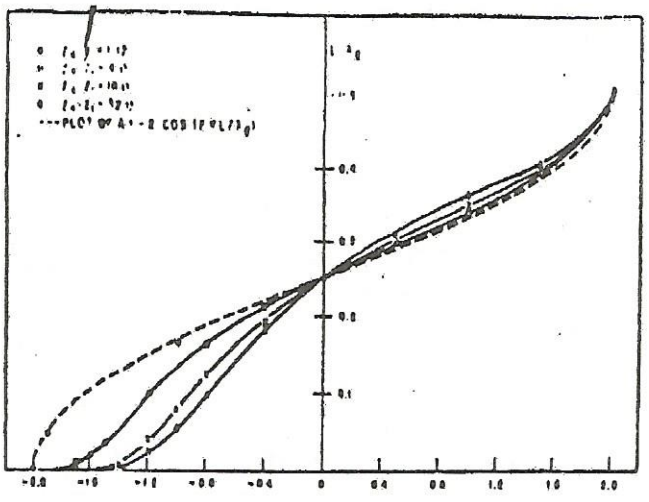
$$\frac{Z_o}{R} = \frac{Z_{o2}}{Z_o} = \left(\frac{Z_{o2}}{R} \right)^{\frac{1}{(2+A)}}$$

Dimana " A " adalah suatu konstanta yang besarnya ditentukan oleh lebar bidang frequency yang dikehendaki dan atau besarnya VSWR yang ditetapkan sepanjang bidang frequency yang ditetapkan sebelumnya. Didalam praktek besarnya konstanta A agar diperoleh nilai yang optimum dari fungsi transformator $\lambda/4$, diperoleh nilai optimun yang berkisar antara A = + 1.5 sampai + 2. Untuk nilai A= + 2, maka persamaan diatas akan sesuai dengan koefisien " Binomial- Coefficient Design"[8] dan hasil dari beberapa nilai harga A dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.

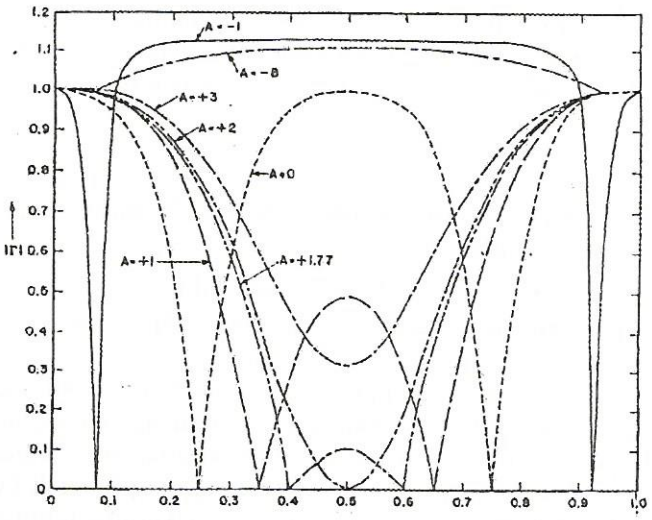
Selain perumusan hubungan antara impedansi beban, impedansi input dan impedansi karakteristik saluran seperti hubungan diatas, dapat pula hubungan antar impedansi tersebut dinyatakan dalam bentuk



Gambar. 3



The constant, A, versus the value of L/λ_g for which resonance occurs.



Normalized reflection coefficient, $|\Gamma|$, versus L/λ_g for $Z_4/Z_1 = 16$

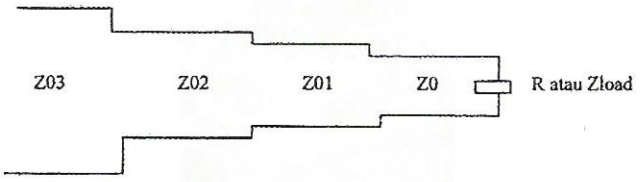
logaritma, dimana koefisien deret binominal hubungan antara impedansi adalah seperti berikut :

- Untuk transformator tip seksi : 1, 2, 1
- Untuk transformator tip seksi : 1, 3, 3,1
- Untuk transformator empat seksi : 1, 4, 6,4,1 danseterusnya.

Sebagai gambaran pemakaian koefisien diatas untuk transformator tiga seksi adalah sebagai berikut :

$$3\,\mathrm{Log}\frac{Z_{o2}}{Z_{03}} = \mathrm{Log}\frac{Z_{01}}{Z_{02}} = \mathrm{Log}\frac{Z_o}{Z_{01}} = 3\mathrm{Log}\frac{R(Z_{load})}{Z_0}$$

Dimana: Z03 adalah input impedansi
R adalah Impedansi beban atau Z load



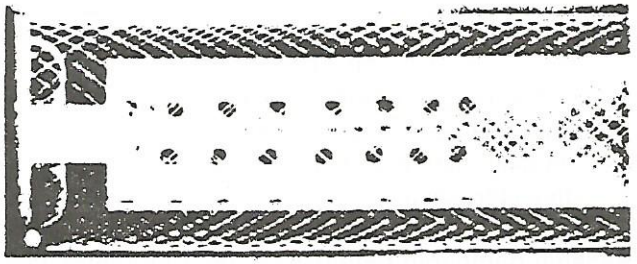
Gambar.5.

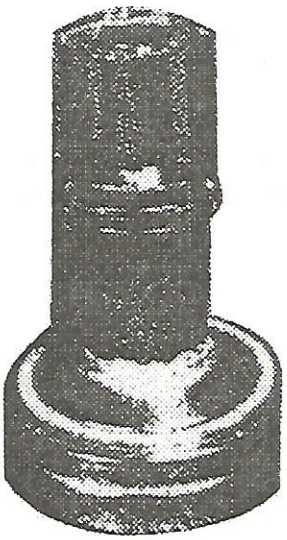
Dengan mempergunakan transformator $\lambda/4$ secara tandem dan pemilihan karakteristik impedansi saluran yang memenuhi batas-batas toleransi teoritis, maka dapat di-design suatu rangkaian input untuk matching dan driver power amplifier lebar bidang frequency yang memenuhi persyaratan yang diperlukan yang pada umumnya dengan mempergunakan rangkaian transistor atau full solid state dengan rangkaian penguat daya

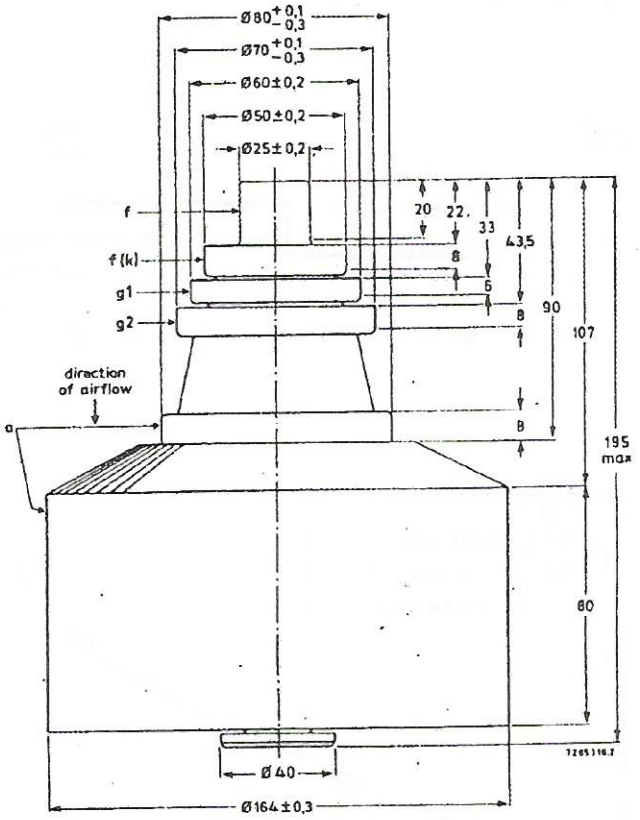
besar yang pada umumnya mempergunakan penguat dengan tabung hampa (Vacuum tube) dengan diperoleh VSWR yang mendekati 1 (satu). Persyaratan terakhir ini cukup penting khususnya didalam permasalahan Pemancar atau Repeater Televisi.

Aplikasi untuk input Power Amplifier Pemancar atau Repeater Televisi :

Aplikasi yang dibahas disini adalah pemakaian transformator $\lambda/4$ didalam rangkaian penguat daya yang mempergunakan tabung Tetrode dengan konfigurasi rangkaian grounded grid dan grounded tetrode, dimana tabung yang dipergunakan dalam rangkaian ini adalah tabung YL 1610, tabung ini di-design khusus untuk "linear broadband amplifier" dalam band frequency Band III TV transmitters dan transposers. Oleh karena tabung tersebut dipergunakan khusus untuk per-televisi-an band III, maka struktur mekanik-nya dibuat dalam konfigurasi "Coaxial ", seperti pada gambar 6 berikut.



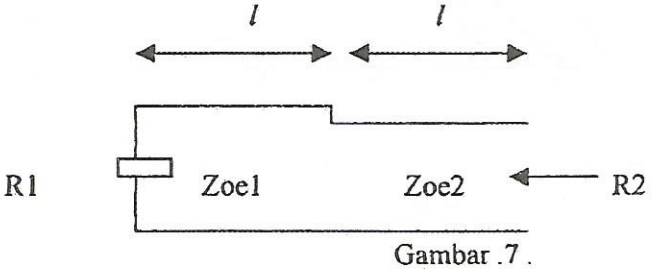




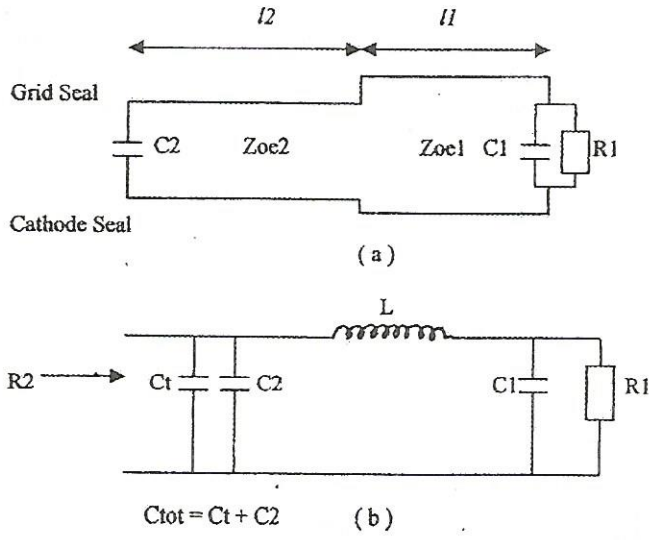
Gambar 6.

Dengan demikian, komponen aktif yang ada didalam tabung tersebut antara lain antara grid dan cathode dapat digambarkan sebagai suatu risistor R1 yang parallel dengan suatu capacitor C1 dan merupakan pembagian antara tegangan r.f (radio frequency) pada input dan arus cathode pada konfigurasi rangkaian "grounded grid". Sedangkan penyangga elektroda dan bentuk terminal terusan dari elektroda keluar tabung digambarkan dalam bentuk coaxial dengan impedansi karakteristik masing - masing sebagai Zoe1, dan Zoe2 dan isolator keramik yang memisahkan antara termninal grid dan terminal cathoda memiliki capacitance sebesar C2. Disamping itu yang sangat penting didalam design mekanik tabung YL 1610 yang khusus untuk bidang frequency lebar, struktur mekanik elektroda didalam tabung yang memiliki konfigurasi bentuk coaxial didesigned memiliki "short - circuited" $\lambda/4$ resonance frequency-nya cukup tinggi melebihi kemampuan frequency tinggi yang mampu diperkuat oleh tabung tersebut.

Dari uraian diatas maka, kontruksi dalam dari tabung YL. 1610 dapat digambarkan dalam bentuk rangkaian sebagai gambar 7, dan dapat disempurnakan dengan memperhatikan elemen parasitik seperti stray capacitance dan sebagainya. Dengan memperhatikan hal tembut, maka rangkaian pada gambar 7 dapat disempurnakan dalam gambar 8 dibawah :

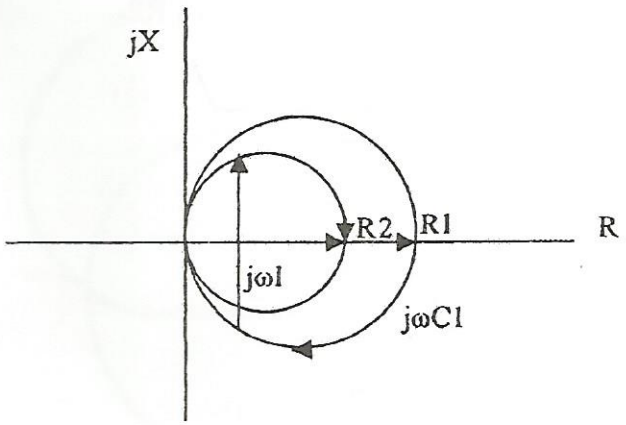


Gambar .7.



Gambar . 8.

Oleh karena, penyangga elektroda dari elektroda ke-terminal dapat dikatakan cukup pendek atau $\ell 2$ cukup pendek, maka coaxial dan saluran $\ell 2$ dapat direprisentasikan sebagai C2 sedangkan bentuk terminal antara, grid dan cathoda memiliki capacitance sebesar Ct = capacitor terminal. Dengan demikian pada terminal luar antara grid dan cathode seakan-akan ada capacitor sebesar Ctot = Ctotal = Ct + C2, sedangakan bentuk coaxial mekanik antara, elektroda grid dan elektroda cathoda pada komponen aktipnya didesign coaxial yang memberikan efek inductance sebesar L yang terpasang seri seperti gambar 8 (b) diatas .



