

JURNAL

ISSN 1411-8289

Elektronika dan Telekomunikasi

VOLUME 5, NOMOR 1

JANUARI - JUNI 2005



PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

J. El. Kom	Vo. 5	No. 1	Hal. 1-45	Bandung Januari 2005	ISSN 1411-8289
------------	-------	-------	-----------	-------------------------	-------------------

JURNAL Elektronika dan Telekomunikasi

SUSUNAN REDAKSI

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

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

**Redaksi Pelaksana
Ketua** :
: Ir. Yuyu Wahyu, MT

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

Sirkulasi : Lilis Retnaningsih, Ssi
Endang Ridwan

Alamat Redaksi : Seksi JASA DAN INFORMASI
PPET - LIPI
Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Tlp. (022) 250 4661 Fax. (022) 250 4659
E-mail : info@ppet-lipi.go.id

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ii
1. Linierisasi pada Sensor Temperatur Thermistor NTC dengan bentuk Geometrik Multilayer. (<i>Robeth Viktoria Manurung, Johannis D. Lekalette</i>)	1 - 6
2. Studi Pendahuluan Monitoring Gerakan Sedimen pada Daerah Aliran Sungai Citarum. (<i>IDewa Putu Hermida, Yaya Sulaeman, Jumril Yunas, Ariani B. Safarina</i>)	7 - 14
3. Proses Metalisasi Kontak Grid Sel Surya Silikon Multikristal Menggunakan Metoda Firing Through. (<i>Erlita S.R, Ika Ismet, Shobih</i>)	15 - 18
4. Modulator QPSK pada Sistem Radio Digital. (<i>Ros Sariningrum, Yaya Sulaeman</i>)	19 - 27
5. Alat Pencatat Jumlah Orang dalam Ruangan Menggunakan AT895551. (<i>Teguh Praludi, Ratna Indra Wijaya</i>)	28 - 33
6. Rancangan Penerima Digital FM Telemetry dengan Proses Sinyal FSK pada Frekuensi 49,9 MHz. (<i>Yaya Sulaeman, Ros Sariningrum</i>)	34 - 41
7. Osilator Dielektrik (DRO) untuk Sistem Komunikasi Satelit. (<i>Pamungkas Daud, Mashury Wahab</i>)	42 - 45

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembaca *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* yang budiman.

Kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia sehingga *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* dapat terbit dihadapan para pembaca semua. Terbitan volume V nomor 1 “*Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*”, memuat sebanyak 7 buah tulisan, pada terbitan ke V ini materi jurnal cukup beragam meliputi:

Linierisasi pada Sensor Temperatur Thermistor NTC dengan bentuk Geometrik Multilayer, Studi Pendahuluan Monitoring Gerakan Sedimen pada Daerah Aliran Sungai Citarum, Proses Metalisasi Kontak Grid Sel Surya Silikon Multikristal Menggunakan Metoda Firing Through, Modulasi QPSK pada system Radio Digital, Alat Pencatat Jumlah Orang dalam Ruangan Menggunakan AT895551, Rancangan Penerima Digital FM Telemetry dengan Proses Sinyal FSK pada Frekuensi 49,9 MHz dan Osilator Dielektrik (DRO) untuk Sistem Komunikasi Satelit

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

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

Selamat membaca

Redaksi

Linierisasi pada Sensor Temperatur Thermistor NTC dengan Bentuk Geometrik Multilayer

Robeth Viktoria Manurung *, Johannis D. Lekalette **

*) Pusat Penelitian Elektronika & Telekomunikasi LIPI

**) Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI

e-mail : robeth@ppet.lipi.go.id

Abstract

Thermistor has been used in many application such as sensor. It has been widely used as temperature sensor, for example it is used to detect and monitor river water quality. The author has previously conducted research and fabricated temperature sensor using NTC Thermistor (Negative Temperature Coefficient) as sensing element, used various geometrics (Sandwich, Interdigitated, Segmented and Multi layer). This paper describes the process and technique of linearization that is required in processing the exponential R-T responses of NTC Thermistor before being processed by signal conditioning.

