

JURNAL

ISSN 1411-8289

# Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME I, NOMOR 1

JANUARI - MARET 2001

- ⊙ Sambutan Deputi IPT - LIPI
- ⊙ Sambutan Kapuslitbang TELKOMA - LIPI
- ⊙ Pengantar Redaksi
- ⊙ Penempelan Silikon - Gelas Pyrex 7740 dengan Cara Elektrostatik *Goib Wiranto*
- ⊙ Aplikasi Pasta Dielektrik pada Thick Film Hibrid *Lilis Retnaningsih*
- ⊙ Aplikasi Saluran Serat Optik untuk Pengumpulan Data Sensor pada Sistem Telemetry *Syamsu Ismail*
- ⊙ Moisture Tester ( Padi Tester) *Supartono Soediatno<sup>1)</sup>*  
*Bagus Edy Sukoco<sup>2)</sup>*  
*Dadin Mahmudin<sup>3)</sup>*
- ⊙ Sistem Pendeteksi Temperatur pada Kolam Pembibitan Ikan *Deni Permana*
- ⊙ Penggunaan Alokasi Kanal TDMA pada Sistem Selular GSM *Yuyu Wahyu<sup>1)</sup>*  
*Rustini S. Kayatmo<sup>2)</sup>*
- ⊙ Akses Paket Data Menggunakan Packet Driver *Purwoko Adhi*
- ⊙ Perancangan Filter Compline *Rustini S. Kayatmo<sup>1)</sup>*  
*Yuyu Wahyu<sup>2)</sup>*
- ⊙ Antena Alur Mikro *Yahya Sukri*



PUSLITBANG TELEKOMUNIKASI, ELEKTRONIKA STRATEGIS, KOMPONEN DAN MATERIAL  
( TELKOMA - LIPI )

Jl. Cisitno 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

---

## SUSUNAN REDAKSI

**Penanggung Jawab** : Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi,  
Elektronika Strategis, Komponen dan Material  
( Telkoma - 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 DOKINFO  
Telkoma - LIPI  
Jl. Cisitu No. 21/154 D Bandung 40135  
Tlp. (022) 250 4661 Fax. (022) 250 4659  
E-mail : Dokinfo@telkoma.lipi.go.id

# DAFTAR ISI

---

Kata Pengantar .....	ii
Sambutan Deputi IPT - LIPI .....	iii
Sambutan Kapuslitbang TELKOMA - LIPI .....	iv
Penempelan Silikon - Gelas Pyrex 7740 dengan Cara Elektrostatik .....	1
( <i>Goib Wiranto</i> )	
Aplikasi Pasta Dielektrik pada Thick Film Hibrid .....	6
( <i>Lilis Retnaningsih</i> )	
Aplikasi Saluran Serat Optik untuk Pengumpulan Data Sensor pada Sistem Telemetry .....	12
( <i>Syamsu Ismail</i> )	
Moisture Tester ( Padi Tester ) .....	20
( <i>Supatono Soediatno<sup>1)</sup> Bagus Edy Sukoco<sup>2)</sup> Dadin Mahmudin<sup>3)</sup></i> )	
Sistem Pendeteksi Temperatur pada Kolam Pembibitan Ikan .....	23
( <i>Deni Permana</i> )	
Penggunaan Alokasi Kanal TDMA pada Sistem Selular GSM .....	29
( <i>Yuyu Wahyu<sup>1)</sup> dan Rustini S. Kayatmo<sup>2)</sup></i> )	
Akses Paket Data Menggunakan Packet Driver .....	35
( <i>Purwoko Adhi</i> )	
Perancangan Filter Compline .....	42
( <i>Rustini S. Kayatmo<sup>1)</sup> dan Yuyu Wahyu<sup>2)</sup></i> )	
Antena Alur Mikro .....	50
( <i>Yahya Sukri</i> )	

## KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Pembaca *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* Puslitbang Telkoma - LIPI yang budiman.

Puji dan syukur kami ucapkan ke hadirat Allah SWT., atas petunjuk dan bimbingan-Nya sehingga *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi ini* dapat diterbitkan.

Makalah pada penebitan perdana ini meliputi bidang elektronika yang terdiri atas mikroelektronika dan elektronika terpakai, sedangkan pada bidang telekomunikasi terdiri atas *microwave*, optik dan komunikasi data.

Penulis pada jurnal perdana ini masih dari para peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI. Kami berharap untuk penerbitan selanjutnya, penulis tidak hanya dari para peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk kesempurnaan jurnal ini, baik tata muka maupun isinya.

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

Selamat membaca

Redaksi

## Sambutan Kepala Puslitbang TELKOMA - LIPI

**Assalamu 'alaikum Wr. Wb.**

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT., karena atas perkenan-Nya-lah "*Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*" nomor perdana ini dapat terbit. Jurnal yang merupakan media informasi dengan penekanan materi pada masalah perkembangan teknologi dan aplikasi di bidang Elektronika dan Telekomunikasi ini diterbitkan oleh Puslitbang TELKOMA - LIPI yang mempunyai tugas dan fungsi melaksanakan penelitian di bidang telekomunikasi, elektronika strategis, komponen, dan material elektronika.

Diharapkan Jurnal ini dapat menjadi sarana pertukaran informasi hasil penelitian dan pengembangan di antara para peneliti, akademisi, instansi serta institusi lainnya, sekaligus dapat memacu para peneliti untuk meningkatkan karya tulis ilmiahnya juga mendukung tugas fungsionalnya.

**Kepala Puslitbang TELKOMA - LIPI**



( DR. Masbah R.T. Siregar )

## Sambutan Deputi Bidang IPT - LIPI

**Assalamu 'alaikum Wr. Wb.**

Publikasi yang berisi informasi mengenai hasil-hasil penelitian, implementasi serta kajian-kajian ilmiah dan penguasaan teknologi sangat diperlukan sebagai media tukar menukar informasi bagi para peneliti, akademisi, industriawan, dan masyarakat luas lainnya. Dalam reorganisasi LIPI, tercantum misi utama yang ingin ditegakkan yaitu melaksanakan tanggung jawab terhadap khazanah ilmu, masyarakat dan dunia usaha. Implementasi inti dari misi di atas antara lain diwujudkan melalui publikasi ilmiah. Untuk itu Deputi Bidang IPT sangat mendukung terbitnya "*Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*" yang menyebarluaskan hasil-hasil penelitian atau pemecahan masalah dalam industri khususnya di bidang elektronika dan telekomunikasi.

Untuk lebih meningkatkan kualitas serta kuantitas dari publikasi ilmiah ini, perlu adanya dukungan dan keikutsertaan dari seluruh peneliti serta kalangan akademisi serta industriawan yang berkecimpung dalam bidang elektronika dan telekomunikasi dalam bentuk sumbangan naskah yang sesuai dengan misi jurnal di bawah ini.

Saya ucapkan selamat atas diterbitkannya *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* nomor perdana ini mudah-mudahan bermanfaat bagi kita semua.

**Deputi Bidang IPT - LIPI**



**( DR. Anung Kusnowo, M.Tech )**

# PENEMPELAN SILIKON – GELAS PYREX 7740 DENGAN CARA ELEKTROSTATIK

Goib Wiranto \*)

## ABSTRACT

Very often in the fabrication of miniature devices using micromachining or microengineering technology, it is required that one or more substrates need to be bonded to another substrate. Besides needed to protect the micromechanical structures, substrate bonding technique is also required to complete the structures of the fabricated microdevices. Silicon and Pyrex glass are the two most often substrates that need to be bonded in microengineering technology. In this paper it will be described the mechanism, *set-up*, and phenomena of bonding between silicon and Pyrex 7740 glass. The applied technique is called an electrostatic bonding, in which the two substrates are heated to a temperature of 300 - 500 °C and given a DC voltage of 100 - 1000 V. With this technique, several silicon and Pyrex 7740 glass substrates have been successfully bonded. The resuffing bonding quality has been proven to be able to withstand flow of extremely small volume of gases and liquids without any leaks. It is believed that the applied technique will be widely used in the future fabrication of miniature devices.

## INTISARI

Dalam pembuatan divais miniatur dengan teknologi micromachining atau microengineering, seringkali tahapan prosesnya mencakup penempelan satu atau lebih substrat dengan yang lain. Penempelan substrat selain diperlukan untuk melindungi struktur mikromekanik di dalamnya, juga diperlukan untuk melengkapi bagian dari mikrodivais yang akan dibuat. Jenis substrat yang paling sering diperlukan untuk ditempelkan dalam teknologi microengineering adalah silikon dan gelas Pyrex. Dalam tulisan ini, akan dibahas mekanisme, *set-up*, dan fenomena penempelan substrat silikon dengan gelas Pyrex 7740. Cara yang digunakan disebut bonding elektrostatik, dimana kedua substrat yang akan

ditempelkan dipanaskan dengan suhu 300 °C - 500 °C, dan diberikan tegangan DC antara 100 - 1000 V. Dengan cara ini, beberapa substrat silikon dan Pyrex 7740 telah berhasil ditempelkan. Kualitas tempelan yang dihasilkan terbukti mampu menahan aliran gas maupun cairan dalam volume yang sangat kecil tanpa kebocoran. Sangat diyakini bahwa metode yang diterapkan disini akan banyak diaplikasikan dalam pembuatan divais miniatur di masa yang akan datang.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam teknologi *micromachining*, atau *micro-engineering*, penempelan (*bonding*) satu substrat dengan yang lain banyak diperlukan untuk membuat bentuk-bentuk mikromekanik. Struktur mikromekanik seperti ini biasanya banyak dijumpai dalam divais-divais mikrofluida [1-4], sensor tekanan [5], akselerometer [6], dsb. Proses penempelan substrat diperlukan untuk melindungi struktur mikromekanik, memberikan penyangga (*support*), atau pelengkap dari bentuk mikromekanik yang bersangkutan. Substrat yang ditempelkan biasanya antara silikon dengan silikon, silikon dengan gelas, atau gelas dengan gelas. Beberapa teknik yang sering digunakan untuk menempelan substrat adalah *eutektik*, suhu rendah, fusi, dan elektrostatik.

Silikon dengan silikon bisa ditempelkan dengan cara eutektik. Dengan teknik ini, biasanya pada kedua permukaan silikon yang akan ditempelkan ditumbuhkan lapisan antara (*intermediate*) dari emas. Proses penempelan dilakukan pada suhu sekitar 370 °C dengan memberikan tekanan pada kedua substrat [7]. Cara ini bisa menghindarkan dari kemungkinan terjadinya masalah penempelan akibat perbedaan ekspansi panas (*thermal expansion*). Hanya saja, penggunaan lapisan antara akan mengurangi fleksibilitas cara ini dalam pembuatan beberapa divais mikromekanik. Sebagai alternatif, kedua substrat silikon bisa ditempelkan dengan cara fusi. Tanpa perlu menggunakan lapisan antara, proses penempelan secara fusi bisa dilakukan pada suhu sekitar 1000 °C [8]. Walaupun masalah ekspansi panas bisa sepenuhnya dihindari, kelemahan dari cara ini

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkom - LIPI  
Jl. Cisitua No. 21 / 154 D Bandung 40135

adalah suhu prosesnya yang sangat tinggi, yang bisa mempengaruhi struktur mikromekanik yang ada pada substrat yang ditempelkan.

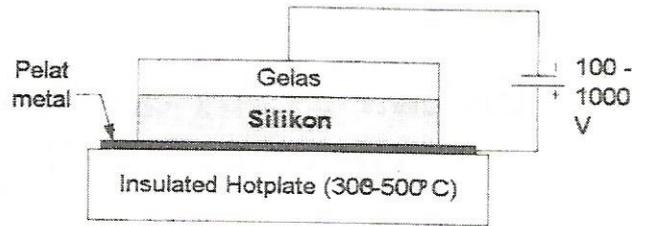
Proses bonding pada suhu rendah (dibawah 100°C) bisa digunakan untuk menempelkan gelas dengan gelas. Penggunaan lapisan perekat (*adhesive*) masih dipedukan diantara kedua permukaan gelas tersebut [9]. Selain itu, kedua permukaan gelas harus benar-benar bersih dari partikel. Hal ini berarti bahwa proses penempelannya harus dilakukan dalam ruang bersih (*clean room*).

Berdasarkan aplikasinya, kombinasi antara silikon dengan gelas merupakan jenis material yang paling banyak diperlukan untuk ditempelkan. Biasanya struktur mekanik dibuat di silikon sedangkan gelas diperlukan sebagai media enkapsulasinya. Teknik penempelan yang digunakan adalah bonding elektrostatis. Pada bagian selanjutnya dalam tulisan ini akan dijelaskan mekanisme, set-up, dan fenomena proses bonding elektrostatis silikon dengan gelas Pyrex 7740.

**2. MEKANISME PROSES PENEMPELAN SECARA ELEKTROSTATIK**

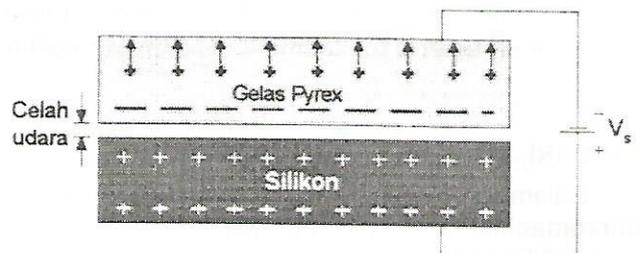
Sejak pertama kali dikenalkan oleh Wallis dan Pomerantz [10], bonding elektrostatis telah menjadi teknik yang sangat populer untuk menempelkan substrat dan untuk enkapsulasi divais-divais mikromekanik. Bidang  $\mu$ -TAS (Micro Total Analysis System) adalah yang paling banyak memanfaatkan teknologi bonding elektrostatis. Kelebihan dari cara ini dibandingkan dengan yang lain terletak pada kesederhanaan cara *set-up*, dan kemudahan dalam melakukan *alignment* karena sifat transparan dari gelas yang digunakan.

Secara prinsip, proses bonding elektrostatis antara silikon dengan gelas dimulai dengan meletakkan permukaan yang dipoles dari silikon berhadapan dengan permukaan yang dipoles dari gelas. Secara skematik, set-up peralatannya bisa dilihat dalam Gambar 1. Untuk mendapatkan suhu proses antara 300 -500 °C, bisa digunakan pemanas (*hotplate*) dengan permukaan yang dilapisi keramik sebagai insulasi. Diatas permukaan pemanas diletakkan sebuah pelat metal sebagai bahan konduktor bagi silikon. Kemudian tegangan DC antara 100 - 1000 V dihubungkan pada kedua substrat dengan posisi silikon sebagai anoda (elektroda positif) dan gelas sebagai katoda (electroda negatif). Elektroda untuk silikon bisa dihubungkan langsung ke pelat metal, sementara untuk gelas bisa menggunakan jarum agar pengamatan terhadap struktur mikromekanik di silikon masih bisa dilakukan selama proses bonding berlangsung.



Gambar 1. Skematik set-up bonding elektrostatis silikon dengan gelas

Mekanisme proses penempelan silikon dengan gelas, terutama dengan jenis Pyrex 7740, secara elektrostatis bisa dijelaskan sebagai berikut. Pada suhu tinggi, tetapi masih dibawah titik leleh dari gelas Pyrex, mobilitas ion-ion positif (ion sodium) dalam gelas Pyrex meningkat. Dengan adanya beda potensial, ion-ion positif tersebut akan tertarik ke arah katoda, dimana mereka akan dinetralisasi. Dalam proses perpindahannya, ion-ion positif tersebut akan meninggalkan ion-ion negatif di dalam gelas Pyrex, yang mengakibatkan terjadinya penurunan potensial. Gradient potensial paling besar terjadi di permukaan gelas yang berdekatan dengan permukaan silikon. Kedua substrat kemudian akan bersifat seperti sebuah pelat kapasitor sejajar dengan sebagian besar beda potensial terjadi pada celah udara sempit (beberapa mikron) diantara keduanya. Medan listrik yang dihasilkan diantara kedua permukaan tersebut akan cukup kuat untuk menarik mereka hingga menempel jadi satu. Proses penempelan ini biasanya ditandai dengan munculnya daerah-daerah yang berwarna keabu-abuan di permukaan silikon - gelas.



Gambar 2. Mekanisme penempelan silikon - gelas Pyrex secara elektrostatis

**3. PEMILIHAN JENIS GLAS**

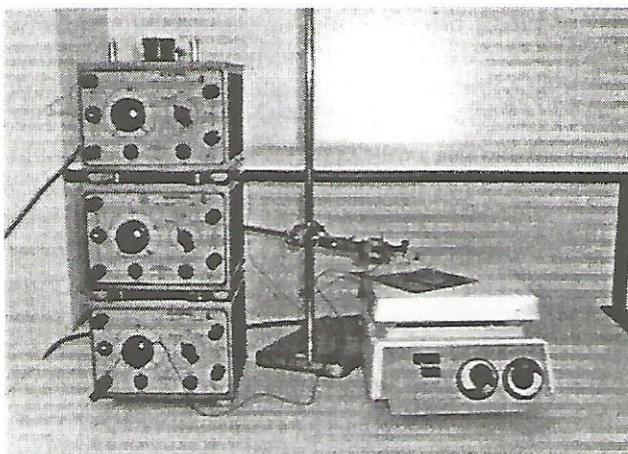
Dalam proses penempelan silikon - gelas secara elektrostatis, jenis gelas yang digunakan akan sangat menentukan kualitas bonding yang dihasilkan. Faktor utama yang harus diperhatikan adalah nilai koefisien ekspansi panasnya (*coefficient of thermal expansion / TCE*) yang harus mendekati TCE silikon pada saat proses penempelan dilakukan. Perbedaan TCE bisa menyebabkan struktur silikon - gelas melengkung sete-

lah proses bonding, atau bahkan mengakibatkan gagal-nya proses penempelan itu sendiri. Dalam hal ini, beberapa gelas produksi Corning dengan nomor 7740 (Pyrex), 7070, 1729, dan 9626, serta produksi Schott dengan nomor 8330 bisa digunakan karena TCE nya sesuai dengan TCE silikon.

Selain itu, resistivitas dari gelas juga berpengaruh terhadap proses bonding. Ada kalanya permukaan silikon yang dibonding telah dilapisi dengan SiO<sub>2</sub> sebagai bahan isolator bagi jalur metalisasi. Gelas dengan resistivitas rendah akan memerlukan tegangan dan temperatur yang lebih tinggi dalam proses bonding dengan silikon yang teroksidasi [9]. Hal ini disebabkan akan terjadinya penurunan tegangan yang cukup besar pada lapisan SiO<sub>2</sub> tersebut. Oleh karena itu, gelas Corning 7070 yang memiliki resistivitas tinggi mungkin lebih baik dari gelas Pyrex 7740, walaupun TCE-nya tidak sebagus 7740.

**4. EKSPERIMENTAL**

Dalam penelitian yang telah dilakukan, gelas Pyrex 7740 telah berhasil dibonding dengan substrat silikon. Set-up instrumen yang digunakan bisa dilihat dalam Gambar 3. Tiga buah DC power supply digunakan untuk menghasilkan tegangan maksimum 750 V, dengan arus dibawah 8 mA. Kedua substrat diletakkan di atas sebuah hotplate yang suhunya bisa diatur hingga 550 °C.



Gambar 3. Set-up instrumen yang digunakan dalam proses bonding elektrostatik silikon – Pyrex 7740

Apapun jenis gelas yang digunakan, salah satu persyaratan agar penempelan kedua substrat terjadi dengan sempurna adalah bersihnya kedua permukaan dari partikel (debu). Pengaruh pengotoran akan dijelaskan dalam bagian fenomena. Untuk menjamin kebersihan permukaan kedua substrat, prosedur proses penempelan telah ditempuh dengan hati-hati. Adapun prosedur proses bonding elektrostatik yang digunakan dalam penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 1, yang

mencakup pengamatan, pembersihan, penempatan substrat, pengaturan suhu, dan pemberian tegangan.

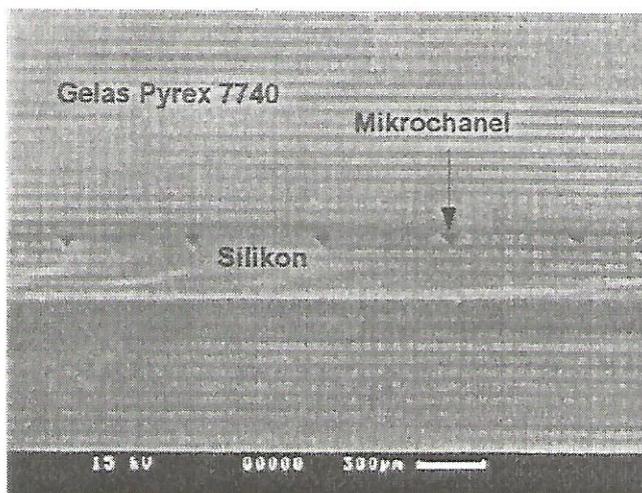
Tabel 1. Prosedur proses bonding elektrostatik

No	STEP	DESCRIPTION
1	Inspection	Visual inspection under microscope for surface defects on both silicon and glass
2	Cleaning	Spray both silicon and glass with DI water followed by dry nitrogen gas
3	Positioning	Position the silicon on top of the hotplate using the metal plate followed by the glass on top of the silicon
4	Electrode connection	Connect the metal plate to the positive electrode (anode) and the glass to the negative electrode (cathode) of the power supply
5	Heating	Turn on the hotplate and set it to 450 °C
6	Apply voltage	Once the temperature reaches 450 °C, turn on the DC power supply. Gradually increase its voltage until it reaches 500-750 V
7	Observation	The bonding process can be followed visually by the formation of a gray area. Depending on the area to be bonded, it may take up to 8 hours for this particular condition to appear completely
8	Inspection	Visually inspect under microscope the resulting bonding quality, especially check for any void between column tracks

Prosedur di atas telah berhasil diaplikasikan untuk menempelkan substrat silikon, dengan luas area 5 x 5

cm<sup>2</sup> dengan gelas Pyrex 7740. Dalam substrat silikon tersebut telah dibentuk mikrochanel dengan lebar 100 mm dan panjang 125 cm, sebagai bagian dari sebuah divais mikrofluida [11].

Gambar 4 menunjukkan hasil penempelan silikon dengan gelas Pyrex 7740, dimana telah dibutuhkan waktu sekitar 8 jam untuk luas area yang telah disebutkan di atas, dan ketebalan gelas 1.6 mm. Diperkirakan bahwa ketebalan gelas yang digunakan juga memiliki pengaruh terhadap lamanya proses penempelan, selain suhu dan tegangan yang diberikan. Untuk kondisi proses yang sama, semakin tebal gelas, akan semakin lama waktu yang diperlukan untuk penempelan.



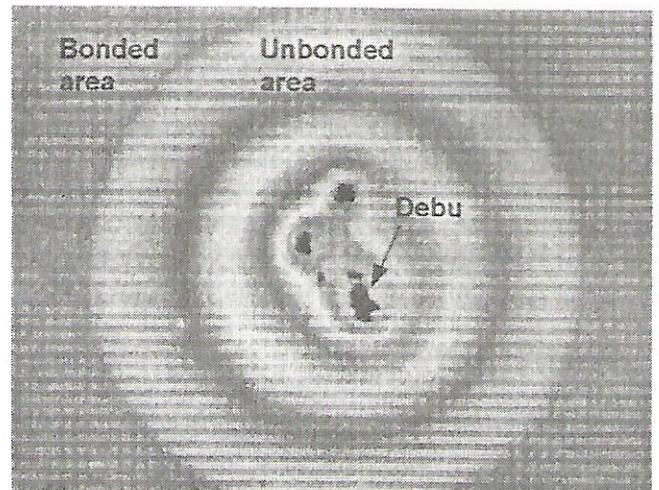
Gambar 4. Hasil penempelan substrat silikon dengan gelas Pyrex 7740 dengan cara bonding elektrostatik

Pengujian terhadap kualitas bonding silikon - Pyrex 7740 telah dilakukan dengan mengalirkan gas dan cairan ke dalam mikrochanel. Pengamatan terhadap kemungkinan terjadinya penempelan yang tidak sempurna bisa dilakukan secara visual pada saat cairan mengalir dalam mikrochanel. Proses pengujian ini dilakukan sebagai wujud pengaplikasian mikrochanel tersebut sebagai divais mikrofluida [11]. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa proses bonding elektrostatik yang diterapkan telah terbukti menghasilkan tempelan kedua substrat yang hermetik (air tight).

**5. FENOMENA PROSES**

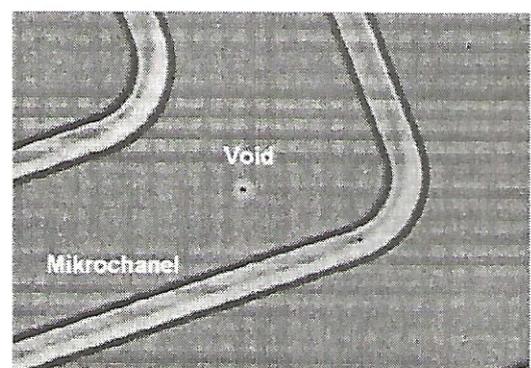
Pada suhu dan tegangan yang tinggi, proses penempelan antara silikon dengan Pyrex 7740 akan terjadi secara instan. Daerah yang telah menempel bisa diarnati secara visual dengan indikasi warna yang berubah keabu-abuan. Daerah mana yang pertama kali terjadi penempelan akan ditentukan oleh jarak celah antara kedua substrat. Diperkirakan daerah dengan jarak celah paling kecil akan mengalami proses penempelan lebih cepat dibandingkan dengan daerah lain. Biasanya,

jarak terdekat ini berada di sekitar elektroda negatif pada gelas, sehingga daerah ini pula yang biasanya menempel lebih cepat. Oleh karena itu, untuk mempercepat proses penempelan substrat yang luas, elektroda negatif sebagai titik kontak pada gelas bisa diubah-ubah lokasinya [12].



Gambar 5. Fenomena void akibat adanya debu dalam proses bonding elektrostatik

Selain jarak celah, kebersihan substrat juga sangat penting dalam proses bonding elektrostatik. Adanya partikel atau debu dapat menyebabkan gagalnya penempelan kedua substrat. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 5, fenomena ini disebut void, dan keberadaannya sangat tidak diinginkan karena bisa mempengaruhi struktur mikromekanik yang ada di substrat silikon. Walaupun proses pembersihan substrat telah dilakukan dengan de-ionised (DI) water dan gas nitrogen, keberadaan partikel seperti ini sangat sulit dihindari pada substrat dengan luas area yang besar. Sebetulnya, fenomena void masih bisa ditoleransi selama keberadaannya tidak bersinggungan langsung dengan struktur mikromekanik yang bersangkutan. Hal ini dicontohkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Keberadaan void yang masih bisa ditoleransi

## 6. KESIMPULAN

Tulisan ini telah membahas mekanisme, *setup*, dan fenomena penempelan substrat silikon dengan gelas Pyrex 7740 dengan cara bonding elektrostatik. Kedua substrat yang akan ditempelkan dipanaskan dengan suhu 300 -500 °C, dan diberikan tegangan DC antara 100 - 1000 V. Dengan cara ini, beberapa substrat silikon dan Pyrex 7740 telah berhasil ditempelkan. Kualitas tempelan yang dihasilkan bersifat hermetik, dan terbukti mampu menahan aliran gas maupun cairan dalam volume yang sangat kecil. Sangat diyakini bahwa metode yang diterapkan disini akan banyak diaplikasikan dalam pembuatan divais miniatur di masa yang akan datang.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gravesen, P., Branebjerg, J. & Jensen O. S., 'Microfluidics - a review', *J. Micromech. Microeng.*, vol. 3, 1993, pp. 168-182.
- [2]. Manz, A., Harrison, D. J., Verpoorte, E. M. J., Fettinger, J. C., Paulus, A., Lüdi, H. & Widmer, H. M., Planar chips technology for miniaturization and integration of separation techniques into monitoring systems: Capillary electrophoresis on a chip', *J. Chromatography*, vol. 593, 1992, pp. 253-258.
- [3]. Manz, A., Miyahara, Y., Miura, J., Watanabe, Y., Miyagi, H. & Sato, K., Design of an open-tubular column liquid chromatograph using silicon chip technology', *Sensors. Actuators B1*, 1990, pp. 249-255.
- [4]. Matzke, C. M., Kottenstette, R. J., Casalnuovo, S. A., Frye-Mason, G. C., Hudson, M. L., Sasaki, D. Y., Manginell, R. P. & Wong, C. C., 'Microfabricated silicon gas chromatographic micro-channels: fabrication and performance', in *Micromachining and Microfabrication Process Technology IV*, Proc. SPIE, vol. 3511, 1998, pp. 262-268.
- [5]. Shoji, S. Matsumoto, Y. & Eshashi, M., 'Absolute pressure sensors by air-tight electrical feedthrough structure', *Sensors. Actuators*, vol. A21-A23, 1990, pp. 1048-1052.
- [6]. Seidl, H., Riedel, H., Kolbeck, R., Muck, G., Kupke, W. & Koniger, M., 'Capacitive silicon accelerometer with highly symmetrical design', *Sensors. Actuators*, vol. A21 -A23, 1990, pp. 312-315.
- [7]. Shoji, S. & Eshashi, M., 'Bonding and assembling methods for realising a mTAS', in *Micro Total Analysis Systems*, eds. A. van den Berg & P. Bergveld, KJuw Academic, the Netherlands, 1995, pp. 165-179.
- [8]. Barth, P. W., 'Silicon fusion bonding for fabrication of sensors, actuators and microstructures', *Transducers '89, Proc. 5<sup>th</sup> Int Conf. on Solid-State Sensors Actuators and Eurosensors III*, vol. 2, 1990, pp. 919-926.
- [9]. Wang, H. Y., Foote, R. S., Jacobson, S. C., Schneibel, J. H. & Ramsey, J. M., 'Low temperature bonding for microfabrication of chemical analysis devices', *Sensors. Actuators B*, vol. 45, 1997, pp. 199-207.
- [10]. Wallis, G. & Pomerantz, D. L., 'Field assisted glass-metal sealing', *J. Appl. Phy.*, vol. 40, no. 10, 1969, pp. 3946-3949.
- [11]. Wiranto, G., Haskard, M. R., Mulcahy, D. E., Davey, D. E. & Dawes, E. E., 'Microengineered open tubular columns for GC analysis', in *Electronics and Structures for MEMS*, N. W. Bergmann, O. Reinhold, N. C. Tien, Editors, Proc. SPIE, vol. 3891, 1999, pp. 167-176.
- [12]. Lin, Y. - C., Huang, M. -Y., Young, K. -C., Chang, T. - T. & Wu, C. -Y., 'A rapid micro-polymerase chain reaction system for hepatitis C virus amplification', *Sensors. Actuators B*, vol. 71, 2000, pp. 28.