Gambar. 9

Dalam praktek, nilai harga R1 untuk tabung high gain tetrode berkisar dalam besaran R = 15 Ohm, dan dengan tranformasi awal yang terjadi didalan tabung sampai keterminal luar tabung akan menjadikan R1 menjadi R2 yang memiliki nilai sekitar R2 = 5.5 Ohm. Selanjutnya dengan transformator $\lambda/4$ dan terminal soket yang memiliki impedansi R2 = 5.5 Ohm dengan coaxial luar harus ditransformasikan kekonektor input dengan impedansi 50 Ohm. Hal ini berarti tidak dapat ditransformasikan oleh transformator $\lambda/4$ tunggal, karena 50 Ohm/R2 mempunyai nilai lebih besar dari 4 $(50\,\Omega/R2 = 50\Omega/5{,}5\Omega = 9{,}0909... > 4)$

Oleh karena dalam bidang frequency Televisi band III yaitu dari 175 Mhz sampai 220 Mhz yang berarti fo = $\sqrt{}$ (175 x 220) MHz = 196.214 MHz $\cong$ 200 MHz., maka dengan mempergunakan transformator $\lambda/4$ tunggal sesuai dengan gambar 2 didepan hanya dapat memberikan lebar bidang frequency 17 % atau sekitar 34 MHz, sedangkan yang diperlukan lebar bidang frequency untuk Band III adalah 45 MHz. Dari kedua analisa diatas diperlukan double $\lambda/4$ transformers guna memenuhi persyaratan setiap tahap hanya diperkenankan mentransformasikan impedansi dengan perbandingan : ≤ 4 agar diperolch VSWR = 1.4 dan frequency passband 60 MHz.

Dalam praktek yang dipergunakan oleh Lembaga Elektroteknika Nasional transformator $\lambda/4$ memakai coaxial cable yang memiliki impedansi karakteristik masing-masing sebesar 50Ω, agar secara logistik dan secara ekonomis akan murah.

Didalam mentransformasikan impedansi perlu pula diperhatikan pembatasan sebagai berikut, dimana karakteristik impedansi transformator besarnya diantara impedansi beban dan impedansi input. Hal ini berarti impedansi karakteristik transformator harus dari coaxial cable 50Ω harus di-paralel-kan agar memenuhi syarat yang secara teknis memenuhi dan secara ekonomi juga memenuhi.

Andaikan karakteristik impedansi 50 Ohm disebut Zo dan sebagai transformator tahap pertama coaxial cable tersebut diparalelkan dalam "n" buah sedangkan pada transformator tahap kedua coaxial cable tersebut harus diparalelkan dalan "y" maka :

$$\text{Andaikan...}\; Z_o^{11} \frac{Z_o}{y}$$

$$\text{maka...}\; \frac{\left(\frac{Z_o}{y}\right)}{50} = \frac{\left(\frac{Z_o}{n}\right)}{5.5} \Rightarrow \frac{1}{y^2} = \frac{1}{n^2} x \frac{50}{5.5}$$

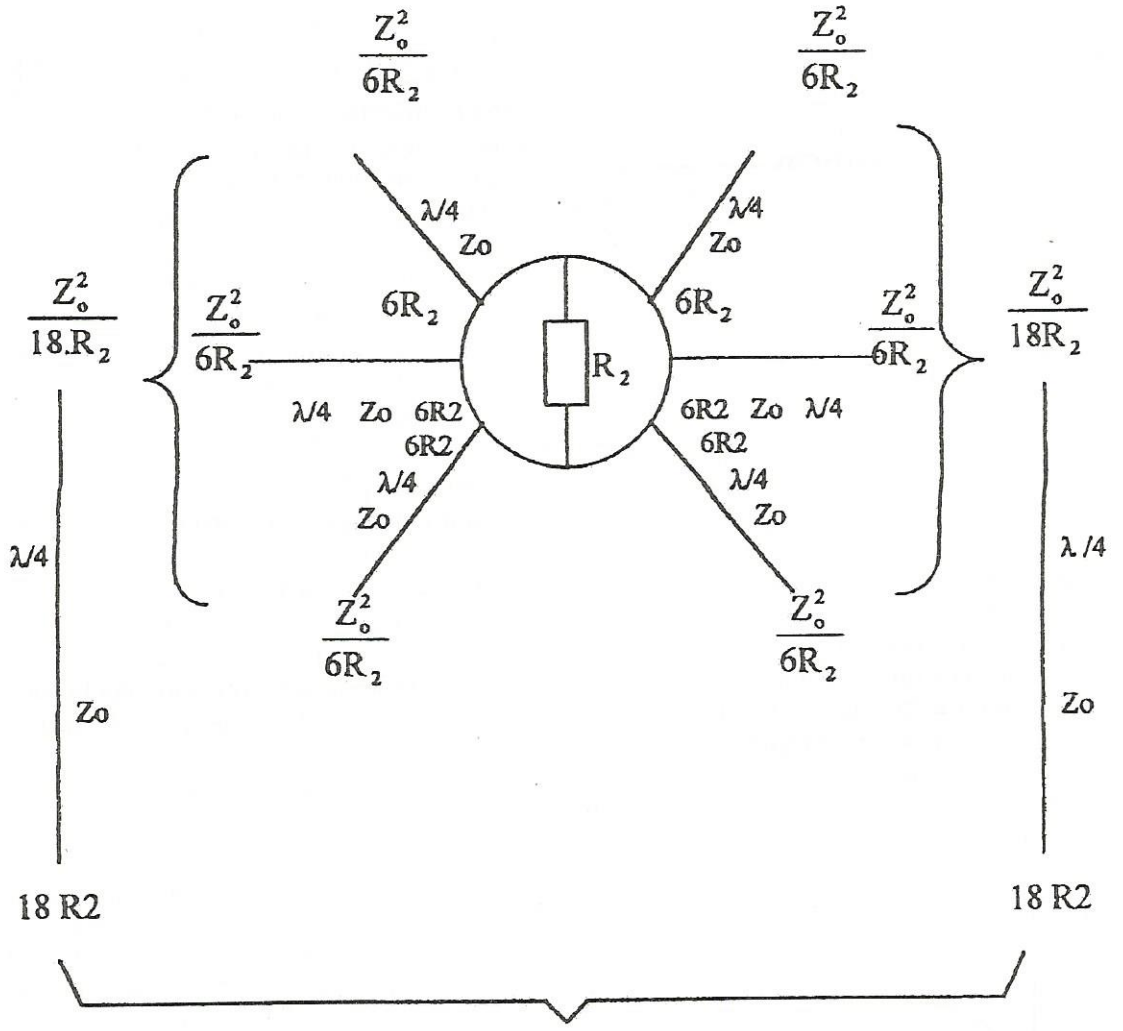
$$\frac{n}{y} = \sqrt{9/09090} = 3.015 \approx 3$$

Andaikan pula impedansi diperlukan kedua transformator adalah R_{in}

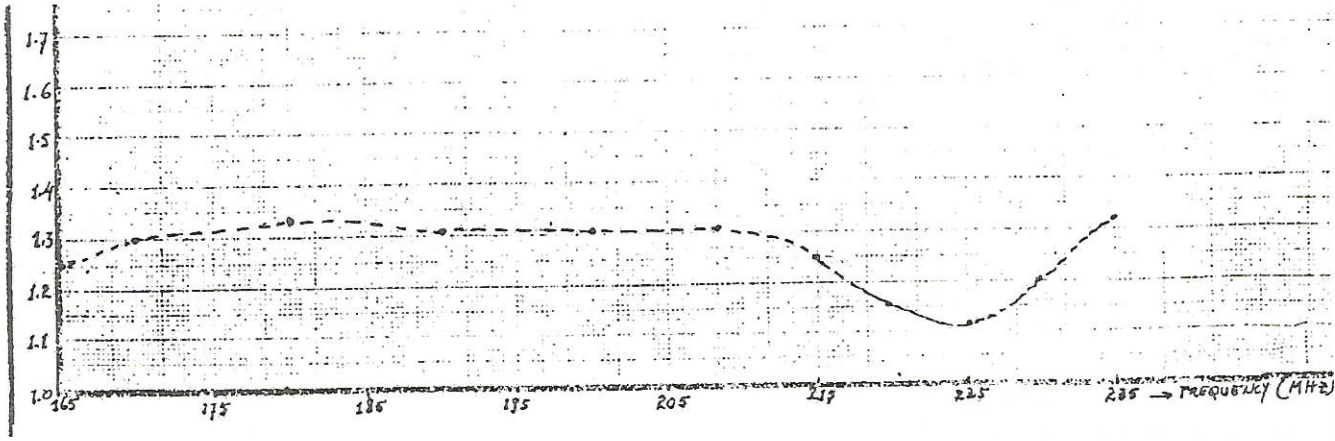
$$\text{Maka harus}\; R_{in} = \frac{\left(\frac{50}{y}\right)^2}{50} = \frac{50}{y^2}$$

juga harus dipenuhi : $R_{in} \langle 50\Omega$

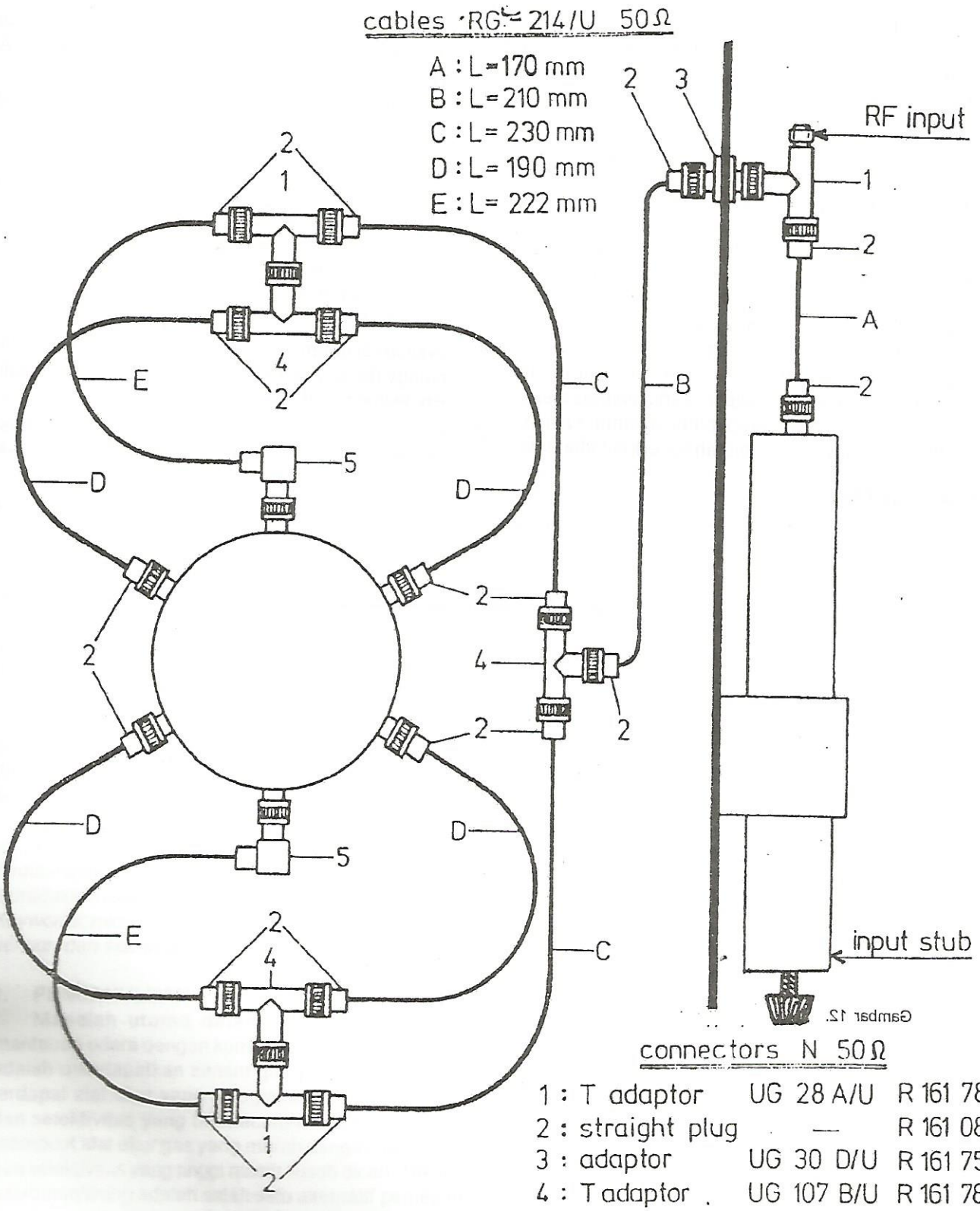
Dari hubungan diatas dan nilai y dan n adalah bilangan bulat, sehingga nilai 'y' yang memenuhi adalah y = 2 dan hal ini berarti nilai n = 6. Dengan demikian maka rangkaian input yang sebenarnya dapat diluliskan sebagai rangkaian pada gambar 10 berikut sedangkan hasil pengukuran dalam praktek yang sebenarnya seperti pada gambar 11.



Gambar 10.



Gambar 11.



connectors N 50 Ω

1 : T adaptor	UG 28 A/U	R 161 782
2 : straight plug	—	R 161 088
3 : adaptor	UG 30 D/U	R 161 753
4 : T adaptor	UG 107 B/U	R 161 780
5 : elbow plug	—	R 161 187

KESIMPULAN :

Dari pembahasan dan analisa, maupun dari hasil pengukuran didalam laboratorium menunjukkan bahwa rangkaian input yang dibahas disini cukup memenuhi syarat teknis dan mudah untuk diproduksi secara masal secara mudah.