Key words: linearization, thermistor NTC, multilayer, temperature sensor

Abstrak

Digunakan thermistor (thermally resistor) khususnya dalam bidang sensor cukup luas dan salah satunya sebagai sensor temperatur dalam sistem deteksi kualitas air sungai. Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan sensor temperature yang menggunakan sensing element adalah thermistor jenis NTC (Negative Temperature Coefficient) dengan menerapkan bentuk geometric Multilayer. Dalam tulisan ini dibahas mengenai proses dan teknik linierisasi yang perlu dilakukan berkaitan dengan keluaran respon R-T dari Thermistor NTC berbentuk kurva eksponensial. Hal ini perlu dilakukan sebelum respon keluaran sensor temperatur Thermistor NTC tersebut diproses pada signal conditioning.

Kata kunci: linierisasi, thermistor NTC, multilayer, temperatur sensor

1. Pendahuluan

Penelitian tentang sensor sampai saat ini masih merupakan suatu topik yang sangat luas dan bersifat ilmu multi disiplin, dimana perkembangan teknologi sensor sesuai dengan kemajuan teknologi mikroelektronika. Trend penelitian tentang sensor saat ini adalah berupa miniaturisasi sistem sensor, pembuatan *sensor array*, multi-sensor dan pembuatan sistem sensor yang smart atau inteligent. Aplikasi sensor bisa dijumpai dalam banyak peralatan konsumen, otomotif, laboratorium, pengelolaan lingkungan, konservasi energi, pabrikasi, industri, kedokteran, pertambangan, pertanian, dan sebagainya [1]. Aplikasi sistem sensor ini masih dan akan terus

berkembang sesuai dengan kebutuhan. Namun). Penguasaan teknologi sensor ini sangat diperlukan mengingat aplikasinya yang terus berkembang dan kebutuhan sensor khususnya sebagai alat deteksi ataupun pemantauan di dalam negeri masih diimport, salah satunya adalah sebagai deteksi atau pemantauan kualitas air sungai.

Salah satu teknologi mikroelektronika yang sudah banyak digunakan dalam pembuatan sensor adalah teknologi film tebal (*thick film*) atau dikenal dengan teknik *screen printing*, dengan teknologi ini dapat dilakukan miniaturisasi suatu rangkaian elektronika, pembuatan sensor dan mengintegrasikan rangkaian elektronika dengan sensor pada sebuah substrat alumina dengan menggunakan

metoda *screen printing* [2]. Trend penelitian sensor adalah miniaturisasi sistem sensor, pembuatan sensor array, multi-sensor dan pembuatan sistem sensor yang smart atau intelligent [3].

Dalam membangun suatu sistem alat untuk pemantauan atau monitoring kualitas air sungai, dibutuhkan sensor-sensor yang dapat mengukur parameter-parameter yang mengukur kondisi air sungai itu sendiri seperti : pH, temperatur, konduktivitas dan DO (*dissolved oxygen*). Supaya sensor-sensor tersebut dapat mengukur atau membaca serta menampilkan data-data hasil pengukuran lebih akurat dan presisi, diperlukan rangkaian pendukung berupa pengolah sinyal (*signal conditioners*) dan akuisisi data (*data acquisition*) yang mampu melakukan pengolahan data dari sensor tersebut [4]. Sensor temperatur yang dikembangkan dalam sistem ini menggunakan sensing element Thermistor NTC dengan menerapkan bentuk geometric Multilayer.

Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai proses dan teknik linierisasi yang perlu dilakukan berkaitan dengan bentuk respon keluaran resistansi terhadap perubahan temperature (R-T) berbentuk kurva eksponensial. Teknik linierisasi yang dilakukan ini adalah dengan menggunakan resistor shunt.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Thermistor

Thermistor merupakan singkatan dari "*Thermally Sensitive Resistor*" dan diaplikasikan dengan prinsip kerja yang dipergunakan adalah perbandingan temperatur yang bergantung dari nilai hambatan. Termistor ini dibuat kepada bahan berupa material keramik seperti sulfat, selenides, oksida dari Ni, Mn, Cu dan lain-lain yang dibentuk menjadi piringan (*discs*), *rod* dengan ukuran yang relatif kecil.