# APLIKASI PASTA DIELEKTRIK PADA THICK FILM HIBRID

Lilis Retnaningsih \*)

## ABSTRACT

*One of the main component to make device using Hybrid Thick Film Technology is paste. Selection of paste materials is based on the function and requirement of each device. There are three paste types that can be used based on their functionality, that is, conductor paste, resistor paste and dielectric paste. The dielectric paste itself has many different functions i.e. as capacitor, crossover and multilayer, encapsulation, hermetic seals and packaging.*

*Such different function is effected by material compositions of each dielectric paste.*

## INTISARI

*Pada proses Thick Film Hibrid pasta merupakan bahan utama pembuatan komponen. Adapun pemilihan bahan pasta tergantung pada fungsi dan kebutuhan masing-masing komponen. Menurut fungsinya terdapat tiga jenis pasta yang biasa digunakan, yaitu pasta konduktor, pasta resistor dan pasta dielektrik. Pasta dielektrik itu sendiri mempunyai beberapa fungsi yang berbeda, diantaranya sebagai kapasitor, crossover dan multilayer, enkapsulasi dan packaging.*

*Perbedaan fungsi tersebut dipengaruhi oleh komposisi bahan yang membentuk masing-masing pasta dielektrik tersebut.*

## I. PENDAHULUAN

Teknologi Thick Film Hybrid merupakan teknologi pembuatan komponen dengan mencetak suatu bahan pasta di atas suatu keramik (substrat alumina) yang dilanjutkan dengan pembakaran [1]. Komponen yang dapat dicetak di atas substrat tersebut merupakan komponen pasif yang berupa konduktor, resistor, kapasitor dan lapisan pelindung. Ketiga komponen tersebut membutuhkan jenis pasta yang berbeda, dan perbedaan tersebut ditentukan oleh komposisi bahan yang digunakan.

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI  
Jl. Cisitua No. 21 / 154 D Bandung 40135

Macam-macam logam yang digunakan sebagai bahan pasta adalah kombinasi dari perak, emas, paladium, ruthenium, platinum dan macam-macam bahan dari gelas yang lain. Untuk pasta konduktor sebagian besar biasanya menggunakan kombinasi perak-paladium, yang mana perak memberikan konduktivitas yang baik sedangkan paladium menaikkan resistansi konduktor. [1]

Pasta resistor banyak mengandung karbon dan biasanya ditambahkan perak, agar resistansi dari film resistor yang dihasilkan stabil terhadap perubahan temperatur. Sedangkan untuk pembuatan kapasitor, crossover, dan lapisan pelindung diperlukan pasta dengan konstanta dielektrik yang tinggi. Bahan pasta ini berasal dari senyawa gelas dan organik, ditambah dengan bahan aditif yang berfungsi sebagai penyekat, dan bahan alumina (seperti Barium Titanate) agar dielektriknya lebih tinggi.

Pasta dielektrik berfungsi sebagai isolator atau penyekat antara dua konduktor (atas dan bawah), agar tidak terjadi koneksi antar kedua konduktor tersebut.

Pemilihan bahan dan proses pembuatan lapisan dielektrik harus benar-benar teliti, karena dapat mengakibatkan kerusakan pada lapisan dielektrik, sedangkan peran lapisan ini sangat besar dalam suatu rangkaian thick film hibrid. Thick film kapasitor selalu mempunyai konfigurasi lapisan paralel, dimana dua konduksi layer dipisahkan oleh sebuah lapisan dielektrik yang sesuai besarnya.

Besarnya kapasitansi adalah fungsi dari overlaping elektroda area A, ketebalan t, dan konstanta dielektrik K, atau

$$C = 0,225 KA/t \dots\dots\dots (1)$$

Pada dasarnya proses pembuatan lapisan dielektrik kapasitor dan crossover adalah sama, yaitu dilakukan setelah pencetakan lapisan konduktor bawah, dengan kapasitansi crossover ditentukan oleh :

$$C(pf) = 0,225 Er (1 + 0,8h) (W + 0,8h)/h \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : Er = konstanta dielektrik, h = ketebalan dielektrik, l = panjang dielektrik, w = lebar dielektrik [1].

## II. KOMPOSISI BAHAN DIELEKTRIK THICK FILM

### 2.1 Dielektrik Pada Kapasitor

Kapasitor thick film dibuat dengan mencetakkan lapisan dielektrik diantara dua lapisan konduktor. Bahan dielektrik yang biasa digunakan adalah campuran gelas dan ferroelektrik. Pemilihan pasta yang tepat sangat diperlukan dalam pembuatan kapasitor. Pada kapasitor thick film terjadi perpindahan panas yang besar antara pasta dan substrat (Alumina). Karena alasan inilah maka dipilih bahan gelas untuk mengurangi rata-rata koefisien perpindahan panasnya. Selain bahan tersebut di atas, pada dielektrik juga dibutuhkan bahan adhesive yang baik, sehingga dielektrik dapat melekat dengan baik pada konduktor atas dan bawah.

### 2.2. Dielektrik Pada Crossover dan Multilayer

Dielektrik crossover maupun multilayer adalah dielektrik yang berfungsi sebagai lapisan Isolator diantara dua konduktor yaitu konduktor lapisan atas dan lapisan bawah. Bahan pasta yang dipergunakan sebagai dielektrik crossover maupun multilayer antara lain harus memiliki sifat bebas, dari Alkali. Hal ini penting untuk memperkecil perpindahan ion-ion Alkali seperti Sodium yang aktif dalam bidang elektrik dan akan dapat menurunkan sifat elektrik pada crossover. [1]

Lapisan dielektrik untuk crossover dan multilayer harus memiliki konstanta dielektrik yang kecil, untuk memperkecil efek kapasitansi yang terjadi. Lapisan crossover harus memberi sifat isolasi yang baik antara konduktor atas dan bawah, jika penyekatan tidak berfungsi dengan baik konduktor lapisan atas akan kontak dengan konduktor lapisan bawah, demikian juga dengan tegangan pada rangkaian akan berubah. Bahan yang membentuk tidak boleh memiliki konstanta dielektrik terlalu tinggi karena akan mengganggu kesetabilan rangkaian. Untuk bahan crossover dibutuhkan bahan yang mengandung glass keramik yang tinggi, agar dalam tahap pembakaran mendapat hasil yang baik. Bahan pasta yang biasanya dipakai adalah Barium Titanate dan Lead Zirconate Titanate, bahan Barium Titanate biasanya diberi zat Stontium, Calcian atau timah. Glass keramik dapat juga dibakar bersamaan dengan semua jenis konduktor, bahan yang digunakan harus mempunyai viskositas yang rendah terhadap temperatur pembakaran, tidak meleleh pada saat proses pembakaran. [1]

Crossover ataupun multilayer harus mempunyai ekspansi koefisien panas yang sesuai dengan substrat Alumina. Pasta konduktor yang dipergunakan sebaiknya tidak mengandung Frits atau flux yang dapat bereaksi dan berdifusi dengan dielektrik yang dapat menyebabkan panas, gelembung dan lubang pada permukaan, dan hal ini dapat menyebabkan terjadinya hubungan pendek antara kedua konduktor atas dan bawah.

Sebagai isolator pada multilayer, dielektrik pun harus mempunyai koneksi yang baik dengan resistor. Pasta-pasta yang terlibat dalam struktur multilayer harus diperlakukan sebagai komponen interaktif dan dinilai sebagai kondisi multilayer, karena kondisi inilah sehingga pemilihan pasta konduktor pun sangat penting.

Pada crossover dan multilayer besarnya konstanta dielektrik menentukan luas area kapasitansi atau kopling. Ada beberapa pasta yang menunjukkan dispersi dielektrik, oleh karena untuk menghasilkan range frekuensi yang diinginkan harus dipilih pasta yang tepat.

### 2.3 Dielektrik Pada Enkapsulasi

Untuk mengurangi dampak uap dan kelembaban atmosfer pada thick film resistor, digunakan lapisan dengan titik lebur rendah untuk melindungi resistor. Bahan pasta yang digunakan banyak mengandung inorganik padat dalam organik yang memiliki temperatur rendah. Proses pencetakkan pasta dielektrik enkapsulasi dilakukan setelah proses pencetakan seluruh pasta konduktor dan resistor.

Bahan pasta enkapsulasi yang digunakan haruslah yang memiliki temperatur pembakaran tidak melebihi 500 °C, yaitu di bawah temperatur pembakaran konduktor dan resistor, hal ini agar tidak memberi dampak pada karakteristik resistor yang telah dicapai, selain itu berfungsi juga sebagai proteksi resistor pada proses trimming.

## III. PROSES PEMBUATAN LAPISAN DIELEKTRIK DI ATAS SUBSTRAT

### 3.1 Disain Dielektrik

Pada pembuatan dielektrik dibutuhkan ketelitian yang baik, karena akan mempengaruhi pada harga dan hasil yang diperoleh.

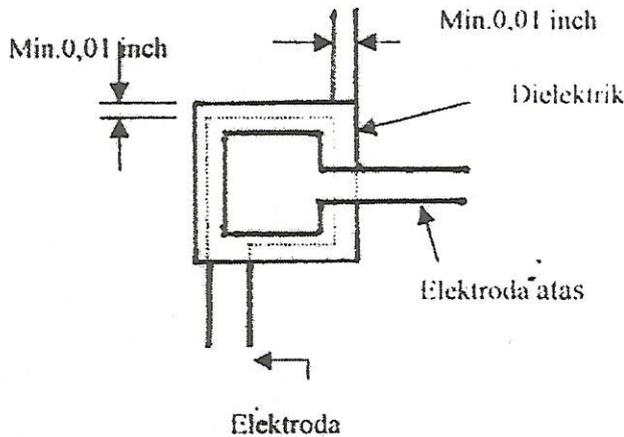
Pada pembuatan kapasitor mempunyai syarat sebagai berikut

- Dalam mencetak dielektrik diatas elektroda pertama (bawah) harus lebih dari masing masing sisi 0,01 inch
- Letak elektroda atas harus sepenuhnya diatas elektroda bawah

Letak dielektrik pada kapasitor dapat dilihat pada gambar (1) : [1]

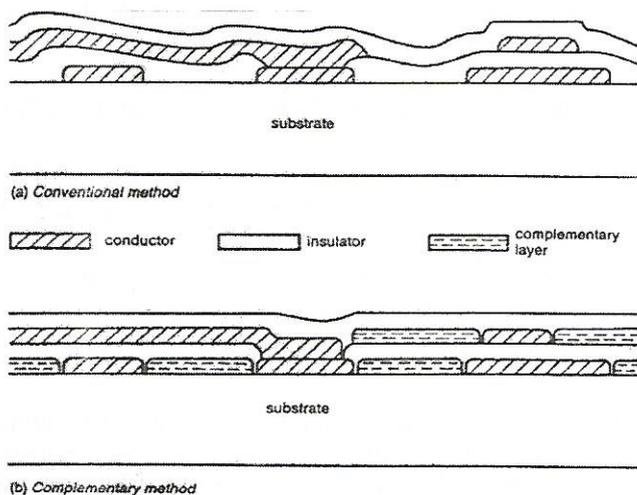
Salah satu kelebihan dari teknologi thick film hibrid adalah dapat digunakannya rangkaian multilayer, yang terdiri lapisan alternatif dari konduktor dan isolator dengan hubungan antar layer menggunakan hubungan via. Ada dua metoda pada pembuatan multilayer yaitu metoda konvensional dan metoda komplementer. Pada metoda konvensional lapisan dielektrik lebih banyak berhubungan langsung dengan substrat, sehingga lapisan yang dihasilkan akan mengalami banyak gelom-

bang karena tidak adanya lapisan perantara diantara kedua konduktor yang berdekatan. Metoda ini dapat menyebabkan jumlah layer terbatas, karena semakin banyak layer dapat terjadi patahan atau kerusakan pada lapisan dielektrik seperti terlihat pada gambar (2) [4].



Gambar 1. Desain Kapasitor

Pada metoda komplementer yaitu dicetakkannya lapisan dielektrik dengan konstanta yang rendah diantara dua konduktor yang sejajar atau berdekatan untuk mengisi daerah yang kosong sehingga permukaan konduktor lebih rata, dan pada saat dicetakkan lapisan dielektrik di atasnya akan memperkecil gelombang dan kerusakan. Pada metoda ini dibutuhkan jarak ruang 25-40 micron antara konduktor dengan dielektrik seperti dapat dilihat pada gambar (2) di bawah ini : [4]



Gambar 2. Jarak Ruang 25 - 40 mikron antara Konduktor

Disain lapisan dielektrik untuk encapsulasi adalah mengikuti bentuk dari seluruh rangkaian yang tercetak di atas substrat, kecuali pada bagian kaki atau konduktor lain yang nantinya akan dihubungkan dengan rangkaian

lain seperti pemasangan komponen aktif SMD.

### 3.2 Persiapan Substrat

Pada thick film hibrid bahan substrat yang biasa dipakai polycrystalline alumina,  $Al_2O_3$ , Beryllia,  $BeO$ , Steatites dan Titanates.

Fungsi substrat pada thick film adalah :

- Sebagai penunjang interkoneksi dan perakitan divais
- Sebagai isolator dan tempat pelapisan serta pembentukan pola jalur konduktor dan komponen pasif
- Media penyalur panas dari rangkaian
- Sebagai lapisan dielektrik untuk rangkaian-rangkaian frekuensi tinggi

Sifat yang harus dimiliki suatu substrat antara lain :

- Kestabilan dimensi
- Tahan terhadap gesekan
- Konstanta dielektrik yang rendah
- Permukaan rata
- Stabilitas kimia yang baik dan kecocokan dengan pasta
- Penghantar panas yang baik
- Daya serap yang rendah
- Sebagai isolator yang baik

Kebersihan substrat sebelum proses pencetakan sangat penting, yaitu untuk menghilangkan kontaminasi dari permukaan substrat yaitu harus bersih dan bebas dari debu dan lemak. Kebersihan substrat harus terus dijaga terutama setelah proses pencetakan konduktor, karena setelah proses ini pencetakan dielektrik dilakukan. Diusahakan agar setiap selesai pencetakan konduktor, keadaan permukaan komponen baik pada konduktor maupun pada substratnya harus tetap bersih.

Fungsi lapisan dielektrik sangat besar dalam suatu rangkaian thick film, baik sebagai lapisan kapasitor maupun lapisan crossover, karena akan berhubungan langsung dengan lapisan konduktor ataupun resistor sehingga harus dijaga dan diperhatikan keberadaannya. Lapisan ini sangat rentan terhadap kerusakan terutama sekali oleh lubang-lubang yang ditimbulkan dari kotoran dan debu apabila pada saat proses tidak benar-benar bersih, sering juga disebabkan oleh udara yang terjebak, pengabaian terhadap mesh screen yang digunakan kekasaran permukaan konduktor, kebasahan pada konduktor dan kesalahan pada proses printing.[1]

### 3.3 Penggunaan Pasta

Seperti yang telah diungkapkan di atas bahwa bahan pembentuk pasta berasal dari campuran dua atau lebih zat kimia, hal ini dapat mengakibatkan ketidak homogenan larutan karena didiamkan beberapa lama. Sehingga sebelum menggunakan pasta perlu dihomogenkan terlebih dahulu, yaitu dengan cara diaduk menggunakan spatula, pengadukan juga dapat dilakukan dengan cara pemutaran pada wadah sehingga terjadi

rotasi, jika pengadukan terlalu cepat dapat mengakibatkan udara masuk ke sistem pasta, sehingga dapat merubah viscositas larutan. Ketidakhomogenan larutan pasta ini dapat menimbulkan hasil yang kurang baik pada hasil pencetakan, perubahan viscositas dapat menyebabkan timbulnya gelembung-gelembung udara pada hasil cetakan, sehingga menyebabkan lapisan menjadi berlubang setelah proses pembakaran, lubang yang ditimbulkan ini menyebabkan kebocoran pada lapisan dielektrik.

Suhu penyimpanan pasta juga harus diperhatikan yaitu sekitar  $10^{\circ}\text{C}$  -  $30^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban 30% - 90%. [1]

### 3.4 Proses Screen Printing

Screen printing adalah proses pencetakan suatu pasta ke permukaan substrat menurut pola yang ditentukan [2]. Parameter yang penting untuk proses screen printing pada pasta dielektrik agar mendapatkan hasil yang baik antara lain adalah :

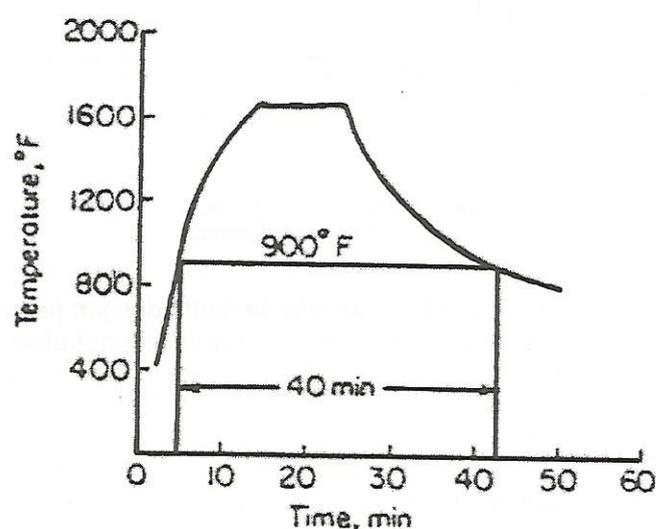
- Kecepatan gerak squeegee
- Tekanan squeegee
- Jarak antara screen dan substrat (snap off)
- Bahan dan sudut squeegee
- Viskositas dan ukuran squeegee
- Ukuran mesh screen
- Sudut screen

Ketebalan hasil cetakan yang baik biasanya 0,0008 in - 0,0001 in, ketebalan film hasil cetakan ditentukan juga oleh viscositas pasta. Ukuran mesh screen biasanya 105-325 mesh dan untuk hasil yang lebih baik biasanya dipakai ukuran 200 mesh, jika ukuran screen kurang dari 106 mesh, akan terjadi kekosongan atau ketidakrataan pada hasil cetakan. Viscositas pasta yang diharapkan sekitar 100000 - 150000 cp, jika viscositas kurang dari yang diharapkan maka hasil cetakan akan terlalu tipis sehingga kebocoran akan mudah terjadi, dan apabila viscositas lebih besar dari yang diharapkan maka hasil cetakan akan lebih tebal, hal ini akan mempengaruhi pada pencetakan konduktor kedua yang dapat mengakibatkan hasil cetakan yang tidak rata atau pecah.

Squeegee adalah salah satu komponen dari mesin screen printing yang berfungsi sebagai penyapu pasta pada screen untuk dicetakkan diatas substrat, bahan squeegee yang digunakan mempunyai tingkat kekerasan optimum antara 50-60 duro, sedangkan bentuk squeegee sedemikian rupa sehingga memiliki sudut dengan bidang horizontal 450-600. Tekanan squeegee yang diberikan tergantung pada jarak snap off. Pencetakan dielektrik dilakukan setelah proses pembakaran konduktor pertama (bawah). Kecuali untuk pencetakan enkapsulasi dilakukan setelah seluruh konduktor dan resistor dicetak dan dibakar, karena suhu pembakaran pada pasta enkapsulasi lebih rendah.[1]

### 3.5 Drying dan Firing

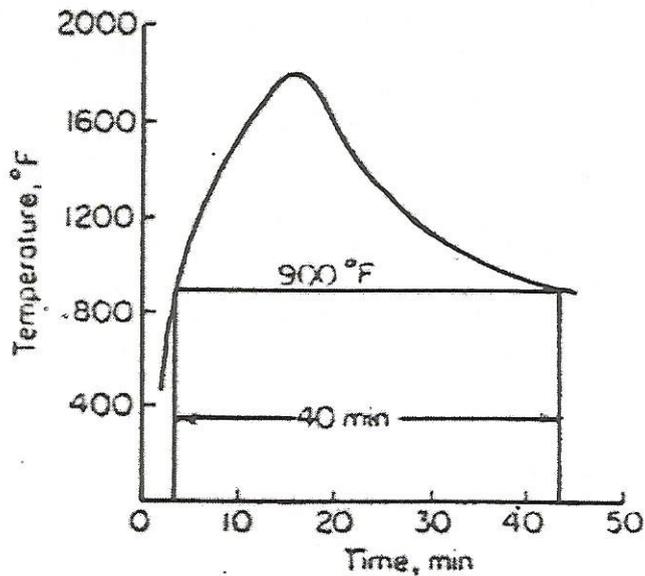
Setelah proses pencetakan selesai, film harus dibiarkan pada temperatur ruangan selama kurang lebih 15 menit, hal ini dimaksudkan agar pasta yang tercetak mempunyai permukaan yang rata, setelah penguapan selesai film dipanaskan pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  selama 10 menit untuk menghilangkan larutan organik, alat yang dapat digunakan untuk drying antara lain: hotplat, oven satu zone atau lampu infra merah. Setelah proses drying film dimasukkan ke dalam furnace yang memiliki 3 zone periodik untuk pembakaran. Tipe furnace pembakaran untuk temperatur puncak tergantung pada struktur film yang membentuk dan material yang diproses, hal ini dapat dilihat pada gambar (3) [1]



Gambar 3. Zone periodik pembakaran pada pasta dielektrik crossover

Secara umum dielektrik-dielektrik, partikel gelas dibakar dengan range diatas temperatur yang tergantung pada komposisinya, yaitu pada temperatur  $740^{\circ}\text{C}$  -  $1050^{\circ}\text{C}$ . Untuk sistem keramik yang lebih tinggi temperaturnya akan lebih tinggi tergantung pada batas yang dapat ditolerir oleh metal tersebut. Bagian yang terpenting pada sistem firing adalah kemampuan untuk menghasilkan siklus yang konsisten.

Berbeda dengan dielektrik pada kapasitor, crossover dan multilayer, pada lapisan enkapsulasi pembakaran dilakukan pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  yaitu dibawah suhu pembakaran konduktor, resistor maupun dielektrik, hal ini agar tidak mempengaruhi atau merubah harga resistor yang telah dicapai. Gambar periodik secara umum pada tipe furnace untuk pasta yang lain seperti gambar (4) dibawah ini [1]



Gambar 4. Zone periodik pembakaran pada pasta dielektrik kapasitor

Pada pembuatan kapasitor berbeda dengan pembuatan crossover, multilayer maupun enkapsulasi, karena pada kapasitor komponen yang tercetak harus mempunyai harga kapasitansi. Harga kapasitansi yang diinginkan salah satunya dipengaruhi oleh ketebalan hasil cetakan, sehingga untuk mencapai harga yang sesuai, setelah proses pembakaran dapat dilakukan proses trimming yaitu untuk menaikkan harga kapasitansi sesuai yang diinginkan.

#### IV. PEMBAHASAN HASIL

Dari hasil uji kerja yang selama ini telah dilakukan di laboratorium hibrid dan komponen aktif memberikan beberapa analisa. Analisa komponen dilakukan yaitu pada, saat selesai pembakaran masing-masing komponen, karena pada hasil pembakaran baru dapat diketahui suatu lapisan dielektrik tersebut hasilnya bagus atau terjadi kerusakan.

Pertama terjadinya patah pada lapisan konduktor atas, hal ini terjadi pada pembuatan komponen multilayer yang menggunakan metoda konvensional, sehingga terjadi hubungan langsung tanpa ada perantara disela-sela lapisan konduktor bawah, dan terjadi perbedaan ketinggian, terjadinya patah pada lapisan konduktor atas maupun dielektrik disebabkan juga dari sifat adhesive yang kurang bagus di antara dua pasta. Untuk mengatasi kerusakan pada metoda ini dapat dilakukan pencetakan lapisan dielektrik dua kali, sehingga lebih meratakan permukaan dielektrik dan memperkecil perbedaan ke-

tinggian, namun harus tetap memperhatikan maksimum ketebalan lapisan dielektrik.

Kedua terjadinya kebocoran pada lapisan dielektrik yaitu terjadi kontak antara konduktor atas dan konduktor bawah, hal ini terjadi pada lapisan dielektrik untuk crossover, multilayer dan kapasitor. Kasus kebocoran ini terjadi karena ketidakrataannya hasil cetakan, penyebabnya antara lain viskositas pasta yang digunakan terlalu tinggi sehingga daya lekatnya pada konduktor kurang bagus, pencetakan lapisan dielektrik terlalu tipis, adanya gelembung udara yang masuk ke dalam pasta dielektrik sehingga setelah proses pembakaran gelembung tersebut pecah. Agar kerusakan dielektrik tidak terlalu jauh, maka sebelum pencetakan konduktor kedua sebaiknya diadakan pemeriksaan pada lapisan dielektrik, dan jika terjadi kebocoran dapat dilakukan pencetakan ulang atau perbaikan viskositas pasta.

Ketiga terjadinya kerusakan pada lapisan dielektrik, kerusakan yang terjadi yaitu melelehnya lapisan dielektrik sehingga hanya sebagian lapisan konduktor bawah yang tertutup, kasus ini terjadi pada saat menggunakan pasta dielektrik untuk lapisan enkapsulasi pada suhu  $850^{\circ}\text{C}$ , karena pasta enkapsulasi hanya dapat dibakar pada suhu  $520^{\circ}\text{C}$  dan pasta ini tidak dapat digunakan sebagai lapisan dielektrik untuk crossover, multilayer maupun kapasitor.

#### V. KESIMPULAN

1. Pembuatan lapisan dielektrik pada kapasitor thick film diperlukan pemilihan bahan pasta yang tepat karena akan berhubungan dengan besarnya konstanta dielektrik yang diperlukan, untuk dielektrik kapasitor diperlukan konstanta dielektrik yang tinggi, karena akan mempengaruhi harga kapasitansi.
2. Untuk lapisan dielektrik pada crossover maupun multilayer pemilihan bahan tidak tergantung pada ketinggian konstanta dielektrik, karena fungsinya hanya sebagai penyekat dua konduktor atas dan bawah.
3. Pada bahan-bahan pasta dielektrik dibutuhkan bahan yang mengandung daya lekat yang baik terutama terhadap lapisan konduktor
4. Proses pencetakan lapisan dielektrik diatas konduktor harus benar-benar teliti, karena jika terjadi kesalahan dapat mengakibatkan kerusakan lapisan dan fungsinya kurang maksimal.
5. Bahan yang digunakan untuk dielektrik sebagai enkapsulasi harus mempunyai titik pembakaran yang lebih rendah dari konduktor maupun resistor, agar pada proses pembakaran tidak mempengaruhi harga resistor yang telah dicapai.

## DAFTAR PUSTAKA

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

# APLIKASI SALURAN SERAT OPTIK UNTUK PENGUMPULAN DATA SENSOR PADA SISTEM TELEMETRI

Syamsu Ismail \*)

## ABSTRACT

There are some impairments of cable or wire used for a transmission system. The impairments are the electromagnetic, and low frequency time varying magnetic or electric field interference which is very often taking place when the signal is being transmitted, high power loss, grounding system, lower speed for digital signal or lower bandwidth for high frequency application, etc. Therefore we have a lot of difficulties to send electric signal through the wire or coaxial cables. The interference of electromagnetic, and time varying magnetic field especially in industrial environment, high power transmitter area, and electrical relay station. The reason of difficulties is that the electromagnetic wave, and the time varying magnetic or magnetic field induces an electric current or voltage in the wire. The interference causes distortion and superposition to the real signal. As long as the transmission of the signal in electrical domain (voltage and current), to prevent the interference due to electromagnetic, Alternating Magnetic field, ground loop, lower speed, and core wire resistance is almost impossible. By converting the electric signal to the optical domain and than coupled to optical fiber to be sent to the receiver at far side, so the problems what have been mentioned can be prevented. We are using semiconductor light source to convert the electric to optical signal, and detector photo diode to convert back to the electric signal. We have designed an optical fiber transmission system to support Telemetry to collect data from some points of observation.

## INTISARI

Ada beberapa kelemahan penggunaan kawat atau kabel untuk sistem transmisi. Kelemahan tersebut adalah adanya interferensi gelombang elektromagnetik dan medan magnetik berubah yang sering terjadi selama sinyal dikirimkan, kehilangan daya cukup besar, sistem pentanahan, kecepatan rendah untuk sinyal digital atau

pita frekuensi sempit untuk sinyal dengan frekuensi tinggi, dan lain-lain. Oleh karena itu kita mempunyai beberapa kesulitan untuk mengirimkan sinyal melalui kawat atau kabel koaksial. Penyebab kesulitan adalah karena gelombang elektromagnetik dan medan magnetik berubah menginduksikan arus listrik ke dalam kawat. Gangguan tersebut mengakibatkan cacat pada sinyal, atau sinyal tumpang di atas sinyal sebenarnya. Selama pengiriman sinyal, dengan saluran transmisi, dalam domain listrik (arus, tegangan) maka gangguan elektromagnetik maupun titik pentanahan masih sangat dominan. Dengan mengkonversikan sinyal listrik ke dalam domain optik dan kemudian mengkopelkan sinyal optik tersebut ke dalam serat optik untuk dikirimkan ke ujung jauh penerima, maka kesulitan seperti yang disebutkan di atas dapat dihindari. Konversi sinyal listrik menggunakan sumber cahaya semikonduktor, dan mengkonversikan kembali ke dalam sinyal listrik dengan menggunakan dioda foto detektor. Telah dirancang suatu jaringan dengan transmisi serat optik untuk mendukung sistem telemetri dalam mengumpulkan sinyal sensor dari beberapa titik pengamatan.

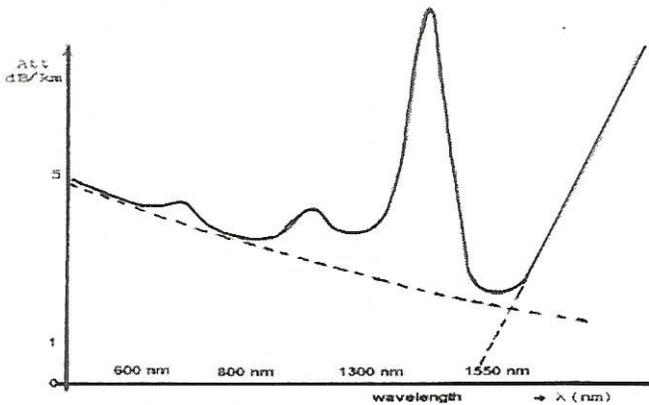
## 1. PENDAHULUAN

Jaringan transmisi dalam lingkungan dengan intensitas gangguan medan elektromagnetik dan medan magnetik bervariasi tinggi, seperti di lingkungan industri, pemancar berdaya tinggi, dan lain-lain, tidak dapat lagi menggunakan saluran dengan kawat biasa maupun kabel koaksial yang sederhana. Penggunaan kawat sebagai saluran transmisi dalam lingkungan dengan *EMI* tinggi, maka kawat tersebut dapat berfungsi seperti antena penerima yang mengakibatkan masuknya gangguan tersebut ke dalam sinyal yang dikirimkan. Selain gangguan yang diakibatkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik dan medan magnetik atau listrik berubah, penggunaan kawat paralel maupun koaksial memungkinkan terjadi gangguan karena adanya perbedaan titik pentanahan atau *ground*, atau adanya perbedaan potensial pada kedua titik tersebut, disebut juga masalah *ground loop* [1,2,3]. Gangguan karena

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkoma-LIPI,  
Jl. Cisitubanda No. 21 / 154 D Bandung 40135

perbedaan titik pentanahan atau karena *ground loop* biasanya berupa derau frekuensi rendah, dapat juga frekuensi jala-jala masuk menjadi *hum noise*. Dalam sistem transmisi optik tidak diperlukan *ground loop*, karena sinyal yang disalurkan adalah seberkas cahaya. Oleh karena itu di dalam sistem transmisi dari lokasi ke lokasi lain tidak perlu memperhitungkan hubungan jaringan pentanahan.