Dengan mempergunakan transformator $\lambda/4$ dua tahap, juga mempermudah pembuatannya karena dengan system lebih satu tahap ketelitian pemotongan cable coaxial yang dipergunakan sebagai transformator tidak kritis sekali. Pemilihan didalam pemakaian system rangkaian input seperti yang dibahas disini merupakan usaha untuk mengganti system lama yang mempergunakan rangkaian input dengan mempergunakan mechanical tuning system dimana pembuatannya lebih sukar dan memerlukan ketelitian yang lebih tinggi. Disamping itu transmitter atau transposer yang mempergunakan rangkaian input seperti yang dibahas disini, akan lebih menyederhanakan pada system operasi transmitter atau transposer didaerah seperti di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA :

1. Kayatmo Soemaryato, "Broadband Power Distributor $\lambda/4$" LEN Technical Journal Vol: 1 No. 4, Oct/Nov/Dec. 1979;
2. John D. Kraus, Daniel A. Fleisch, "Electromagnetics with Application". McGraw-Hill New York, USA 1973;
3. Hatcher, B-R., Nomogram Speed Selection of Broadband Matching Transformers Microwaves, Vol. 11, No. 11 page 56-57, November 1966;
4. Gardiol, F.F., Chebyschev Transformer Nomogram Microwave, Vol. 6 No. 11 pae 56-58, November 1967;
5. Samuel Guccione, Nomograms Speed Design of $\lambda/4$ Transformers". Microwaves, August, 1975 page 48-53;
6. William Sinnema "Electronic Transmission Technology fines, Waves and Antenna", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1979;
7. Cohn, S.B.,Optimum Design of stepped Transmission Line Transformers ". IRE Trans, GMTT-4, April 1955;
8. Smith, P.H., "An Improved Transmission Line Calculator", Electronics, 1944.

JURNAL ELEKTRONIKA dan TELEKOMUNIKASI, NO. 1 VOL. II AGUSTUS - SEPTEMBER 2002 ISSN 1411-8289

PEMBUATAN *MICROTIP* SEBAGAI ELEKTRODA IONISASI GAS

*Nana Subarna *), Soegijardjo Soegijoko, Samaun Samadikun, Adang Suwandi, Goib Wiranto*

ABSTRAK

Salah satu sensor gas yang sudah dikembangkan dengan teknologi *micromachining* adalah sensor gas dengan metoda *field ionization*. Pada makalah ini akan diterangkan tentang proses pembuatan elektroda *microtip* sebagai sensor gas yang dilakukan di Lab. Telkoma LIPI.

Kelebihan dari sensor gas ini adalah sensitivitas tinggi dan dapat dirancang dan dibuat dengan *standard microfabrication technologies*.

Sensor bekerja berdasarkan proses ionisasi gas oleh medan listrik tinggi pada *microtip* sebagai elektroda ionisasi. Arus ionisasi yang terjadi berisi informasi tentang jenis dan konsentrasi ion gas di sekitar *microtip*. Pembuatan *microtip* menggunakan bahan silikon dengan metoda *self-aligned*.

Beberapa hasil yang telah diperoleh diantaranya pengaruh orientasi *wafer* terhadap hasil etsa anisotropik, dan *alignment* pada proses photolithograpik yang dilakukan secara manual.

Teknologi *micromachining* merupakan salah satu teknologi alternatif dalam fabrikasi sensor gas. Keuntungan dari teknologi ini adalah harga murah karena diproduksi masal dengan proses mikrofabrikasi standar.
Keywords: microtip, micromachining, field ionization, gas sensor, dan self-aligned

1. PENDAHULUAN

Masalah utama dalam membuat sistem pemantauan udara dengan komponen utama alat ukur gas adalah mendapatkan sensor gas yang murah. Banyak terdapat alat ukur yang siap pakai dengan sensitivitas dan selektivitas yang bermacam-macam, tetapi untuk membuat alat ukur gas yang murah dengan sensistivitas dan selektivitas yang tinggi masih susah dicari. Teknologi *micromachining* adalah salah satu alternatif pemecahan untuk mendapatkan sensor gas dengan harga murah yang dibuat secara masal dan sensitifitas yang tinggi dengan proses mikrofabrikasi.

Sensor gas yang dikembangkan merupakan sebuah *microelectromechanical systems* (MEMS) yang di proses dengan teknik *micromachining* dengan bahan silikon. Sensor terdiri dari elektroda positip berupa *microtip* dan elekroda negatip. Kualitas *microtip* sangat ditentukan oleh proses *micromachining* yang dilakukan dan proses setiap tahap yang digunakan. Kualitas *microtip* menentukan besar tegangan yang diperlukan untuk mengionisasi gas.

Korespondensi:
*) Teknik Elektro ITENAS
Jl. Penghulu KH. Hasan Mustafa No. 23 Bandung 40124
nano@elka.ce.itb.ac.id

2. Field Ionization

Field ionization adalah keluarnya elektron dari atom atau molekul gas oleh adanya medan listrik yang besar yang menyebabkan gas terionisasi. Jenis ionisasi yang terjadi dapat bermacam-macam tergantung dari tegangan dan arus ionisasi yang terjadi. Pada sensor gas dengan metoda *field ionization*, ionisasi yang diinginkan adalah untuk membuat *corona* pada ujung runcing berupa *microtip*. Ionisasi *corona* yang terjadi ada pada daerah *dark discharge*.

Tegangan ionisasi yang diperlukan untuk membangikitkan *corona* pada ujung runcing lebih kecil dari tegangan *breakdown*-nya, tetapi mempunyai medan listrik lebih besar dari pada medan listrik *breakdown*. Kondisi ini tidak akan terjadi jika elektroda ionisasi yang digunakan berupa 2 pelat paralel karena sebelum terjadi *corona*, gas sudah mengalami *breakdown* duluan sehingga *corona* tidak akan terjadi. Untuk itu diperlukan elektroda ionisasi dengan geometri tertentu.

Beberapa geometri elektroda ionisasi yang dapat digunakan adalah *point and plane* dan *wire and sifinder*. Dari kedua geometri elektroda tersebut di atas, salah satu elektrodanya mempunyai elektroda berupa kawat halus atau ujung runcing yang berfungsi untuk menimbulkan medan listrik yang besar di sekitar permukaan elektrodanya.

Untuk sensor gas yang akan dikembangkan, geometri elektroda yang digunakan adalah *point and plane*, lihat gbr. 1. Medan listrik yang terjadi di ujung *point* bergantung pada radius dari ujung point, *form factor* dan tegangan ionisasinya. Besamya medan listrik

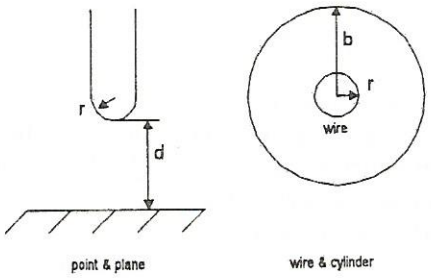
dipermukaan ujung *point*, E_s dihitung dengan :

$E_s = V_O/rF$ (Vol/m)..... (1)

$F = 1 - (r/d)$..... (2)

dimana V_o = tegangan pada *point*, r = jari-jari ujung *point*, F = *formfactor* dan d = jarak antar elektroda.

Medan listrik *breakdown* untuk udara kering pada tekanan dan temperatur standar sekitar 3 MVolt/m. Jika digunakan *point electrode* dengan radius r > 100 μm dan k = 1, maka tegangan ionisasi untuk pembentukan *corona*, $V_o > 3 .10^{+6} . 1 .100 .10^{-6} = 300$ Volt.



Gbr. 1 Macam-macam geometri elektroda ionisasi.

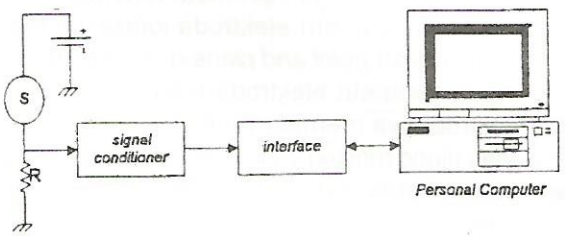
Tegangan ini sudah cukup kecil, tetapi agar sensor gas dapat bekerja pada tegangan rendah dan mudah di integrasikan dengan penguat sensor, maka tegangan ionisasi ini belum cukup kecil. Dari persamaan (1) dapat dilihat bahwa dengan memperkecil radius r maka tegangan ionisasi dapat diturunkan. Jika diinginkan tegangan ionisasi ≤ 12 Volt, maka diperlukan radius r sebesar,

$r \leq V_O / E_s F$ atau

$r \leq 12/(3 . 10^{+6} . 1) = 4 .10^{-6}$ m = 4 pm.

Jadi untuk mendapatkan tegangan ionisasi ≤ 12 Volt diperlukan radius r ≤ μ4 m.

Radius 4 μm terlalu kecil jika dibuat dengan teknologi mekanik konvensional. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk membuat *point* dengan radius 4 μm adalah dengan cara mikrofabrikasi dengan teknologi *micromachining* dengan *standard microfabrication technologies* untuk fabrikasi IC CMOS dengan teknologi *micromachining*.



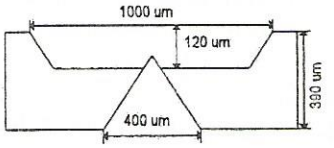
Gbr. 2 Sistem instrumentasi sensor gas.

Besarnya arus ionisasi yang mengalir selama proses ionisasi gas tergantung dari jenis dan konsentrasi molekul gas yang ada disekitar *microtip*. Jenis gas akan menentukan tegangan ionisasi, sedangkan konsentrasi gas akan menenentukan berapa jumlah ion gas yang akan terbentuk dan menghasilkan arus ionisasi. Parameter ini digunakan untuk meng-identifikasi molekul gas. Sistem instrumentasi yang dikembangkan untuk sensor gas ini dapat dilihat pada gbr. 2.

3. Perancangan dan Fabrikasi *Microtip*

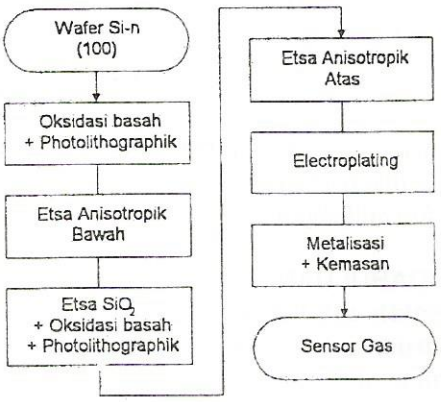
Dari pembahasan sebelumnya diketahui bahwa untuk membuat sensor gas dengan tegangan ionisasi ≤12 Volt diperlukan *microtip* dengan radius ≤ 4 μm dan *form factor* = 1. Untuk perancangan awal ukuran sensor dan proses pembuatan berdasarkan [1] dengan sedikit penyesuaian. Ukuran sensor dapat dilihat pada gbr. 3.

Pembuatan elektroda *microtip* merupakan bagian utama dari proses pembuatan sensor gas. Implementasi dilakukan dengan Si-n (100), *double side polished* dengan metoda *self-laligned* [2].



Gbr.3 Ukuran sensor gas.

Microtip mempunyai bentuk piramida. Pembuatan piramida dilakukan dengan membuat *cavity* dengan proses etsa anisotropik basah, kemudian melapisi bagian dalam *cavity* dengan SiO_2 dan Ni. SiO_2 berfungsi sebagai isolator dan Ni berfungsi sebagai elektroda. Terdapat beberapa proses pengerjaan dalam pembuatan sensor gas ini, lihat gbr. 4.



Gbr.4 Tahapan pembuatan sensor gas

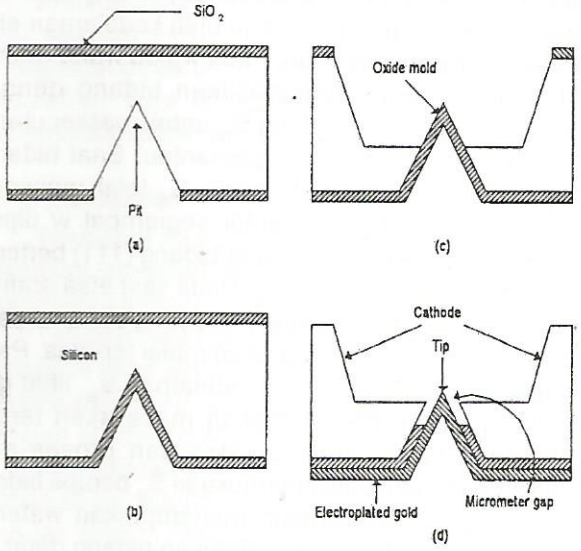
Proses pertama yang dilakukan adalah oksidasi silikon untuk menumbuhkan lapisan SiO_2 sebagai *masking layer*. Berikutnya adalah proses etsa anisotropic lapisan bawah untuk membuat *cavity*. Larutan peng-etsa akan terus mengetsa Si (100) dan berhenti setelah larutan ketemu dengan bidang (111), gbr. 5 (a).

Lapisan SiO_2 pada kedua sisi dihilangkan kemudian

di-oksidasi lagi untuk menumbuhkan lapisan SiO_2 yang berfungsi sebagai isolator, gbr. 5 (b). Membuat jendela pada lapisan atas SiO_2 untuk etsa anisotropik lapisan atas. Proses etsa dihentikan pada kedalaman 120 μm, gbr. 5 (c).

Untuk mendapatkan kedalaman 120 μm dilakukan dengan memperkirakan waktu etsa larutan dan pengukuran lebar bidang yang terjadi. Perhitungan kedalaman bidang berdasarkan lebar bidang dan sudut antara bidang (111) dengan bidang (100).

Langkah berikutnya adalah proses *electroplating* bagian dalam *microtip* dengan Ni. Proses *electroplating* ada 2 tahap, yaitu penumbuhan *seed layer* pada lapisan SiO_2 dengan *sputtering* logam A_1 dan proses *plating* yaitu pelapisan *seed layer* dengan Ni dengan cara elektrolisa. Berikutnya ialah menghilangkan lapisan SiO_2 yang tersisa, gbr. 5 (d).



Gbr. 5. Tahapan mikrofabrikasi microtip [1]

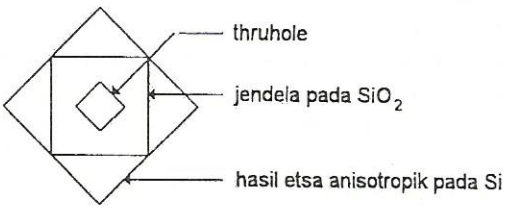
Proses terakhir adalah proses metalisasi untuk pembuatan *pad* kontak pada *microtip* sebagai elektroda positip. Kemudian memberi kemasan untuk menutup sensor dari udara luar dengan dilengkapi saluran input dan output untuk tempat masuk dan keluar gas yang akan diukur.