Termistor memiliki dua jenis yaitu,

- ❖ Termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*), dimana nilai resistansi akan semakin menurun apabila suhu bertambah.
- ❖ Termistor PTC (*Positive Temperature Coefficient*), dimana nilai resistansi bertambah seiring dengan pertambahan suhu.

Termistor NTC merupakan jenis termistor yang paling sering digunakan sebagai RTD (*Resistive Temperature Detector*) dalam rentang temperatur yang terbatas (50°C) memiliki respon resistansi seperti yang terlihat pada persamaan dibawah ini [4],

$$R_T = R_o \exp \{ B (1/T - 1/T_o) \} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$R = R_o e^{-\alpha \Delta T} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

R_o = resistansi pada suhu 25°C atau temperatur referensi lainnya

T_o = temperatur dalam kelvin, untuk $R_o = 25^\circ C$ maka $T_o = 298^0 K$

B atau β = temperatur karakteristik material yaitu sekitar $4000^0 K$

α = sensitifitas bahan termistor

Persamaan (2.2) menunjukkan hubungan temperatur dan resistansi adalah mengikuti fungsi eksponensial dalam selang ΔT yang besar, tetapi bias dianggap linier dalam selang waktu ΔT yang kecil. Persamaan sensitifitas atau koefisien temperatur (α) untuk termistor NTC didefinisikan sebagai :

$$\alpha = - \frac{1}{R_o} \frac{\partial R_T}{\partial T} \dots\dots\dots(2.3)$$

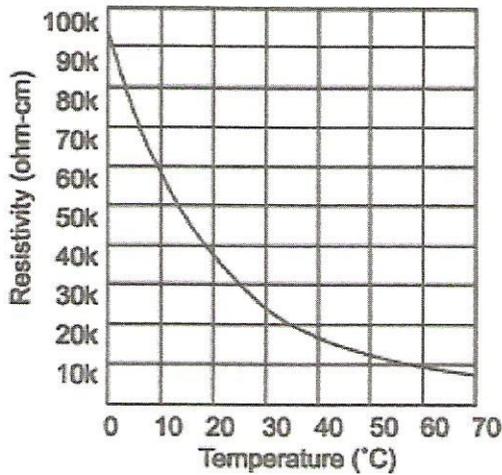
dengan

α = sensitifitas bahan termistor

R_T = resistansi ;

ΔT = perubahan temperatur

Kurva respon resistansi dari termistor NTC mengikuti fungsi eksponensial, dengan karakterisasi seperti yang diperlihatkan pada gambar 1 di bawah ini,



Gambar 1: Kurva Karakteristik R-T Thermistor NTC

Bentuk eksponensial dari persamaan (2.2) dapat dilinierkan dengan mengubah persamaan tersebut menjadi [6];

$$\ln R = \ln R_0 - \alpha \Delta T \ln e \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan (2.4) sesuai dengan bentuk dari persamaan linier $Y = nt + mtX$, maka akan diperoleh sensitifitas (α) dan parameter korelasi (r). Nilai korelasi adalah $1 < r < 1$. Semakin mendekati 1 atau 1, maka korelasi semakin baik. Koefisien korelasi diperoleh dengan persamaan (2.5)