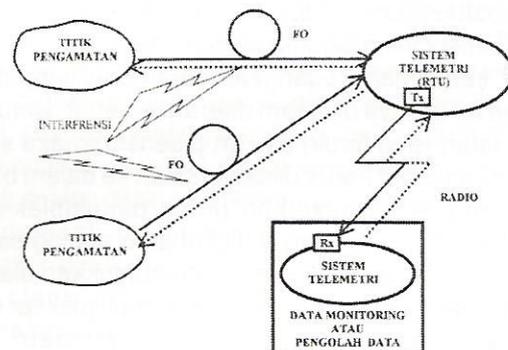


Gambar 1. Karakteristik redaman serat optik terhadap panjang gelombang

Didalam sistem transmisi dengan serat optik, cahaya berfungsi sebagai gelombang pembawa informasi. Cahaya yang mengandung informasi dengan daya antara puluhan sampai ratusan bahkan ribuan mikrowatt dikopelkan ke dalam inti serat optik. Daerah kerja panjang gelombang cahaya yang digunakan, untuk serat optik yang ada, biasanya pada daerah merah atau infra merah, atau pada panjang gelombang sekitar 620, 820, 1300, dan 1550 nm. Daerah panjang gelombang tersebut merupakan jendela-jendela redaman terendah dalam karakteristik redaman terhadap panjang gelombang untuk serat optik, seperti diperlihatkan pada gambar 1. Dilihat dari indeks profil dan mode propagasi, ada tiga jenis serat optik yang lazim digunakan. Ketiga jenis serat optik tersebut ialah *Step Index Single Mode*, *Step Index Multi Mode*, dan *Graded Index Multi Mode*. Untuk daerah kerja panjang gelombang seperti tersebut di atas, jenis serat optik *Single Mode* mempunyai diameter inti serat antara 9 sampai 12 mikrometer, sedangkan jenis serat optik *Multi Mode* mempunyai diameter inti serat antara 60 sampai 100 mikrometer. Sinyal listrik berupa informasi yang akan dikirimkan digunakan untuk memodulasi salah satu karakteristik dari cahaya yang digunakan sebagai gelombang pembawa, setelah sinyal tersebut karakteristik dari cahaya yang digunakan sebagai gelombang pembawa, setelah sinyal tersebut melalui proses penyesuaian tegangan atau arus. Proses selanjutnya, cahaya tersebut dikopelkan ke dalam saluran transmisi serat optik untuk disampaikan ke ujung jauh dari penerima. Di sisi penerima sinyal

informasi yang terkandung di dalam cahaya gelombang pembawa tersebut disarikan dengan menggunakan detektor cahaya. Sumber cahaya yang digunakan adalah jenis semikonduktor *Light Emitting Diode*, atau *Laser Diode*. Sedangkan sebagai detektor cahaya dapat digunakan *PIN Photo Diode*, atau *Avalanche Photo Diode*.

Dalam penelitian yang dilakukan di Telkoma-LIPI ini, telah dirancang suatu jaringan dengan transmisi serat optik untuk mendukung sistem telemetri dalam mengumpulkan sinyal sensor dari beberapa titik pengamatan. Sistem yang digunakan dalam titik pengamatan akan sangat bergantung pada berapa banyak sinyal yang akan dikirimkan dalam satu titik pengamatan, apakah dalam satu titik pengamatan hanya terdiri dari satu buah sensor atau satu grup sensor. Sebagai contoh, misalkan satu grup sensor pada suatu titik pengamatan untuk mengamati keadaan air pada suatu daerah pengamatan, sensor-sensor yang digunakan di antaranya untuk suhu, ketinggian, keasaman, kedangkalan, dan sebagainya dari keadaan air pada daerah tersebut. Untuk keadaan seperti itu dibutuhkan suatu multiplexer analog maupun digital untuk sinyal-sinyal sensor tersebut sebelum dikonversi-kan ke dalam besaran optik. Setelah sinyal tersebut dikonversikan ke dalam besaran optik kemudian ditransmisikan melalui serat optik ke bagian terminal radio di dalam sistem telemetri. Pada bagian terminal radio terhadap bagian penerima optik yang akan mengkonversikan kembali besaran optik, yang mengandung informasi sensor, ke dalam besaran listrik. Kemudian sinyal-sinyal ini diintegrasikan dalam sistem telemetri untuk dikirimkan ke pusat pengolahan data, atau data monitor. Jarak terjauh antara titik pengamatan dengan terminal radio sekitar 1000 m, sehingga memungkinkan menggunakan Diode yang serat optik yang relatif lebih murah seperti *multi mode step index* maupun *graded index* dengan redaman saluran sekitar 5 dB per kilometer. Disamping itu, untuk sumber cahaya dapat menggunakan *Light Emitting Diode (LED)* dengan detektor cahaya *PIN Photo* pada daerah 620, atau 820 nm.



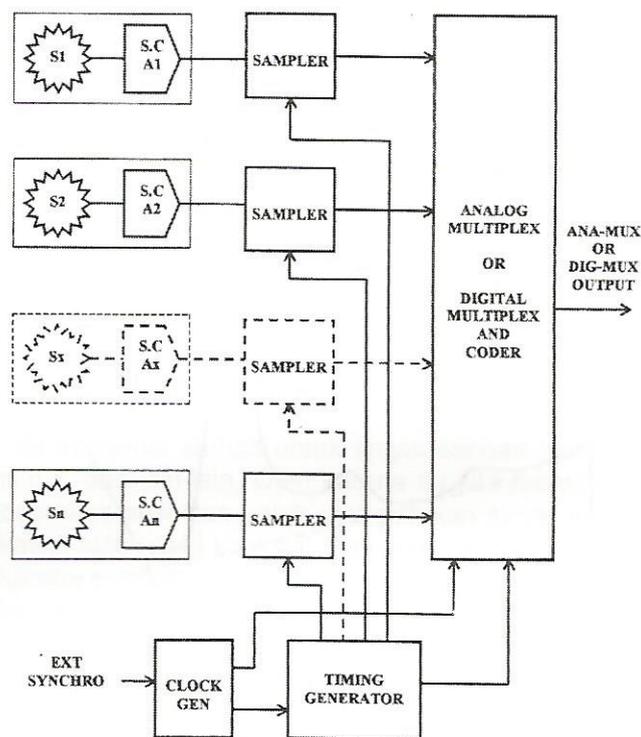
Gambar 2. Jaringan transmisi dari titik pengamatan ke Pusat Pengolah Data, atau Data Monitor. Garis titik-titik menunjukkan komunikasi dua arah.

## 2. PERENCANAAN SISTEM

Sistem Transmisi serat Optik secara garis besar terdiri dari Pemancar atau konverter dari sinyal listrik ke sinyal optik, perangkat transmisi atau saluran Serat Optik, dan Penerima atau konverter dari sinyal optik ke sinyal listrik. Setiap titik pengamatan membutuhkan satu sistem transmisi, dan dalam satu titik pengamatan dapat terdiri dari beberapa titik sensor. Di dalam terminal masukan pada sistem telemetri sinyal-sinyal dari setiap titik pengamatan dimasukkan ke dalam frame yang lebih besar untuk ditransmisikan lewat radio ke pusat pengolahan data. Diagram blok dari keseluruhan sistem dapat dilihat pada gambar 2 di bawah. Seperti terlihat dalam gambar, sistem transmisi dari titik pengamatan ke sistem telemetri subsistem pemancar (TX) digunakan transmisi serat optik, sedangkan sistem transmisi telemetrinya sendiri menggunakan transmisi radio. Garis titik-titik menunjukkan bila digunakan sistem komunikasi dua arah, yaitu sebagai *acknowledge* dalam komunikasi data, atau dapat juga untuk mengirimkan sinyal perintah dari pusat pengolahan data ke titik pengamatan. Sinyal perintah digunakan bila di titik pengamatan disediakan alat untuk melakukan pengaturan dari jarak jauh.

### Bagian Pemancar Optik

Bagian pemancar optik berfungsi mengubah sinyal listrik, dalam hal ini adalah sinyal yang diperoleh dari masing-masing sensor, menjadi sinyal optik atau gelombang cahaya. Sinyal sensor dalam orde puluhan sampai ratusan mikrovolt diperkuat dengan suatu penguat tegangan *DC* derau rendah. Untuk memperoleh kualitas sinyal yang baik dan stabil, maka digunakan *low noise operational amplifier* seperti OP27 atau OP37. Sistem yang digunakan dalam titik pengamatan akan sangat bergantung pada berapa banyak sinyal sensor yang akan dikirimkan dari satu titik pengamatan, apakah dalam satu titik pengamatan hanya terdiri dari satu buah sensor atau satu grup sensor. Sebagai contoh, misalkan satu grup sensor pada suatu titik pengamatan untuk mengamati keadaan air pada suatu daerah pengamatan, sensor-sensor yang digunakan diantaranya sensor suhu, level air, keasaman, kedangkalan atau level lumpur, dan keadaan air lainnya di dalam daerah tersebut. Untuk titik pengamatan yang terdiri dari grup sensor, maka sinyal-sinyal *DC* tersebut harus dikonversikan ke dalam bentuk sinyal yang memungkinkan untuk dimultipleksikan, dalam hal ini menjadi sinyal digital atau analog sampel (dalam *time domain*). Gambar 3 menunjukkan diagram blok penguat sinyal-sinyal sensor dan multiplekser sinyal digital atau analog. Untuk sistem telemetri yang tersinkronisasi, maka *clock* generator harus disinkronkan dengan sistem *clock* di pusat pengendalian, dengan syarat bahwa sistem komunikasi harus dua arah.

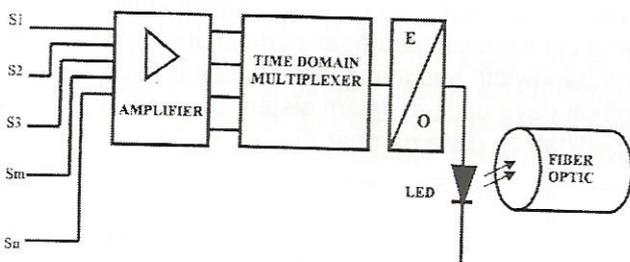


Gambar 3. Diagram Blok Penguat dan Pengkondisi Signal Sensor, dan Multiplekser Sinyal Digital atau Analog Sampel Dalam Satu Titik Pengamatan.

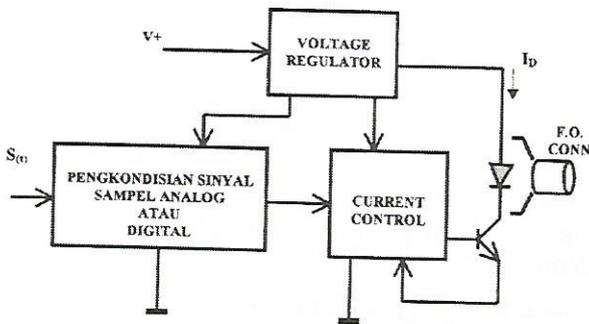
Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa setelah diperkuat oleh penguat dan pengkondisi signal tegangan  $A_x$ , dengan faktor penguatan sesuai dengan kebutuhan, kemudian sinyal sensor tersebut dicuplik secara bergantian dari sinyal yang satu ke sinyal lainnya. Rangkaian pencuplik sinyal menggunakan rangkaian terpadu sakelar analog berkecepatan tinggi (*high speed analog switch integrated circuit*), atau menggunakan rangkaian diskrit dengan *field effect transistor*. Waktu dan durasi pencuplikan diatur oleh *timing generator*, dan pengaturan waktu ditentukan oleh *clock generator*. Rangkaian *timing generator* terdiri dari beberapa komponen *gate logic* dan *shift register*. Sedangkan *clock generator* terdiri dari rangkaian kristal oscillator untuk sistem telemetri tidak sinkron, dan *synchronized oscillator* untuk sistem sinkron. Keluaran dari tiap sampler digunakan sebagai masukan rangkaian multiplekser yang menyatukan sinyal-sinyal sample dalam bentuk digital atau analog dalam domain waktu, hal tersebut akan sangat bergantung pada model yang digunakan. Pada penyatuan sample analog, sinyal-sinyal tersebut langsung disatukan dengan menggunakan rangkaian terpadu multiplekser sampel analog. Sedangkan untuk model penyatuan sinyal secara digital, sinyal analog sampel terlebih dahulu dikonversikan ke dalam bentuk

kode digital, kemudian disatukan di dalam rangkaian terpadu digital, atau data multiplexer. Sinyal keluaran dari multiplexer disambungkan ke dalam rangkaian pengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik. Gambar 4a menggambarkan diagram blok prinsip pemancar optik keseluruhan, dan gambar 4b menunjukkan diagram blok dari perubahan sinyal listrik menjadi sinyal optik.

Sinyal-sinyal sampel analog, atau digital yang sudah termultiplex level tegangannya akan disesuaikan di dalam rangkaian Pengkondisian Sinyal dan tegangan tersebut digunakan untuk memodulasi intensitas cahaya keluaran sumber cahaya LED. Pemodulasian tersebut dilakukan dengan cara memanipulasi arus pendorong  $I_D$  dari LED tersebut, sehingga mengalirkan arus listrik pada saat data '1' dan tidak mengalirkan arus listrik pada saat data '0', atau dengan kata lain terjadi emisi cahaya pada saat data '1' dan tidak terjadi emisi pada saat data '0'. Cahaya termodulasi tersebut dikopelkan kedalam inti serat optik dengan menggunakan konektor optik antara LED dengan ujung serat optik.



a. Blok Diagram Prinsip Pemancar Optik Secara Keseluruhan.



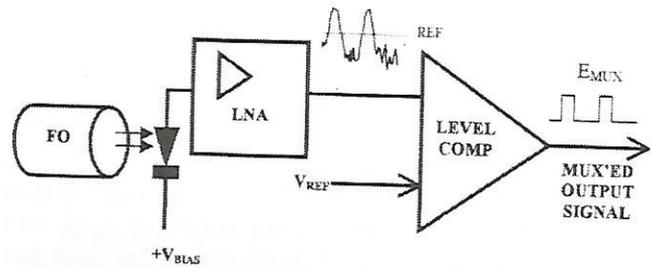
b. Blok Diagram Pengubah Sinyal Sampel Menjadi Sinyal Optik.

Gambar 4. Blok Diagram Prinsip Pemancar Optik, dan Pengubah Sinyal Listrik ke Dalam Sinyal Optik.

### Bagian Penerima Optik

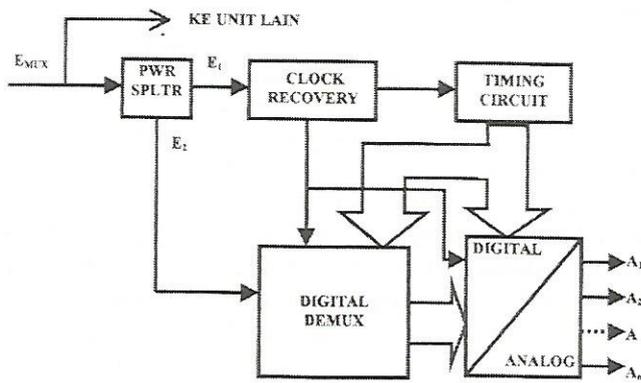
Pada ujung jauh serat optik, yaitu di sisi penerima dalam unit Telemetri arah pemancar, cahaya yang keluar dari ujung serat optik dikopelkan dengan menggunakan konektor antara ujung serat optik dengan PIN Photo Diode sebagai detektor cahaya. Saat cahaya diemisikan atau identik dengan data '1' pada ujung detektor

dibangkitkan tegangan data orde beberapa mikrovolt, dan saat data '0' tidak dibangkitkan tegangan. Sinyal keluaran dari detektor cahaya kemudian diperkuat oleh penguat sinyal dengan menggunakan operational amplifier derau rendah. Untuk mendapatkan sinyal yang baik, dapat digunakan rangkaian operational amplifier derau rendah seperti OP27 atau OP37, untuk memperoleh penguatan besar dengan lebar frekuensi yang diinginkan, rangkaian tersebut dikaskade beberapa buah. Kemudian untuk memperoleh bentuk sinyal digital yang bebas derau dengan level digit sesuai digunakan suatu level comparator dengan tegangan referens tertentu. Gambar 5 menunjukkan diagram sistem penerima serat optik bagian konversi sinyal optik ke sinyal listrik.



Gambar 5. Bagian Konversi Sinyal Optik ke Sinyal Listrik Pada Penerima Optik.

Sinyal keluaran dari level comparator COMP sudah merupakan sinyal dengan level digital atau TTL. Tegangan referens ditentukan lebih tinggi dari pada level derau, sehingga tegangan keluaran akan terhindar dari derau. Proses sinyal keluaran  $Comp$ ,  $E_{MUX}$  merupakan sinyal termultiplexi dalam domain waktu, selanjutnya bila sistem telemetri menyalurkan sinyal digital ke sistem pengolah data, maka sinyal tersebut dapat langsung diintegrasikan ke dalam sistem telemetri, dengan syarat, bahwa semua sistem di dalam telemetri sudah disinkronkan, atau pada unit telemetri sendiri ada rangkaian yang mengatur hal itu. Tetapi jika tidak, maka sinyal digital tersebut harus dikonversikan ke dalam sinyal analog setelah melalui proses demultiplexi. Pengkonversian sinyal digital yang diterima ke dalam bentuk analog dilakukan beberapa langkah. Sinyal digital  $E_{MUX}$  dipecah menjadi dua cabang, yang pertama digunakan untuk membangkitkan kembali pulsa pewaktu, atau clock recovery, sedangkan cabang kedua digunakan untuk rangkaian demultiplexi dan pengubah pulsa-pulsa digital menjadi signal analog. Gambar 6 memberikan gambaran tentang hal itu.



Gambar 6. Rangkaian Pemroses Sinyal  $E_{MUX}$  menjadi Sinyal-sinyal Analog yang Individuil.

**Bagian Transmisi Optik**

Perencanaan suatu sistem transmisi serat optik secara umum perlu diperhatikan hal-hal seperti power budgeting, rise time atau bandwidth budgeting, dan cost budgeting[5]. Dengan power budgeting, dapat menentukan berapa besar daya keluaran optik dari sumber, hal tersebut akan diperhitungkan bermula dari daya minimal yang harus diterima pada detektor cahaya untuk mendapatkan sinyal keluaran dengan rasio sinyal terhadap derau, atau tingkat kesalahan bit memenuhi syarat, kemudian dipadukan dengan kehilangan total daya optik selama transmisi. Rise time atau bandwidth budgeting digunakan untuk menentukan penyediaan lebar pita frekuensi untuk menyalurkan informasi dengan distorsi yang dapat diterima sistem. Sedangkan cost budgeting adalah perhitungan biaya total untuk pengadaan seluruh sistem transmisi, hal ini tidak termasuk dalam pembahasan. Beberapa data diperlukan dalam merancang suatu sistem transmisi serat optik. Data tersebut diantaranya, data mengenai serat optik, sumber cahaya, dan detektor cahaya. Tabel 1.1a, 1.1b, dan 1.1c menampilkan data tentang komponen tersebut[5].

Tabel 1.1a. Data Serat Optik Bahan Gelas [5]

TIPE SERAT OPTIK	Ø (µm)	NUMRCL APPRTR	ATT dB/km	BANDWIDTH (MHzKm)	λ (µm)
MMSI	50	0,25	3	33	850
MMGI	50	0,20	3	500	850
MMGI	50	0,20	0,7	1000	1300
SMSI	5	0,10	3	-	850

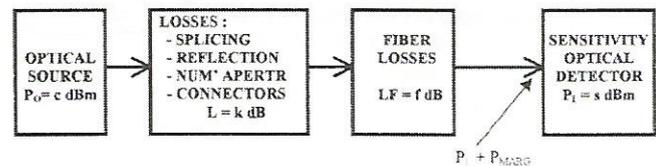
Tabel 1.1b. Data Sumber Optik [5]

JENIS SUMBER	LIGHT EMITTING DIODE	SINGLE MODE LASER DIODE
ARAKTERISTIK		
SPECTRAL WIDTH(nm)	20 – 100	1,0 – 5
RISE TIME (ns)	2 – 100	0,1 – 1
COUPLING COEFFICIENT	VERY LOW	MODERATE
TEMP. SENSITIVITY	LOW	HIGH
LIFE TIME	1 exp. 5	1 exp. (4-5)
COST	LOW	HIGH

Tabel 1.1b. Data Detektor Optik Diode PIN [5]

JENIS DIODE	Si	Ge	InGaAs
KARAKTERISTIK			
W. L. (λ) RANGE (µm)	0.3 - 1.1	0.5 – 1.8	1.0 – 1.1
W. L. PEAK RESP. (µm)	0.8	1.55	1.7
RESPONSIVITY (A/W)	0.5	0.7	1.1

Hubungan transmisi yang digunakan untuk menyampaikan informasi beberapa sinyal sensor melalui serat optik adalah hubungan *point to point*, maka power and bandwidth budgeting jadi lebih sederhana. Digram tingkat daya optik di dalam sistem transmisi optik total diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram tingkat level daya pada transmisi point to point.

Kehilangan daya total karena konektor optik, refleksi, apertur mumerik terjadi di sisi pemancar maupun penerima. Daya yang diterima pada detektor optik  $P_1$  adalah :

$$P_1 = P_0 - L - LF = c - (k + f) = s \text{ dBm} \dots \dots \dots (1)$$

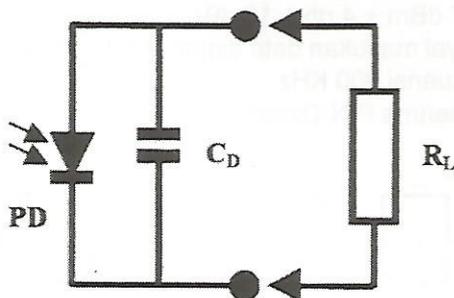
Daya optik yang jatuh pada permukaan detektor cahaya  $P_1$  harus memenuhi level data yang dibutuhkan oleh detektor agar dapat memenuhi syarat perbandingan antara daya sinyal terhadap daya derau pada keluaran penerima. Untuk menjamin kualitas penerimaan, di dalam praktek level sinyal yang akan diterima dipermukaan detektor dlebihkan beberapa deciBell dari sinyal minimum yang diterima sebagai *safety-margin level* [5], sehingga daya yang diterima oleh detektor,  $P_1$ , menjadi seperti persamaan (2). Daya optik margin biasanya diberikan pada sisi pengirim, yaitu dengan meningkatkan daya keluaran sumber cahaya beberapa dB, atau membatasi jarak transmisi.

$$P_i = P_{MIN} + P_{MARG} \dots \dots \dots (2)$$

Beberapa faktor yang menentukan berapa jarak terjauh yang mungkin diperbolehkan dalam sistem transmisi optik antara lain adalah redaman saluran maksimum pada panjang gelombang cahaya yang digunakan, sehingga memenuhi daya minimum  $P_{MIN}$ , dan lebar pita frekuensi per kilometer yang akan membatasi lebar pita frekuensi kerja sistem. Dengan perhitungan yang memasukan kedua faktor tersebut di atas, maka dapat ditentukan kapasitas informasi dan jarak maksimum agar kualitas sistem tetap terjamin. sistem yang telah direncanakan adalah untuk menyalurkan data dari titik pengamatan dalam bentuk sinyal digital. Pada pengoperasian sistem yang masih sangat sederhana, yaitu hanya terdiri dari beberapa titik sensor, mungkin dibutuhkan suatu sistem dengan kemampuan *bit rate* rendah dalam orde puluhan sampai seratus kilo *bit per second*. Untuk pemantauan lingkungan dalam industri berskala besar kemungkinan akan dibutuhkan kemampuan sistem dengan *bit rate* yang jauh lebih tinggi, dalam orde ribuan *kilo bit per second*. Direncanakan suatu sistem transmisi dengan kemampuan pada frekuensi maksimum 2000 KHz. Untuk sistem transmisi data diperlukan perbandingan antara sinyal dengan derau antara 20 sampai 30 dB[6]. Komponen sumber, serat optik, dan pendeteksi cahaya yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Sumber Cahaya *Light Emitting Diode*; Panjang Gelombang  $\lambda = 850 \text{ nm}$ ; Lebar Pita Spektrum  $\Delta\lambda = 35 \text{ nm}$ ; *Rise Emitting Time*  $\tau_{LED} = 10 \text{ ns}$ ; Loss Connector  $k_1 = \text{dB}$ .
2. Pendeteksi Cahaya *PIN Photo Diode*; *Responsivity*  $\rho = 0.5 \text{ A/W}$  pada  $850 \text{ nm}$ ; *Lead Diode Capacitance*  $C_D = 5 \text{ pF}$ ; *Rise Selection Time*  $= 5 \text{ ns}$ ; *Rcv Noise Figure*  $= 3 \text{ dB}$ .
3. Serat Optik *Glass-Glass Multi Mode Step Index*; *Numerical Aperture*  $= 0.24$ ; *Optical Attenuation* pada  $850 \text{ nm}$   $\alpha = 5 \text{ dB/Km}$ ; Lebar Pita Frekuensi  $B_\omega = 33 \text{ MHz}$ ; Diameter Inti Serat  $\phi = 50 \mu$ .

Dengan menggunakan Pendeteksi Cahaya seperti disebutkan di atas, dapat dihitung tahanan beban lebar pada pita frekuensi dari Photo Diode  $B_w = 2 \text{ MHz}$ .



$$R_L = \frac{1}{2\pi C_D B_w} \dots \dots \dots (3)$$

$$R_L = \frac{1}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^6} \approx 15 \text{ k}\Omega \dots \dots \dots (4)$$

$$R_L \approx 15 \text{ k}\Omega$$

Dengan tahanan beban  $R_L = 15 \text{ k}\Omega$ , maka lebar pita frekuensi  $B_w$  Pendeteksi Cahaya menjadi

$$B_w = \frac{1}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-12} \cdot 15 \text{ k}\Omega} \approx 2122 \text{ kHz}$$

Untuk menentukan berapa transmisi terpanjang yang dapat digunakan harus menggunakan dua perhitungan, yaitu perhitungan daya minimum yang harus diterima oleh detektor (*power budgeting*), dan lebar pita yang akan disediakan atau frekuensi tertinggi yang dapat diterima (*bandwidth budgeting*),

1. Dengan perhitungan *Power Budgeting* :  
 Dalam perhitungan berdasarkan daya atau *Power Budgeting* ini didasari oleh tinjauan daya sinyal terhadap daya derau (*S/N*). Dua jenis derau yang dibangkitkan oleh diode detektor, yaitu *shot noise* dan *thermal noise*. Yang paling dominan dari kedua derau tersebut adalah *thermal noise* [6]. Oleh karena itu, di dalam perhitungan *shot noise* akan diabaikan, sehingga perbandingan daya sinyal terhadap daya derau dapat ditulis sebagai berikut :

$$S/N = \frac{\left(\frac{m}{2}\right) R_L (\rho P)^2}{4kTB_w} \dots \dots \dots (5)$$

dengan  $m$  adalah indeks modulasi, dalam hal ini modulasi adalah 100% dan  $m = 1$ , noise figure  $NF = 3 \text{ dB} = 2$ , maka  $T = 2300 \text{ K} = 600 \text{ K}$ , sehingga:

$$S/N = \frac{0.5 \cdot 15 \cdot 10^3 (\rho P)^2}{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 600 \cdot 2.122 \cdot 10^6} = 10^3$$

$$(\rho P)^2 = 1.06715 \text{ exp}-14$$

Maka daya optik minimal yang dibutuhkan oleh diode detektor cahaya adalah :

$$P = \sqrt{\frac{1.06715 \text{ exp}-14}{(0.5)^2}} = 0.2066 \mu\text{W} \approx -36.85 \text{ dBm}$$

dengan safety margin  $S_{margin} = 10 \text{ dB}$ , maka kebutuhan daya optik menjadi  $P_i = -26.85 \text{ dBm}$

Daya optik keluaran Light Emitting Diode adalah 1 mW;  $P_o = 0$  dBm, redaman optik konektor, splicing dan lain-lain  $k \approx 15$  dB [4]. Redaman yang diijinkan di dalam serat optik adalah  $f_1$ , yaitu  $f_1 = 0$  dBm + 36.85 dBm = 21.85 dB. Untuk menjaga agar LED dapat beroperasi dengan aman, maka daya keluaran LED harus diturunkan, yaitu dengan menurunkan arus diode sebesar 1.414 kali arus LED  $I_D$ , sehingga diperoleh daya optik keluaran  $P_o = -3$  dBm,  $f_1 = 18.85$  dB, maka panjang maksimum dari serat optik yang dapat diijinkan adalah :

$$L_{PWR} = \frac{1885 - \text{margin}}{5} = 177 \text{ km}$$

2. Dengan *Bandwidth Budgeting* :

Dalam perhitungan berdasarkan lebar pita frekuensi atau *Bandwidth Budgeting* berdasarkan pada hubungan waktu naik, atau *Rise Time* sinyal dengan *Bandwidth*  $B_w$ . Hubungan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\text{Rise Time dari sistem } \tau_s = \frac{0.35}{B_w} \dots\dots\dots (6)$$

Untuk sistem dengan frekuensi maksimum 2122 KHz mensyaratkan waktu naik tidak lebih dari  $\tau_s$  sebesar

$$\tau_s = \frac{0.35}{2000} \text{ ms} = 175 \text{ ns}$$

*Rise Time* dari pendeteksi cahaya yang disebabkan oleh tahanan beban (eksternal) dan kapasitansi diode adalah

$$\tau_{dc} = 0.35 * 2\pi R_L C_D \approx 2.199 * 15k * 5p \approx 165 \text{ ns}$$

*Rise Detection Time* (= 5 ns)  $\ll \tau_{dc}$  dapat diabaikan, sehingga *Rise Time* dari pendeteksi cahaya yang disebabkan oleh tahanan beban dan kapasitansi diode lebih dominan.