4. Hasil Yang Diperoleh

Ada beberapa hal penting yang didapat selama melakukan penelitian, diantaranya yaitu :

Orientasi wafer. Pada pembuatan *thruhole* untuk *alignment marker*, *masker* SiO_2 yang berupa bujur sangkar setelah di-etsa anisotropik berubah menjadi bujur sangkar yang diputar 45°, belah ketupat sama sisi dengan ukuran sisi yang lebih lebar. Begitu juga lubang yang terjadi pada sisi bawahnya. Seharusnya hasil etsa anisotropik ini hasilnya tetap berupa lubang berbentuk bujur sangkar, lihat gbr. 6.

Setelah dicoba dengan *wafer* yang baru dan diteliti hasilnya, diketahui bahwa penyebab kesalahan ini adalah orientasi *wafer* yang salah. Waktu sinkronisasi *masker* dengan *wafer* pada *primary flat*-nya sudah mengalami rotasi. Jadi penelitian menggunakan *wafer* silikon-n (100) dengan bidang *primapy flat* (110) yang sudah digeser 45°. Agar *wafer* dapat digunakan untuk proses anisotropik, maka masker yang dibuat harus diputar 45°.



Gbr. 6 Hasil akhir proses anisotropik pada wafer ke-2.

Kesalahan ini dibuktikan berdasarkan hasil pengukuran dan hasil perhitungan lebar sisi bujur sangkar yang dinginkan dengan lebar sisi belah ketupat yang terjadi. Berdasarkan perhitungan sederhana, jika simpangan *masker* dan *wafer* sebesar α°, maka lebar sisi yang terjadi adalah :

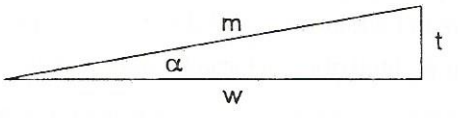
$$x' = x(\sin\alpha^\circ + \cos\alpha^\circ) \quad \ldots\ldots (3)$$

$$\Delta x = x(\sin\alpha^\circ + \cos\alpha^\circ - 1) \quad \ldots\ldots (4)$$

dimana x = lebar sisi yang diinginkan, x' = lebar sisi yang terjadi. Harga x' akan maksimum pada sudut α° = 45°, dalam kasus ini pemutaran bidang primary flat (110) karena kesalahan *wafer*. Dari data diketahui x = 711 μm dan α° = 45°, maka x' = 1005.5 μm dan Δx = 294.5 μm. Nilai-nilai ini sesuai dengan pengukuran yang dilakukan di Lab. Telkoma LIPI.

Salah satu alternatif untuk mengurangi ketidak akuratan hasil proses anisotropik karena. pengaruh orientasi dimana, proses photolithograpik-nya dilakukan secara manual adalah dengan mengubah bentuk segi empat dengan lingkaran dimana lebar sisi segi empat sama dengan diameter lingkaran, x ≐ 0. Hasil akhir dari proses ini adalah segi empat dengan lebar sisi = diameter lingkaran.

Alignment. Untuk proses photolithograpik yang dilakukan secara manual, alignment dilakukan dengan mensinkronkan garis bantu pada masker dengan bidang *primary flat* pada *wafer*. Cara ini sangat rentan terhadap kesalahan. Kesalahan yang terjadi waktu sinkronisasi dapat dihitung dengan pendekatan bahwa perpotongan antara bidang primary flat dengan garis bantu akan membentuk segitiga siku-siku dengan sudut α_2 lihat gbr. 7.



Gbr. 7 Kesalahan yang terjadi waktu alignment antara wafer dengan masker.

Garis w adalah bidang *primary flat* (110) pada *wafer*, m garis bantu *alignment* yang terdapat pada *masker* dan t lebar yang terjadi karena perpotongan bidang dan garis tersebut. Dari pers. (4), jika simpangan yang terjadi,

$\Delta x = e$ %, maka didapat

$\alpha = [\sin^{-1}\{(e/100 +1)^2 - 1] / 2$ .....(5)

Jika kita buat dua garis paralel dengan lebar t pada *masker* film sebagai pengganti garis bantu, kita dapat melakukan *alignment* antara *wafer* dengan *masker* dengan kesalahan yang dapat diperkirakan.

Prinsip kerjanya adalah pada waktu meletakkan *masker* di atas *wafer*, sisi bidang (110) harus berada di antara celah tersebut. Jadi kalaupun terjadi penyimpangan pada waktu penempatan tersebut, kesalahan yang terjadi ditentakan oleh lebar dari celah tersebut. Hubungan antara lebar celah dengan kesalahan ukuran dapat dijelaskan dibawah ini.

Untuk simpangan sebesar α, diperlukan lebar celah selebar t (lihat gbr. 7) dengan hubungan sebagai berikut:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{t}{w}$$

$$t = w \operatorname{tg}\alpha \quad \text{.....(6)}$$

Jika diinginkan simpangan yang terjadi, $\Delta x = 5\%$, maka:

$$\alpha = [\sin^{-1}\{(\tfrac{5}{100}+1)^2 - 1\}]/2 \approx 2{,}94^{\circ}.$$

Dengan lebar w wafer = 25 mm, maka lebar celah

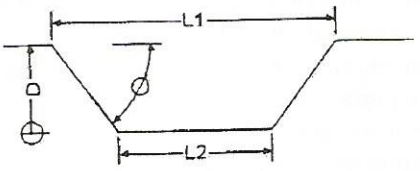
d = 25 tg 2.94 $\approx$ 1.28 mm

Jika d = 1.30 mm, maka diharapkan simpangan yang terjadi pada sisi segi empat tidak akan lebih dari 5 %.

Penentuan *etch stop*. Untuk mendapatkan bentuk *cavity* yang terpotong ujungnya, lihat gbr. 8, ada beberapa cara yang dapat dilakukan diantaranya :

1) berdasarkan *etch rate* larutan
2) menggunakan mikroskop yang dilengkapi dengan ukuran
3) pola jala-jala sebagai tanda proses berakhir

Cara pertama yang paling mudah diterapkan, tetapi kurang teliti.

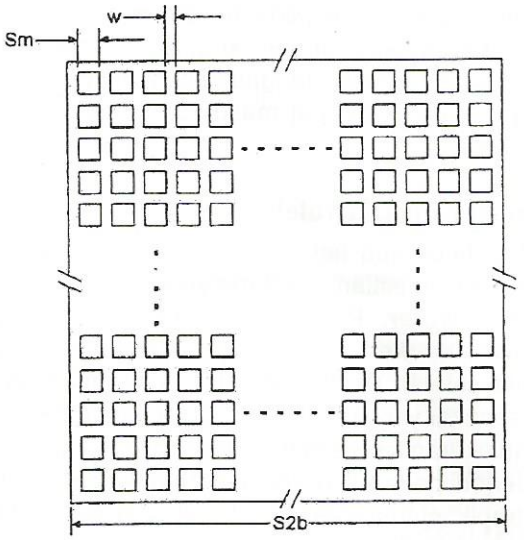


Gbr. 8 Cavity yang terpo-g.

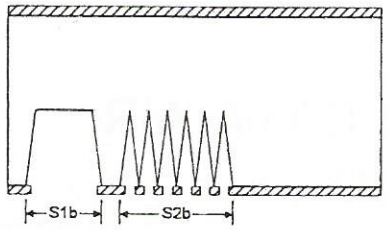
Cara kedua mudah dilakukan. Cara ini dapat menentukan kedalaman D berdasarkan panjang L1, L2 dan sudut ϕ, lihat gbr. 8. Harga L1 dan L2 diukur dengan menggunakan mikroskop, sedangkan sudut ϕ = 54.74°. Kedalaman D dihitung dengan menggunakan rumus :

$$D = \left(\frac{L1 - L2}{2}\right) \operatorname{tg}\phi \quad \text{.....(7)}$$

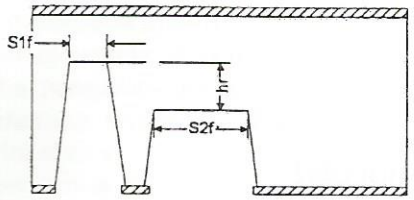
Cara ketiga adalah dengan pola jala-jala sebagai tanda akhir proses anisotropik [4]. Prinsip dari metoda ini adalah perbedaan *etch rate* antara bidang (100) dengan bidang (111) untuk etsa anisotropik silikon. Tujuan awal dari metoda ini bukan untuk menentukan kedalaman proses etsa anisotropic, tetapi untuk *alignment, wafer* bagian atas dengan *wafer* bagian bawah. Untuk keperluan disini penulis mencoba untuk menerapkan prinsip dan metoda ini untuk menentukan kedalaman hasil etsa anisotropik. Pada *wafer* yang akan di-etsa, selain membuat masker utama untuk pembuatan sensor gas juga terdapat masker pemantau yang berfungsi sebagai petunjuk dalam menentukan kapan proses etsa telah selesai. Masker pemantau ini berupa jala-jala dengan ukuran yang tertentu, lihat gbr. 9. Banyaknya jumlah, lebar dan jarak antar segiempat ditentukan oleh kedalaman etsa dan lebar *pit* yang diinginkan. Pada waktu *wafer* di-etsa kedua masker akan menghasilkan bidang dengan kedalaman yang sama, bidang S_{1f} untuk masker utama dan bidang S_{2f} untuk masker pemantau. Saat bidang-bidang (111) pada S_{2f} telah bertemu, S_{1f} telah mencapai kedalaman tertentu. Jarak antar segiempat w dipilih sedemikian rupa sehingga bidang-bidang (111) bertemu pada batas lapisan Si dan SiO_2. Pada saat etsa arah ke bawah berhenti, bidang-bidang (111) yang bertemu pada batas kedua lapisan tersebut akan mulai ter-etsa. Pada keadaan ini kedalaman S_{1f} = kedalaman S_{2f}, lihat gbr. 10a. Jika proses etsa diteruskan maka akan terjadi perbedaan kedalaman hasil etsa dan proses etsa dihentikan pada saat dasar permukaan S_{2f} berupa bidang datar, lihat gbr. 10b. Dengan menempatkan wafer di bawah mikroskop dan memperhatikan bidang datar S_{2f} terbentuk, kita dapat menentukan akhir dari proses etsa. Cara ini belum sempat diuji coba.



Gbr. 9 Makser jala-jala sebagai masker pemantau



Gbr. 10a Proses etsa terhambat saat mencapai bidang (111).



Gbr. 10b Bidang S2f terbentuk setelah jaia-jala hilang.

Walaupun penelitian ini baru menyelesaikan 30 % dari seluruh penelitian, tetapi hasil penelitian ini merupakan dasar untuk merancang dan membuat Field *Ionization Gas Sensor* yang sangat menunjang keberhasilan penelitian ini.

5. Kesimpulan

Teknologi *micromachining* merupakan salah satu teknologi alternatif dalam fabrikasi sensor gas yang merupakan sebuah *microelectromechanical systems*.

Tahapan yang diperlukan untuk proses pembuatan sensor ini ialah *silicon molding* dengan etsa anisotropik, *electroplating* Ni dengan pembentukan *seed layer* dengan *sputtering* AL dan elektrolisa lapisan Ni.

Keuntungan dari teknologi *micromachining* dengan bahan silikon adalah harga murah untuk produksi masal dengan proses mikrofabrikasi. Salah satu aplikasinya adalah fabrikasi *microtip* dengan teknologi *micro-machining* untuk sensos gas dengan metoda *field ionisazation.*

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah prototipe sensor gas dengan metoda *field ionization* yang dapat digunakan sebagai sensor pada instrumentasi gas. Untuk kedepannya diharapkan dapat merancang berbagai *MEMS device*. Penelitian dilakukan di Telkoma LIPI dan *Device and IC Processing Laboratory* PPAU Mikroelektronika ITB dan Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi ITB.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas segenap bantuan dan fasilitas laboratorium yang telah diberikan oleh Puslitbang Telkoma LIPI dalam penelitian ini.

Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Teknik Elektro ITENAS, *Device and IC Processing Laboratory* PPAU Mikroelektronika ITB, dan Lab. Elektronika dan Komponen, Dept. Teknik Elektro ITB atas segala bantuannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Terakhir saya ucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Masbah RT Siregar dan Bapak Dr. Totok MS Sugandi atas bantuan dan dukungannya dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

1) Bahran Ghodsian, M. Parameswaran and Marek Syrzycki. *Gas Detector with Low-Cost Micromachined Field Ionization Tips*. IEE Electron Device Letters, Vol. 19, No. 7, pp. 241-243. July 1998.

2) Bahran Ghodsian, M. Parameswaran and Marek Syrzycki. *Micromachined gas detector based on self-aligned ionization tips*. SPIE Vol. 3514, pp. 403-410. September 1998.

3) Bahran Ghodsian, M. Parameswaran and Marek Syrzycki. *Simple technology for fabricating micromechanical 3D structures using electroplating without photoresist mold*. SPEE Vol. 2879, pp. 194-203. 1996.

4) Eun Sok Kim, Richard S. Muller, and Raif S. Hijab. *Front to Backside Alignment Using Resist Patterned Etch Control and One Etching Step*. Journal of Micro Electro Mechanical Systems, Vol. 1, No. 2, June 1992.

5) Gregory T.A. Kovacs, Nadim I. Maluf and Kurt E. Petersen. *Bulk micromachining of silicon.* Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No.8, August 1998.

6) In-Jae Chung. De*sign and Fabrication of Field Emittcr An-ays for Flat Panel Display Application*. PhD. disscrtation, University of South Australia. February 1997.

7) M.J. Madau and S.R. Morrison. *High Field Operation of submicrometer devices at almospheric pressure*. Transducer '91, pp.145-149.

MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR BERBASIS SCADA

*Ir. Djohar Syamsi *)*

ABSTRACT

Implementing continuous on-line water quality monitoring along; the river and some of her tributaries to monitor, to control and to reduce river pollution. In developing systems for the modeling of hydrological event, water allocation and water quality control in the river basin. This involves the use of modern data, acquisition techniques and analytical tools for data, base management using a customized Decision Support System (DSS).

INTISARI

Setiap kehidupan tentu memerlukan air,dan sungai merupakan salah satu sumber air yang mudah didapatkan. Sejalan dengan perkembangan pembangunan dalam bidang industri, maka, fungsi sungai telah bertambah, yaitu selain sebagai sumber air, maka sungai juga, sebagai tempat pembuangan limbah, baik limbah industri maupun limbah rumah tangga.

Jika hal tersebut berlangsung terus menerus,maka pihak yang akan merasakan secara, langsung akibat dari pembuangan limbah kesungai adalah masyarakat. Dampak tersebut dapat berupa, penurunan kesehatan, peningkatan biaya kesehatan dan biaya, hidup, sebagai akibat dari sulitnya, untuk mendapatkan air bersih.

Agar pencemaran air sungai dapat dikendalikan, maka, diperlukan satu institusi yang bertanggung jawab terhadap masalah pengelolaan air sungai. Untuk itu diperlukan ketersediaan sarana dan prasarana, yang dapat mendukung pengelolaan sumber daya air sungai. Salah satu sarana yang diperlukan adalah ketersediaan, sumber data, dan informasi tentang kondisi air sungai, yang mana data/informasi tersebut bersifat real time. Selain itu adanya, DSS (Decision Support System) juga akan sangat membantu dalam setiap pemecahan masalah yang berhubungan dengan pengelolaan sumber daya, air.

Korespondensi:
*) Puslit Informatika - LIPI
Jl. Cisitu No. 21/154 D Bandung 40135

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air sungai oleh satu institusi sangat di perlukan, mengingat berbagai pihak mempunyai kepentingan yang bebeda, dalam memanfaatkan sumber daya air sungai. Sebagai contoh PDAM dan PLN, adalah dua instansi pemenerintah yang berbeda, dalam memanfaatkan sumber daya air sungai. PDAM menggunakan air sungai sebagai bahan baku untuk air minum (khususnya, di jawa timur),sedangkan PLN menggunakan sumber daya, air sungai untuk pembangkit listrik (PLTA). Mengingat begitu banyak kepentingan dalam memanfaatkan sumberdaya air sungai, maka, jika, sumber daya, air tersebut tidak dikelola dengan baik, dimungkinkan tejadinya hal-hal yang sudah sering kita alami, misalnya: banjir dimusim hujan, kekeringan dimusim kemarau, penurunan kualitas air sungai sebagai akibat pencemaran dari industri, serta rusaknya lingkungan sumber mata air.

Tujuan dilakukannya pengelolaan sumber daya, air oleh satu intitusi/instansi, tentunya, untuk menghindarkan dari keperpihakan pada, satu kepentingan saja, mengingat sungai bukan milik salah satu golongan, akan tetapi milik umum yang semua orang berhak untuk mendapatkan dan memanfaatkannya.

Sebagaimana halnya dengan Sungai Brantas di Jawa Timur, sungai ini mengalir melalui beberapa Kabupaten di Jawa Timur. Untuk itu pihak pengelola harus mampu untuk melaksanakan pengaturan, agar sumber daya air sungai yang tersedia dapat memenuhi kebutuhan disetiap Kabupaten tersebut. Beberapa kendala didalarn pengelolaan sumber daya air, antara lain :

1. Sulitnya untuk mendapatkan data/informasi terbaru secara cepat, hal ini tentunya berhubungan dengan masalah-masalah kebijakan yang secara cepat mestinya harus segera dibuat guna mengikuti perkembangan yang terjadi.
2. Sulitnya untuk dapat mendistribusikan data/informasi secara cepat, ke instansi lain, guna melakukan koordinasi.
3. Penegakkan hukum bagi pencemar sulit untuk dilaksanakan, mengingat bukti-bukti selalu susah/

terlambat untuk didapatkan.

Dari kendala yang timbul tersebut, maka agar pengelolan sumber daya air sunga dapat dilaksanakan secara optimal, diperlukan sarana dan prasarana penunjang, sebagai contoh adalah diperlukannya penggunaan *DSS (Decision Suppor System)*. DSS adalah sebuah sistem yang merupakan integrasi antara Personal Computer dengan beberapa jenis program-program aplikasi, sehingga mempunyai kemampuan untuk memberikan informasi, analisa, ataupun pemodel-an kepada pihak manajemen guna membantu dalam hal pengambilan keputusan.

Beberapa informasi yang dapat diberikan oleh sistem ini antara, lain : informasi tentang cadangan air yang berada di Dam/bendungan, peramalan akan adanya banjir serta informasi tentang kualitas air sungai disuatu area tertentu. Informasi ini sangat penting bagi pihak pengelola dalam menjalankan program-programnya misalnya untuk pengaturan pola pendistribusian air, pemantauan terhadap baku mutu air, analisa terhadap daya dukung sungai, dan hal-hal yang berhubungan dengan masalah pelestarian linkungan.

Jadi pada dasarnya fungsi DSS adalah bukan untuk menentukan keputusan, akan tetapi dapat mambantu seorang manager dalam mengambil keputusan, yaitu dengan cara memberikan informasi terbaru dan data- data yang akurat, agar keputusan yang salah dapat di hindari.

2. PENGUNAAN SCADA DALAM PENGELOLAN SUMBER DAYA AIR SUNGAI

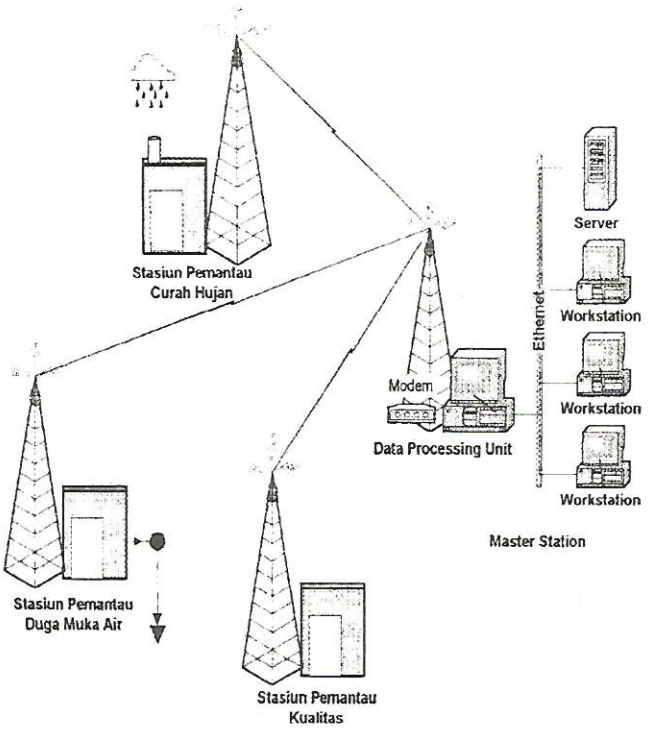
Untuk membangun DSS, kita dapat memanfaatkan suatu teknologi yang di sebut SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Sistem ini sudah banyak dipakai di bidang industri, bahkan pihak PERTAMINA sudah memanfaatkan sistem ini pada proses distribusi beberapa jenis BBM dalam satu pipa distribusi.

Secara umum SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) mempunyai empat komponen utama, yaitu : Data Acquisition, Data Processing, Communication data, serta Distribution Information. Data acquisition adalah unit yang berfungsi untuk mensuplai data/informasi tentang kondisi air sungai. Untuk itu diperlukan beberapa jenis stasion pemantau antara lain:

1. Stasion pemantau curah hujan,
2. Stasion pemantau tinggi muka air sungai,
3. Stasiun pemantau kualitas air.

Data Processing Unit adalah terdiri dari sebuah PC, yang diperlengkapi dengan beberapa program aplikasi sehingga mempunyai kemampuan untuk mengolah data yang berasal dari stasiun pemantau, memberikan analisa/pemodelan, serta untuk menyimpan data dan informasi. Agar antar stasiun dengan Data Processing Unit dapat saling berkomunikasi, maka diperlukan pula jaringan komunikasi data.

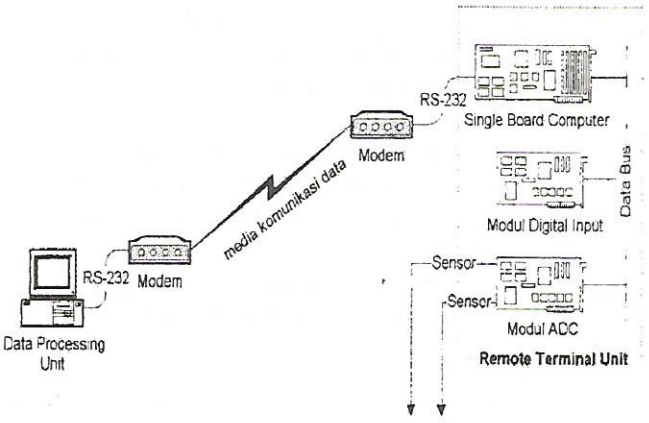
stmwA Penowmu



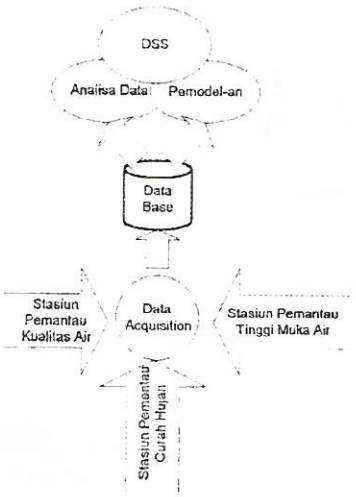
Gambar 1. Konsep Disain Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis SCADA.

3. KOMPONEN STASIUN PEMANTAU

Pada dasarnya setiap stasiun pemantau terdiri dari 3 komponen utama yaitu Sensor, RTU (Remote Terminal Unit), Communication Interface dan media untuk Komunikasi Data. Sedangkan untuk Data Processing Unit terdiri dari PC, Communication Interface, media untuk komunikasi data, serta suatu program yang disebut MMI (Man Machine Interface).



Gambar 2. Konsep Dasar Disain SCADA untuk Monitoring Kualiftis/Kuanfitas Air.



Gambar 3. Konsep Disain DSS

Pada dasarnya DSS dapat dibangun dari MMI, dimana komponen utama didalam MMI terdiri dari Data Base dan Sistem Informasi. Jadi didalam Data Processing Unit ini MMI berfungsi sebagai management data base dan juga berfungsi untuk mengolah data-data yang berasal dari stasiun pemantau, menjadi informasi. Informasi tersebut dapat saja merupakan hasil analisa, ataupun model yang digambarkan ataupun dapat berupa table atau grafik. Agar kemampuan MMI dapat meningkat, maka dapat pula di integrasikan dengan program - program aplikas lainya, misalnya GIS (Geographical Information System).

4. KESIMPULAN

Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pengelolaan sumber daya air berbasis SCADA adalah:

1. Tersedianya data dan informasi yang bersifat real time.
2. Semua stasiun pemantau dapat terhubung secara on-line dengan Master Stasiun, sehingga permintaan akan data dan informasi dapat terlayani dengan cepat.
3. Dengan tersedianya DSS, maka analisa dan pemodelan dapat dilakukan secara cepat dan kapan saja. Hal ini tentunya dapat membantu pihak manager dalam pembuatan program dan pemecahan masalah. Sehingga kesalahan dalam merencanakan program ataupun dalam pengambilan keputusan dapat dihindari atau paling tidak dapat dipilih suatu tindakan yang seminimal mungkin mempunyai dampak negatip.
4. Real time monitoring dapat diintegrasikan ke dalam warning system, sehingga suatu kejadian pencemaran akan dapat diketahui dengan cepat. Hal ini akan dapat mendukung penegakan hukum di bidang lingkungan.
5. Dengan memanfaatkan jaringan internet ataupun dengan system dial up, maka distribusl informasi dapat dilakukan dengan mudah.

5. SARAN

Dalam mengoperasikan system SCADA, maka biasanya besarnya operation & maintenance cost adalah merupakan kendala yang akan ditemui oleh setiap pengguna system ini.

Untuk itu dalam pembangunan sistem SCADA hendaknya diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Disain system SCADA hendaknya di sesuaikan dengan tujuan monotoring,
2. Pemilihan komponen baik software maupun hardware hedaknya di pilih yang mempunyai standar internasional, sehingga pengunaan komponen tidak bergantung pada satu penjual saja.
3. Begitu pula dengan pemilihan media untuk komunikasi data, diperlukan suatu studi khusus agar pemilihan jenis media (radio line, telephone ataupun media komunikasi yang lain) untuk komunikasi data dapat sesuai dengan fungsi dan tujuan monitoring.

Akhir kata, satu hal yang perlu di pahami oleh semua pihak adalah, bahwa sisten SCADA merupakan salah satu sarana dalam mendukung pengelolaan dan pemantau kondisi air sungai. Untuk selanjutnya, masalah kualitas dan kuantitas air sungai lebih ditentukan oleh prilaku dari seluruh lapisan masyarakat. Oleh karena itu pelestarian lingkungan, terutama yang berhubungan dengan sumber daya air sungai hanya akan berhasil jika dilakukan oleh seluruh lapisan masyarakat.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Implementation Document for Design System of Brantas River Water Quality Monitoring System, Bagian Proyek Sistem Eliminasi Polusi Sungai Brantas, 1999.
2. Water Quality and Pollution Control, Verbundplan Presentation at The World Bank, May 1999.

PENGARUH DIMENSI KOMPONEN & KOMPOSISI PASTA TERHADAP PROSES PEMBUATAN RANGKAIAN HIBRID FILM TEBAL

*Lilis Retnaningsih, Lia Muliani, Gandi Sugandi dan Elli Herlina Efendi *)*

INTISARI

Dalam pembuatan rangkaian hibrid film tebal diperlukan ketelitian proses dan penggunaan pasta yang tepat. Proses pembentukan komponennya dilakukan di atas substrat Alumina dengan mencetakkan suatu pasta, pencetakan komponen dapat berupa konduktor, resistor dan kapasitor. Agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan hasil yang diinginkan, maka diperlukan rancangan tata letak yang baik, dimensi konduktor yang sebanding dengan konduktornya serta pemilihan pasta dengan bahan pembentuknya sesuai dengan fungsinya.