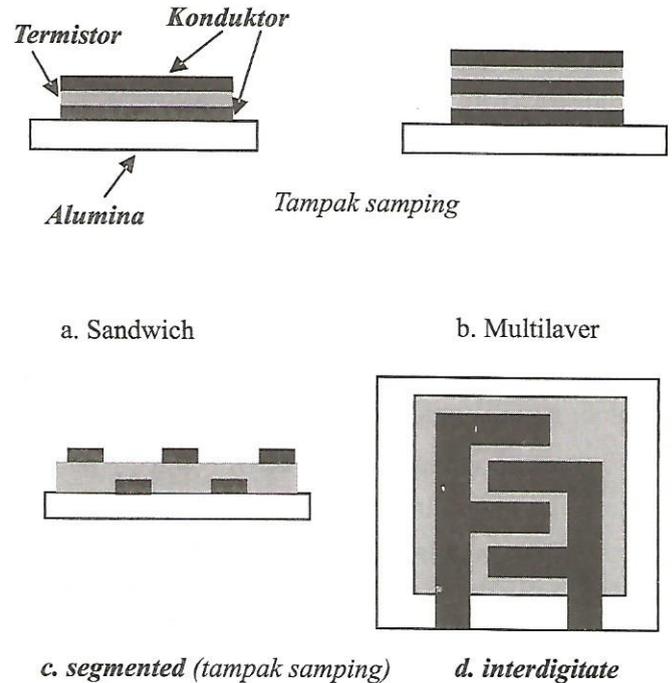
$$r = \frac{n \sum X_1 Y_1 - (\sum X_1)(\sum Y_1)}{\sqrt{\{n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2\} \{n \sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2\}}}$$

dimana; r = koefisien korelasi
 n = jumlah data

2.2 Bentuk Geometrik

Bentuk geometrik yang dikembangkan dalam pembuatan sensor temperatur ini ada 4 (empat) jenis yaitu : segmented, interdigitated, sandwich

dan multilayer dengan bentuk seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini [7][10],



Gambar 2 : Bentuk Geometrik Sensor Temperatur

Dalam penelitian ini digunakan bentuk geometrik multilayer, dimana pada penelitian sebelumnya penulis telah membahas mengenai karakteristik dari tiap-tiap bentuk geometrik tersebut. Hasil analisa memperlihatkan bahwa bentuk multilayer memiliki kurva respon yang lebih linier dibandingkan dengan bentuk geometrik lainnya [8][9][11].

2.3 Proses Linierisasi

Diberbagai bentuk aplikasi Thermistor NTC sangatlah diperlukan analisa secara menyeluruh pada rangkaian dimana thermistor NTC tersebut digunakan. Oleh karena respon resistansinya bersifat non-linier maka perlu dilakukan proses linearisasi untuk memudahkan dalam melakukan analisa dan pemrosesan pada tingkat lanjut seperti signal conditioning dan data acquisition. Ada dua

macam teknik linierisasi untuk sensor temperatur yang menggunakan Thermistor NTC sebagai sensing element, yaitu:

1. Proses Linierisasi dengan menggunakan metoda Shunt Resistor

Proses linierisasi ini dilakukan dengan menambahkan Resistor (R_{TM}) secara parallel pada rangkaian sensor temperatur [10]. Besar nilai tahanan R_{TM} yang digunakan adalah :

$$R_{TM} = (R_{THI} R_{TLO}) / 2 \dots\dots\dots(2.6)$$

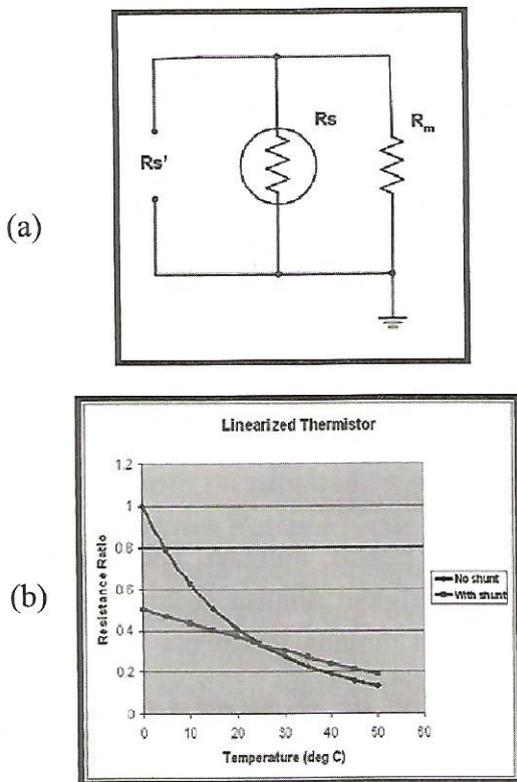
dimana :