*Rise Time* sumber cahaya LED adalah 10 ns, *Rise Time* serta optik yang diijinkan tidak lebih atau sama dengan  $\tau_F$ .

$$\tau_{f1}^2 \leq \tau_s^2 - \tau_{dc}^2 - \tau_{led}^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$\tau_{f1} \leq \sqrt{(175)^2 - (165)^2 - (10)^2} \leq 57.4456 \text{ ns} \leq 57 \text{ ns}$$

*Rise Time* pada serat optik diakibatkan oleh adanya dispersi intramodal, dan intermodal pada cahaya di dalam inti serat. Dispersi Intermodal adalah dispersi yang diakibatkan oleh adanya mode-mode berbeda,

hal tersebut menimbulkan pelebaran pulsa [6].

$$t_{INTERM} = \frac{0.35}{B_{WELEC}} \dots\dots\dots (8)$$

Bandwidth sinyal elektrik sehubungan dengan bandwidth optik per kilo meter adalah :

$$B_{WELEC} = \frac{B_{WOPTK}}{\sqrt{2}} = 0.707 * 33 \text{ MHz} * 23.33 \text{ MHz}$$

$$t_{INTERM} = \frac{0.35}{23.33 * 10^6} = 15 \text{ ns}$$

Sedangkan dispersi Intermodal adalah diakibatkan oleh cahaya yang tidak monokromatis, dan kecepatan dari masing-masing panjang gelombang berpropagasi dengan kecepatan berbeda, padahal semuanya mengandung informasi sama sehingga menyebabkan adanya pelebaran pulsa berbentuk derau dalam domain waktu (jitter). Dispersi untuk serag glass-glass tipikal sekitar 100 ps/km. Cahaya dengan lebar spektrum 35 nm dispersi Intramodalnya adalah :

$$t_{INTRAM} = 35 \text{ nm} * 100 \text{ ps/km} = 3500 \text{ ps/km} = 3.5 \text{ ns/km}$$

*Rise Time* yang diakibatkan oleh serat optik

$$t_{f2} = \sqrt{(15)^2 + (3.5)^2} = 15.4 \text{ ns/km}$$

maka panjang serat maksimum yang diperbolehkan sehubungan dengan *bandwidth budgeting* adalah

$$L_{BW} = \frac{t_{f1}}{t_{f2}} = \frac{57}{15.4} = 3.7 \text{ km}$$

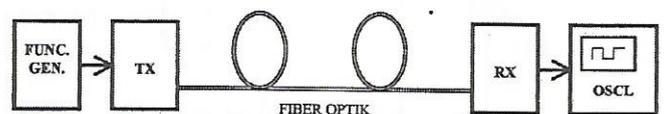
Tabel 1.2 Kesimpulan dari perhitungan panjang seratmaksimum.

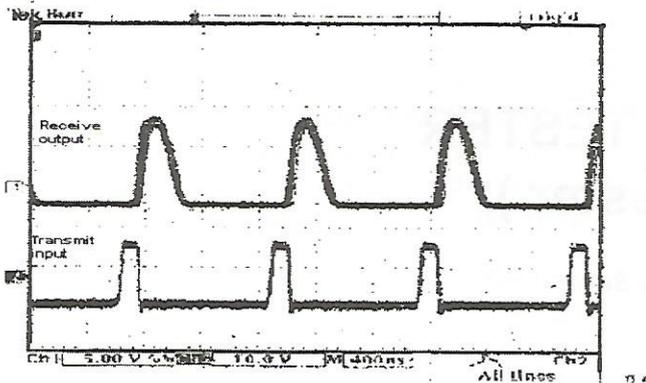
BUDGETING	PANJANG MAKS	JARAK DIJINKAN
POWER	1,77 km	dijinkan
BANDWIDTH	3,70 km	Tidak diijinkan

**Pengukuran Sistem Transmisi Optik**

Pengukuran pada suatu sistem transmisi dengan data sebagai berikut :

- ◆ Pemancar : LED 850 nm, L = 800 m, PO = -8 dBm (-27 dBm + 4 db + 15 dB)
- ◆ Sinyal masukan data digital dari function generator frekuensi 900 KHz.
- ◆ Penerima PIN-Diode, diukur dengan oscilloscope.





Gambar 8. Diagram dan Data Pengukuran Input dan Output Sistem Transmisi Optik

### 3. KESIMPULAN

Interferensi gelombang elektromagnetik, dan perbedaan titik pentanahan sering berdampak serius dalam proses pengiriman sinyal listrik terutama dilingkungan industri. Penggunaan sistem transmisi serat optik merupakan pilihan yang tepat untuk mengatasi hal tersebut. Ada perbedaan panjang serat maksimum

antara perhitungan berlandaskan daya optik dengan berlandaskan lebar pita frekuensi. Dalam praktek, selalu diambil hasil perhitungan dengan hasil jarak terpendek. Jarak terpanjang 1700 m untuk titik-titik pemantauan di dalam sistem telemetri sudah lebih dari cukup.

### 4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismail, Syamsu, "Aplikasi Sistem Serat Optik untuk Menyalurkan Sinyal Video", LEN TECHNICAL JOURNAL. No. 3 Vol. III Jan/Febr/Mar 1986.
- [2] Ismail, Syamsu, "Aplikasi Serat Optik di Dalam Stasiun Penyiaran Televisi", Buletin IPT-LIPI No. 3 Vol. IV Agt/Sep 1998.
- [3] Ismail, Syamsu, "Serat Optik untuk Jaringan Sinyal Informasi di Lingkungan dengan EMI Tinggi", Buletin IPT-LIPI No. 1 Vol II Apr/Mei 1996.
- [4] Ismail Syamsu, "Optical Fibre Transmission System For Conducting Sensor Signals in High Electromagnetic Interference Environment" Proceeding of The International Conference On Electrical, Electronics, Communication, and Information CECI '2001-March 7 - 8, Jakarta.
- [5] Junjhunwala, Ashok. "Fibre Optic Link Design", Chennai India Telematics and Optical Communication Lab. Dept. of Electrical Engineering (tak bertahun).
- [6] Ott, W. Henry, "Noise Reduction Techniques in Electronic System Network", New York, John Wiley & Son (1976).

# MOISTURE TESTER ( Padi Tester )

Supartono Soediatno <sup>1)</sup> Bagus Edy Sukoco <sup>2)</sup> Dadin Mahmudin <sup>3)</sup>

## ABSTRACT

A moisture tester having an oscillator circuit with its output frequency directly proportional to moisture percentage present in the substance of interest, such as grains.

The Oscillator circuit includes two spaced plates in the substance which function as a capacitor. The frequency of the oscillations changes as the capacitance between the plates changes due to the moisture present between the plates.

The sensor is particularly adapted for use as a grains moisture detector and provides indications of moisture percentage or end points such as wet or dry conditions.

## INTISARI

Sebuah alat pengukur kadar air memiliki rangkaian osilator, dengan demikian frekuensi keluarannya langsung dapat dikonversikan ke nilai persentase jumlah kadar air bahan yang diukur, contohnya seperti biji-bijian atau padi-padian.

Dua buah keping pelat yang diletakkan sejajar pada jarak tertentu dan menjadi tempat bahan yang diukur berfungsi sebagai kapasitor. Perubahan nilai kapasitansi yang ditentukan oleh kadar air biji-bijian kemudian akan mempengaruhi kerja dari osilator.

Keistimewaan sensor tersebut adalah karena gunanya untuk mendeteksi kadar air khususnya biji-bijian atau padi-padian sekaligus dapat menetapkan nilai persentase kandungan air biji-bijian atau padi-padian, yang kemudian akan mengindikasikan apakah termasuk dalam kondisi basah atau kering.

## 1. PENDAHULUAN

Kadar air adalah salah satu faktor yang menentukan apakah suatu komoditi layak untuk disimpan atau tidak apalagi untuk jangka waktu yang cukup lama. Kadar air yang terlalu tinggi akan menyebabkan mutu produk

menjadi rendah dan mempercepat proses kerusakan, sedangkan kadar air yang terlalu rendah akan menimbulkan kerugian terutama dalam hal berat dan biaya pengeringan. Untuk mengoptimalkan biaya penanganan biji-bijian maka penentuan nilai kadar air dari produk tersebut sangatlah penting.

Salah satu metoda yang biasa digunakan secara komersial untuk menurunkan kadar air adalah dengan mencampurkan biji-bijian yang mempunyai kadar air rendah dengan biji-bijian yang mempunyai kadar air tinggi. Meskipun metoda ini cukup menguntungkan tetapi ketidakseragaman nilai kadar air akan menyebabkan nilai komoditi tetap rendah. Mahalnya harga dari alat ukur kadar air ini menyebabkan kurang meluasnya penggunaan alat ukur tersebut.

Secara umum kadar air biji-bijian bisa dihitung dengan dua metoda yaitu kadar air basis basah dan kadar air basis kering. Kadar air basis basah didapatkan dengan membagi berat air berat bahan dikalikan 100%.

$$\text{Kadar air (basis basah)} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \quad (1)$$

Dimana  $W_w$  = Berat air

$W_d$  = Berat dari bahan kering

Kadar air basis kering didapat dengan membagi berat air yang ada dalam bahan dengan berat bahan kering dikalikan 100%. Hal tersebut dapat kita lihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Tabel Kadar Air yang terkandung pada biji-bijian.

Tanaman %	KA maks selama panen %	KA optimum selama panen untuk meminimumkan loss %	KA yang diperlukan dalam penyimpanan %	
			1 th	5 th
Jagung	35	24 - 30	13	11
Wheat	28	18.5	13 - 14	11 - 12
Barley	-	-	13	11
Oats	-	-	13	11
Sorghum	-	-	12	10 - 11
Pea-beans	28	22	17	-
<b>Padi</b>	-	-	<b>14</b>	<b>-</b>
Soybeans	-	-	11	10
Hay	-	-		

\* KA = Kadar Air

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI.

Jl. Cisitno No. 21 / 154 D Bandung 40135

Metoda yang digunakan untuk mengukur kadar air dari suatu produk dibedakan menjadi dua kelas yaitu penentuan secara langsung misalnya metoda oven, dan secara tak langsung misalnya metoda dielektrik. Pengukuran metoda langsung (oven) ini umumnya diterima sebagai standar untuk tujuan kalibrasi dan pembandingan pada pengukuran metoda tak langsung (dielektrik).

**1. METODA OVEN**

Ada dua prosedur umum yang digunakan dalam metoda ini yaitu :

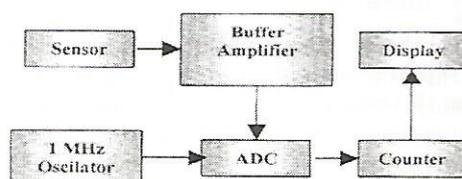
- a. Metoda oven - udara pada suhu  $130^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ .  
Untuk biji-bijian yang mempunyai kadar air dibawah 13%, dengan menghancurkan contoh masing-masing sebanyak 2 sampai 3 gram kemudian dipanaskan selama 1 jam pada suhu  $266^{\circ}\text{F}$ . Selanjutnya contoh ditimbang dan dicek pada kadar air 0.1%. Untuk biji-bijian yang mempunyai kadar air lebih tinggi dari 13%. Contoh sebanyak 25-30 gram diturunkan kadar airnya sampai dibawah 13%, setelah itu dilanjutkan sesuai prosedur diatas.
- b. Metoda oven-air atau oven-udara pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Contoh sebanyak 25-30 gram ditempatkan dalam oven, kemudian dipanaskan dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 72 sampai 96 jam. Selanjutnya ditimbang dan dicek dengan kadar air 0.1%.

**2. METODA DIELEKTRIK**

Sifat dielektrik dari produk tergantung pada nilai kadar air. Kapasitansi dari kodenser dipengaruhi oleh sifat dielektrik dari bahan yang ditempatkan antara pelat kondenser. Bahan-bahan basah mempunyai konstanta dielektrik yang tinggi yaitu :

$$K = \frac{Q1Q2}{R^2F} \tag{2}$$

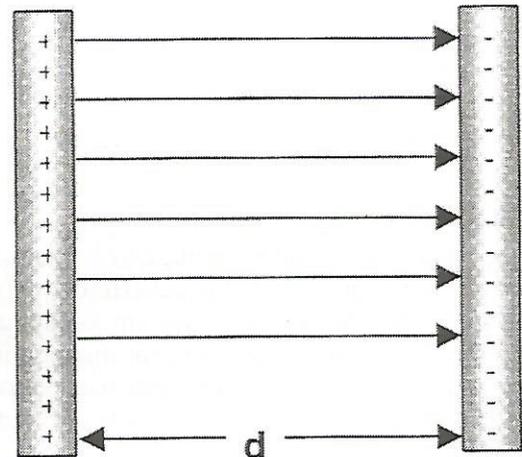
Dimana : Q1 dan Q2 adalah pemuatan, r = jarak antara pengisian (charges) dan F adalah gaya medan listrik (dyne). Sedangkan bahan kering mempunyai tetapan dielektrik yang rendah. Air mempunyai tetapan dielektrik 80 pada suhu  $68^{\circ}\text{F}$ . Sebagian besar biji-bijian mempunyai nilai kurang dari 5 dan udara dalam vakum mempunyai nilai satu. Dengan adanya perubahan nilai kapasitansi maka nilai dari kadar air bisa didapat. Diagram blok alat ukur padi (padi tester) secara lengkap seperti terlihat sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Blok Paditester

**3. SENSOR**

Dua buah pelat sejajar yang terpisah oleh suatu jarak yang kecil jika dibandingkan dengan ukuran pelat tersebut. Medan muatan pada kapasitor terbatas diantara pelat sejajar yang berhadapan serta terbagi secara merata pada permukaan dihadapannya, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Dua buah pelat sejajar yang mempunyai nilai kapasitansi

Kapasitansi dari suatu kapasitor pelat sejajar di udara adalah :

$$C = \frac{e_0 A}{4\pi d}$$

Dimana

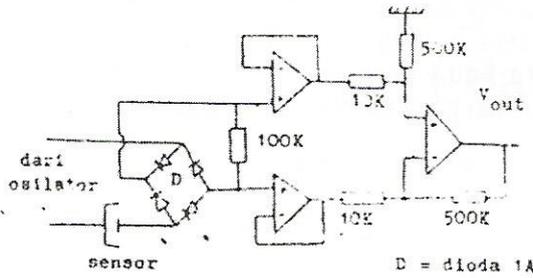
- C = Kapasitansi dari kapasitor (Farad)
- $e_0$  = Permisivitas ruang hampa  
(  $8.85 \times 10^{-12}$  ) C/Nm<sup>3</sup>
- A = Luas Permukaan Pelat (m<sup>2</sup>)
- d = Jarak antar pelat (m)

Pada perancangan yang telah dilakukan jenis pelat yang dipakai sebagai sensor adalah menggunakan aluminium dengan luas 12.8 cm<sup>2</sup> dan jarak antar pelat sejauh 1.93 cm.

**4. SISTEM PENGUAT**

Sistem penguat dalam hal ini adalah buffer amplifier (penyangga) yang berfungsi untuk menguatkan perubahan besaran listrik dari sensor, sehingga perubahan sinyal yang kecil dapat diukur dengan lebih teliti. Penguat yang digunakan adalah penguat operasi (Op Amp) karena mempunyai sifat yang lebih baik sebagai penguat karena mempunyai impedansi masukan yang tinggi dan impedansi keluaran yang rendah serta menyerap daya cukup kecil tapi penguatan tegangannya cukup tinggi.

Berikut ini adalah sebuah rangkaian unit sensor dan penguat (buffer amplifier).



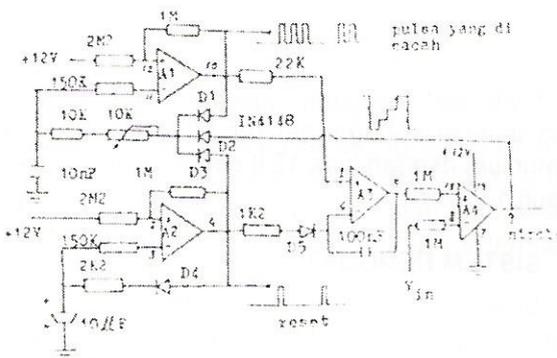
Gambar 3. Rangkaian sensor dan penguat

5. OSILATOR

Mayoritas system digit membutuhkan rangkaian clock yang mengeluarkan rentetan pulsa terus-menerus untuk mensinkronisasikan kerja system keseluruhan. sistem pembangkit pulsa yang dipakai menggunakan osilator kristal jenis aktif untuk membangkitkan pulsa segi empat dari sumber arus searah. Kristal aktif 1 MHz dapat menghasilkan denyut pulsa (clock) dengan kestabilan frekuensi cukup tinggi dan impedansi output yang rendah untuk memberikan kemampuan pergerakan yang baik serta mempunyai bentuk gelombang yang bersih. Untuk IC TTL standar kerja yang disyaratkan kurang dari 0.4 V untuk logika 0 dan lebih besar dari 2.4 V untuk logika 1 dengan waktu jangkit dan jatuh lebih baik dari 100 detik.

6. ADC, COUNTER DAN DISPLAY

Rangkaian pengubah analog ke digital (ADC) menggunakan IC LM 3900 seperti terlihat pada gambar berikut ini.



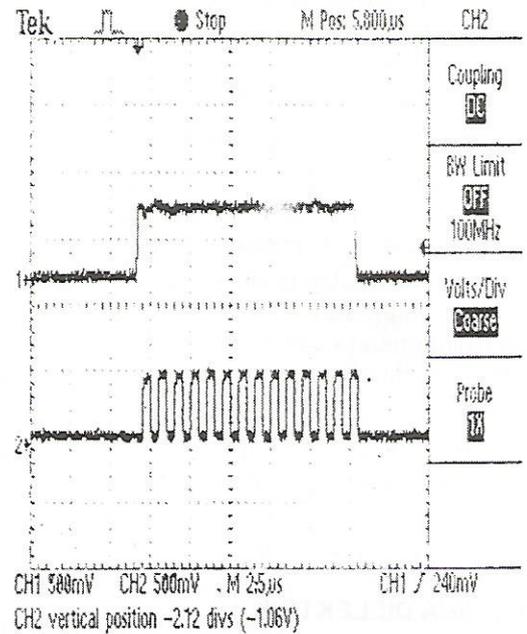
Gambar 4. Rangkaian ADC, Converter dan Display

Output sinyal analog dari sensor kadar air padi dengan referensi nilai kapasitansi dirubah menjadi besaran-besaran digital oleh ADC selanjutnya hasilnya akan ditampilkan melalui rangkaian counter dan peraga (display) digital sesuai dengan table nilai prosentase

standar untuk jenis kadar air padi. Misalnya untuk kadar air normal jenis padi yaitu 14%.

7. PENGUKURAN

Hasil pengukuran berupa pulsa yang sudah dicacah pada saat pengukuran jenis padi dengan kekeringan yang normal yaitu 14%, berikut ini adalah gambarnya.



Gambar 5. Hasil Pengukuran jenis padi dengan Kekeringan normal

Terlihat bahwa pada gambar pulsa CH 2 atau bawah menunjukkan deretan pulsa berjumlah 14 berarti kekeringan padi yang terukur adalah 14% sesuai tabel.

8. KESIMPULAN

Sifat dielektrik dari produk tergantung pada nilai kadar air.

Nilai kapasitansi dipengaruhi oleh sifat dielektrik dari bahan yang ditempatkan antara dua buah pelat tipis dengan jarak tertentu.

Semakin basah bahan-bahan yang terukur maka semakin tinggi pula nilai konstanta dielektriknya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ranya L. Alexander, *United States Patent*, San Diego, 1984
2. Jacob Millman, *Sutanto, Mikroelektronika Sistem Digital dan Rangkaian Analog Jilid I*, Erlangga, Jakarta, 1986.
3. Ir. Paulus Wijayacitra, *Data IC OP-AMP dan Rangkaian-rangkaian OP-aMP*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta.
4. George Loveday, *Intisari Elektronika*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta 1982.
5. Data book IC Analog dan IC TTL

# SISTEM PENDETEKSI TEMPERATUR PADA KOLAM PEMBIBITAN IKAN

Deni Permana \*)

## ABSTRACT

A research was done on temperature detection system for controlling user temperature of the fish ponds. This system was constructed because water temperature is very influential to the fish agriculture where the fish period is from the seeds until 30 or 40 days old. In this integrated telemetry system, temperature monitoring is on one of a number of parameters need to be measured. Output of this detection system will be fed into a coding stage and gathered with other parameters before transmitted. On the receiver side, after decoding, the required information can be show on the display.

## INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang suatu sistem pendeteksi temperatur, yang mana alatnya digunakan untuk mengontrol suhu air pada kolam-kolam pembibitan ikan. Alasan dibuatnya alat pendeteksi ini, disebabkan karena sangat berpengaruhnya suhu air terhadap proses pembudidayaan ikan (khususnya ikan emas), yaitu dari mulai penetasan sampai umur ikan antara 30 sampai 40 hari. Dalam sistem telemetry terintegrasi ini, pemantauan terhadap suhu merupakan salah satu dari sekian parameter yang diukur. Luaran dari alat pendeteksi ini, akan masuk pada suatu tahap pengkodean dan digabungkan dengan parameter-parameter lain yang kemudian dipancarkan. Pada sisi penerima, setelah melalui alat pendeteksi kode, maka informasi yang diinginkan dapat ditampilkan pada layar peraga.

## 1. PENDAHULUAN

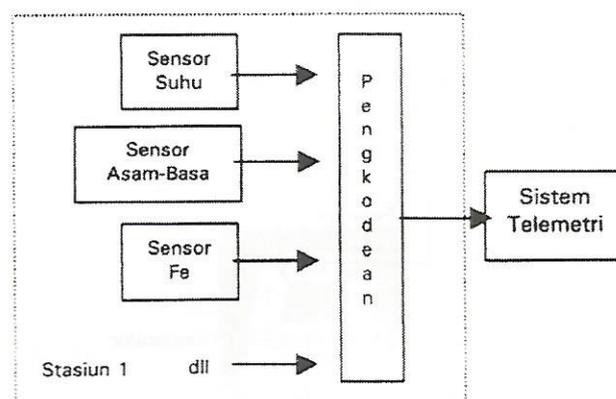
Pada tulisan ini, Penulis akan mencoba menyuguhkan suatu hasil penelitian dengan mengangkat permasalahan tentang diperlukannya suatu sistem pendeteksi temperatur yang handal, akurat serta dapat dipantau dari jauh, yang dipakai pada dunia perikanan,

tepatnya pada budidaya ikan air tawar.

Permasalahan yang sekarang dihadapi oleh para petani ikan (pembudidayaan), yaitu tidak dicapainya hasil yang maksimal pada saat panen, ternyata dilatar belakangi oleh beberapa faktor (eksternal dan internal), yang selama ini masih menggunakan cara-cara lama (conventional).

Dalam proses pembudidayaan ikan, yaitu dari mulai penetasan sampai ikan berumur 40 hari, masa itu adalah masa dimana faktor-faktor eksternal seperti suhu, kadar asam-basa, kualitas air terhadap kandungan (Fe), dan lain sebagainya, sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan daya tahan ikan, sehingga kondisi air tersebut, sangat berperan penting.

Dengan alasan tersebut, maka dicoba membuat suatu sistem yang dapat mendeteksi suhu, kadar air terhadap kandungan besi, kadar asam-basa, dll., serta informasi-informasi tersebut dapat dipantau dari jarak jauh. Mengingat luasnya lahan yang dipergunakan untuk pembudidayaan, serta dilatari juga oleh alasan efisiensi, maka sistem telemetry harus diterapkan dalam perancangan dimasa yang akan datang.



Gambar 1. Sistem Telemetri dengan 1 Stasiun

Pada gambar di atas diperlihatkan suatu sistem telemetry dengan menggunakan beberapa sensor atau

Korespondensi:

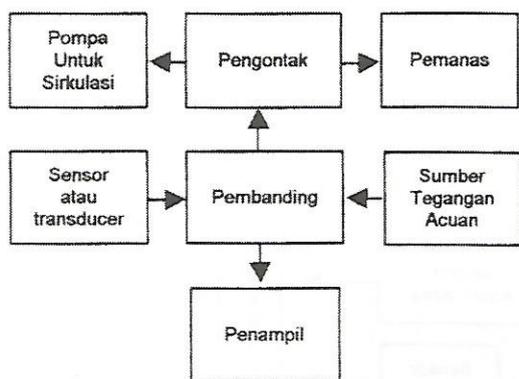
\*) Peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI,  
Jl. Cisitu No. 21 / 154 D Bandung 40135

peraba, yang mana sensor-sensor tersebut akan mendeteksi suhu, kadar air terhadap kandungan besi, kadar asam-basa, dll. Luaran dari semua sensor tersebut akan masuk kepada suatu tahap pengkodean yang akhirnya masuk pada sistem telemetri dan dipancarkan. Di lapangan, sensor-sensor tersebut berada dalam satu stasiun pemantau, sehingga untuk satu kolam, terdapat satu stasiun pemantau yang tentunya diberi kode identitas. Dengan begitu, operator dapat mengetahui kolam mana yang mendapat masalah, untuk diberikan tindakan-tindakan preventif sejak dini. Misalkan saja, pada satu kolam tertentu terdeteksi bahwa suhu air mulai meningkat (misalkan siang hari), maka operator dapat segera memberikan tindakan pengecekan terhadap sistem sirkulasi air, atau dengan cara memberikan pasokan air yang lebih banyak, terhadap kolam yang meningkat suhunya tersebut, sehingga temperatur dalam kolam akan tetap terjaga suhu airnya.

**2. TEORI DASAR PERENCANAAN**

Dalam pembuatan sistem pendeteksi temperatur ini, pertama dipilih suatu sensor atau transducer yang handal tetapi dapat dengan mudah didapat dipasaran, maka dipakailah LM 335 Z yang terkenal, suatu sumber tegangan yang stabil untuk referensi, dipilih LM723, pembanding, pengubah analog ke digital dipakai type CA 3162E dan suatu rangkaian penampil, dipakai peraga seven segment dengan didukung oleh IC type CA 3161E sebagai pasangannya.

Di bawah ini diperlihatkan diagram blok dari sistem pendeteksi temperatur yang dibuat.



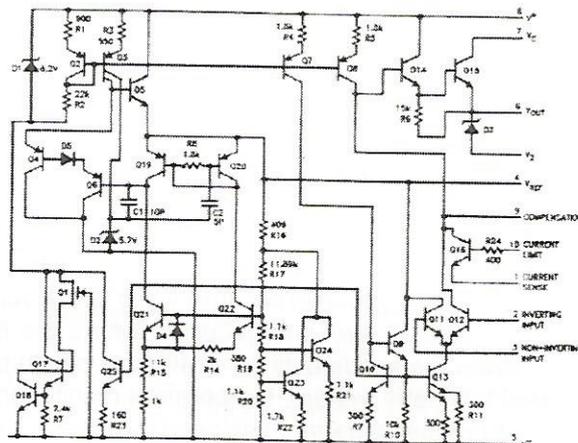
Gambar 2. Sistem Pendeteksi Temperatur

**2.1. Bagian Sumber Tegangan Acuan**

Untuk bagian sumber tegangan acuan ini dipakai suatu jenis Integrated Circuit (IC) dari type LM 723 yang merupakan suatu regulator tegangan monolitik yang presisi (Precision Voltage Regulator).

Dengan LM 723 ini, memungkinkan untuk

mengkonstruksi pencatu daya yang sangat konstan dan stabil. Di dalam rangkaianannya telah terdapat suatu tegangan acuan intern, sebuah penguat koreksi serta sebuah transistor pembatas arus, sehingga tegangan dan arus keluarannya dapat diatur dalam jangkang lebar dengan hanya memerlukan komponen ekstern yang minimum.



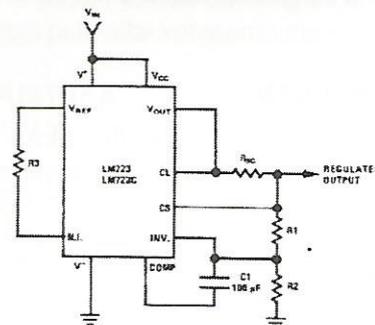
Gambar 3. Skematik Diagram LM 723

Karakteristik elektrik dari IC LM 723 ini adalah bekerja pada suhu lingkungan sampai 25° C, sedangkan pada suhu diatas ini, maka disesuaikan berdasarkan harga-harga resistansi termiknya  $\theta_{JA} V +$  dihubungkan dengan tegangan lebih besar dari + 3 V, umumnya dipakai sebagai tegangan sumber daralah + 12 V.

Dengan mengacu kepada Data Book untuk LM 723 dari National Semiconductor, didapat rumus untuk tegangan keluaran sebesar 7 V adalah :

$$V_{OUT} = \left[ V_{REF} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right] \dots \dots \dots (1)$$

Dengan menggunakan azas untuk regulator tegangan tinggi, serta dengan menggunakan perhitungan persamaan di atas, maka contoh rangkaian yang dipergunakan.



Gambar 4. Rangkaian dengan Vout = 7 - 37 Volt.

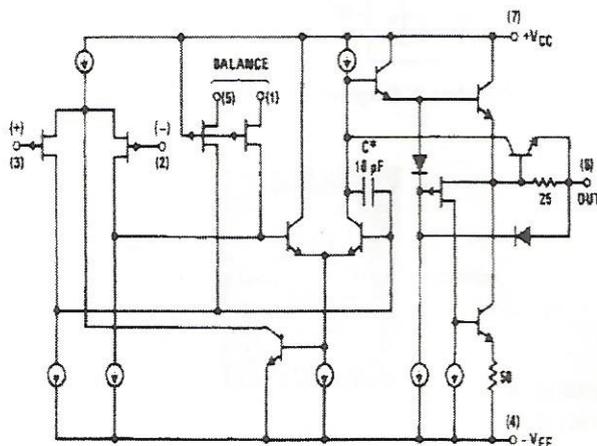


BINARY STATE	INPUTS				OUTPUTS				DISPLAY
	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	a	b	c	d	
0									0
1				H					1
2			H						2
3			H	H					3
4			L						4
5			L	H					5
6			L	L					6
7		H							7
8		H	H						8
9		H	L						9
-					H	H	H	H	-

Gambar 10. Tabel kebenaran untuk IC CA3162E.

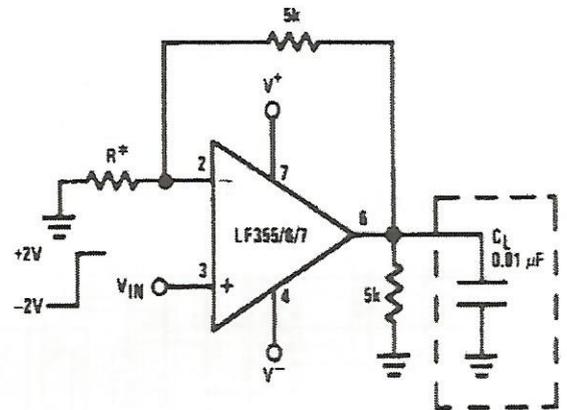
2.4 Bagian Pengontrak

Comparator atau pembanding adalah rangkaian apa saja yang intinya membandingkan suatu besaran masukan yang satu dengan suatu tahap referensi, sehingga menghasilkan suatu perubahan keadaan di keluarannya, bila dikedua masukannya telah mempunyai harga yang sama (besar tegangan dari acuan dengan besar tegangan dari masukkan rangkaian pembanding). Rangkaian untuk Comparator ini biasanya terdiri dari penguat operasional (op-amp) dengan masukan differential, serta keluaran jenis saklar. Untuk IC jenis ini biasanya dibuat dengan tindakan penyambungan sangat cepat serta histerisis yang rendah.