Dalam tulisan ini akan dibahas tentang pembuatan suatu komponen hibrid film tebal yang berupa konduktor, resistor dan dielektrik dengan beberapa fungsinya.

1. PENDAHULUAN

Dalam teknologi hybrid film tebal, pencetakan komponen pasif selalu dilakukan pada awal tahapan proses. Pencetakan komponen pasif dapat berupa konduktor dan resistor, sedangkan untuk komponen aktif dapat dicetak maupun menggunakan teknologi SMD (surface mount device) yaitu penyolderan diatas konduktor. Dalam suatu rangkaian film tebal, lapisan konduktor memiliki beberapa fungsi, antara lain sebagai jalur interkoneksi, terminal untuk resistor, tempat pemasangan komponen pasif dan aktif untuk penyolderan kaki, untuk sambungan crossover, untuk elektroda kapasitor dan sebagai tempat mengikatnya bonding.[1]

Dari beberapa macam fungsi tersebut maka pasta konduktor harus memiliki karakteristik pasta yang baik sesuai dengan fungsinya masing-masing. Ketidak-sesuaian penggunaan pasta konduktor dengan fungsinya dapat mempengaruhi terhadap hasil yang dicapai. Nilai resistansi yang dihasilkan dapat lebih rendah dari yang diinginkan, hasil penyolderan yang kurang merata, dan juga adhesivitas yang kurang baik dengan pasta dielektrik.

Korespondensi:
*) Peneliti Puslit P2ET - LIPI
Jl. Cisitu No. 21/154D Bandung

Pada pasta resistor, resistivitas lembar yang akan digunakan diperlukan pemilihan dengan benar, kandungan pasta resistor akan mempengaruhi nilai resistansi. Demikian juga pada pasta dielektrik memiliki beberapa kriteria yang sesuai dengan fungsinya.

Tata letak yang baik dan dimensi yang benar pada rancangan hibrid film tebal dapat meningkatkan kehandalan fungsinya.

2. MEKANISME PROSES PERANCANGAN

Teknologi hibrid film tebal menggunakan substrat sebagai media tempat menempelnya suatu rangkaian komponen dengan teknik pencetakan pasta. Perancangan tata letak yang paling awal dilakukan adalah menentukan dimensi dan jarak konduktor. Sedapat mungkin dimensi yang digunakan adalah sekecil-kecilnya namun masih memenuhi persyaratan, sehingga tidak terjadi kesalahan disain.

Jalur konduktor yang lurus harus paralel dengan tepian substrat, sedangkan jalurnya sependek mungkin karena akan mengurangi tahanan dan dapat menaikkan TCR. Lebar konduktor minimal 0,25mm juga jarak antar jalur, jarak antar konduktor dengan ujung substrat minimal 0,625mm, lebar PAD untuk lead frame minimal 2-3 kali diameter lead. [2]

Konduktor sebagai tempat terminal untuk resistor dimensinya harus disesuaikan dengan dimensi resistor agar terjadi overlap dengan baik sehingga tidak mempengaruhi nilai resistansi. Sedapat mungkin menghindari terjadinya crossover, jika terpaksa crossover dapat dilakukan namun memakan waktu proses yang lebih lama.

Dimensi resistor disesuaikan dengan nilai resistansi yang akan dicapai dan resistivitas lembar yang akan digunkan. Dimensi resistor diharapkan tidak terlalu panjang ataupun lebar, karena akan mempengaruhi proses pencetakan, untuk itu perlu dilakukan perhitungan dimensi dengan baik. [2]

Hasil perancangan kedua bentuk tersebut kemudian diaplikasikan ke dalam bentuk screen, dimana fungsinya sebagai pola. Pada pembuatan pola, penggunaan alat

screen harus diperhatikan terutama dalam pembentukan pola agar mendapatkan dimensi yang presisi sesuai dengan ukuran perancangannya. Kegagalan dalam pembuatan pola akan menghasilkan cetakan dengan dimensi yang kurang baik.

Faktor desain layout rangkaian [3]
- Tipe package
- Penempatan komponen yang menghasilkan panas
- Batas kompensasi panas dari resistor
- Dimensi konduktor dan ground
- Jarak konduktor Pasta resistor dan dielektrik
- Ukuran komponen hasil screen
- Semua chip komponen aktif dan pasif

Disain resistor harus memperhatikan :
- Toleransi pencetakan
- Arah pencetakan
- Posisi resistor pada substrat
- Nilai resistor
- Jumlah resistor persubstrat
- Harga pasta
- Disipasi daya
- Koefisien temperatur
- Noise dan stabilitas

Ukuran atau dimensi resistor dihitung dari karakteristik pasta yang disesuaikan dengan nilai resistor yang diinginkan.

3. KESESUAIAN JENIS DAN FUNGSI PASTA

Bahan utama untuk pembuatan rangkaian film tebal adalah pasta, pasta tersebut memiliki bahan dan fungsi yang berda-beda. Fungsi utama dari pasta adalah sebagai komponen yang dibentuk di atas substrat yang akan memiliki fungsi dan nilai tertentu.[14]

Jenis pasta adalah pasta konduktor, pasta resistor, pasta dielektrik dan pasta pelindung. Pasta dibentuk dari beberapa senyawa antara lain :

a. Partikel-partikel logam yang menentukan sifat fisik dan listrik, tahan suhu tinggi dan tidak mudah teroksidasi (Platina, Paladium Emas dan Perak)
b. Senyawa gelas bertitik leleh rendah, sebagai pengikat dari partikel-partikel logam (Bismuth Oksida, Kodmium Oksida dan Timbal Borrosilikat)
c. Senyawa organik, memberikan sifat fluida agar dapat dicetak (Terpenten dan Resin)
d. Perbandingan senyawa karbon, memberikan nilai pada resistor

Perbandingan antara senyawa gelas dan logam akan menentukan karakteristik pasta yaitu kestabilan kimia, daya lekat dan sifat mampu solder. Perbandingan antara senyawa organik dan an organik akan menentukan viscositas dan karakteristik fluida pasta. Pada pasta konduktor dapat berupa sistem logam tunggal yaitu Perak (Ag) dan Emas (Au), sedangkan sistem logam paduan berupa Platina - Emas (Pt - Au), Paladium Perak (Pd - Ag) dan Paladium - Emas (Pd - Au). [4]

Sifat-sifat konduktor Emas (Au)
- Memiliki sifat yang stabil ketika dibakar dengan dielektrik multilayer.
- Memiliki sifat konduktivitas elektrik yang tinggi.
- Kompatibel terhadap operasi pemasangan komponen karena memiliki resistivitas lebih rendah.
- Kemampuan solder rendah
- Mahal

Sifat pasta Perak (Ag)
- Murah
- Mudah diproses
- Daya lekat tinggi
- Mudah disolder

Kelemahan pasta Perak
- Mudah terjadi interaksi dengan resistor dan dielektrik
- Menurunkan harga tahanan resistor
- Kapasitansi meningkat

Pada pasta resistor terdiri dari beberapa nilai resistivitas lembar, perbedaan nilal ini dipengaruhi oleh perbandingan senyawa yang dikandungnya [3]

Niai resistansi yang dihasilkan berpengaruh kepada nilai TCR suatu resistor, sedangkan yang mempengaruhi nilai resistansi adalah :
- Resistivitas lembar
- Dimensi resistor
- Firing atau cofiring
- Temperatur dan dimensi firing

Antara dimensi resistor dan resistivitas lembar suatu pasta harus sesuai, agar mendapatkan nilai resistansi yang sesuai dengan perancangan, kesalahan dalam penentuan jenis pasta dapat mengakibatkan penyimpangan nilai resistansi.

Pada pasta dielektrik memiliki konstanta dielektrik yang berbeda, tergantung pada fungsinya masing-masing. Sebagai dielektrik pada kapasitor, sebagai penyekat pada crossover dan multilayer dan sebagai pelindung rangkaian (encapsulasi).

Fungsi pasta dielektrik pada umumya adalah sebagai isolator atau penyekat antara dua konduktor, agar tidak terjadi koneksi diantara keduanya. Bahan pasta dari senyawa gelas dan organik ditambah dengan bahan aditif yang berfungsi sebagai penyekat dan bahan alumina agar dielektriknya lebih tinggi

Adapun persyaratan untuk pembuatan lapisan dielektrik yang harus diperhatikan adalah :
- Pemilihan pasta konduktor
- Resolusi kerusakan pasta dielektrik
- Pemilihan pasta dielektrik

Lapisan dielektrik untuk crossover dan multilayer harus memiliki konstanta dielektrik yang kecil. Bahan

lapisan dielektrik yang mengandung glass keramik dapat dibakar bersamaan dengan semua jenis konduktor, tetapi harus mempunyai viskositas yang rendah terhadap temperatur pembakaran, sehingga tidak meleleh pada saat proses pembakaran.

4. PROSES PEMBUATAN LAPISAN

Persiapan pasta Rangkaian hibrid film tebal yang dibuat berupa rangkaian yang mengandung lapisan konduktor yang diaplikasikan sebagai terminal resistor, tempat penyolderan kaki, sebagai sambungan crossover dan multilayer, untuk pemasangan komponen aktif dan untuk bonding. Pada dasarnya masing-masing fungsi di atas dapat berdiri masing-masing tergantung kepada fungsi dan aplikasi dari rangkaian tersebut, namun jika fungsinya sudah komplek maka dapat terjadi dalam satu rangkaian mengandung semua fungsi di atas. Dalam tulisan ini akan dibahas masing-masing fungsi tersebut.

Persiapan substrat dibutuhkan untuk selalu menjaga kebersihannya baik dari debu yang menempel maupun dari kotoran lemak. Pasta konduktor yang digunakan adalah paduan Palladium Perak dua jenis (1Pd - 2Ag) dan (2Pd 1Ag), pasta resistor digunakan dua jenis sedangkan pasta dielektrik digunakan sebagai crossover.

Pencetakan dan Pembakaran

Screen printing adalah proses pencetakan pasta di atas substrat sesuai dengan pola yang ditentukan. Faktor yang mempengaruhi hasil cetakan adalah:

- Kekentalan pasta
- Rheologi pasta
- Karakteristik permukaan substrat
- Persiapan screen
- Jarak dan pergerakan squeegee

Pencetakan pertama dilakukan pada semua jenis pasta konduktor untuk semua fungsi, kemudian dikeringkan lalu dibakar pada suhu 850 ° C. Untuk konduktor yang berfungsi sebagai terminal resistor dilanjutkan dengan pencetakan dua jenis pasta resistor dikeringkan lalu dibakar. Selanjutnya adalah pencetakan pasta dielektrik di atas konduktor yang pertama kemudian dikeringkan dan selanjutnya dicetakkan konduktor yang kedua di atasnya lalu dibakar. Semua pengeringan dilakukan pada suhu 150°C dan pembakaran pada suhu 850 ° C dilakukan secara firing maupun cofiring. Pada proses pencetakan perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil cetakan, agar mendapatkan hasil yang baik, yang mempengaruhi hasil cetakan dapat berasal dari alat cetak maupun hasil pola pada screen.

Pada proses pembakaran reaksi antara konduktor, resistor, dielektrik dan rangkaian yang lain dapat terjadi, sebagai contoh adalah terjadinya migrasi pasta perak pada tegangan dan humiditas tinggi. Kesesuaian pasta konduktor dengan pasta lain yang digunakan di dalam rangkaian perlu diperhatikan.

5. HASIL DAN ANALISA

Pencetakan dan pembakaran semua fungsi dan jenis pasta konduktor telah dilakukan, diharapkan dari jenis pasta yang digunakan dapat mewakili karakter dari pasta yang lainnya. Adapun analisa dari hasil masing-masing fungsi adalah sebagai benikut :

a. Sebagai jalur interkoneksi dan sebagai tempat penyolderan kaki
   Untuk pasta (2Pd : 1 Ag) hasil solderannya kurang bagus timah yang menempel pada konduktor tidak merata sehingga seluruh konduktor tidak tertutup oleh solder. Sedangkan pada konduktor (1Pd : 2Ag) solder mudah menempel dengan baik, namun konduktor ini rentan terhadap oksidasi.
b. Sebagai terminal resistor
   Hasil dari konduktor sebagai terminal resistor untuk kedua jenis pasta adalah :

Tabel 1. Perbandingan nilal resistansi dengan konduktor yang berbeda

R	Dupont	ELS
R1	128 Ω	135Ω
R2	115Ω	130Ω
R3	305Ω	320Ω
R4	300Ω	323Ω
R5	523Ω	690Ω
R6	580Ω	650Ω
R7	1,29KΩ	1,35KΩ
R8	1,14KΩ	1,34KΩ
R9	2,9 KΩ	3,25KΩ
R10	2,8 KΩ	3,34KΩ

Dari data di atas terlihat adanya perbedaan nilai resistansi yang diperoleh antara kedua pasta konduktor, Pada pasta konduktor yang banyak mengandung Perak nilai resistansinya lebih rendah dibandingkan dengan pasta yang banyak mengandung Palladium.

c. Sebagai konduktor crossover dan elektroda kapasitor
   Untuk pasta (1 Pd : 2Ag) banyak dan mudah terjadi kebocoran pada dielektrik karena pasta perak mudah berinteraksi dengan dielektrik terutama jika dilakukan pembakaran secara bersama (cofiring), yaitu terjadi difusi pasta konduktor terhadap pasta dielektrik. Sedangkan pada kapasitor pasta konduktor (2Pd : 1Ag) kapasitansinya lebih rendah, untuk konduktor atas kedua pasta ini kurang baik.

d. Sebagai tempat pemasangan komponen aktif dan tempat pengikat bonding
Pada fungsi ini pemasangan komponen aktif untuk pasta konduktor (1Pd : 2Ag) hasinya lebih baik karena solder yang digunakan dapat menempel lebih merata pada konduktor dan kaki komponen, juga mudah dibonding. Karena pasta yang mengandung perak mudah berinteraksi dengan dengan komponen lain, sehingga dapat mempengaruhi nilai dari komponen aktif yang dipasangkan. Untuk kebutuhan bonding pada pemasangan IC atau bare chip pasta konduktor yang paling baik digunakan adalah Emas sedangkan untuk penyolderan komponen flip chip yang cocok adalah pata (Pd - Au).