R_{TMI} = Nilai tahanan temperature tengah dari rentang temperature sensor

R_{THI} = Nilai tahanan temperature tertinggi dari rentang temperature sensor

R_{TLO} = Nilai tahanan temperature terendah dari rentang temperature sensor

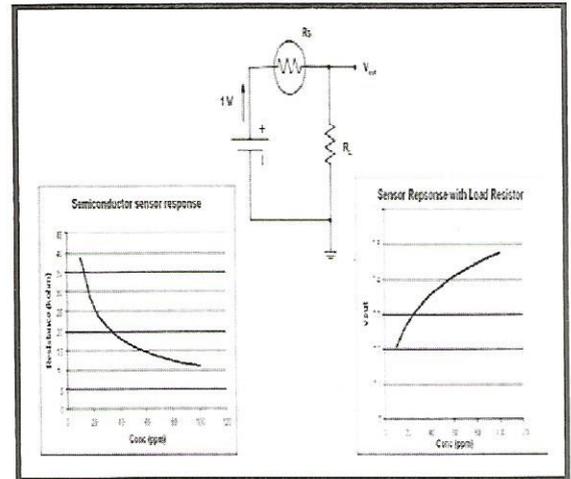
Proses linierisasi ini dapat dilihat pada gambar berikut ini,



Gambar 3 (a): Teknik Linierisasi dengan 3 (b): Shunt Resistor

2. Proses Linierisasi dengan menggunakan metoda Load Resistor

Teknik linierisasi ini dilakukan dengan menerapkan pembebanan pada rangkaian sensor dengan sebuah resistor (R_L) seperti ditunjukkan pada gambar berikut[4][6][10],

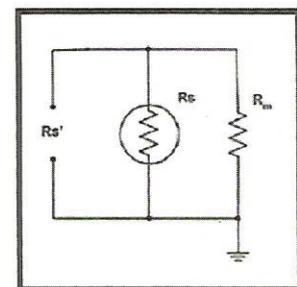


Gambar 4 : Teknik linierisasi dengan efek pembebanan

Teknik linierisasi ini lebih banyak digunakan untuk linierisasi sensor temperatur berupa bahan semikonduktor sedangkan untuk thermistor banyak digunakan teknik linierisasi dengan metoda Shunt Resistor seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

3. Metoda Penelitian

Dalam penelitian ini analisa matematis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak EXCEL sebagai substitusi rangkaian Shunt resistor.



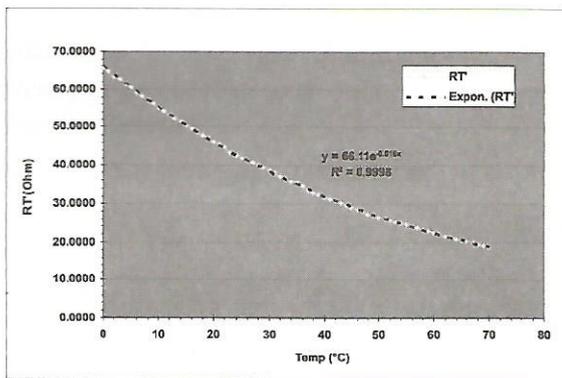
$$R_S = (R_S \times R_M) / (R_S + R_M)$$

$$R_M = (R_{THI} - R_{TLO}) / 2$$

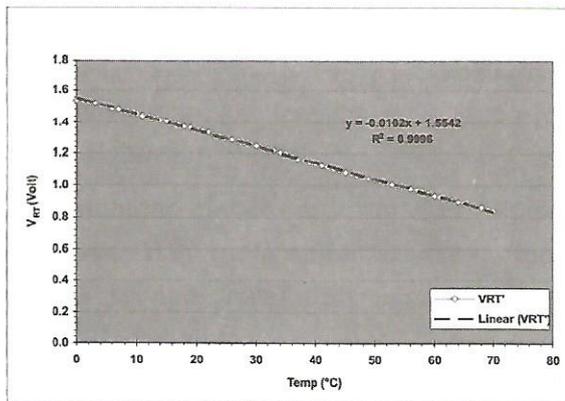
Gambar 5: Persamaan Matematis untuk Linierisasi Metoda Shunt Resistor

4. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi dari sensor temperatur telah dilakukan dan dianalisa pada tulisan sebelumnya dan berikut ini hasil karakterisasi perhitungan matematis untuk proses linierisasi dengan metoda Shunt Resistor. Kurva hasil linierisasi dari sensor temperatur tersebut dapat dilihat pada gambar 6 dan 7 berikut ini,



Gambar 6 : Kurva Linierisasi Thermistor NTC Multilayer dengan Metoda Shunt Resistor



Gambar 7 : Kurva Keluaran Tegangan V_{RT} terhadap Temperatur

5. Kesimpulan

Dari kegiatan penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

- Proses linierisasi untuk sensor temperatur dengan metoda shunt resistor telah dilakukan dan hasil dari linierisasi tersebut dapat dipergunakan dengan baik bagi proses signal conditioning.
- Proses linierisasi ini akan lebih terlihat efektif jika rentang temperatur yang digunakan sensor temperatur lebih lebar sehingga penyebaran kurva R-T jauh lebih smooth dan terinci.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai melalui Proyek MKET LIPI TA 2003 - 2004. Ucapan terimakasih ingin penulis sampaikan kepada PPET-LIPI atas ijinnya untuk mempublikasikan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

1. Gardner, Julian W., "Microsensors Principles and Applications," John Wiley & Sons, 1991
2. Hamer, D.W, "Thick Film Hybrid Microcircuit Technology", John Wiley & Sons, 1972
3. Yamasaki, H., Handbook of Sensors And Actuators Intelligent Sensors, ELSEVIER, 1996.
4. Pallas, Ramon, "Sensor and Signal Conditioning", John Wiley & Sons, 1991
5. Harper, Charles .A, "Handbook of Thick Film Hybrid Microelectronic", McGraw-Hill, 1974
6. Wobschall, Darold, Circuit Design for Electronic Instrumentation, 2 nd Edition, McGraw-Hill Book Company, 1997

7. Haskard, Malcolm R., "*Thick Film Hybrid Manufacture and Design*", Prentice Hall, 1998
 8. Alecsic, O.S, "*Analysis of Thick Film Thermistor Geometries*", Proc 21 st International Conference on Microelectronic Vol 1, 1997
 9. Zarnik, Marina Santo, "*Investigations of Thick-Film Thermistor*"
 10. Webster, John.G, "*The Handbook of Measurement, Instrumentation and Sensor*", IEEE Press, 1999
 11. Manurung, Robeth.V, "*Pengaruh Bentuk Geometrik Pada Sensor Temperatur NTC-2114 Thick Film Terhadap Respon Sensitifitas*", Prosiding Seminar Nasional Pasca Sarjana III, ITS Surabaya, 2003.
-

Studi Pendahuluan Monitoring Gerakan Sedimen pada Daerah Aliran Sungai Citarum

I Dewa Putu Hermida¹⁾, Yaya Sulaiman²⁾, Jumril Yunas³⁾
Ariani B. Safarina⁴⁾

¹⁾Pusat Kegiatan Elektronika dan Telekomunikasi LIPI (PPET LIPI)
Komp. LIPI Sangkuriang, Bandung 40135, Telp. (022) 250 4661, Fax . (022) 250 4659
e-mail : putu@ppet.lipi.go.id

²⁾Staf Pengajar pada Univ. Achmad Yani Bandung, Jl. Gatot Subroto PO BOX 807 (PINDAD), Bandung - 40285

Abstract

Sedimentation is a transfer and precipitation of ground erosion, especially as a result of acceleration of soil sheet erosion and path.