Gambar 11. Skematik dari IC LF 357.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa penguat operasional (op-amp) ini, memiliki transistor-transistor masukan JFET, dengan arus-arus masukan sangat kecil. Keluarannya dirancang untuk beban besifat kapasitas tinggi tanpa sesuatu persoalan stabilitas.



Gambar 12. Rangkaian op-amp dengan beban bersifat kapasitif

3. PERENCANAAN SISTEM

Pada bagian perencanaan ini dibuat suatu sitem pendeteksi suhu yang mana keluaran yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- ⇒ Suatu rangkaian yang handal serta akurat dalam hal pembacaan temperatur yang terdeteksi.
- ⇒ Dapat memberikan tindakan yang cepat disaat terjadi masalah, misalkan saja pada saat temperatur terbaca 25° C + 2° C, maka pompa untuk sirkulasi air akan bekerja, dan menetralsisir temperatur yang terjadi,
- ⇒ Dapat memberikan tindakan yang cepat disaat terjadi masalah, misalkan saja pada saat temperatur terbaca 25° C + 2° C, maka pemanas akan bekerja, sehingga temperatur yang terjadi dapat terkompensasi,
- ⇒ Temperatur yang terbaca dua digit dalam derajat Celsius (00 - 90°) C,
- ⇒ Dapat dipantau dari jauh dengan menggunakan sistem telemetry (untuk jangka panjang).

Besarnya tegangan keluar (V<sub>OUT</sub>) yang merupakan tegangan referensi sistem, didapat dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (1). Dengan mengasumsikan tegangan keluar sebesar 8 Volt, dengan tegangan referensi minimal 6.95 Volt (dari Databook), maka besarnya harga R<sub>1</sub> dan R<sub>2</sub> dapat diketahui.

$$V_{OUT} = \left[ V_{REF} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right]$$

$$V_{OUT} = \left[ \frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} \right]$$

$$8.R_2 = V_{REF}.R_1 + V_{REF}.R_2$$

$$V_{REF}.R_1 = 8.R_2 - V_{REF}.R_2$$

$$6,95 \times R_1 = 8 \times R_2 - 6.95 \times R_2$$

$$6.95R_1 = 1.05R_2 \Rightarrow \text{dengan } R_2 = 1000\Omega$$

$$6.95R_1 = 1050$$

$$R_1 = 150\Omega$$

Untuk bagian peraba digunakan transduser dari National semiconductor yaitu LM 355A, IC ini mempunyai tegangan referensi pada keluarannya sebesar 10 mV/°K. Dengan mengingat untuk tampilan pada peraga adalah dalam derajat Celsius, maka harus dilakukan satu tahap konversi sehingga pada tampilan tidak terjadi suhu yang terbaca dibawah nol derajat Celsius.

$$\Rightarrow 0^\circ C = 273^\circ K$$

$$\Rightarrow 0^\circ C = 10 \text{ mV}/^\circ K$$

Maka tegangan yang terukur pada bagian peraba adalah :

$$\Rightarrow 10 \text{ mV} \times 273 \Rightarrow 2,73 \text{ Volt}$$

Dengan demikian, tegangan 2.73 Volt tersebut dijadikan sebagai tegangan referensi untuk nol (0) derajat Celsius, dengan kenaikan untuk per derajat Celsius adalah 10 mV/°C.

Perubahan dari tegangan ini akan terdeteksi pada masukan analog IC CA3162E, yang berfungsi sebagai IC decoder, dan akhirnya masuk kepada IC penggerak seven segment yaitu CA3161E, serta ditampilkan dalam display.

Pada bagian pengontak, diberikan tegangan acuan untuk temperatur terendah adalah :

$$\Rightarrow 2.73 \text{ Volt} = 0^\circ C$$

⇒ Pada suhu 23° C, maka tegangan yang terukur pada input rangkaian pembanding harus sama dengan tegangan acuan sebesar :

$$\Rightarrow 10 \text{ mV} \times 23 = 0.23 \text{ Volt}$$

$$\Rightarrow 2.73 \text{ Volt} + 0.23 \text{ Volt} = 2.96 \text{ Volt}$$

Sehingga pada saat tegangan acuan sebesar 2.96 Volt diberikan pada rangkaian pembanding, maka pada temperatur 23° C rangkaian pengontak akan bekerja untuk menghidupkan rangkaian pemanas.

Demikian juga untuk temperatur tertinggi :

$$\Rightarrow 2.73 \text{ Volt} = 0^\circ C$$

⇒ Pada suhu 27° C, maka tegangan yang terukur pada

input rangkaian pembanding harus sama dengan tegangan acuan sebesar :

$$10 \text{ mV} \times 27 = 0.27 \text{ Volt}$$

$$2.73 \text{ Volt} + 0.27 \text{ Volt} = 3.00 \text{ Volt}$$

Sehingga pada saat tegangan acuan sebesar 3.00 volt diberikan pada rangkaian pembanding, maka pada temperatur 27° C rangkaian pengontak akan bekerja untuk menghidupkan rangkaian sirkulasi air.

#### 4. PENGUKURAN SISTEM

Pada bagian ini dilakukan pengukuran terhadap alat yang dibuat dengan menggunakan *Volmeter Digital, type Hewlet Packard 3478A*, serta dengan menggunakan oscilloscope Tektronix, type TDS 3032.

⇒ Pada bagian sumber tegangan acuan, terukur dengan alat ukur sebesar 7.901 Volt.

⇒ Pada bagian peraba, terukur dengan alat ukur tegangan sebesar 2.731 Volt.

Dibawah ini diperlihatkan hasil pengukuran tegangan pada bagian peraba, yang mana keluarannya akan dibaca oleh rangkaian pengubah analog ke digital ( IC CA3162E ) untuk ditampilkan pada layar peraga, setelah diproses oleh rangkaian dekoder.

Tabel 1. Pengukuran Tegangan pada Peraba

Tegangan Acuan	Tegangan pada Peraba	Tampilan pada Display (°C)
2.731 V	0.0100 V	00
2.731 V	0.0502 V	05
2.731 V	0.1001 V	10
2.731 V	0.1500 V	15
2.731 V	0.2001 V	20
2.731 V	0.2302 V	23
2.731 V	0.2501 V	25
2.731 V	0.2702 V	27
2.731 V	0.3001 V	30
2.731 V	0.3503 V	35
2.731 V	0.4001 V	40
2.731 V	0.4502 V	45
2.731 V	0.5001 V	50
2.731 V	0.5502 V	55
2.731 V	0.6003 V	60
2.731 V	0.6501 V	65
2.731 V	0.7002 V	70
2.731 V	0.7501 V	75
2.731 V	0.8001 V	80
2.731 V	0.8501 V	85
2.731 V	0.9001 V	90
2.731 V	0.9501 V	95
2.731 V	0.9901 V	99

Pada rangkaian pembanding, terukur tegangan pada keluaran operasional amplifier (op-amp) sebesar tegangan transistor bekerja, yaitu 0,691 Volt, hal ini terjadi pada saat tegangan masukkan pembanding sama dengan tegangan acuan.

- ⇒ Pada saat tegangan masukkan pembanding sama dengan 2.9612 Volt, maka pada keluaran pembanding (basis transistor saklar) sama dengan 0.691 Volt. Keadaan ini untuk temperatur 23oC.
- ⇒ Pada saat tegangan masukkan pembanding sama dengan 3.0012 Volt, maka pada keluaran pembanding (basis transistor saklar) sama dengan 0.691 Volt. Keadaan ini untuk temperatur 27o C.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian dan pembuatan suatu alat pendeteksi suhu, yang merupakan salah satu dari sekian parameter yang diukur pada kolam pembibitan ikan mas. alat pendeteksi ini, sekarang dipergunakan untuk mengontrol suhu air pada kolam-kolam pembibitan di desa Tarikolot, KecamatanCikalong Kulon, Kabupaten Cianjur.

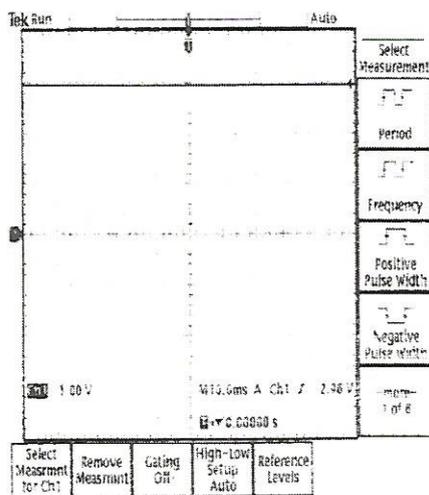
Jika alat pendeteksi temperatur ini digabungkan dengan peralatan telemetri, maka pemantauan untuk semua parameter di dalam kolam pembibitan tersebut, dapat dipantau dari jauh.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

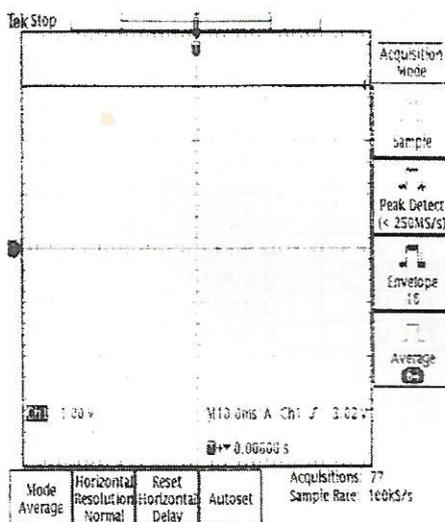
Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. Jangari Perdana, khususnya kepada Bapak H. Endang, yang telah memberikan bantuan finansial kepada Penulis, dari awal sampai akhir penelitian ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] National Semiconductor, 1995. *National Power Ics Batabook*, hal 1 - 149 s/d 1 - 157.
- [2] National Semiconductor, 1995. *National Data Acquisition Databook*, Hal 5-38 s/d 5-46.
- [3] Wasito, 1995. *Data Sheet Book 1 Data IC Linier, TTL dan Cmos*. Elex Media Komputindo, Jakarta, Edisi Keempat, Hal 18 - 19.
- [4] J.P.M. Steeman, 1993. *Data Sheet Book 2*, Elex Media Komputindo, Jakarta, Cetakan Kedua, hal. 144 - 146.



Gambar 13. Tegangan pada saat temperatur terbaca pada display 23° C



Gambar 14. Tegangan pada saat temperatur terbaca pada display 27° C

# PENGGUNAAN ALOKASI KANAL TDMA PADA SISTEM SELULAR GSM

Yuyu Wahyu<sup>1)</sup> dan Rustini S. Kayatmo<sup>2)</sup> \*)

## ABSTRAC

This issues is about data or communication data allocation which used Time Division Multiplex Access (TDMA), further more this TDMA systems will used for Global System for Mobile Cellular Communication (GSM). In this report include radio frequency characteristic, channel allocation such as physic channel and logic channel in TDMA system or channel allocation for GSM (include GSIVI Time Slot and GSM Frame Structure), TDMA channel capacity for GSM.

## INTISARI

Pada penulisan kali ini akan menjelaskan suatu sistem pengalokasian data maupun komunikasi dengan menggunakan sistem TDMA (Time Division Multiplex Access) yang akan dipakai pada sistem komunikasi Selular GSM (Global System for Mobile Cellular Communication). Pembahasan meliputi Karakteristik Frekuensi Radio, Kanal Fisik Sistem TDMA, Ciri-ciri sistem TDMA, Kanal Logik Pada Sistem GSM, Alokasi Kanal TDMA pada GSM (meliputi GSM Time Slot dan Struktur Frame GSM), Kapasitas Kanal Sistem Tdma di GSM

## 1. Sistem Selular GSM

### 1.1 Karakteristik Frekuensi Radio

GSM atau *Global System for Mobile Cellular Communication* merupakan sistem komunikasi mobil selular yang dikembangkan oleh negara-negara di Eropa. GSM distandarkan oleh European Telecommunication Standard Institute's (ETSI). Lebar bidang frekuensi yang digunakan sebesar 25 MHz berada pada frekuensi 890 - 915 MHz untuk arah uplink (misalnya dari MS ke BS) dan 935 - 960 MHz untuk arah downlink (misalnya dari BS ke MS). Lebar bidang frekuensi tersebut dibagi menjadi 124 pasang frekuensi pembawa (uplink dan downlink), dimana jarak antar kanal (*Channel Spacing*) sebesar 200 kHz. Untuk kemudahan mencari frekuensi (124 frekuensi pembawa) maka disajikan

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI,  
Jl. Cisititu No. 21 / 154 D Bandung 40135

formulasi berikut ini :

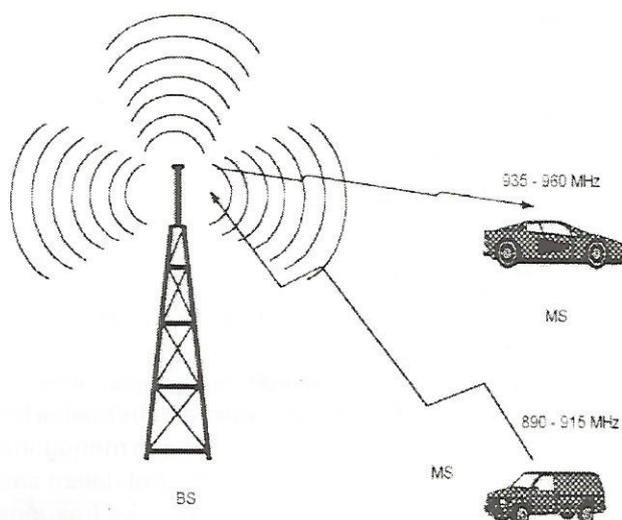
$$(1) \text{ Uplink} \quad : \quad F_u = 890,2 + 0,2 * (N - 1) \text{ MHz}$$

$$(2) \text{ Downlink} \quad : \quad F_d = 983,5 + 0,2 * (N - 1) \text{ MHz}$$

$F_u$  = Frekuensi uplink

$F_d$  = Frekuensi downlink

$N$  = 1, 2, 3, ..., 124



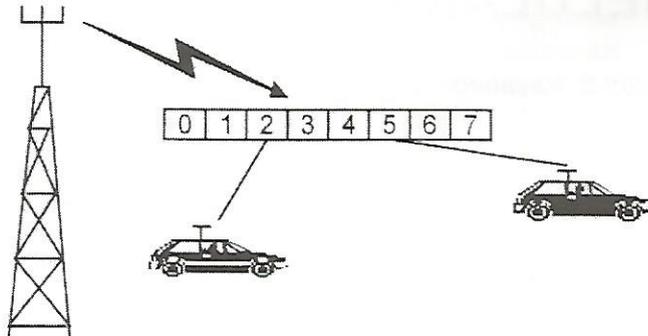
Gambar 1. Frekuensi kerja sistem GSM

### 1.2 Kanal Fisik Sistem TDMA

Yang dimaksud dengan kanal fisik di dalam sistem TDMA tidak lain adalah kanal yang dapat digunakan untuk menyalurkan informasi baik berupa trafik, signalling, atau control. Dengan demikian dalam GSM/TDMA satu kanal fisik berupa satu time slot dari 8 time slot yang tersedia pada satu kanal radio. Sedangkan yang dimaksud kanal radio adalah satu frekuensi pembawa selebar 200 KHz. Gambar 2 memperlihatkan contoh dua buah MS sedang berkomunikasi melalui satu kanal radio menggunakan time slot no 2 dan no 5.

TDMA (*Time Division Multiple Access*) merupakan salah satu cara untuk mengakses kanal yang didasarkan

kepada teknik TDM (*Time Divission Multiplexing*). Teknik ini membagi satu frekuensi pembawa ke dalam beberapa time slot. Setiap user akan menggunakan salah satu dari time slot yang ada. Struktur kanal TDMA dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Struktur kanal TDMA

Ciri-ciri sistem TDMA antara lain

1. Multiple Channel per Carder (MCPC), dimana semua kanal TDMA dibuat untuk beberapa time slot. Dalam sistem GSM satu kanal adalah 200 KHz.
2. Transmisi dalam bentuk burst, tidak kontinyu tetapi terjadi pada saat-saat time slot yang sudah ditentukan.
3. Peralatan di mobil unit lebih kompleks

Sistem GSM mempunyai 8 time slot pada setiap frekuensi pembawa. Oleh karena itu dalam keadaan full rate jumlah kanal fisik seluruhnya adalah 124 kanal \* 8 time slot = 992 kanal fisik. Sedangkan apabila dioperasikan pada half rate jumlah kanal fisik dapat menjadi dua kali lipatnya yaitu 1.984 kanal.

Tanpa menggunakan frekuensi hopping, time slot dalam satu frame akan tetap berada pada frekuensi tertentu (gambar 3.a), sedangkan jika dengan menggunakan slow Frekuensi Hopping maka time slot dalam satu frame akan berpindah dari satu frekuensi ke frekuensi lain (gambar 3.b).

Kanal Lm : - Lower bit rate voice terkode (Half Rate)  
- 6 atau 3,6 Kbps untuk transmisi data

Istilah TCH dibagi dua lagi menjadi :

- TCH/F (Traffic Channel/Full Rate)
- TCH/H (Traffic Channel/Half Rate)

### 2.2 Control Channel (CCH)

Kegunaan CCH sangat erat kaitannya dengan pen-sinyalan dan pengontrolan khususnya untuk :

- Mengirimkan sinyal control dan signalling
- Bersifat circuit switching (call control)
- Mobility management
- Management Access (akses awal atau selama handover)
- Pelayanan message pendek

Kanal kontrol atau CCH terdiri dari :

- Broadcast Channel (BCH)
- Common Control Channel (CCCH)
- Dedicated Control Channel (DCCH)

### 2.3 Cell Broadcast Channel (CBCH)

Digunakan untuk menyebarkan informasi dari pusat pelayanan ke setiap MS yang berada di dalam sebuah sel.

BCH digunakan untuk arah down link saja dan bersifat point to multipoint. Kanal ini terdiri dari tiga jenis yaitu :

- Broadcast Control Channel (BCCH)
- Frequency Correction Channel (FCCH)
- Synchronization Channel (SCH)

BCCH berfungsi untuk mengirimkan identitas sell, informasi mengenai CCCH, ketersediaan pelayanan sel, dll. FCCH digunakan untuk mengirimkan suatu frekuensi koreksi yang bersifat data burst dengan isi bit "0". Hal ini dimaksudkan untuk menjaga pergeseran frekuensi RF carrier secara konstan. SCH digunakan untuk sinkronisasi antar MS.

Kanal Lm : - Lower bit rate voice terkode (Half Rate)  
- 6 atau 3,6 Kbps untuk transmisi data

Istilah TCH dibagi dua lagi menjadi :

- TCH/F (Traffic Channel/Full Rate)
- TCH/H (Traffic Channel/Half Rate)

### 2.2 Control Channel (CCH)

Kegunaan CCH sangat erat kaitannya dengan pen-sinyalan dan pengontrolan khususnya untuk :

- Mengirimkan sinyal control dan signalling
- Bersifat circuit switching (call control)
- Mobility management
- Management Access (akses awal atau selama handover)
- Pelayanan message pendek

Kanal kontrol atau CCH terdiri dari :

- Broadcast Channel (BCH)
- Common Control Channel (CCCH)
- Dedicated Control Channel (DCCH)

### 2.3 Cell Broadcast Channel (CBCH)

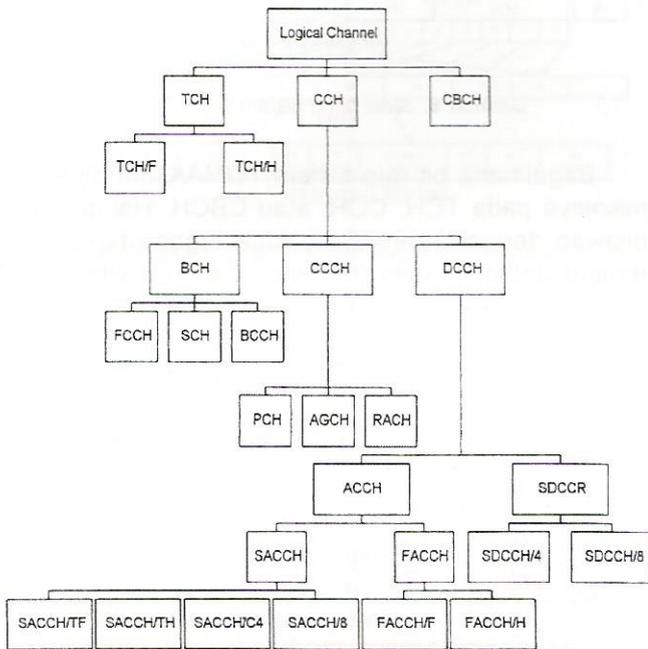
Digunakan untuk menyebarkan informasi dari pusat pelayanan ke setiap MS yang berada di dalam sebuah sel.

BCH digunakan untuk arah down link saja dan bersifat point to multipoint. Kanal ini terdiri dari tiga jenis yaitu :

- Broadcast Control Channel (BCCH)
- Frequency Correction Channel (FCCH)
- Synchronization Channel (SCH)

BCCH berfungsi untuk mengirimkan identitas sell, informasi mengenai CCCH, ketersediaan pelayanan sel, dll. FCCH digunakan untuk mengirimkan suatu frekuensi koreksi yang bersifat data burst dengan isi bit "0". Hal ini dimaksudkan untuk menjaga pergeseran frekuensi RF carrier secara konstan. SCH digunakan untuk sinkronisasi antar MS.

Secara hierarki jenis kanal logik dalam sistem GSM dapat digambarkan seperti pada diagram blok berikut ini.



Gambar 4. Struktur kanal logik sistem TDMA/GSM

**3. Alokasi Kanal TDMA Pada GSM**

**3.1 GSM Time Slot**

Pada saat MS akan mengirimkan informasi, kanal radio dan time slot harus tersedia terlebih dulu. Kanal radio pada sistem GSM memiliki lebar pita 200 KHz per kanal dan dibagi ke dalam 8 time slot. Lebar pita yang tersedia untuk sistem GSM adalah 25 MHz, sehingga dengan lebar 200 KHz per kanal radio sistem GSM dapat menampung 124 kanal radio simultan dua arah (uplink dan downlink). Oleh karena itu dengan 8 time slot per kanal radio, sistem GSM dapat menampung 992 pengguna secara simultan untuk keadaan full rate dan 1.984 pengguna simultan untuk keadaan half rate.

Struktur time slot kanal TDMA serta penomoran kanal dalam setiap kanal radio terlihat seperti pada gambar 5. Sebagai contoh berdasarkan persamaan (1), alokasi frekuensi untuk setiap kanal radio sistem GSM adalah sebagai berikut :

Kanal radio 1 (Frekuensi 1) :

Uplink (MS ke BS) : 890 - 890,2 MHz  
 Downlink (BS ke MS) : 935 - 935,2 MHz

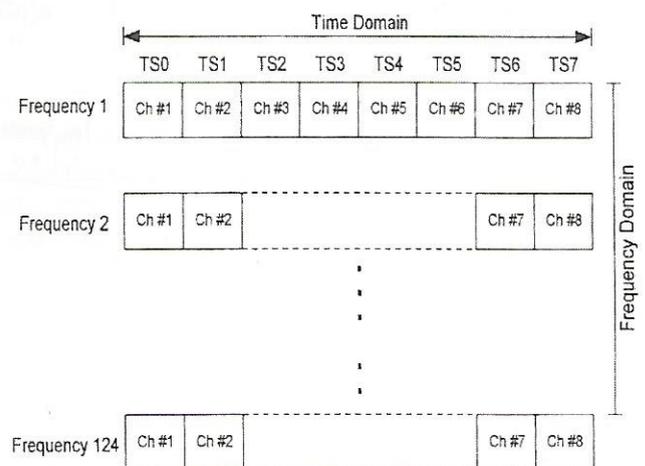
Kanal radio 2 (Frekuensi 2) :

Uplink (MS ke BS) : 890,2 - 890,4 MHz  
 Downlink (BS ke MS) : 935,2 - 935,4 MHz

• • •  
 • • •  
 • • •

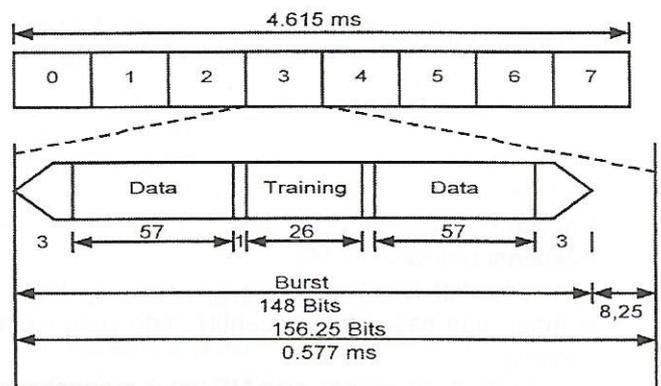
Kanal radio 124 (Frekuensi 124)

Uplink (MS ke BS) : 914,8 - 915 MHz  
 Downlink (BS ke MS) : 959,8 - 960 MHz



Gambar 5. Struktur time slot TDMA/FDMA pada sistem GSM

Sebuah time slot di dalam sistem GSM terdiri dari tail bit, data, stealing bit, dan training bit seperti terlihat seperti pada gambar berikut.



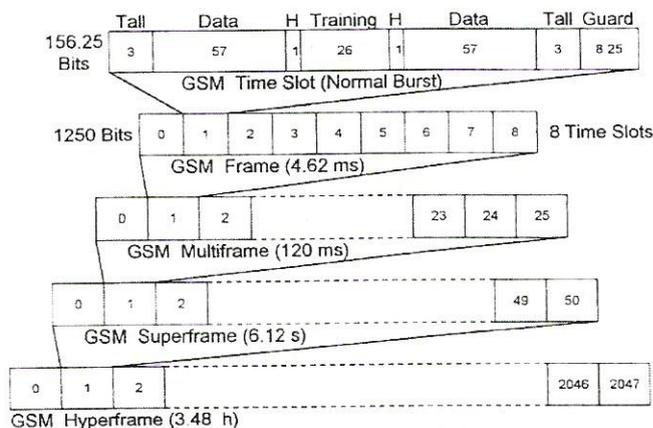
Gambar 6. Time slot sistem GSM (normal burst)

- Sebuah kanal fisik (satu time slot) memiliki :
- Start stop bit : masing-masing 3 bit
  - Data : 2 x 57 bit
  - Stealing bit : 2 x 1 bit

- Training bit : 26 bit
- Jumlah bit total : 156.25 bit
- Gross bit rate : 24,7 kbps (diperoleh dari 2 x 57 bit setiap 4,615 ms panjang frame)
- Panjang time slot : 0,577 ms

**3.2 Struktur Frame GSM**

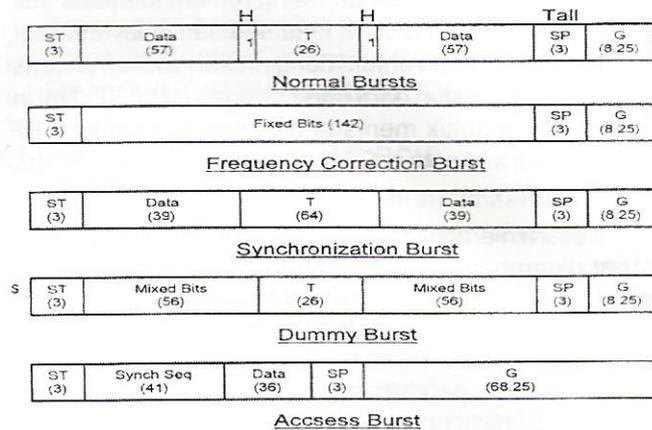
Dalam sistem GSM/TDMA, 8 time slot membentuk sebuah frame dimana 26 buah frame membentuk multi-frame. Masing-masing multiframe (sebanyak 51 buah multiframe) membentuk GSM hyperframe. Keadaan ini dapat dipandang sebagai deretan bit dimana panjang slot, frame, multiframe, dan hyperframe dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 7. Struktur frame TDMA pada GSM

Seperti telah dikatakan bahwa satu time slot terdiri dari 156,25 bit atau setara dengan 0,577 ms. Tetapi time slot tersebut dapat berupa *normal burst*, *frequency correction burst*, *synchronization burst*, dan *access burst*.

- Normal burst digunakan untuk membawa Traffic Channel (TCH) dan Control Channel (CCH)
- Frequency Correction Burst digunakan untuk frekuensi sinkronisasi MS.
- Synchronization Burst berisi sequence training, frame number, dan base station identity code yang lebih panjang.
- Access Burst digunakan oleh MS untuk mengakses kanal TDMA secara Pada burst ini guard time diperpanjang sampai 68,25 bit (atau setara dengan 252 us) untuk menyediakan insial akses bagi MS ke base stasion.



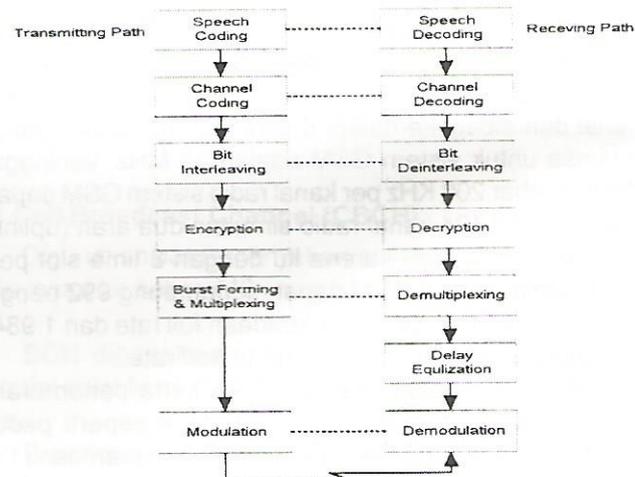
Gambar 8. Jenis burst sistem GSM/TDMA

Bagaimana bit rate sistem TDMA/GSM diperoleh misalnya pada TCH, CCH, atau CBCH. Hal itu dapat dijawab dengan mengetahui dua tugas utama yang terlibat dalam proses transmisi dan receiving sinyal informasi melalui link digital radio. Dua tugas tersebut yang pertama adalah pengolahan informasi atau 'information processing' dan yang kedua adalah proses modulasi atau 'modulation processing'.