Pada penggunaan jenis pasta di atas, selain. kesesuaian terhadap pasta konduktor juga agar seluruh rangkatan berfungsi dengan baik, maka pemilihan terhadap pasta resistor juga perlu diperhatikan.
Dibawah ini adalah 4 macam pasta dengan produk dan resistivitas lembar yang berbeda.
Nilai resistivitas lembar yang dipakai merupakan hasil penelitian di Laboratorium.

Tabel. 2. Nilai resistansi dari pasta dengan Resistivitas lembar yang berbeda

R	L/W	SHOE (52,025Ω/□)
R1	0,2	10.4Ω
R2	0,2	9,9Ω
R3	0,5	24,7Ω
R4	0,5	22,8Ω
R5	1	50,8Ω
R6	1	52,2Ω
R7	2	105,9Ω
R8	2	96,5Ω
R9	5	300Ω
R10	5	298Ω

SHOE (101,59)	ESL (94Ω/□)	DUPONT (66Ω/□)
20,8Ω	16,1Ω	12,4Ω
25,4Ω	17,5Ω	13,2Ω
48,3Ω	45,3Ω	34,6Ω
50,2Ω	45,1Ω	32,5Ω
90,4Ω	85,6Ω	59,2Ω
98,3Ω	98,3Ω	78,1Ω
198Ω	216Ω	129,1Ω
203,2Ω	222Ω	128Ω
495Ω	657Ω	351Ω
503Ω	700Ω	373Ω

Dari data nilai resistansi di atas terlihat adanya perbedaan nilai dari setiap resistivitas lembar, hal ini menuniukkan bahwa setiap pembuatan suatu resistor harus dapat memilih pasta yang akan digunakan agar nilai yang dihasilkan lebih mendekati pada nilai yang diinginkan sesuai dengan perhitungan.

6. KESIMPULAN

- Dimensi dari rangkaian perlu diperhatikan untuk menyesuaikan letak dari masing-masing komponen yang digunakan untuk komponen pasif maupun aktif
- Pada penggunaan jenis pasta perlu pemillhan yang sesuai terhadap fungsinya masing-masing.

1. Sebagai jalur interkoneksi dan tempat penyolderan kaki, pasta konduktor yang lebih cocok digunakan adalah yang banyak mengandung Perak (Ag).
2. Sebagai terininal resistor pasta konduktor yang lebih cocok digunakan adalah yang banyak mengandung Paladium (Pd).
3. Sebagai konduktor crossover dan elektroda kapasitor pasta yang lebih cocok digunakan adalah yang banyak Paladium (Pd).
4. Sebagai tempat pemasangan komponen aktif pasta konduktor yang lebih cocok digunakan adalah yang banyak mengandung Perak (Ag).
5. Sebagai tempat mengikat bonding pasta konduktor yang cocok digunakan adalah yang mengandung Emas (Au).

- Untuk pemakaian pasta resistor perlu menyesuaikan dengan resistivitas lembar dari pasta tersebut.
- Pada pasta dielektrik dibutuhkan bahan yang mengandung daya lekat yang baik serta tidak mudah terjadi reaksi terutarna terhadap lapisan konduktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. Malcom R. Haskard, *Thick Film Hybrid*, Prentice Hall, Australia, 1988.
2. Charles A. Harper, *Handbook of Thick Film Hybrid Microelecrtonics*, Mc Graw Hill Company, New York, 1974
3. D.W. Harmer, and J.V. Biggers, *Thick Film Hybrid Microcircuit Technology*, Wiley Inter Science, 1972.
4. Morton L Topfer, *Thick Film Microelectronics, Fabrication, desain and Application*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1971.

SISTEM MODULATOR TIPE LINI PADA RADAR X-BAND

*Deni Permana dan Syamsu Ismail *)*

ABSTRACT

Have been done research about lini type modulator system, where utility a simple technique for the awakening of radar pulsa, by using functioned Thyrathron as switch. There by, tension required for the driving of save Thyrathron will be more be small in comparison with tension for the driving of save Cathode (HV < HK). In the case of the radar pulsa evocation, weared by a pulsa forming network (PFN). Caused by local pulsa generating, hence is wide of input pulsa becoming not have an effect on because t = 0 or t = 1 depended from level of tension required to move a Thyrathron tube. Result of which is obtabied by using this technique is less good if seen from yielded pulsa form, but having some other advantage like cheap arranged easy pulsa and also of is expense of making. In this article will be studied to regarding lini type modulator system, with planning and also done by measurement at X-Band radar system.

INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang sistem modulator tipe lini, dimana dipakainya suatu teknik yang sederhana untuk membangkitan pulsa radar, dengan menggunakan Thyratron yang difungsikan sebagai saklar. Dengan demikian, tegangan yang dibutuhkan untuk mengaktifkan tabung Thyratron akan lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan untuk mengaktifkan tabung Katoda (HV < HK). Dalam hal pembangkitan pulsa radar tersebut, dipakai suatu jaringan pembentuk pulsa (PFN). Karena adanya pembangkit pulsa lokal, maka lebar pulsa input menjadi tidak berpengaruh karena t = 0 atau t = 1 tergantung dari besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk menggerakkan suatu tabung Thyrahm. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan teknik ini adalah kurang bagus jika dilihat dari bentuk pulsa yang dihasilkan, tetapi mempunyai beberapa keuntungan lain seperti pulsa gampang diatur serta murahnya biaya pembuatan. Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai sistem modulator tipe lini, dengan perencanaan serta pengukuran yang dilakukan pada sistem radar X-Band.

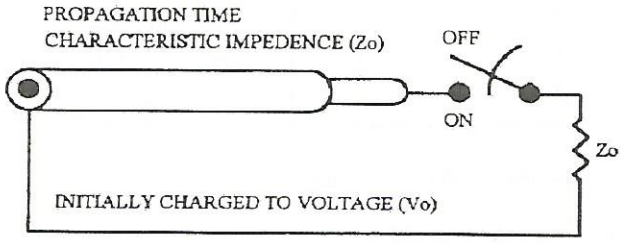
Korespondensi:

*) Deni Permana dan Syamsu Ismail adalah Peneliti pada PPET- LIPI, Jl. Cisitu No.21/154D (Sangkuriang) Bandung 40135.

1. PENDAHULUAN

Pada sistem modulator tipe lini (Line Type Modulators), dipergunakannya suatu jaringan pembangkit pulsa (Pulse Forming Network atau PFN), dimana dalam jaringan ini terjadi suatu proses pengisian (charged) dan pembuangan (discharged) muatan yang berasal dari komponen kapasitor (C) dan induktor (L).

Di bawah ini diperlihatkan cara sederhana yang dipakai untuk menghasilkan pulsa segi empat dari suatu proses pengisian dan pembuangan muatan dalam suatu jaringan transmisi dengan cara membuka dan menutup saluran.



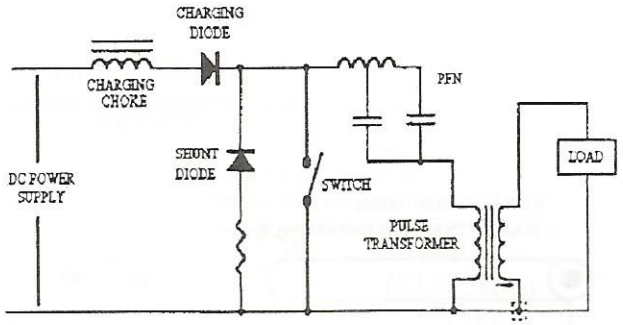
Gambar 1. Penghasil Pulsa Segi Empat [1] 3-109

Didalam perencanaan suatu saluran transmisi, maka besarnya nilai dari impedansi sumber, impedansi karakteristik saluran dan impedansi beban, harus sama besarnya atau Zs = Zo = Zb, sehingga terjadi *transfer daya maximum* pada saat penyaluran tenaga listrik antar sumber, saluran dan beban. Bila salah satu dari ketiga impedansi tersebut ada yang tidak sesuai, maka akan timbul suatu refleksi daya yang dikenal dengan istilah mismatch. Di dalam kenyataannya di lapangan, hal itu sangatlah sulit untuk dilakukan, sehingga meskipun terjadi keadaan yang tidak bersesuaian, diusahakan terjadi sekecil mungkin.

Dalam suatu sistem modulator tipe lini, untuk menggerakkan beban biasanya diperlukan tegangan sangat tinggi. Untuk menghindari atau mengurangi tegangan tinggi tersebut secara langsung, maka dibuatlah suatu jaringan PFN, sehingga suatu transformator penaik tegangan disisipi diantara PFN dan beban. Lilitan sekunder berganda pada trasformator penaik tegangan biasanya disediakan untuk membangkitkan arus pemanas (heater) pada saat peralatan

akan bekerja.

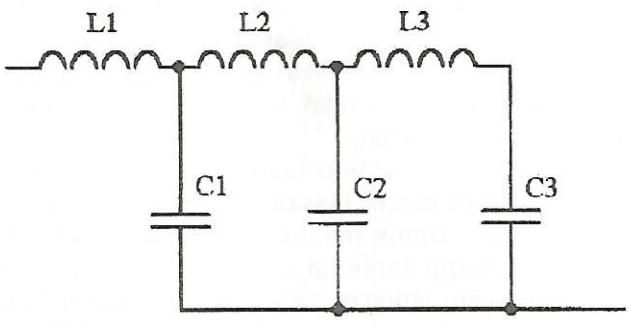
Untuk mengisolasikan antara saklar (switch) dengan sumber tegangan, dipergunakan suatu induktor dengan pertimbangan efisiensi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan jika digunakan suatu resistor biasa, dimana efisiensi yang dihasilkan maksimum adalah 50%. Untuk itu, maka hal yang paling mungkin adalah memfungsikan jaringan PFN untuk membangkitkan tegangan dc dua kali lebih besar dibandingkan dengan menggunakan sistem yang biasa secara langsung. Untuk mencegah timbulnya kejutan pada saat pembuangan muatan pada jaringan PFN, maka digunakan suatu loop dioda yang diseri dengan resistor (charging diode). Hal ini juga digunakan pada saat proses pengisian pada jaringan PFN dan beban. Dibawah ini diperlihatkan suatu metoda umum yang digunakan dalam suatu sistern modulator tipe lini, untuk mengatasi kondisi beban tidak seimbang (mismatch).



Gambar 2. Sistem modulator tipe lini dengan PFN [1] 3-111

II. TEORI DASAR

Pada sistern modulator tipe lini (Line Type Modulator) ini, dipergunakannya suatu jaringan pembangkit pulsa (Pulse Forming Network atau PFN), dimana dalam jaringan ini terjadi suatu proses pengisian (charged) dan pembuangan (discharged) muatan yang berasal dari komponen kapasitor (C) dan induktor (L). Dibawah ini diperlihatkan suatu jaringan pembangkit pulsa tipe *E-Type Voltage-Fed Giullemin*.



Gambar 3. Sistem Jaringan Pembangkit Pulsa [1] 3-110.

Jaringan pembangkit pulsa yang diperlihatkan diatas merupakan suatu bagian dari jaringan transmisi atau yang biasa dikenal dengan impedansi karakteristik saluran (Zo). Jika panjang dari jaringan transmisi yang diberikan untuk waktu rambat gelombang dinyatakan dengan (r/2), dengan Vo adalah besarnya tegangan yang diperlukan pada saat pengisisan muatan, serta pembuangan muatan dilakukan oleh impedansi karakteristik itu sendiri, maka dengan lebar pulsa adalah (T) dan amplitudo adalah V/2, besarnya harga dari Kapasitor (secara paralel) dan besarnya harga Induktor (secara seri) dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$Z0 = \sqrt{\frac{Ln}{Cn}} \rightarrow 1$$

$$\tau = \sqrt{LnCn} \rightarrow 2$$

$$Cn = \frac{\tau}{2Z_0} \rightarrow 3$$

$$Ln = \frac{\tau Z_0}{2} \rightarrow 4$$

Dimana :
Cn = adalah harga Kapasitor total
Ln = adalah harga Induktor total
τ = adalah lebar pulsa 50%
Zo = adalah Impedansi Karakteristik
n = adalah nomor setiap section
L = adalah Induktansi per section Ln/n
C = adalah Kapasitor per section Cn/n

Untuk mengetahui panjangnya lilitan serta besarnya diameter lilitan dari setiap bagian yang akan dibuat, maka dapat dipergunakan rumus empiris seperti di bawah ini

$$\frac{l}{d} = \frac{3}{4}$$

$$\frac{Lc}{L} = 1.1 \rightarrow 1.2$$

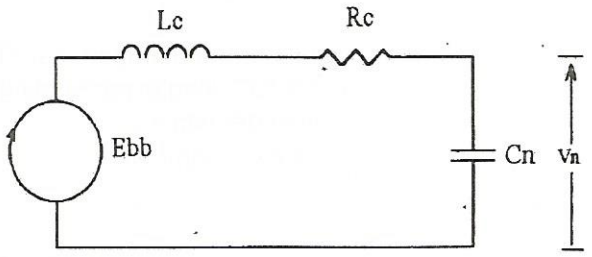
Dimana :
Lc = Induktansi dari setiap bagian / loop
t = Panjang lilitan setiap bagian
d = Diameter lilitan

Analisa sederhana dari pengoperasian suatu sistem modulator tipe lini, yaitu terjadinya suatu proses pengisian muatan pada jaringan PFN dengan melalui suatu charging diode. Untuk selang waktu yang ditentukan, proses pengisian ini terhenti yang selanjutnya diikuti dengan suatu proses pembuangan muatan dengan melalui saklar (switch) ke dalam beban. Hal ini

berlangsung secara terus menerus, sehingga akan terbentuknya suatu rentetan pulsa pada keluaran dari modulator tipe lini ini.