A technical study regarding measurement method and determination of measurement location for sensor system to be used in monitoring sediment transport at DAS Citarum has been done. A measurement of sediment transport is done at or close to water level post because there is relevancy between sediment movement and river flow. In addition measurement locations have to be free from back flow.

Key words : *sediment transport, DAS citarum*

Abstrak

Sedimentasi adalah perpindahan dan pengendapan erosi tanah, khususnya sebagai hasil dari percepatan erosi lapisan tanah dan alur.

Kajian teknis mengenai konsep metoda pengukuran serta penentuan titik lokasi pengukuran pada sistem sensor yang diperlukan dalam upaya monitoring sedimen transport pada DAS Citarum telah dilakukan. Pengukuran gerakan sedimen dilakukan pada atau dekat pos duga air, karena ada keterkaitan antara gerakan sedimen dan aliran sungai. Di samping itu lokasi pengukuran harus bebas dari arus balik pertemuan aliran.

Kata Kunci : *gerakan sedimen, DAS citarum*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sedimentasi dapat didefinisikan sebagai perpindahan dan pengendapan erosi tanah, khususnya sebagai hasil dari percepatan erosi lapisan tanah dan alur.

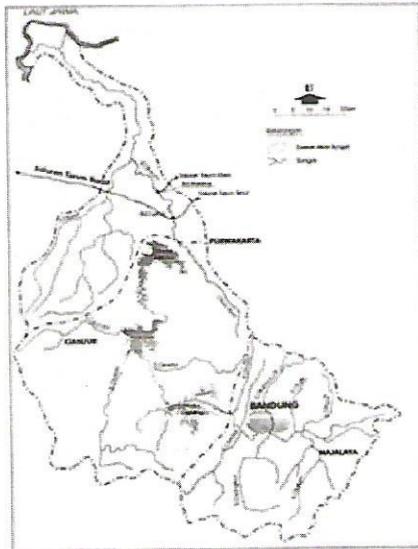
Saat ini, daerah aliran sungai Citarum seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, khususnya di bagian hulu dalam keadaan kritis, hal ini ditunjukkan dengan tingkat erosi, sedimentasi dan fluktuasi debit yang tinggi atau dengan kata lain

telah terjadinya peningkatan kerusakan lingkungan sebagai akibat berubahnya fungsi penggunaan lahan dari lahan resapan air menjadi lahan permukiman dan industri.

Kondisi buruk sungai Citarum juga telah mempengaruhi kinerja instalasi pembangkit listrik tenaga air di ketiga bendungan besar, yaitu Saguling, Cirata, dan Jatiluhur, yang merupakan bagian dari interkoneksi listrik Jawa-Bali.

Pada sisi lain, dengan masih tingginya harga sistem sensor yang beredar dipasaran telah pula memacu para ilmuwan untuk melakukan kegiatan dalam

menerapkan metoda pengukuran dan merancang sistem sensor yang efektif, tidak mahal dan handal dengan respon frekuensi yang tinggi serta hasil yang akurat, namun mudah dalam pengimplementasiannya dan portable sehingga dapat mengukur kualitas air secara *in situ*.



Gambar 1 : Peta Aliran DAS Citarum ^[2]

1.2 Permasalahan

Beberapa permasalahan yang dapat teridentifikasi adalah sebagai berikut :

Tingkat kerusakan lingkungan hulu citarum belum terdeteksi secara akurat mengingat masih banyaknya terjadi bencana yang diakibatkan oleh kondisi sungai yang tak terkendali

- Tingkat kerusakan hutan maupun erosi sedimen yang semakin memburuk.
- Kemampuan kita dalam hal sistem monitoring masih terbatas pada penguasaan perbagian dari sistem sensor.
- Belum adanya konsep sistem sensor monitor kondisi lingkungan DAS Citarum yang mampu memberikan solusi pengendalian lingkungan secara terpadu dan berkesinambungan.

1.3 Tujuan dan Sasaran

Kegiatan ini pada dasarnya bertujuan untuk menghasilkan konsep teknologi monitoring sedimentasi transport dalam upaya menerapkan sistem pengendalian lingkungan daerah hulu sungai citarum secara “on-line” dan “real-time” monitoring.