Yang termasuk kedalam tugas pengolahan informasi adalah antara lain :

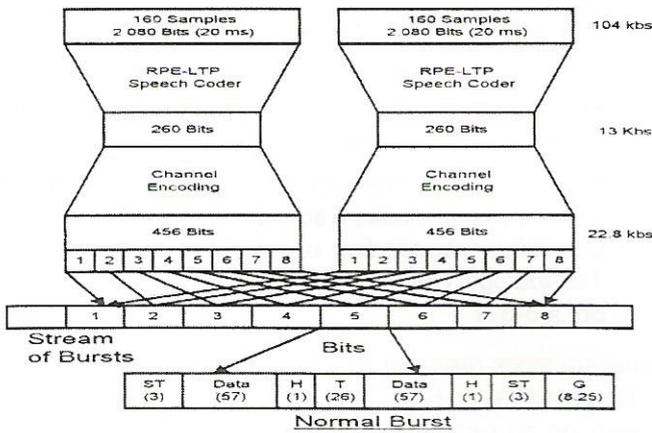
- Transcoding
- Channel Coding
- Encrypting
- Multiplexing

Sedangkan proses modulasi merupakan tugas kanal fisik guna mempersiapkan sinyal informasi untuk diubah ke sinyal RF Dalam skema proses dari mula mengolah informasi sampai mempersiapkan informasi tersebut agar siap dikirimkan melalui kanal radio dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 9. Proses linkradio digital

Khusus proses speech coding yang menempati urutan teratas dalam skema link radio digital pada Gambar 9 di atas, maka berikut ini disajikan proses tersebut melalui gambar berikut.

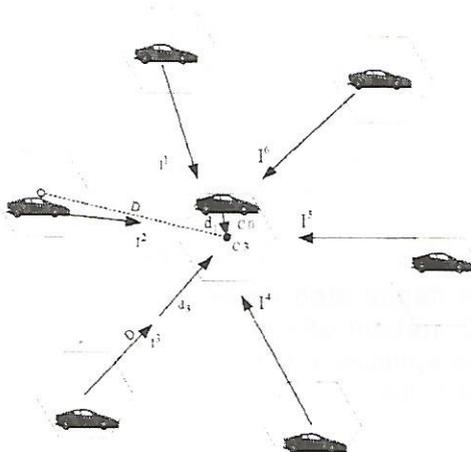


Gambar 10. Speech coding dalam sistem GSM

**4. Kapasitas Kanal Sistem Tdma Di GSM**

Seperti halnya pada sistem FDMA dimana setiap kanal frekuensi dialokasikan untuk satu pengguna, maka pada sistem TDMA setiap time slot dialokasikan untuk satu pengguna. Dalam satu perioda panggilan, tidak ada pengguna lain dalam time slot tersebut. Sistem selular GSM menerapkan konsep pengulangan frekuensi atau *frequency reuse* guna meningkatkan kapasitas sistem. Konsep dasar sistem selular mengatakan bahwa pengulangan frekuensi sel terjadi setiap jarak  $D_s = q R$ .  $D_s$  adalah jarak pengulangan,  $q$  adalah faktor pengulangan frekuensi, dan  $R$  adalah radius sel.

Asumsikan terdapat enam sel penginterferensi di sekelilingnya dan redaman lintasan proporsional terhadap pangkat 4 dari koefisien propagasi, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Interferensi kanal sama

Pada kondisi tersebut kapasitas sistem selular TDMA dapat ditentukan dari kapasitas radio  $m$  yang dinyatakan dalam jumlah kanal per sel.

$$m = \frac{B_t / B_c}{K} = \frac{M}{\sqrt{\frac{2}{3} \left( \frac{C}{I} \right)}} \text{ kanal per sel}$$

$B_t$  : Bandwidth total (transmit dan receive)

$B_c$  : Bandwidth kanal ekuivalen.

$M$  : Total jumlah kanal atau kanal ekuivalen =  $B_t / B_c$

$(C/I)_s$  : Carrier to noise ratio minimum yang diperlukan per kanal atau per time slot.

Dari data sistem TDMA pada GSM dapat dihitung kapasitas kanal per sel. Sebagai contoh bandwidth kanal radio sistem TDMA adalah 200 KHz yang terdiri dari 8 time slot. Artinya bandwidth kanal ekuivalen sama dengan  $200 / 8$  atau  $B_c = 25$  KHz.

Contoh perhitungan kapasitas sistem TDMA/GSM menggunakan data yang standar :

- $B_t = 25$  MHz
- $B_c = 25$  KHz
- $K = 4$

$$m = \frac{B_t / B_c}{K} = \frac{25 \times 10^6 / 25 \times 10^3}{4} = 250 \text{ kanal per sel}$$

Kapasitas tersebut dapat dibandingkan dengan sistem FDMA sebagai berikut:

- $B_t = 25$  MHz
- $B_c = 30$  KHz (untuk modulasi FM)
- Total kanal =  $B_t / B_c$
- =  $25 \times 10^6 / 30 \times 10^3$
- = 833,3 kanal

Cell reuse pattern  $K = 7$

Kapasitas radio  $m = 833,3 / 7$

= 119 Kanal per sel.

Untuk pengambilan contoh kasus seperti itu terlihat bahwa kapasitas kanal radio per sel untuk sistem TDMA 2 kali lebih besar dibandingkan dengan kapasitas kanal sistem FDMA.

## KESIMPULAN

Kanal radio pada Sistem GSM memiliki lebar pita 200 KHz perkanal dan dibagi ke dalam 8 time slot. Lebar pita yang tersedia untuk Sistem GSM adalah 25 MHz sehingga sistem GSM dapat menampung 124 kanal radio simultan dua arah. Untuk 8 time slot per kanal radio, Sistem GSM dapat menampung 992 pengguna secara simultan untuk keadaan full rate dan 1.984 pengguna simultan untuk keadaan half rate.

Struktur TDMA / FDMA pada sistem GSM dapat dilihat pada gambar 5. Sebuah time slot di dalam sistem GSM terdiri atas tail bit, data, stealing bit dan training bit yang ditunjukkan pada gambar 6 sedangkan struktur frame GSM dapat ditunjukkan pada gambar 7.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Lee, William C.Y, "*Mobile Cellular Telecommunication*", Mc. Graw Hill. Inc, 1995.
2. Calhoun, George, "*Digital Cellular Radio*", Artech House.Inc, 1988.
3. Tongze Jiang, "A comparison between the three Mobile Digital Communication Systems", Proceeding of the 37 th IEEE Vehicular Technology Conference, Tampa, June 1-3, 1987, pp. 359-362.
4. 4.K.D Eckert, 'Conception and Performance of Cellular Digital Mobile Radio Cimmunication System CD 9000, "Proceeding of the 37<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference", Tampa, Junel-3, 1987, pp.365-377

# AKSES PAKET DATA MENGGUNAKAN PACKET DRIVER

Purwoko Adhi \*)

## ABSTRACT

Packet Driver is a software program accompanying network interface hardware, such as an ethernet card. packet Driver provides function that can be accessed through software interrupts. These functions are used to exploit network interface capabilities, allowing development of packet data access program at data link level under MS-DOS operating system, without direct access to the hardware.

This paper describes the Packet Driver initialization and essential interface functions for program development. Examples of the initialization subroutine code and function call program code are also given, using assembler language for Intel 80386 microprocessor or better.

## INTISARI

Packet Driver merupakan perangkat lunak yang menyertai perangkat keras antarmuka jaringan, seperti ethernet card. Packet Driver menyediakan fungsi-fungsi yang bisa diakses melalui interupsi perangkat lunak. Fungsi-fungsi ini digunakan untuk mengeksploitasi kemampuan dari antarmuka jaringan, sehingga memungkinkan pembuatan program akses paket data langsung pada level data link di bawah MS-DOS, tanpa melakukan akses langsung ke perangkat keras.

Pada tulisan ini akan dipaparkan inisialisasi Packet Driver, beberapa fungsi antarmuka untuk pemrograman dan contoh kode program menggunakan bahasa assembler untuk mikroprosesor Intel 80386 ke atas.

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini komunikasi data sudah menjadi kebutuhan yang tidak bisa kita hindari. Dengan komunikasi data, pekerjaan yang sebelumnya sulit, tidak praktis, dan memerlukan banyak waktu, dapat dilakukan dengan mudah, praktis dan cepat. Komunikasi data juga

telah menghubungkan seluruh penjuru dunia melalui jaringan internet dan membuat jarak dan waktu tidak terasa lagi.

Perangkat keras dan perangkat lunak yang mempermudah kita dalam hal komunikasi data tersedia dan beredar di pasaran. Dengan kemudahan ini, sebagai pengguna, kita hanya mengetik di keyboard dan membaca di monitor. Selebihnya kita tidak tahu apa yang terjadi. Bagaimana data kita kirim dan bagaimana kita terima.

Salah satu perangkat lunak yang bisa membantu kita dalam memahami bagaimana jaringan komputer bekerja dan membuat program-program untuk mengakses, membaca, menerima, dan mengirim data melalui antarmuka jaringan yang terpasang pada jaringan adalah Driver Packet. packet Driver ini menyediakan kemudahan dalam pembuatan program di bawah MS-DOS dan memungkinkan kita membuat program-program sederhana untuk memonitor lalu lintas data pada jaringan, dan menyaring data. Kita bisa membuat protokol tersendiri (*proprietary*), tidak standar, sehingga tidak dikenal oleh perangkat lunak manapun, yang bisa kita gunakan untuk komunikasi data terbatas dan rahasia. Kita juga bisa meng-*install* pada PC satu program yang memantau jaringan dan menangkap e-mail yang ditujukan ke alamat tertentu, misalnya, dan mencetaknya.

## 2. PACKET DRIVER

Packet Driver adalah program TSR (*Terminate and Stay Resident*) yang menyediakan sebuah antarmuka pemrograman yang sederhana dan umum, yang memungkinkan beberapa aplikasi untuk menggunakan satu antarmuka jaringan secara bersamaan pada level data link. packet Driver mendemultipleks paket-paket yang datang di antara aplikasi-aplikasi dengan menggunakan type paket standard atau *service point field* dari media jaringan.

Packet Driver memungkinkan impelemtor tumpukan protokol menjadi independen terhadap merek atau model dari antarmuka jaringan yang digunakan pada komputer

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkom - LIPI,

Jl. Cisititu No. 21 / 154 D Bandung 40135

tertentu.

Packet Driver menyediakan routine untuk memulai akses ke type paket tertentu, untuk mengakhiri akses, untuk mengirim paket, untuk mendapatkan statistik pada antarmuka jaringan dan untuk mendapatkan informasi tentang antarmuka.

Implementor protokol yang menggunakan packet driver bisa dijalankan bersama dalam sebuah PC dan bisa menggunakan satu dan lain pelayanan, sedangkan beberapa aplikasi yang tidak menggunakan packet driver tidak bisa dijalankan bersama dengan baik. Melalui penggunaan packet Driver, satu user bisa menjalankan TCP/IP, XNS, dan implementor protokol *proprietary* seperti DECnet, Bayan's, LifeNet's, Novell's atau 3Com's tanpa kesulitan yang berhubungan dengan penguasaan antarmuka jaringan.

### 3. INISIASI PENGOPERASIAN DRIVER

Setelah program executable dijalankan Packet Driver menjadi program resident. Nama file program executable berbeda untuk setiap antarmuka jaringan.

Program yang telah menjadi resident bisa diangkat dengan menjalankan program yang sama dengan parameter tertentu.

Sekali menjadi program resident Packet Driver dipanggil melalui sebuah interupsi perangkat lunak dari 0 x 20 sampai 0 x FF (dalam versi sebelum 1.10 batas bawah dan atas adalah 0 x 60 dan 0 x 80). Spesifikasi Packet Driver tidak menunjuk sebuah interupsi tertentu, tetapi menjelaskan satu mekanisme untuk melokalisir interupsi yang digunakan oleh driver. Interupsi bisa dikonfigurasi untuk menghindari konflik dengan perangkat lunak lain yang juga menggunakan interupsi perangkat lunak. Program yang menginstal packet driver menyediakan mekanisme bagi user untuk menentukan interupsi.

Handler dari interupsi diasumsikan dimulai dengan 3 byte kode executable, seperti instruksi jump 3 byte, atau jum 2 byte diikuti dengan NOP. Kemudian diikuti oleh text ASCII yang akhiri dengan null: PKT DRVR (ASCII : 0 x 50 0 x 4A 0 x 54 0 x 20 0 x 44 0 x 52 0 x 56 0 x 52 0 x 00).

```

XOR      AX, AX
XOR      AX, AX
MOV      GS, AX
MOV      SI, 0080
label_11 GS:          ;cari 'PKT DRVR'
LFS      DI, [SI]
CMP      DI, FFF0
JA       label_12
FS:
CMP      DWORD PTR [DI+01], 'TKP'
JNZ      label_12
FS:
JZ       DWORD PTR [DI+07], 'RVRD'
label_12 ADD      label_13
CMP      SI, +04          ;vektor berikut
JBE      SI, 03FC
MOV      label_11
CALL     DX, err_text1
JMP      error          ;tidak ditemukan
label_13 SHR      label_91
MOV      SI, 02          ;ditemukan
MOV      AX, SI
MOV      [int_21+1], AL
MOV      [int_31+1], AL
MOV      [int_71+1], AL
MOV      [int_81+1], AL
MOV      AX, 0201
MOV      BX, FFFF

```

Listing 1. Program Pencarian packet Driver

Untuk menemukan interupsi yang digunakan oleh driver, satu aplikasi harus menscan handler-handler untuk vektor 0 x 20 sampai 0 x FF sampai menemukan satu handler dengan text "PKT DRVR" pada lokasi yang tepat. Listing 1 adalah contoh program pencarian packet driver.

Hasil pencarian berupa vektor interupsi ditempatkan dalam register AX. Apabila program tidak menemukan interupsi maka nilai 0 ditempatkan dalam register AX.

#### 4. ANTAR MUKA

Semua fungsi Packet Driver diakses melalui interupsi perangkat lunak yang telah ditemukan sebagai milik driver dengan mekanisme yang sudah diuraikan di atas. Pada masukan, register AH harus diisi dengan kode fungsi yang diinginkan. Di bawah ini akan dibahas beberapa hal yang perlu diperhatikan dan beberapa fungsi yang perlu diketahui untuk membuat sebuah program yang paling sederhana.

**Handle** - Handle adalah sebuah bilangan bulat (16-byte integer) yang dikaitkan dengan masing-masing type MaC-evel dimultiplezing yang merupakan hasil dari pemanggilan fungsi `access_type()`.

**Access\_type** - `Access_type` menginisiasi akses ke paket dengan type yang ditentukan. Argumen **type** adalah sebuah pointer ke spesifikasi **type** paket. Argumen **typelen** adalah panjang dalam byte dari field type. Argumen **receiver** adalah sebuah pointer ke satu subroutine yang akan dipanggil ketika sebuah paket diterima. Apabila argumen **typelen** sama dengan 0, berarti yang memanggil menginginkan semua type paket.

Definisi :

```
int access_type(if_class, if_type, if_number, type,
               typelen, receiver)
```

Parameter masukan:

```
AH      2
AL      if_class
BX      if_type
DL      if_number
DS:SI   type
ES:DI   receiver
```

Parameter hasil:

```
Carry   clear
AX      handle
```

Parameter hasil (kasus error):

```
Carry   set
DH      error code
```

Kemungkinan error:

```
NO_CLASS
NO_TYPE
NO_NUMBER
NO_TYPE
NO_SPACE
NO_INUSE
```

Contoh program untuk memanggil `access_type` dapat dilihat pada listing 2.

```
MOV     AX, 0201
MOV     BX, FFFF
MOV     DX, 0000
MOV     SI, type_buffer
MOV     CX, 0002
MOV     DI, upcall
int_21  INT     7E
        JNB    label_21
MOV     DX, err_text2
CALL    error
        JMP    label_91
label_21 MOV    [handle], AX
```

Listing 2. Program pemanggilan `Access_type`

**Subroutine receiver** - Protokol implemator atau aplikasi harus memiliki sebuah subroutine yang disebut receiver. Subroutine receiver tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Definisi :

```
(*receiver)(handle, flag, len [, lah_len], buffer)
```

Parameter masuk:

```
BX      handle
AX      flag
jika AX == 0,
DX      lah_len
DS:SI   lah_buffer      /* jika DX <> 0 */
jika AX == 1,
DS:SI   buffer
CX      buffer_len      /* jumlah byte yang dikopy */
```

Parameter hasil:

```
jika AX == 0,
ES:DI   buffer
CX      buffer_len
jika AX == 1,
ES:DI   buffer pointer
CX      buffer length
```

Parameter hasil (kasus error) :

```
ES:DI   0:0
```

Ketika sebuah paket diterima, **receiver** dipanggil dua kali oleh Packet Driver. Yang pertama untuk meminta satu buffer dari aplikasi ke mana paket akan di-copy. Register AX == 0 pada pemanggilan ini. Aplikasi memberikan jawaban satu pointer ke buffer, berupa kombinasi segment:offset, ke mana paket akan di-copy oleh driver di ES:DI. Apabila aplikasi tidak memiliki buffer atau tidak menginginkan copy dari paket, aplikasi memberikan jawaban 0:0 dalam ES:DI. Pada kasus ini driver akan membuang paket dan tidak melakukan pemanggilan kedua.

Receiver bisa mengalokasikan buffer dengan

panjang yang tepat dengan menggunakan register CX (packet length). Panjang ini termasuk MaC header dan semua data yang diterima, kecuali Frame Check Sequence.

Pada pemanggilan kedua AX==1. Pemanggilan ini memberitahukan bahwa peng-copy-an telah selesai dan aplikasi bisa melakukan apa yang diinginkan dengan buffer yang telah berisi paket data. Buffer ke mana paket telah di-copy ditunjukkan oleh DS:SI.

Listing 3 adalah sebuah contoh routine Receiver. Buffer dialokasikan pada segmen RAM di atas segmen code (CS+1000H) dan menggunakan dua buah pointer, write\_pointer untuk menunjukkan lokasi penulisan dan read\_pointer untuk menunjukkan lokasi pembacaan. Receiver hanya mengubah write\_pointer. Routine lain yang membaca dan mengolah paket dalam buffer akan mengubah read\_pointer. Receiver akan memeriksa

read\_pointer dan menghitung posisi akhir write\_pointer, untuk menghindari penulisan paket di atas zona RAM dimana terdapat data paket yang belum dibaca. apabila tidak terdapat ruangan yang mencukupi untuk buffer, pada kasus dimana buffer tidak pernah dibaca misalnya, Receiver akan menjabab 0:0 dalam ES:DI pada Packet Driver. Sehingga Packet Driver tidak meng-copy-kan paket yang datang. Pada awal paket ditambah data 2 byte yang menunjukkan panjang paket.

**Release\_type** - Fungsi ini mengakhiri akses ke paket yang berkaitan dengan handle yang dikembalikan atau dihasilkan oleh access\_type(). Handle tersebut tidak berlaku lagi. Contoh program dapat dilihat pada Listing 4.

Definisi :  
in release\_type(handle)

```

upcall      OR          AX, AX
            JNZ        label_124      ;AX=0 atau AX=1?
            MOV        AX, CS
            ADD        AX, 1000
            MOV        ES, AX
            CS:
            MOV        AX, [buffer_head]
            CS:
            MOV        DX, [buffer_tail]
            CMP        AX, DX
            JNB        label_121
            ADD        AX, +02          ;ruang 2 byte untuk panjang
            MOV        DI, AX          ;paket
            ADD        AX, CX          ;hitung posisi write_pointer
            CMP        AX, DX          ;melampaui read_pointer?
            JNB        label_123
            RETF
label_121   ADD        AX, +02          ;ruang 2 byte untuk panjang
            MOV        DI, AX          ;paket
            ADD        AX, CX          ;hitung posisi write_pointer
            BTR        AX, 0F
            JNB        label_122
            CMP        AX, DX          ;melampaui read_pointer
            JNB        label_123
label_122   RETF
label_123   XOR        DI, DI          ;buffer tidak cukup
            MOV        ES, DI          ;ES:DI=0:0
            RETF
label_124   MOV        [SI-02], CX     ;AX=1
            ADD        SI, CX          ;tulis panjang paket
            BTR        SI, 0F
            CS:
            MOV        [buffer_head], SI ;update write_pointer
            RETF

```

Listing 3. Contoh Routine Receiver

Parameter masukan:

AH 3  
 BX handle

Parameter hasil :

carry clear

Parameter hasil (kasus error) :

carry set  
 DH kode error

Kemungkinan error :

BAD\_HANDLE

```
label_81    MOV     AX,0300
            MOV     BX,[handle]
int_81      INT     7E
```

Listing 4. Pemanggilan release\_type

**Set\_rev\_mode** - Set\_rev\_mode mengeset mode penerimaan pada antarmuka yang berkaitan dengan handle. Tabel 1 menunjukkan mode dan artinya, sedangkan contoh program dapat dilihat pada Listing 5 untuk awal program dan Listing 6 untuk akhir program.

Tabel 1. Mode Penerimaan

mode	arti
1	turn off receiver (no packets)
2	receive oly packets sent to this interface's station address
3	mode 2 plus broadcast destination address
4	mode 3 plus multicast address as set via set multicast list()
5	mode 3 plus all multicast packets
6	all packets
7	Raw mode

Definisi :

set\_rev\_mode(handle, mode)

Parameter masuk :

AH 20  
 BX handle  
 CX mode

Parameter hasil :

non-error return:

carry clear

Parameter hasil (kasus error) :

carry set  
 DH error code

Kemungkinan error :

BAD\_HANDLE  
 BAD\_MODE

```
int_31      MOV     AX,1400
            MOV     BX,[handle]
            MOV     CX,0006
int_31      INT     7E
            JNB    label_41
            MOV     DX,err_text3
            CALL   error
            JMP    label_81
```

Listing 5. Pemanggilan set\_rev\_mode di awal program.

```
int_71      MOV     AX,1400
            MOV     BX,[handle]
            MOV     CX,0003
int_71      INT     7E
```

Listing 6. Pemanggilan set\_rev\_mode di akhir program

**Send\_pkt** - Mengirim data sebanyak **length** byte, dimulai pada **buffer**. Aplikasi harus memberikan keseluruhan paket, termasuk local network header. Informasi MAC atau LLC yang digunakan untuk demultipleks paket (seperti DEC-Intel-Xerox Ethertype) harus diisi oleh aplikasi juga. Hal ini tidak bisa dilakukan oleh packet driver, karena tidak ada handle yang ditunjukkan dalam pemanggilan fungsi sen\_pkt().

Definisi :

int sen\_pkt(buffer, length)

Parameter masuk :

AH 4  
 DS:S buffer  
 CX length

Parameter keluar :

carry clear

Parameter keluar (kasus error) :

carry set  
 DH error code

Kemungkinan error :

CANT\_SEND

```

MOV     AX,$0400
MOV     CX,end_of_my_packet - my_packet      ;panjang paket
MOV     DX,CS
MOV     DS,DX                                ;DS:SI= pointer ke paket
MOV     SI,my_packet
INT     $7E                                  ;interupsi packet driver

```

Listing 7. Pemanggilan send\_pkt.

## 5. STRUKTUR PROGRAM LENGKAP

```

00 mulai
01 cari Packet Driver
02 access_type
03 set_rcv_mode
04 alokasi memory
05 periksa paket baru
06 jika tidak keluar kembali ke 05
07 set_rcv_mode
08 release_type
09 keluar
11 sub routine error
12 sub routine receiver
13 data variabel
14 sub routine pengolah data

```

Contoh program untuk periksa paket baru dapat dilihat pada Listing 8. Sub routine pengolah data akan menyaring paket data yang sudah tersimpan di buffer kemudian menyalurkan ke aplikasi apabila program berupa protokol implementor. Apabila program merupakan aplikasi itu sendiri, maka setelah menyaring paket data menurut type paket, sub routine pengolah

data akan mengolah data sesuai dengan fungsi aplikasi, seperti menyimpan dalam bentuk file, menampilkan dilayar, dan sebagainya.

## 6. PENUTUP

Sebagai satu program yang dibuat oleh pembuat antarmuka jaringan, Packet Driver menyediakan antarmuka yang standar, tidak tergantung merek, dan mudah diakses. Packet driver memungkinkan kita untuk membuat program yang menggunakan antarmuka jaringan, seperti ethernet card, untuk komunikasi data, tanpa melakukan akses perangkat keras langsung ke antarmuka jaringan tersebut.

Tingkat pemrograman menggunakan Packet Driver adalah tingkat data link, maka pemrograman menggunakan Packet Driver mencakup aplikasi yang sangat luas. Yaitu, dari pembuatan perangkat lunak untuk memonitor dan menyaring dan menyaring data yang melewati jaringan, pembuatan program untuk switch, bridge, dan sebagainya, sampai pembuatan protokol tersendiri (*proprietary*) dan tidak dikenal oleh perangkat lunak jaringan manapun.

```

label_51      MOV     BX,[buffer_tail]
              CMP     BX,[buffer_head]
              JZ      label_61
              ES:
              MOV     AX,[BX]
              ADD     BX,+02
              ADD     AX,BX
              MOV     [buffer_marker],AX
              MOV     [buffer_next],AX
              ...
              dari sini panggil pengolah data
              ...
              MOV
              BTR
              MOV     [buffer_tail]
              JMP     label_51

```

Listing 8. Periksa paket baru.

## 7. REFERENSI

- [1] ROMKEY John and Fisher Sharon, *Packet Drivers*, Byte Magazine, May 1991, p. 297 - 306.
  - [2] ROMKEY John, *Packet Driver Specification Revision 1.11*, Packet Driver Developer Information, <http://www.devinfo.com/archives/simtel/msdos/pktdrvr/>
  - [3] The Simtel. Net MS-DOS Collection: *TCP/IP/IPX/ODI packet drivers*, <http://www.simtel.net/simtel.net/msdos/pktdrvr.html>.
  - [4] TRIBEL Walter A., *The 80386DX Microprocessor Hardware, Software, and Interfacing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992
  - [5] MURRAY III William H., *80386/80286 Assembly Language Programming*, Osborne Mc Graw-Hill, Berkeley, California, 1986.
  - [6] MINOLI Daniel, *Telecommunications Technology Handbook*, Artech House, Norwood, 1991.
  - [7] COMER Douglas E., *Internetworking With TCP/IP Volume 1 : Principles, Protocols and Architectures*, 2nd Edition, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
-

# PERANCANGAN FILTER COMBLINE

Rustini S. Kayatmo <sup>1)</sup> dan Yuyu Wahyu <sup>2)</sup>

## ABSTRACT

Comblin-filters are usually used in microwave frequencies. This paper describes how to design comblin badpass filter by using Butterworth and Tchebyscheff formula. Comblin bandpass filter type is used in a form of slabline.

To determinate the self capacitance and coupling capacitance of the filter, the equations from G.L. Matthaei<sup>5)</sup> are applied, where as the dimensional design of filter is based on study of E.g. Cristal<sup>2)</sup>. This paper is made based on study literature.

## INTISARI

Comblin-filter biasanya digunakan pada frekuensi microwave. Makalah ini menguraikan bagaimana merancang suatu filter comblin dengan menggunakan pendekatan Butterworth dan Tchebyscheff.

Perancangan untuk menentukan kapasitansi sendiri (self capacitance) dan bersama (coupling capacitance) berdasarkan pada persamaan-persamaan dari G.L. Matthaei<sup>5)</sup>. Sedangkan perancangan dimensi filter berdasarkan pada kurva-kurva E.G. Cristal<sup>2)</sup>. Makalah ini dibuat berdasarkan studi pustaka.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi pada daerah frekuensi gelombang mikro (*microwave*) yaitu pada daerah frekuensi 1 GHz sampai dengan 1000 GHz memerlukan penguasaan teknologi perancangan dan realisasi komponen-komponen microwave. Adapun salah satu komponen tersebut adalah filter microwave.

Filter merupakan suatu alat yang penting dalam sistem telekomunikasi, yang berfungsi untuk menyalurkan sinyal-sinyal pada daerah frekuensi tertentu yang diinginkan dan menolak sinyal-sinyal pada daerah frekuensi yang tidak diinginkan. Menurut karakteristiknya, filter dapat dibagi dalam empat jenis yaitu: *Low-Pass Filter*,

*High-Pass Filter*, *Band-Pass Filter* dan *Band-Stop Filter*. Dalam makalah ini cara perancangan terutama ditekankan pada pembuatan Band-Pass Filter.

Pada frekuensi rendah filter dibuat oleh elemen-elemen terbungkah (*lumped elements*) seperti induktor dan kapasitor yang tidak berubah terhadap frekuensi dan fasa. Sedangkan pada frekuensi microwave tidak dapat dipakai elemen-elemen terbungkah tetapi dipakai elemen terdistribusi (*distributed-line*) berupa *transmission line* (saluran transmisi) dengan parameter R, L, G, dan C yang berfungsi terhadap panjang saluran transmisi sedangkan harga L dan C berubah terhadap frekuensi. Sebagai contoh antara lain, coaxial lines, microstrip lines, slotted lines dan coplanar waveguides.

Karakteristik band-pass filter, high-pass filter, band stop filter, lebih mudah dianalisis jika daerah frekuensinya ditransformasikan ke bentuk low-pass filter, karena perumusan matematik dari karakteristik low-pass filter telah diketahui. Dari perumusan matematik dapat ditentukan orde filter dan harga parameter prototip low-pass filter.

## TEORI DASAR

Persamaan-persamaan yang dipakai dalam pembuatan microwave filter umumnya menggunakan parameter prototip low-pass filter. Harga parameter tersebut didapat dengan cara mentransformasikan karakteristik microwave yang diinginkan ke bentuk karakteristik low-pass filter oleh suatu fungsi pemetaan. Karakteristik low-pass filter ini dapat menentukan orde filter dan harga parameter prototip filter dengan pendekatan matematis dari *Tchebyscheff* dan *Butterworth*.

### 1. Bentuk Karakteristik Redaman Low-Pass Filter

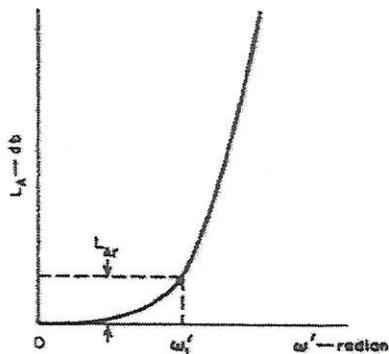
Bentuk karakteristik redaman low-pass secara matematis telah diketahui. Perumusan yang sering dipakai adalah pendekatan Butterworth dan Tchebyscheff. Untuk orde filter yang sama, pendekatan Tchebyscheff akan memberikan kemiringan kurva redaman yang lebih curam pada daerah ban-peralihan

Korespondensi:

\*) 1) dan 2) adalah Peneliti Puslitbang Telkoma-LIPI,  
Jl. Cisitno No. 21/154 D Bandung 40135

dan memungkinkan adanya riak pada daerah pass band.