Dengan adanya energy-storage dalam suatu jaringan PFN, sehingga masing-masing denyut merupakan proses pengisian energi yang diberikan secara efisien oleh sirkuit terhadap jaringan PFN. Dalam penyederhanaan sistem untuk analisa, proses pengisian dengan melalui suatu resistor mungkin lebih sederhana, tetapi efisiensi dengan pengaturan semacam ini tidak lebih dari pada 50%. Untuk itu digunakanlah suatu teknik pengisian muatan pada jaringan PFN dengan pembebanan induktif (inductive charging).

Di bawah ini akan diperlihatkan suatu rangkaian equivalen yang digunakan untuk menyederhanakan suatu rangkaian inductive charging, untuk keperluan analisa pada saat pembebanan rangkaian dalam sebuah sistem modulator tipe lini. Hal ini mungkin akan terpenuhi dengan mengasumsikan bahwa energy-storage relatif kecil, sehingga jika seseorang berasumsi bahwa Cn pada awalnya terbuka (open circuit) sedangkan Lc tertutup pada saat t = 0, maka besarnya tegangan yang diberikan oleh rangkaian adalah :



Gambar 4. Rangkaian Equivalen dari Inductive Charging [1] 3 -112

$$Vn(t) = Ebb + e^{-at}\left[- Ebb\ (\cos \varpi t + \frac{a}{\varpi} \sin \varpi \right] \rightarrow 5$$

Dimana :

$$a = \frac{Rc}{2Lc} \rightarrow 6$$

$$\omega o = \frac{1}{\sqrt{LcCn}} \rightarrow 7$$

$$\omega o = \frac{1}{\sqrt{\omega o^2 - a^2}} \equiv \sqrt{\frac{1}{LcCn} - \frac{Rc^2}{4Lc^2}} \rightarrow 8$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LcCn}} \rightarrow 9$$

III. PERENCANAAN SISTEM

Dalam perencanaan sistem PFN, ada beberapa tipe konfigurasi yang dikenal dan dipakai untuk membentuk suatu jaringan pembangkit pulsa. Salah satu tipe jaringan pembentuk pulsa tersebut, diperlihatkan pada gambar 3. yang dikenal dengan model *Guillemin E-Type*. Untuk merancang suatu jaringan PFN E-Type Giullemin, perencanaan dimulai dengan menetapkan banyaknya bagian di dalam jaringan, impedansi jaringan, dan lebar pulsa yang akan dihasilkan dalam jaringan tersebut. Untuk penetapan lebar pulsa serta impedansi jaringan, pada umumnya ditetapkan sesuai dengan perencanaan awal pada saat perancangan sistem modulator. Di bawah ini diperlihatkan tabel yang dijadikan suatu acuan pada saat perancangan, berapa banyak jumlah bagian dalam suatu jaringan, dan lebar pulsa yang akan dihasilkan.

Jumlah Bagian	Lebar Pulsa
1-3	> 0.5 μs
2-5	0.5 - 2.5 μs
3-8	2-5 - 5.0 μs

Tabel 1. Jumlah Bagian dan Lebar Pulsa [1] 5 - 181

Karena komponen utama yang diperlukan untuk merancang suatu jaringan PFN adalah Kapasitor dan Induktor, maka diperlukan beberapa perhitungan yang dibutuhkan sebagai dasar yang dipakai pada saat merealisasikan sistem yang akan dibuat. Untuk merancang suatu lilitan (induktor), dipakai beberapa perhitungan seperti di bawah ini :

$$Ln = \frac{0.1a^2N^2}{1K} \rightarrow 10$$

Dimana :

Ln = Induktansi dalam (μH)
a = Diameter dari lilitan dalam (inci)
N = Banyaknya jumlah lilitan
f = Panjangnya lilitan dalam (inci)
K = Ketetapan Nagaoka's

Atau :

$$N = \left[\frac{10Ln}{a^2K}\right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow 11$$

Ketetapan Nagaoka's dapat dilihat seperti pada tabel di bawah ini :

Jumlah Bagian	Panjang	Ketetapan
1	-	Disesuaikan
2	0.375	0.86
3	0.25	0.91
4	0.137	0.925
5	0.15	0.94

Tabel 2. Ketetapan Nagaoka's [1] 5 - 182

Untuk menentukan besarnya induktansi dari setiap lilitan pada PFN, maka dengan menganggap bahwa jumlah lilitan untuk L1 = 12 T, dengan diameter kawat email (ϕ K) adalah 13 mm, diameter dalam lilitan (ϕ D) adalah 7 mm, diameter luar lilitan (ϕ L) adalah 20 mm, serta L2 dan L3 = 7 T, dengan diameter kawat emall (ϕ K) adalah 8 mm, diameter dalam lilitan (ϕ D) adalah 7 mm, diameter luar lilitan (ϕ L) adalah 15 mm, maka besarnya induktansi dari setiap lilitan dapat dihitung seperti di bawah ini :

$$L = \mu \frac{N \times A}{l}$$

Dimana :

μ o udara adalah 1

μ R udara adalah 12.6 x 10^{-7} H/m

maka $\mu = \mu o$

Asumsi lain yang dipakai dalam perhitungan besarnya induktansi ini adalah :

$$A \approx l_D // l_L = l_R = 8.1 \text{ mm}$$

$$l \approx \phi L$$

Maka :

$$Ll = \frac{(12)^2 \times \pi (4.05)^2}{13 \text{ mm}} \times 12.6 \times 10^{-7} = 0.719 \mu H$$

$$L2 = \frac{(7)^2 \times \pi (4.05)^2}{8 \text{ mm}} \times 12.6 \times 10^{-7} = 0.398 \mu H$$

$$Zo = \sqrt{\frac{[(0.719) + (2 \times 0.398)] \mu H}{3 \times 4700 \text{ pF}}}$$

$$Zo = 10.365 \Omega \cong 10 \Omega$$

$$C \rightarrow t = 2 \times Zo \times Cn$$

$$t = 2 \times 10 \times 4700.10^{-12} \times 3 = 0.282 \mu s$$

$$L \rightarrow t = \frac{Ln \times 2}{Zo}$$

$$t = \frac{(0.719) + (2 \times 0.398) \times 2}{10} = 0.303 \mu s$$

$$t \approx 0.2925 \mu s$$

Untuk mengitung besarnya waktu yang diperlukan oleh sebuah pulsa bergerak naik dari 10% menjadi 90% dari amplitudo normal dikenal dengan tr (rise time), dengan jumlah L section adalah 3, serta besarnya t = 0.2925 μs , maka besarnya rise time secara empiris adalah :

$$tr = \frac{0.0383 \times t}{n - 0.13}$$

$$tr = \frac{0.0383 \times 0.2925}{3 - 0.13}$$

$$tr = 0.0039 \ \mu s$$

$$tr = 3.90 \text{ ns}$$

$$tr \approx 4 \ \mu s$$

Untuk realisasi dari rangkaian pada Transformator Impedansi (T2) digunakan Pot Core H5A-NAG dengan perbandingan antara lilitan primer dan sekunder adalah :

Ns : Np $\Leftrightarrow$ 2 : 1 $\Leftrightarrow$ 40 : 20, dengan data sebagai berikut :

Np = 840 μH; Dp = 0.033; L_{PL} =1,2 μH

Ns = 3,22 mH; Ds = 0.017; L_{SL} = 0,01 mH

Sementara untuk Transformator Impedansi (T1) digunakan Pot Core YEL. BP 20T dengan perbandingan antara lilitan primer dan sekunder adalah :

Ns : Np $\Leftrightarrow$ 1 : 1, dengan data sebagai berikut :

Lp = 14,8 μH; Dp = 1,288; L_{PL} = 1,8 μH

Untuk Transformator Impedansi (T1) digunakan Pot Core GRE. BP 21T dengan perbandingan antara lilitan primer dan sekunder adalah :

Ns : Np $\Leftrightarrow$ 1 : 1, dengan data sebagai berikut :

Lp = 543 μH; Dp = 0,386 ; L_{PL} = 0,4 μH

Dengan Self Inductance (L_H) sebesar 1,94 H maka jumlah lilitan yang diperukan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan seperti di bawah ini :

$$N = 5590 \sqrt{[(1.94 \times 5.304) \div (0.5576 \times 1140.155)]}$$

$$N = 711.166 \approx 711 T$$

IV. REALISASI DAN PENGUKURAN

Pada Sub-sistem Modulator, dipergunakan sistem Modulator Type Lini, dengan memfungsikan *Hydrogen Thyratron* Type FX 2530 sebagai switch, sehingga lebar pulsa yang dihasilkan oleh pembangkit pulsa (pulse oscilator) tidak berpengaruh terhadap lebar pulsa yang dihasilkan, dengan besaran waktu sama dengan nol (t = 0). Dalam sub-unit DC to DC Converter, tidak diperlukan tegangan yang terlalu besar, karena untuk

menggerakkan Hydrogen Thyratron diperlukan tegangan yang lebih kecil dari tegangan katode (HV < VK). Karena sifat dari Hydrogen Thyratron ini seperti *Thyristor* dengan salah satu elektrodanya merupakan kendali (gerbang) terpisah,untuk memungkinkan pemberian level tegangan yang akan memulai Thyristor tersebut konduksi.

Dibawah ini diperlihatkan hasil pengukuran yang dilakukan sub-sistem Modulator Tipe Lini yang merupakan sub-sistem dari suatu sistem pemancar radar terintegrasi.

V_{HF} (Volt)	I_{HF} (mA)	I_k (μA)	Att (dB)	T = 50% (μs)	e_{kc} (Volt)
100	3,95	-	-	1,6	2,0
200	13,34	5,3	-	1,0	8,0
250	22,75	48	- 31,76	2,0	12,0
300	27,11	207	- 23,10	2,0	13,0
350	27,37	407	- 19,60	1,2	13,5
380	27,40	469	- 17,95	1,2	13,5
390	27,40	481	- 17,62	1,2	14,0

Tabel 3. Hasil pengukuran pada sub-sistem Modulator Tipe Lini

Hasil pengukuran yang dilakukan terhadap besamya Daya Puncak yang terjadi :

- Tegarigan Fillament (V_{FIL}) Magnetron = 6,15 Volt
- Tegangan Filament (V_{FIL}) Thyratron = 5,20 Volt
- Arus Filament (I_{FIL}) Magnetron = 240 mA
- Arus Filament (I_{FIL}) Thyratron = 2200 mA
- Frekunsi X - Band 9,445 GHz = 8,0 - 2,5 GHz

Pada tegangan V_{HV} sebesar 380 Volt terdapat Atenuasi sebesar -17,95 dB
Peak Power => 52 dBm - 17,95 dB => 34,05 dBm => 2,541 Watt
Dengan Duty Cycle adalah 3.6853 x 10e-4
Peak Power => 2,541 Watt : 3.6653 x 10e-4 => 6932,58 Watt => 8,93258 Kwatt

Va Peak (Volt)	t (μs)	t_R (Volt)	Vo Peak (Volt)	Vos Peak (Volt)	tos (μs)
50	0,32	20 – 30	30	-	-
100	0,28	20 – 30	54	-	-
150	0,40	20 – 30	62	15	0,1
200	0,50	20 – 30	62	24	0,1
250	0,65	20 - 30	62	40	0,1
300	0,72	20 - 30	62	51	0,1

Tabel 4.
Sinyal yang dihasilkan oleh Trigger Unit

V. KESIMPULAN

Dalam pembuatan sistem Modulator Tipe lini ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dimana untuk sistem secara keseluruhan berfungsi dengan baik sesuai dengan perencanaan, hal ini dibuktikan dengan hasil pengukuran dari sistem yang dibuat serta hasil uji coba peralatan di lapangan, didapat hasil yang cukup memuaskan serta mendekati hasil perhitungan yang ada pada perencanaan.

Selain itu, rise-time (τ) yang direncanakan sebesar 0,4 μs (0,1 μs sampai 0,5 μs) telah dapat dibangkitkan dengan cacat pulsa sebesar 10%, Frekuensi osilator sebesar 9,445 GHz (Frekunsi X - Band berkisar antara 8,0 sampai 12,5 GHz), dengan Daya maksimum yang dapat dibangkitkan sebesar 10 Kwatt.

Proyek Penelitian ini dibiayai oleh DIP tahun anggaran 2001 dengan tolok ukur kegiatan Sistem Radar X-Band untuk Marine bagian pemancar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] George W. Ewell, 1981, *Radar Transmitters*, McGraw - Hill Inc., Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia, 87 - 140.

[2] Simon Kingsley and Shaun Quegan, 1993. *Understanding Radar System*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, hal 1 - 15, 28 - 33.

[3] Syamsu, Ismail, 1997, *Pembuatan dan Pengukuran Trafo Pulsa untuk Modulator Radar Tipe Lini*, Buletin IPT -LIPI No. 3 Vol. 111, Edisi Agustus/September, Bandung, hal 31 - 40,

Catatan Penulis :

- Redaksi menerima naskah karangan berupa hasil penelitian, pengembangan, dan penerapan dalam bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, diutamakan hasil dari kelompok kerja penelitian.
- Naskah karangan ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris, diketik rapi dengan jarak dua spasi.
- Setiap karangan harus dilengkapi dengan intisari yang ditempatkan di antara judul dan isi karangan, dan tidak melebihi 300 kata.
- Gambar harus diberi nomor berurutan, diberi keterangan ringkas dan disebutkan dalam isi karangan. Gambar harus disesuaikan dengan ukuran halaman majalah (A4) dan berkualitas bagus.
- Daftar Pustaka atau referensi ditulis mengikuti aturan sebagai berikut : nomor, nama pengarang, tahun penerbitan, judul karangan, nama jurnal/majalah/penerbit, jilid, nomor halaman.
- Redaksi berhak mengubah susunan naskah karangan tanpa mengubah isinya.