Karakteristik redaman low-pass filter dari Butterworth yang dikenal dengan sebutan karakteristik redaman 'maximally flat' low-pass filter, dapat dilihat pada gambar 2-1.



Gambar 1. Karakteristik Redaman Maximally-Flat LPF

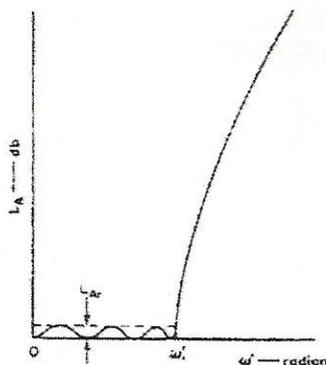
Secara matematis dapat dinyatakan :

$$L_A(\omega') = \log \left[ 1 + \left( \frac{\omega'}{\omega_1} \right)^{2n} \right] \tag{1}$$

dengan  $\epsilon = (10 \exp \frac{L_{Ar}}{10}) - 1$  (2)

- $L_{Ar}$  : Redaman 3 dB, merupakan batas pass band
- $\omega_1'$  : Frekuensi Batas pada Redaman  $L_{Ar}$
- $n$  : Banyaknya elemen reaktif pada prototip low-pass filter (orde filter)

Bentuk karakteristik redaman dari Tchebyscheff dikenal juga dengan sebutan karakteristik 'equal ripple' low-pass filter, seperti yang terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik Redaman 'equal ripple' LPF

Karakteristik filter tersebut secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$$L_A(\omega') = 10 \log [1 + \epsilon \cos^2(n \cos^{-1}(\frac{\omega'}{\omega_1}))]; \text{ untuk } \omega' \leq \omega_1' \tag{3}$$

dan

$$L_A(\omega') = 10 \log [1 + \epsilon \cosh^2(n \cosh^{-1}(\frac{\omega'}{\omega_1}))]; \text{ untuk } \omega' \geq \omega_1' \tag{4}$$

dengan  $\epsilon = (10 \exp \frac{L_{Ar}}{10}) - 1$  (5)

- $L_{Ar}$  : Besarnya ripple redaman pada pass band
- $\omega_1'$  : Frekuensi Batas pada Redaman  $L_{Ar}$
- $n$  : Banyaknya elemen reaktif pada prototip low-pass filter (orde dilter)

## 2. Harga Elemen Prototip untuk Filter Butterworth dan Tchebyscheff

Untuk bentuk karakteristik filter Butterworth seperti pada gambar 1, harga elemen-elemen prototip yang telah dinormalisasi untuk keadaan  $g_0 = 1$  dan  $\omega_1' = 1$  dapat dihitung persamaan matematis sebagai berikut :

$$g_0 = 1 \tag{6}$$

$$g_k = 2 \sin \frac{(2k-1)\pi}{2n}; k = 1, 2, \dots, n \tag{7}$$

$$g_{n+1} = 1 \tag{8}$$

Untuk bentuk karakteristik filter Tchebyscheff pada gambar 2, harga elemen-elemennya dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$g_1 = \frac{2a_1}{\gamma} \tag{9}$$

$$g_k = \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}}; k = 2, 3, \dots, n \tag{10}$$

$$g_{n+1} = 1 \text{ untuk } n \text{ ganjil} \tag{11}$$

$$g_{n+1} = \coth^2 \left( \frac{\beta}{4} \right) \text{ untuk } n \text{ genap}$$

dengan  $\beta = \ln(\coth \frac{L_{Ar}}{17,37})$  (12)

$$\gamma = \sinh \left( \frac{\beta}{2n} \right) \tag{13}$$

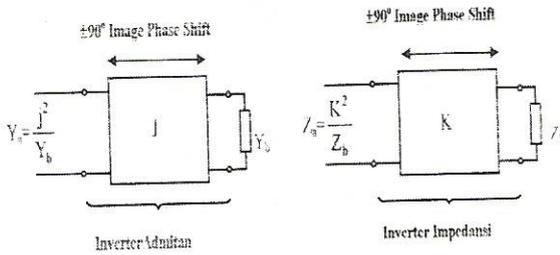
$$a_k = \sin \left( \frac{2k-1}{2n} \right); k = 1, 2, \dots, n \tag{14}$$

$$b_k = \gamma^2 + \sin^2 \left( \frac{2\pi}{n} \right); k = 1, 2, \dots, n \tag{15}$$

## 3. Penggunaan Inverter Admitansi Dalam Prototip Low-Pass Filter

Dalam menentukan persamaan perancangan suatu microwave filter sering dipakai konsep inverter admitansi

inverter impedansi. Konsep tersebut dapat dinyatakan oleh gambar 3.



Gambar 3. Konsep Inverter Admittansi dan Inverter Impedansi

Inverter admittansi yang ideal bekerja seperti saluran transmisi dengan panjang  $\lambda/4$  dengan admittansi karakteristiknya J pada semua frekuensi. Sedangkan inverter impedansi yang ideal bekerja seperti saluran transmisi dengan panjang  $\lambda/4$  dengan impedansi karakteristiknya K pada semua frekuensi. Sifat inverter ini menyebabkan kapasitansi paralel yang dipasang diujung beban akan dirasakan sebagai induktansi seri pada ujung yang lain, demikian juga sebaliknya.

4. Transformasi Low-Pass ke Band-Pass Filter

Bentuk karakteristik prototipe low-pass filter dapat ditransformasikan ke bentuk band-pass filter oleh suatu fungsi pemetaan sebagai berikut :

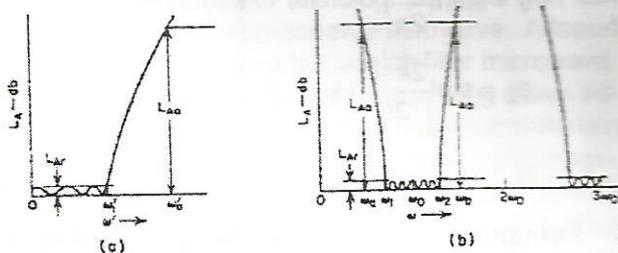
$$\frac{\omega'}{\omega'_1} = \frac{1}{\omega^*} \left( \frac{\omega - \omega_0}{\omega} \right) \tag{16}$$

dengan  $\omega^* = \left( \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \right)$  (17)

Untuk aplikasi narrow band dapat didekati dengan persamaan sbb :

$$\frac{\omega'}{\omega'_1} = \frac{2}{\omega^*} \left( \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right) \tag{18}$$

Kapasitas paralel  $C_{aj}$  gambar ditransformasikan dengan fungsi pemetaan menjadi :



Gambar 4. Respon Prototip LPF dan Hubungan Respons BPF

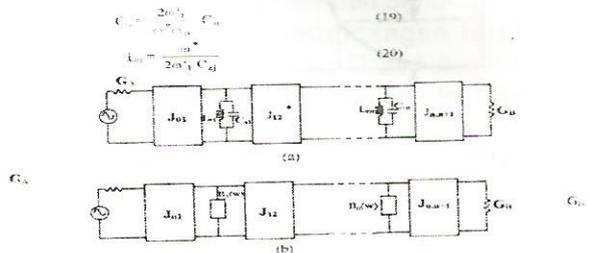
$$\omega' C_{aj} = \frac{2\omega'_1}{\omega^*} \left( \frac{\omega - \omega_0}{\omega} \right) C_{aj} ; j = 1 \text{ s/d } n$$

$$= \omega C_{aj} - \frac{1}{\omega L_{rj}}$$

dengan,

$$C_{rj} = \frac{2\omega'_1}{\omega^* \omega_0} C_{aj} \tag{19}$$

$$L_{rj} = \frac{\omega^*}{2\omega'_1 C_{aj}} \tag{20}$$



Gambar 5. (a). Rangkaian BPF dengan Inverter Admittansi  
(b). Rangkaian Umum Filter dengan Inverter Admittansi

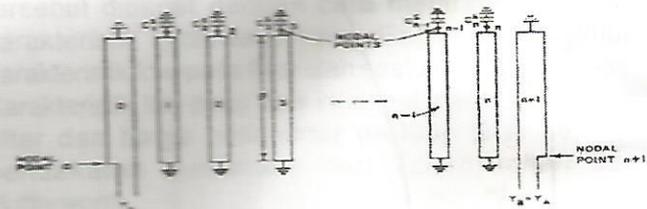
Dengan memasukkan persamaan (19) dan (20) kedalam persamaan J pada inverter diperoleh :

$$J_{n,n+1} = \sqrt{\frac{G_B \omega^* \omega_0 C_{rn}}{2g_n g_{n+1} \omega'_1}} \tag{21}$$

$$J_{0,1} = \sqrt{\frac{G_A \omega^* \omega_0 C_{r1}}{2g_0 g_1 \omega'_1}} \tag{22}$$

$$J_{k,k+1} |_{k=1 \text{ s/d } (n-1)} = \frac{\omega^* \omega_0}{2\omega'_1} \sqrt{\frac{C_{rk} C_{r(k+1)}}{g_k g_{k+1}}} \tag{23}$$

5. Filter Band Pass Comblin



Gambar 6. Susunan Comblin Band-Pass Filter

Gambar 6. menunjukkan filter bandpass combline dalam bentuk slabline atau batang silinder. Resonator filter ini terdiri atas elemen-elemen saluran transmisi (transmission line) mode TEM yang dihubungkan singkat pada salah satu ujungnya dan dipasang kapasitor tertungkah  $C_k^s$  diantara ujung lainnya dengan ground.

Saluran transmisi 1 s/d n sepanjang yang dibuhungkan dengan kapasitor  $C_1^s$  s/d  $C_n^s$  merupakan resonator, sementara itu saluran transmisi 0 dan n + 1 bukan merupakan resonator tetapi bagian sederhana dari bagian *impedance-transformin* pada bagian akhir filter. Kopling antara resonator tercapai melalui *fringing field* atau medan limpahan antara resoantor.

Apabila kapasitor  $C_k^s$  ada, panjang resonator akan kurang dari  $\frac{\lambda_0}{4}$  pada saat resonansi ( $\lambda_0$  adalah panjang gelombang pada frekuensi tengah) dan kopling antar resonator yang dominan adalah medan magnet. Tetapi apabila  $C_k^s$  tidak ada, panjang resonator akan menjadi  $\frac{\lambda_0}{4}$  pada saat resonansi dan susunan tidak akan memiliki pass-band. Hal ini terjadi karena apabila salah satu ujung tidak diberi beban reaktif maka pengaruh kopling magnetik dan kopling elektrik saling menghilangkan. Dengan demikian susunan combline menjadi susunan all-stop. Oleh karena itu biasanya kapasitansi  $C_k^s$  dibuat cukup lebar. Sehingga panjang resonator kurang atau sama dengan  $\frac{\lambda_0}{8}$  pada saat resonansi.

Disamping mempunyai kopling antar resonator efisien (dengan jarak antar resonator terdekat cukup lebar), juga filter yang dihasilkan relatif kecil. Selain itu pass-band kedua terjadi diatas setengah panjang gelombang, sehingga jika panjang resonator sama dengan  $\frac{\lambda_0}{8}$  pada pass-pand utama, maka pada pass-band kedua akan berpusat diatas empat kali dari frekuensi tengah dari pass-band pertama atau dapat didekati dengan rumus  $f_r \approx \frac{180}{\theta} f_0$ , dimana  $\theta$  adalah panjang resonator dalam derajat. Jika resonator dibuat kurang dari  $\frac{\lambda_0}{8}$  pada pass-band utama, sedangkan pass-band kedua akan digeser lebih jauh.

Sifat lain dari filter combline ini adalah redaman melalui filter ini tidak terbatas untuk resonator  $\frac{1}{4}$  panjang gelombang. Karena pada hal tersebut redaman diatas pass-band utama sangat tinggi dan bergantung pada apakah panjang resonator terletak pada pusat pass-band, sedangkan laju cut-off pada sisi atas pass-band dapat dibuat sangat curam. Untuk panjang resonator yang mendekati  $\frac{\lambda_0}{4}$  yang terletak pada pusat pass-band, laju cut-off diatas pass-band akan lebih curam.

Secara praktis biasanya antara  $45^\circ$  dan  $30^\circ$  yang menghasilkan susunan yang kompak dan unjuk kerja stop-band yang baik, tetapi panjang resonator yang pendek dibatasi oleh Q-tanpa beban.

Dari uraian diatas filter combline mempunyai ke-sitimewaan yang menarik antara lain sebagai berikut :

- Cukup kompak
- Mempunyai stop-band yang kuat dan stop-band diatas pass-band utama dapat dibuat sangat lebar (broadband)
- Laju kecuraman cut-off pada bagian atas pass-band dapat dirancang sangat curam.
- Kopling antara elemen resoantor dengan jarak cukup lebar yang memadai dapat dipertahankan. Hal ini berarti bahwa kopling yang baik dapat dipertahankan dalam filter yang dibuat tanpa persyaratan yang tidak masuk akal.
- Filter combline biasanya dapat difabrikasi tanpa menggunakan material pendukung dielektrik, sehingga jika diinginkan rugi-rugi dielektrik dapat dihilangkan.

**6. Beberapa Sifat Khusus Slabline**

Slabline adalah suatu saluran transmisi yang berbentuk batang logam silindris yang mempunyai mode penyaluran TEM (Transverse Electro-Magnetic), yaitu mode penyaluran yang medan listrik dan medan magnetnya tegak lurus sumbu perambatan.



d : diameter slabline \_\_\_\_\_ : medan listrik  
b : jarak antar ground-plane ----- : medan magnet

**Gambar 7.** Penampang Melintang Slabline dan Medan-medan yang Bekerja Padanya

Harga impedansi karakteristik saluran merupakan fungsi dari d dan b. Secara matematik harga impedansi adalah sebagai berikut :

$$Z_c = \frac{Z_\infty}{2\pi} \ln\left(\frac{4}{\pi \frac{d}{b}}\right) \tag{24}$$

dimana  $Z_\infty$  adalah impedansi gelombang dari medium propagasi. Untuk udara bebas :

$$Z_\infty = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376,73\Omega \tag{25}$$

Persamaan (24) mempunyai ketelitian yang baik untuk harga  $\frac{d}{b}$  yang dimasukkan kedalam persamaan (24), sehingga menjadi :

$$Z_c = \frac{Z_\infty}{2\pi} \ln \left( \frac{4}{\pi \frac{d}{b} F} \right) \quad (26)$$

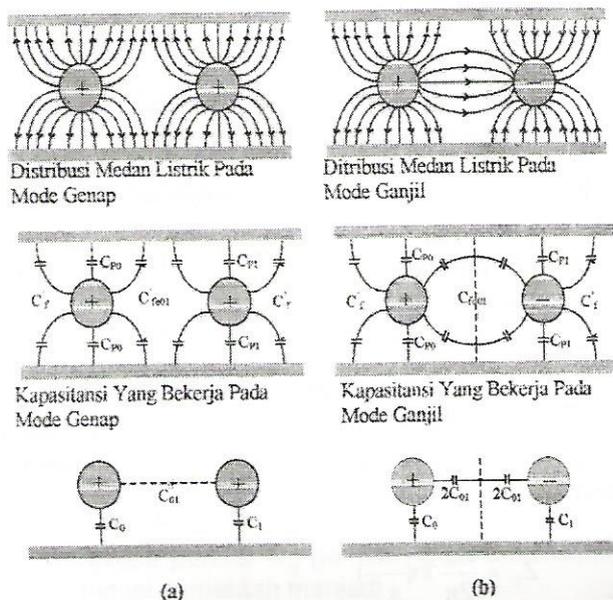
dimana

$$F = \left[ \frac{1 - (\frac{d}{b})^4}{5,905} \right]^{\frac{1}{2}} [1 + \exp[16(\frac{d}{b} - 1,42)]] \quad (27)$$

Persamaan (27) memberikan ketelitian yang memuaskan untuk  $\frac{d}{b} \leq 0,95$ .

### 7. Batang Silinder Yang Digandeng Sejajar Di-antara Dua Ground-Plane

Pada struktur batang silinder yang digandeng sejajar diantara dua ground-plane terdapat dua buah mode, yaitu mode genap (even mode) dan mode ganjil (odd mode). Mode genap adalah keadaan dengan kedua slabline mempunyai tegangan yang sama. Sedangkan mode ganjil adalah keadaan dengan kedua batang silinder mempunyai tegangan yang berlawanan. Definisi mode genap dan mode ganjil dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. (a). Definisi Mode Genap, dan (b). Mode Ganjil

- $C'_f$  : kapasitansi tepi persatuan panjang, untuk tepi bagian luar dari struktur batang silinder.
- $C'_{fo01}$  : kapasitansi tepi persatuan panjang, untuk tepi bagian dalam dari batang silinder ke 0 dan ke 1 pada keadaan mode genap.
- $C'_{fo01}$  : kapasitansi tepi persatuan panjang, untuk tepi bagian dalam dari batang silinder ke 0 dan ke 1 pada

keadaan mode ganjil.

- $C_{P0}$  : kapasitansi tepi persatuan panjang dari salah satu sisi batang silinder ke 0 dengan ground-plane terdekat
- $C_{P1}$  : kapasitansi tepi persatuan panjang dari salah satu sisi batang silinder ke 1 dengan ground-plane terdekat
- $C_0$  : kapasitansi tepi persatuan panjang antara batang silinder ke 0 dengan ground-plane. Disebut juga kapasitansi sendiri dari saluran ke 0.
- $C_1$  : kapasitansi tepi persatuan panjang antara batang silinder ke 1 dengan ground-plane. Disebut juga kapasitansi sendiri dari saluran ke 1.
- $C_{01}$  : kapasitansi tepi persatuan panjang antara batang silinder ke 0 dengan ke 1. Disebut juga kapasitansi bersama dari batang silinder ke 0 dan ke 1.

Pada gambar 8 (a) diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$C_0 = 2C_{P0} + 2C'_f + 2C'_{fo01} \quad (28)$$

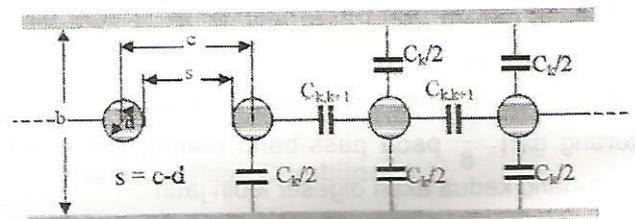
Sedangkan pada gambar 2.22 (b) diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$C_0 + 2C_{01} = 2C'_f + 2C'_{fo01} + 2C_{P0} \quad (29)$$

Dari kedua persamaan (28) dan (29) tersebut diatas didapat

$$C_{01} = C'_{fo01} - C'_f \quad (30)$$

Pada gambar 9 diperlihatkan penampang melintang dari struktur batang silinder yang digandeng sejajar diantara ground-plane yang dipergunakan untuk filter bandpass combine. Tiap saluran mempunyai batang silinder dengan diameter d, jarak antar pusat batang c, jarak antar permukaan batang silinder s, dan antar ground-plane b.



Gambar 9. Batang Silinder Yang Digandeng Sejajar Diantara Ground-Plane

G.L. Matthaei<sup>5)</sup> memberikan persamaan perancangan untuk filter bandpass Combine untuk narrow bandwidth. Persamaan-persamaan tersebut untuk menentukan harga kapasitansi sendiri dan kapasitansi bersama yang dinormalisasi dengan konstanta dielektrik, seperti yang terlihat pada tabel berikut :

Persamaan perancangan untuk menentukan kapasitansi Sendiri dan Kapasitansi Bersama untuk Combine Band-Pass Filter

Pilih Admittansi karakteristik yang Ternormalisasi

$\frac{Y_{ak}}{Y_A}$  sehingga memberikan Q-tanpa beban yang baik.

Kemudian Hitung :

$$\frac{b_k}{Y_A} \Big|_{k=1s/dn} = \frac{Y_{ak}}{Y_A} \left( \frac{\cot \theta_0 + \theta_0 \cos^2 \theta_0}{2} \right)$$

dimana  $\theta_0$  adalah panjang elektrik resonator pada frekuensi tengah.

$$\frac{G_{T1}}{Y_A} = \frac{w \frac{b_1}{Y_A}}{g_0 g_1 w_1'}$$

$$\frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \Big|_{k=1s/dn-1} = \frac{w}{w_1'} \sqrt{\frac{(b_k/Y_A)(b_{k+1}/Y_A)}{g_k g_{k+1}}}$$

$$\frac{G_{Tn}}{Y_A} = \frac{w \frac{b_n}{Y_A}}{g_n g_{n+1} w_1'}$$

Dimana w adalah Fraksional Bandwidth

Kemudian hitung kapasitansi sendiri :

$$\frac{C_0}{\epsilon} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( 1 - \sqrt{\frac{G_{T1}}{Y_A}} \right)$$

$$\frac{C_1}{\epsilon} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( \frac{Y_{a1}}{Y_A} - 1 + \frac{G_{T1}}{Y_A} - \frac{J_{12}}{Y_A} \tan \theta_0 \right) + \frac{C_0}{\epsilon}$$

$$\frac{C_k}{\epsilon} \Big|_{k=2s/dn-1} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( \frac{Y_{ak}}{Y_A} - \frac{J_{k-1,k}}{Y_A} \tan \theta_0 - \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \tan \theta_0 \right)$$

$$\frac{C_n}{\epsilon} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( \frac{Y_{an}}{Y_A} - 1 + \frac{G_{Tn}}{Y_A} - \frac{J_{n-1,n}}{Y_A} \tan \theta_0 \right) + \frac{C_{n+1}}{\epsilon}$$

$$\frac{C_{n+1}}{\epsilon} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( 1 - \sqrt{\frac{G_{Tn}}{Y_A}} \right)$$

dimana  $\epsilon$  adalah konstanta dielektrik mutlak dari medium propagansi dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif.

Selanjutnya menghitung kapasitansi bersama :

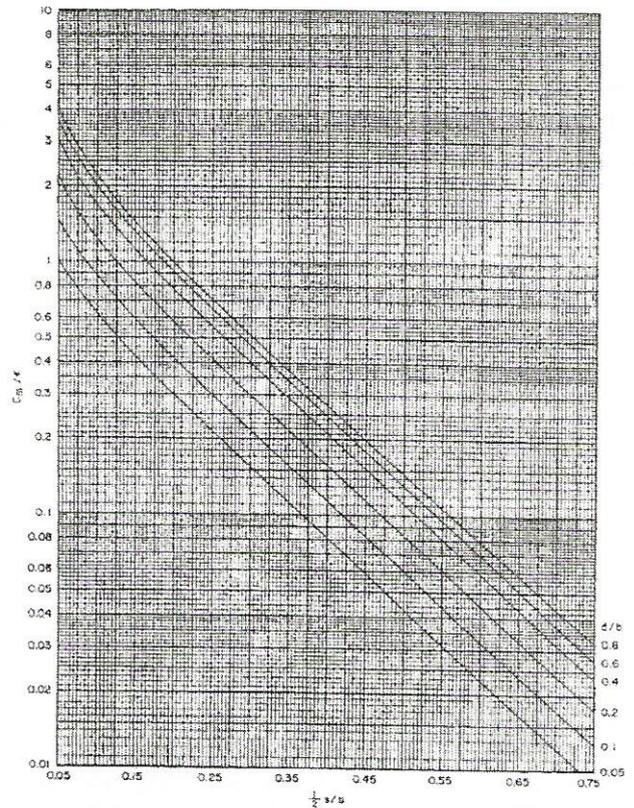
$$\frac{C_{01}}{\epsilon} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} - \frac{C_0}{\epsilon}$$

$$\frac{C_{k,k+1}}{\epsilon} \Big|_{k=1s/dn-1} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( \frac{J_{k,k+1}}{Y_A} \tan \theta \right)$$

$$\frac{C_{n,n+1}}{\epsilon} = \frac{376,7 Y_A}{\sqrt{\epsilon_r}} - \frac{C_{n+1}}{\epsilon}$$

$$C_k^s \Big|_{k=1s/dn} = Y_A \left( \frac{Y_{ak}}{Y_A} \right) \frac{\cot \theta_0}{w_0}$$

E.G. Cristal<sup>2)</sup> memberikan grafik kapasitansi yang dinormalisasi dengan konstanta dielektrik  $C/\epsilon$  terhadap jarak antar permukaan batang silinder yang dinormalisasi dengan jarak antar ground-plane s/b dapat membantu dalam mensintesa filter. Oleh karena itu diberikan gambar 10 yang menunjukkan grafik  $C_{k,k+1}/\epsilon$  vs  $\frac{1}{2} s/b$  dan gambar 11 menunjukkan grafik  $\frac{1}{2} C_k/\epsilon$  vs  $\frac{1}{2} s/b$  yang bervariasi terhadap beberapa harga d/b. Dengan demikian, dengan mengetahui  $C_k$  dan  $C_{k,k+1}$  dapat ditentukan dimensi filter yang diinginkan.



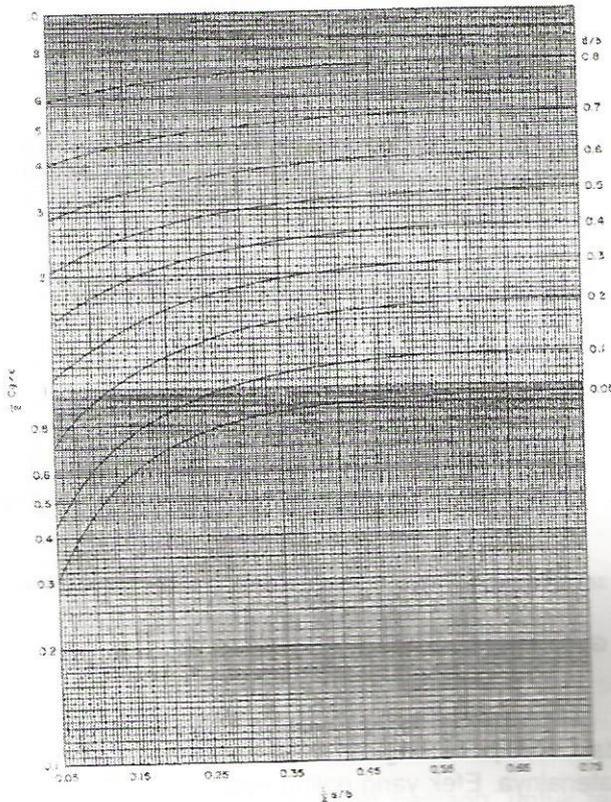
Gambar 10. Grafik  $C_{k,k+1}/\epsilon$  vs  $\frac{1}{2} s/b$  Bervariasi Terhadap d/b

Dalam perancangan suatu filter combine sering tidak memperhitungkan keterbatasan konduktivitas materialnya. Efek yang paling nyata dari penghilangan ini adalah peningkatan dalam redaman passband filter. Rugi-rugi desipasi ini dapat dicari dengan menghitung rasio rugi-rugi desipasi antara Q yang diperlukan filter dengan Q-tanpa beban dari elemen resonator. Q tanpa beban dapat dihitung dengan menggunakan rumus Nicholson<sup>6)</sup> berikut ini :

$$Q_u = \frac{240\pi^2 \ln\left(\frac{1}{r_1}\right)}{\frac{\pi\lambda_0}{2b} \sqrt{\pi f_0 \mu \rho} \left(1 + \frac{1}{r_1}\right) + 8\left(\frac{\lambda_0}{4l}\right) \sqrt{\pi f_0 \mu \rho} \ln\left(\frac{1}{r_1}\right)}$$

dimana  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang pada frekuensi tengah,  $f_0$  adalah frekuensi tengah,  $b$  adalah jarak antar ground-plane,  $\mu$  adalah permeabilitas dielektrik,  $\rho$  adalah resistivitas logam,  $l$  adalah panjang resonator, dan  $r_1$  radius bagian dalam koaksial yang ternormalisasi.

Parameter  $(\lambda_0 / 4l)^2$  dimasukkan secara empiris kedalam persamaan Q tanpa beban tersebut diatas untuk memenuhi kondisi filter combline dalam rugi ujung resonator yang akan memiliki efek yang lebih besar. Persamaan Q tanpa beban tersebut telah dievaluasi untuk struktur combline dan inter digital dengan konduktor silver (perak). Penerapan untuk konduktor lain selain perak dapat diperoleh dengan membagi oleh akar pangkat dua dari rasio tahanan.



Gambar 11. Grafik  $\frac{1}{2}C_k / \epsilon$  vs  $\frac{1}{2}s/b$  Bervariasi Terhadap  $d/b$

**Pembahasan Mengenai Prosedur Perancangan**  
Perancangan filter Bandpass Combline yang dibuat didasarkan pada persamaan-persamaan perancangan

dari G.L. Matthaei dan kurva-kurva dari E. G. Cristal. Sedangkan bentuk karakteristik redamannya diambil berdasarkan pendekatan matematis untuk prototip LPF dari Tchebyscheff dan Butterworth.

Dalam merancang suatu combline filter, ada beberapa tahap urutan atau langkah-langkah pengerjaan. Adapun langkah-langkah tersebut secara umum adalah sebagai berikut :

- Penentuan  $\frac{1}{2}C_k / \epsilon$  (banyaknya resonator) dari filter sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan persamaan transformasi band-pass ke low-pass pada persamaan (17) dan kurva karakteristik redaman berdasarkan pendekatan matematis dari Butterworth atau Tchebyscheff.
- Setelah orde filter diketahui, kemudian dihitung parameter prototip low-pass filter dengan menggunakan persamaan (6) s/d (8) untuk pendekatan Butterworth dan menggunakan persamaan (9) s/d (21) untuk pendekatan Tchebyscheff.
- Menghitung besaran kapasitansi sendiri (self capacitance) atau kapasitansi bersama (coupling capacitance) yang dinormalisasi terhadap konstanta dielektrik. Untuk itu sebelumnya dihitung dahulu parameter inverter admittansi relatif terhadap admittansi saluran ( $J_{k,k+1} / Y_A$ ), panjang listrik resonator ( $\theta$ ), dan parameter matematis lainnya. Perhitungan ini berdasarkan persamaan-persamaan perancangan dari G.L. Matthaei.
- Setelah besaran kapasitansi pada butir c diketahui, maka berdasarkan kurva-kurva dari E.E. Cristal seperti yang terlihat pada gambar 10 dan gambar 11, bisa ditentukan jarak antar resonator ( $s$ ) dan diameter dari batangan resonator ( $d$ ) yang masing-masing dinormalisasi terhadap jarak antar ground-plane ( $b$ ).
- Menentukan harga ( $b$ ) ditentukan dengan menggunakan perhitungan Q tanpa beban.

### 8. Kesimpulan dan Saran

Dengan memperhatikan rumus-rumus dan uraian diatas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Pada umumnya perancangan sebuah filter dapat didekati dengan dua metode, yaitu dengan menggunakan metode Butterworth dan Tchebyscheff, bergantung kepada karakteristik filter yang diinginkan.
- Untuk mendapatkan harga kapasitansi sendiri (self capacitance) dan kapasitansi bersama (coupling capacitance) dari filter dapat dipergunakan rumus Matthaei<sup>4</sup> seperti yang terlihat pada tabel. Selanjutnya dengan mengetahui kapasitansi sendiri dari persamaan tersebut dapat ditentukan dimensi filter

- dengan menggunakan kurva-kurva Cristal<sup>2)</sup>;
3. Quality Factor merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan, agar memenuhi pass-band yang diinginkan;
  4. Untuk mendapatkan insertion loss yang rendah perlu diperhatikan VSWR dari input dan output rangkaian;
  5. Pemilihan material yang digunakan untuk slabline akan sangat menentukan untuk mendapatkan quality factor sesuai dengan yang diinginkan, yaitu yang mempunyai resistivitas rendah.

#### Daftar Pustaka

1. Collin, R.E. *Foundation for Microwave Engineering*, Mc. Graw Hill, New York, 1992
2. Cristal, E.G, "Coupled circular cylindrical rods between parallel ground plane", Trans, Inst, elect, Electronics Engrs, MTT-12, July, 1964.
3. Liao, Samuel. Y, *Microwave circuit analysis and amplifier design*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1987.
4. Malherbe J.A.G. *Microwave Transmission Line Filters*, Artech House, Inc, Washington, 1980.
5. Matthaei, G.L., Young, L., and Jones, E.M.T, *Microwave Filter, Impedance Matching Network, and Coupling Structure*, Artech House, Inc, 1980.
6. Matthaei, G.L, "Comb-line band-pass filter of narrow or moderate bandwidth", *Microwave J*, 6, p. 82, August 1963.
7. Nucholson, B.F, "The practical design of interdigital and comb-line filter", *The Radio and Electronic Engineer*, Juli, 1967.
8. Rhea, R.W. *HF Filter Design and Computer Simulation*, Noble Publishing Atlanta, 1994.
9. Stracca, G.B, Macchiarella, G, and oliti, M, "Numerical Analysys of Varous Configurations of Slab Lines", *IEEE Trans. Mircowave Theory Tech*, vol. MMT-34, pp. 350-363, March 1986.

# ANTENA ALUR-MIKRO

Yahya Syukri \*)

## ABSTRACT

The concept of using microstrip antennas to provide printed radiating structures, which are electrically thin, lightweight, and low cost, is a relatively new and exciting development in antenna engineering. The development is brought about by advances in printed circuit technology. Today the antenna exists in various form and configurations, and the literature is vast and ever increasing. This work, a brief discussion on the principles and development of microstrip antennas is divided into two parts. The present one is about the single radiating element, and the next part concerns the arrays of radiating elements.

## INTISARI

Gagasan untuk menggunakan antena alur-mikro guna mendapatkan bangun radiasi yang tipis elektrik, ringan dan murah merupakan perkembangan yang relatif baru dibidang antena. Perkembangan ini ditopang oleh kemajuan yang cepat dalam teknik rangkaian cetak. Dewasa ini antena ini telah dikembangkan dalam berbagai bentuk, dan literatur tentangnya sangat cepat bertambah. Tulisan ini membahas prinsip-prinsip antena alur-mikro dan perkembangannya secara selintas dan terdiri dari dua bagian. Bagian pertama membahas elemen radiasi alur-mikro, sedangkan bagian kedua adalah tentang susunan elemen radiasi.

## 1. PENDAHULUAN

Pada teknologi antena alur-mikro (microstrip), dalam waktu 15 tahun terakhir berlagsung perkembangan tercepat karena berhasil menarik perhatian banyak peneliti dan ahli teknik dari kalangan swasta dan pemerintah diseluruh dunia. Sebab itu kedudukan antena ini dengan segera beralih menjadi sarana komersial dan tidak lagi semata-mata terbatas sebagai obyek penelitian, dengan penggunaannya diberbagai sistim-sistim

gelombang mikro. Kebutuhan akan antena ini terus bertambah sesuai dengan perkembangan pasar untuk antara lain, sistim-sistim PCS (personal communication system), komunikasi satelit bergerak (mobile), televisi siaran langsung (DBS) dan WLAN.

Meskipun antena alur-mikro terbukti sebagai suatu kemajuan yang amat berarti didalam bidang teknologi antena, pilihan atas penggunaannya lebih ditentukan oleh karakteristik-karakteristiknya yang bukan elektrik. Antena ini berprofil rendah dan amat ringan, dapat disesuaikan pada berbagai bentuk permukaan, dan dapat dengan mudah dipadukan dengan rangkaian terpadu gelombang mikro (MIC). Bila harga bahan dan ongkos fabrikasi dapat ditekan, antena inipun sangat murah. Jika dibandingkan dengan elemen antena yang baku, misalnya antena kawat atau tingkap, sebenarnya unjuk kerja elektrik antena alur-mikro dalam bentuk dasar banyak kekurangannya, antara lain pada lebar pita frekuensinya yang amat sempit, rugi-rugi pada saluran pencatunya, polarisasi silang yang cukup besar, dan kapasitas daya yang rendah. Akan tetapi riset dan pengembangan yang banyak dan sungguh-sungguh telah berhasil mengatasi sebahagian besar kekurangan-kekurangan ini melalui berbagai penemuan dan penambahan pada bentuk dasarnya [1].[2]. Beberapa potensi kelebihan antena ini adalah profilnya yang rendah, ringan, murah, dapat disesuaikan dengan berbagai bentuk permukaan, mudah dipadukan dengan rangkaian planar, dapat berfungsi dalam polarisasi-polarisasi linier, rangkap dua, dan sirkuler, serta rangkaian catu yang canggih.

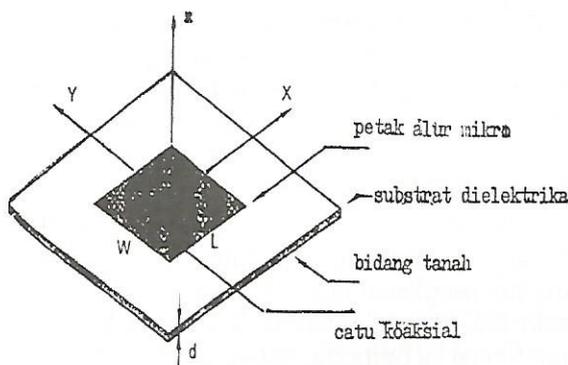
## 2. ELEMEN DASAR ANTENA ALUR-MIKRO

Antena alur-mikro kerap pula disebut antena petak (patch), dan petak radiasi ini didapati dalam berbagai bentuk, antara lain, segi-empat, bujur sangkar, sirkuler dan eliptis. Elemen dasarnya diturunkan dari resonator saluran transmisi alur-mikro setengah-panjang gelombang ( $\lambda_g/2$ ) [3]. Bangunnya terdiri dari petak penghantar logam yang tipis yang bertumpu diatas bahan substrat dielektrika yang ditanahkan seperti tampak pada

Korespondensi:

\*) Peneliti Puslitbang Telkoma - LIPI,  
Jl. Cisitu No. 21 / 154 D Bandung 40135

gambar 1. Pada contoh ini digunakan pencatu koaksial. Menurut koordinat rectangular, panjang petak ini adalah  $L$  dalam sumbu- $x$ , dan lebarnya  $W$  dalam sumbu- $y$ . Substrat dielektriknya yang disokong oleh bidang tanah konduktif, berketebalan  $h$  dan mempunyai konstanta dielektrika  $\epsilon_r$ . Penghantar luar pencatu koaksial disambungkan dengan bidang tanah, sedangkan penghantar dalamnya tersambung pada petak. Letak titik catu ini relatif terhadap sisi petak akan menentukan berapa besarnya impedansi masukkan antenna. Saat bekerja, panjang petak ini hampir sama dengan  $\frac{\lambda_g}{2}$ , sehingga membentuk resonator hubungan terbuka. Karena petak ini relatif lebar, sisi-sisi petak pada  $x = -\frac{L}{2}$  dan  $\frac{L}{2}$  akan membentuk tingkap celah yang memancar sefasa membentuk pola radiasi melintang.



Gambar 1. Bentuk geometris antenna petak

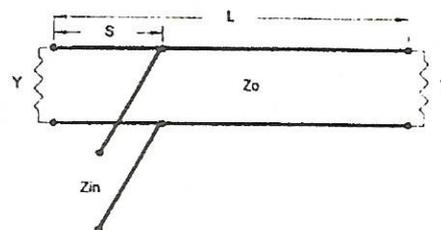
Berbagai metoda analisa telah dikembangkan untuk antenna alur-mikro, dan diantaranya yang paling banyak dipergunakan adalah model saluran transmisi [4], [1], rongga (cavity) [5], [4], [6], dan gelombang-penuh (full-wave) yang terutama melingkupi persamaan-persamaan integral/Metoda-Momen [7], [8], [9], [10], [11], [12]. Model saluran transmisi adalah yang termudah dan sederhana serta memberikan bayangan fisika yang jelas, akan tetapi kurang tepat dan sulit model gandengnya (coupling) [13]. Dibandingkan dengan model saluran transmisi, model rongga lebih tepat akan tetapi lebih rumit; dan seperti yang terdahulu, memberikan bayangan fisika yang jelas dan agak sulit model gandengnya. Model ini telah memberikan hasil yang baik [14], [15], [16]. Bila dipergunakan dengan tepat, umumnya model-model gelombang-penuh akan sangat tepat dan gampang disesuaikan; serta dapat dipergunakan untuk elemen-elemen tunggal, susunan-susunan (array) terbatas dan tak terbatas, elemen-elemen yang ditumpuk, elemen-elemen dengan berbagai bentuk, dan gandeng. Akan tetapi model-model ini merupakan model-model yang sangat rumit dan umumnya memberikan gambaran fisika yang kurang jelas.

Kebanyakan dari kelakuan kualitatif elemen antenna alur mikro mudah sekali dijelaskan dengan metoda saluran transmisi. Seperti yang ditunjukkan dalam

gambar 2, elemen petak disamakan dengan saluran transmisi alur-mikro yang panjangnya  $L$  dan impedansi karakteristiknya  $Z_0$ . Impedansi karakteristik saluran ini dapat diketahui dengan menggunakan pendekatan-pendekatan yang sederhana [3], dan merupakan fungsi lebar saluran  $W$ , serta tebal substrat dan konstanta dielektrika. Ujung-ujung saluran transmisi ditutup dengan admitansi  $Y = G + jB$ , yang dikonduktansinya dipergunakan sebagai model radiasi dari ujung-ujung saluran, dan sukseptansinya merupakan model panjang efektif saluran yang terjadi karena adanya medan-medan terlimpah. Beberapa cara pendekatan dapat dipergunakan guna menghitung admitansi-admitansi diujung saluran [1], yang hasil khasnya untuk  $h \ll \lambda_g$  adalah

$$Y = G + jB = \frac{k_0 W}{2\eta_0} [1 + j(1 - 0.64 \ln k_0 h)] \quad (1)$$

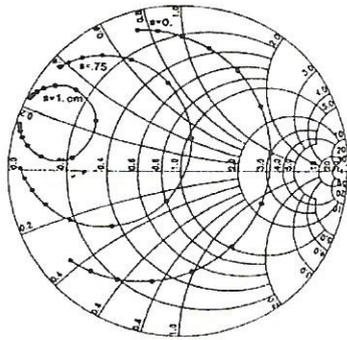
dengan  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  dan  $\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ .



Gambar 2. Model saluran transmisi untuk antenna petak segi-empat

Pada khasnya sukseptansi  $B$  bernilai positif, yang dapat ditafsirkan sebagai efek ujung yang kapasitif. Jadi panjang resonansi petak akan kurang sedikit dari  $\lambda_g/2$ . Bila titik catu terpisah sejarak  $s$  dari tepi petak, maka impedansi masukkan dititik catu dapat dihitung dengan menggunakan teori dasar saluran transmisi dari rangkaian pada gambar 2. Resonansi adalah frekuensi bila bagian maya impedansi masukkan sama dengan nol.

Karena resonator saluran transmisi simetris, tegangan sepanjang saluran transmisi akan maksimum diujung-ujungnya dan nol ditengah-tengahnya. Hal ini berarti bahwa impedansi masukkan akan maksimum bila titik catu berada ditepi petak, dan akan berkurang menjadi nol bila titik catu digeser ketengah. Gambar 3 [17] memperlihatkan pemetaan impedansi masukkan suatu antenna alur-mikro yang menggunakan pencatuan koaksial diatas diagram Smith sebagai fungsi frekuensi. Tampak bahwa kedudukan impedansi masukkan mengecil bila titik catu bergeser kearah pusat petak. Jelas pula bahwa kedudukan ini bertambah induktif dengan pergeseran ini.



**Gambar 3.** Pemetaan impedansi masukan sebagai fungsi frekuensi diatas diagram Smith suatu antenna alur-mikro segi-empat untuk tiga titik catu yang berbeda, dengan parameter-parameter petak,  $L = 2.5 \text{ cm}$ ,  $W = 3.0 \text{ cm}$ ,  $\epsilon_r = 2.2$ ,  $h = 0.79 \text{ cm}$ . Frekuensi berkisar antara 3.6 hingga 4.25 GHz dalam langkah 50 MHz.

Model saluran transmisi ini dapat pula digunakan untuk menurunkan pola pancar medan jauh dengan menganggap tepi-tepi yang memancar pada  $\chi = -L/2$  dan  $\chi = L/2$  sebagai celah. Mengikuti sistim koordinat pada gambar 1, medan-medan jarak jauh yang dinormalisasi dari suatu petak segi-empat dapat dinyatakan sebagai

$$E = E_0 \frac{\sin \alpha}{\alpha} \cos \beta \cos \phi \tag{2}$$

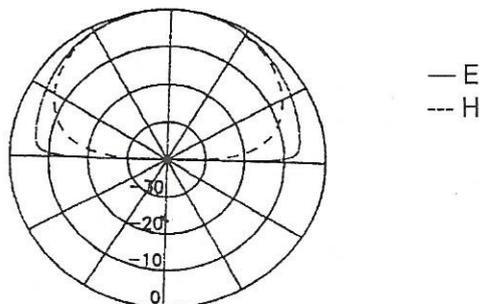
$$E = E_0 \frac{\sin \alpha}{\beta} \cos \beta \cos \theta \sin \phi \tag{3}$$

dengan

$$\alpha = \frac{k_0 W}{2} \sin \theta \sin \phi \tag{4}$$

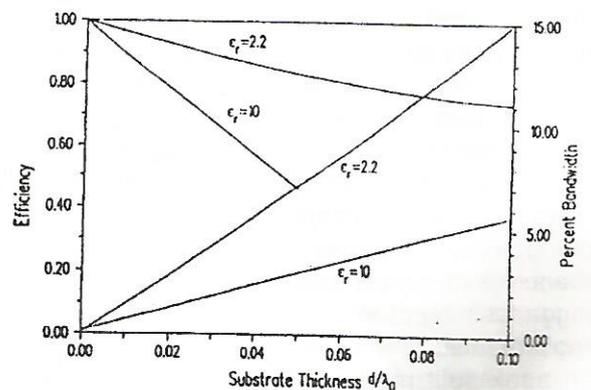
$$\beta = \frac{k_0 L}{2} \sin \theta \cos \phi$$

$\theta$  dan  $\phi$  adalah koordinat bola. Pola-pola ini mempunyai arah maksimum yang melintang terhadap petak dengan lebar berkas 3 dB khas antara  $90^\circ$  dan  $120^\circ$ . Bentuk pola pancar khasnya pada bidang-E ( $\phi = 0^\circ$ ) dan ( $\phi = 90^\circ$ ) dan bidang-H ( $\phi = 90^\circ$ ) adalah seperti pada gambar 4.



**Gambar 4.** Pola pemancar medan jauh dibidang-E dan H suatu antenna alur-mikro segi-empat

Elemen-elemen antenna alur-mikro menawarkan beberapa kegunaan yang menarik, akan tetapi hambatan yang utama dari teknologi ini adalah lebar pita frekuensi elemen dasar yang sempit. Sementara elemen-elemen antenna dasar berupa dipole, celah (slot) dan antenna corong (horn) lebar pita frekuensi kerjanya berkisar antara 15 hingga 50%, elemen alur-mikro biasa hanya dapat menyediakan lebar pita frekuensi kerja beberapa persen saja. Gambar 5 [17] memperlihatkan lebar pita impedansi sebagai fungsi tebal substrat suatu antenna alur-mikro segi-empat yang konstanta dielektriknya 2.2 dan 10.2. Tampak bahwa lebar pita berkurang dengan berkurangnya tebal substrat dan bertambahnya nilai konstanta dielektrika. Kedua kecenderungan ini berawal dari kenaikan harga Q resonator, yang terutama disebabkan oleh dekatnya arus petak dengan bayangan negatifnya yang ada dibidang tanah. Ditinjau dari lebar-pita ada kecenderungan untuk menggunakan substrat antenna yang tebal, dengan konstanta dielektrika rendah. akan tetapi dengan kemungkinan pembebanan induktif dan radiasi tak terkendali dari rangkaian koplanar, tebal substrak khasnya dibatasi hingga tidak lebih dari  $0,02 \lambda$ . Hal ini menggambarkan kesepakatan yang perlu diperhatikan sehubungan dengan konsep antenna alur-mikro dan rangkaian alur-mikro selama kedudukannya berada dalam satu substrat. Secara elektromagnetis, kedua fungsi ini berbeda, sebab disatu pihak rangkaian yang tidak memancar menghendaki medan yang terikat, yang bertentangan dengan fungsi antenna.



**Gambar 5.** Lebar-pita impedansi dan efisiensi pancar antenna alur-mikro sebagai fungsi tebal substrat untuk dua nilai konstanta dielektrika.

Sementara lebar-pita pada elemen dasar terbatas, riset dan pengembangan yang cukup memadai selama 15 tahun kebelakang berhasil menemukan teknik-teknik baru yang dapat menambah lebar-pita; sehingga lebar-pita impedansi yang berkisar antara 10 hingga 40% dapat dicapai [1] [2]. Meskipun teknik-teknik yang diajukan guna menambah lebar-pita antenna alur-mikro berlusin jumlahnya, semuanya dapat dipilih kedalam tiga cara pendekatan dasar, yaitu pertama, penyesuaian impe-

dansi dengan menggunakan rangkaian penyesuai, kedua, penggandaan resonansi dengan memanfaatkan elemen-elemen yang ditumpuk atau parasit, dan yang terakhir, mengurangi efisiensi dengan menambahkan elemen-elemen yang rugi-rugi.

Efisiensi antena, dinyatakan sebagai

$$e = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_{ru}} \quad (5)$$

dengan  $P_{rad}$  adalah daya yang dipancarkan, dan  $P_{ru}$  merupakan rugi-rugi daya pada antena, diperlihatkan pula dalam gambar diatas. Rugi-rugi ini, pada antena alur-mikro terjadi melalui tiga hal, yaitu, rugi-rugi dielektrika, dan rugi-rugi gelombang permukaan. Rugi-rugi penghantar biasanya amat rendah, kecuali bila substrat yang digunakan amat tipis. Rugi-rugi dielektrikapun relatif rendah pada substrat-substrat gelombang mikro berkualitas baik, yakni yang rugi-rugi tangennya  $\leq 0.002$ . Mekanisme rugi-rugi yang utama pada antena alur-mikro berasal dari gelombang permukaan, yaitu medan-medan yang terikat pada substrat dielektrika dan merambat sepanjang permukaannya. Seperti yang dapat diamati dalam gambar diatas, efisiensi berkurang dengan penambahan tebal substrat dan kenaikan konstanta dielektrika. Karena itu bahan dengan konstanta dielektrika rendah cenderung digunakan. Efisiensi radiasi keseluruhan antena alur-mikro yang berada diatas substrat berkonstanta dielektrika rendah khasnya lebih baik atau sama dengan 95%.

Seperti telah disebutkan diatas, disamping elemen-elemen segi-empat, berbagai bentuk-bentuk lainnya dapat pula dipergunakan sebagai elemen-elemen radiasi beresonansi. Akan tetapi, guna polarisasi murni dan kemudahan analisa, umumnya penggunaan terbatas pada elemen-elemen berbentuk segi-empat, bujur-sangkar, dan lingkaran. Polarisasi linear amat mudah didapatkan dengan memakai elemen segi-empat, sementara pasangan polarisasi linear atau polarisasi sirkuler bisa didapat dari elemen-elemen berupa petak bujursangkar atau lingkaran [1][2].

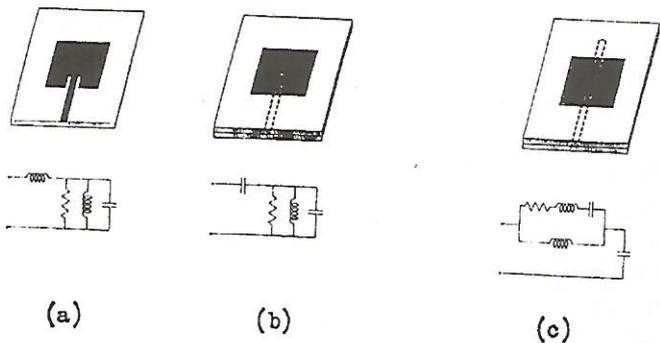
### 3. TEKNIK-TEKNIK PENCATUAN

Pencatuan koaksial yang diperlihatkan dalam gambar 1 merupakan salah satu dari berbagai cara pencatuan yang dapat dipergunakan. Gambar 6a memperlihatkan suatu petak yang dicatu oleh saluran transmisi yang koplanar dengan elemen tersebut. Dalam lekukan tempat saluran transmisi menyatu dengan petak menetapkan tingkat impedansi masuk pada keadaan resonansi, seperti halnya dengan letak titik catu pada pencatuan koaksial menentukan tingkat impedansi. Gambar rangkaian ekuivalen antena ini disekitar frekuensi resonansi diperlihatkan dibawahnya. Petak seakan-akan merupakan rangkaian resonansi paralel RLC yang diikuti

induktansi seri yang merupakan pengganti pengaruh medan-dekat saluran pencatu. Rangkaian pengganti ini sesuai juga untuk pencatuan koaksial. Kedua cara pencatuan ini merangsang elemen petak dengan penggandengan antara arus listrik ekuivalen  $J_s$  pada catu dan medan diarah  $E_z$  dari resonator petak yang nilainya maksimum dibawah pusat petak.

Kedua cara pencatuan diatas sederhana, akan tetapi ada beberapa kekurangannya. Pertama, lebar pita terbatas karena persyaratan substrat yang harus tipis, seperti yang telah disinggung di atas. Disamping itu ketidak simetrisan dibidang-E yang terkandung didalam pencatuan-pencatuan ini memicu mode-mode lebih tinggi yang menimbulkan polarisasi silang. dan dalam hal pencatuan koaksial, penyolderan dapat mengurangi keandalan dan menambah biaya bila elemen ini diproduksi dalam jumlah besar.

Cara pencatuan lain adalah berbagai pencatuan yang tidak terhubung (non-contacting), dan salah satunya diperlihatkan pada gambar 6b. Dua lapis substrat menopang pencatu saluran alur-mikro dan petak radiasi yang berada dibagian atas lapisan teratas, diatas saluran pencatu. Saluran pencatu berakhir pada "stub" hubungan terbuka dibawah petak. Keuntungan gandengan ini, yang kerap pula disebut sebagai gandeng elektromagnetik, adalah petak berada diatas substrat yang tebal sehingga menambah lebar pita, sementara saluran pencatu, efektifnya bertumpu pada substrat yang lebih tipis, sehingga mengurangi pancaran liar dan gandeng. Dibanding dengan cara yang pertama, fabrikasi untuk cara ini lebih sukar, karena perlu ada "bonding" dan penjajaran dua substrat. Pada rangkaian ekuivalennya didapat kapasitor seri yang menunjukkan gandeng kapasitif antara saluran transmisi alur-mikro yang terbuka dengan elemen petak.



Gambar 6. Tiga jenis cara pencatuan

Cara pencatuan tak terhubung lainnya adalah gandeng-tingkap (aperture), seperti yang diperagakan pada gambar 6c [1][2]. Konfigurasi ini terdiri dari dua substrat yang sejajar yang terpisah oleh bidang tanah. Pencatu alur-mikro didasar substrat yang dibawah digandengkan dengan elemen petak alur-mikro yang

berada dipermukaan atas substrat yang diatas oleh suatu tingkap, yang khasnya berbentuk celah yang tipis, yang dibuat pada bidang tanah. Cara ini memungkinkan penggunaan substrat tipis berkonstanta dielektrika tinggi untuk saluran catu, dan substrat yang lebih tebal serta berkonstanta dielektrika rendah bagi elemen radiasi. Disain dua lapis dengan gandeng-tingkap ini memungkinkan optimisasi substrat untuk dua fungsi yang berbeda, yakni untuk fungsi elemen rangkaian dan fungsi elemen radiasi. Disamping itu bidang tanah akan memisahkan elemen radiasi dari kemungkinan adanya pancaran liar serta gandeng dari rangkaian catu. Aspek menonjol cara ini adalah tingkap gandeng ukurannya dibawah ukuran resonansi, sehingga relung belakang (back lobe) yang dipancarkan celah tingkat khasnya berada antara 15 hingga 20 dB dibawah relung utama yang dipancarkan kedepan. Geometri gandeng-tingkap membuka berbagai kemungkinan untuk mengatur sifat-sifat listrik antena. Ukuran panjang celah pertama-tama akan menentukan tingkat gandeng, dan selanjutnya impedansi. Gandeng yang terketat terjadi bila celah dipusatkan dibawah petak. Dalam keadaan ini impedansi masukkan turun dengan berkurangnya ukuran celah. Sesuai dengan yang di dapati pada antena alur-mikro, frekuensi resonansi ditentukan terutama oleh panjang petak. Panjang "stub" saluran catu dapat dipergunakan untuk mengatur beban reaktansi elemen, sedangkan tebal substrat dan konstanta dielektrika berpengaruh langsung terhadap lebar pita. Celah dapat pula dipergunakan sebagai sarana penalaan ganda guna meningkatkan lebar pita impedansi. Diketahui bahwa gandeng-tingkap ini dapat meningkatkan lebar pita hingga 40% [2]. Roman khas lain cara pencatuan ini adalah polarisasi silang yang sama dengan nol pada pola-pola pancar dibidang utama karena kesetangkupan elemen.

#### 4. KESIMPULAN

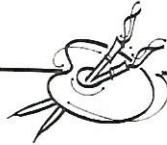
Gagasan untuk menggunakan antena-antena alur-mikro guna mendapatkan bangun-bangun radiasi tercetak yang relatif tipis, ringan dan murah merupakan perkembangan yang relatif baru dan menarik dalam teknik antena. Meskipun demikian antena-antena ini telah dapat dikomersialisasi dan merebut bagian yang cukup berarti dalam pemasaran antena. Tulisan dan dokumentasi mengenai antena ini amat cepat bertambah, seiring dengan pengembangannya dan tuntutan penggunaannya dilapangan. Keterbatasan karakteristik elektrisnya dalam bentuk baku telah memicu kreativitas para peneliti dan pengguna untuk mengembangkan berbagai cara untuk mengatasinya, karena antena ini menjanjikan berbagai kemudahan diluar aspek-aspek elektrisnya. Hal ini telah membuka dimensi baru dalam teknik-teknik antena yang berkaitan dengan antara lain, pengembangan berbagai bahan substrat dan teknik-teknik pen-

catuan serta kemungkinan pemakaiannya dilapangan. Dalam tulisan ini yang merupakan bagian pertama dari dua tulisan, disinggung beberapa karakteristik dan pengembangan elemen antena alur-mikro yang baku. bagian kedua akan membahas antena ini dalam kedudukannya sebagai elemen dalam suatu susunan antena (array) yang antara lain dikembangkan guna memenuhi keperluan yang menghendaki bermacam-macam bentuk pola pancar.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. James and P. S. Hall, Eds., *Handbook of Microstrip Antennas*, Londong: Peter Peregrinus (IEE), 1989
- [2] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, *Microstrip antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, New York: IEEE Press, 1995
- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Reading, Mass: Addison-Wesley, 1990
- [4] K. R. Carver and J. W. Mink, *Microstrip Antenna Technology*, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-29, No. 1, pp. 2-24, January 1981.
- [5] Y. T. Lo, D. Solomon, and W. F. Richards, *Theory and Ezperiment on Microstrip Antennas*, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-27, No. 2, pp. 137-145, March 1979
- [6] W. F. Richards, Y. T. Lo, and D. D. Harrison, *An Improved Theory of Microstrip Antennas with Applications*, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. AP-29, No. 1, pp. 38-46, January 1981
- [7] I. E. Rana and N. G. Alexopoulos, *Current Distribution and Input Impedance of Printed Dipoles*, IEEE Trans. Antenas Propagat, Vol. AP-29, No. 1, pp. 99-105, January
- [8] M. C. Bailey and M. D. Deshpande, *Integral Equation Formulation of Microstrip Antennas*, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. AP-30, No. 4, pp. 651-656, July 1982
- [9] J. R. Mosing and F. E. Gardiol, *General Integral Equation Formulation for Microstrip Antennas and Scatterers*, Proc. Ins. Electr. Eng., pt. H, Vol. 132, pp. 424-432, 1985
- [10] N. G. Alexopoulos and D. R. Jackson, *Fundamental Superstrate (Cover) Effects on Printed Circuit Antennas*, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. AP-32, No. 8, pp. 807-816, August 1984
- [11] C. C. Liu, A. Hessel, and J. Shmoys, *Performance of Probe-Fed Rectangular Microstrip Patch Element Phased Arrays*, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. AP-36, No. 11, pp. 1501-1509, November 1988.
- [12] J. T. Aberle and D. M. Pozar, *Analysis of Infinite Arrays of One-and Two-Probe-Fed Circular Patches*, IEEE Trans. Antenna Propagat, Vol. AP-38, No. 4, pp. 421-432, April 1990
- [13] E. H. Van Lil and A. R. Van de Capelle, *Transmission-Line Model for Mutual Coupling Between Microstrip Antennas*, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. Ap-32, No. 8, pp. 816-821, August 1984
- [14] A. G. Derneryd, *A Theoretical Investigation of the*

- Rectangular Microstrip Antennas Element*, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. AP-26, No. 4, pp. 532-535, July 1978
- [15] K. Malkomes, *Mutual Coupling Between Microstrip Patch Antennas*, Electronic Letters, Vol. 18, No. 122, pp. 520-522, June 1982.
- [16] E. Penard and J. P. Daniel, *Mutual Coupling Between Microstrip Antennas*, Electronic Letters, Vol. 18, No. 4, pp. 605-607, July 1982
17. Richard C. Dorf, Eds, *The Electrical Engineering Handbook*, 2nd Eds, Boca Raton, CRC Press, 1997
-



### 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.