Adapun sasaran yang ingin dicapai adalah pengendalian kerusakan lingkungan daerah hulu sungai citarum .

1.4 Hipotesa

Faktor-faktor yang memengaruhi pada sedimentasi, adalah jumlah dan intensitas hujan, formasi geologi dan jenis tanah, tata guna lahan, topografi, erosi di bagian hulu, limpasan, karakteristik sedimen dan hidrolika saluran. Sedimen dapat dibagi dalam dua kelompok berdasarkan mekanisme pergerakannya sebagai berikut :

- *Suspended load*
- *Bed load*

Menurut kondisi asalnya, sedimen dapat dibagi dalam :

- *Bed materials transport*
- *Wash load*

Adapun urutan pelaksanaan pengambilan sampel sebagai berikut ^[3] :

1. Menentukan lokasi
2. Menentukan titik pengambilan
3. Melakukan pengambilan contoh air
4. Melakukan pemeriksaan di lapangan
5. Melakukan pengolahan pendahuluan dan pengawetan contoh yang diambil dari lapangan
6. Melakukan pengepakan contoh dan pengangkutan ke laboratorium untuk dianalisa.

2. Studi Pendahuluan

2.1 Pengukuran Angkutan Sedimen

Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri.

Bentuk, ukuran dan beratnya partikel tanah tersebut menentukan jumlah besarnya gerakan sediment.

Besarnya volume angkutan sediment bergantung kepada perubahan kecepatan aliran dan adanya kegiatan di palung sungai. Untuk memperkirakan perubahan itu telah banyak dikembangkan rumus berdasarkan percobaan lapangan maupun di laboratorium. Walaupun demikian, perhitungan tidak cukup teliti karena :

- Hubungan antara aliran dan gerakan sedimen sangat kompleks dan sulit untuk dirumuskan secara matematik.
- Pengukuran gerakan sedimen sulit dilaksanakan dengan teliti, sehingga rumus angkutan sedimen tidak dapat dicek dengan baik.
- Pengukuran gerakan sedimen yang selama ini dilakukan adalah dengan mengambil contoh dari seluruh mekanisme gerakan sedimen.

2.2 Suspended Load

Suspended load adalah material dasar sungai yang melayang di dalam aliran dan terdiri terutama atas butir pasir halus yang senantiasa mengambang di atas dasar sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran. Pada bagian pendek dari alur sungai, suspended load dapat dianggap tetap konsentrasinya.

Partikel tersuspensi dapat dibedakan menjadi 3 keadaan:

- Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih besar daripada tenaga turbulensi

aliran, maka partikel sedimen akan mengendap dan akan terjadi gradasi pada dasar sungai.

- Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen sama dengan tenaga turbulensi aliran, maka akan terjadi keadaan seimbang dan partikel sedimen tersebut tetap konstan terbawa aliran sungai ke arah hilir.

Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih kecil daripada tenaga turbulensi aliran, maka dasar sungai akan terkikis dan akan terjadi degradasi pada dasar sungai.

2.3 Pemilihan Lokasi Pengukuran Gerakan Sedimen

Cara pengambilan contoh sedimen tergantung pada keadaan aliran dan kondisi lokasi pengukuran. Lokasi tempat pengukuran yang sesuai dengan teori sangat sukar ditemukan, karena keadaan lapangan selalu berubah secara alami.

Pengukuran gerakan sedimen sebaiknya dilakukan pada atau dekat pos duga air, karena ada keterkaitan antara gerakan sedimen dan aliran sungai. Di samping itu lokasi pengukuran harus bebas dari arus balik pertemuan aliran.

Pengambilan contoh sedimen yang diambil dari jembatan sebaiknya dilakukan pada bagian hulu jembatan, karena di bagian hilir terjadi aliran yang tidak normal sebagai akibat pengaruh pilar.

Lokasi pengukuran harus diusahakan tetap pada penampang melintang yang sama baik selama periode waktu air rendah maupun air tinggi.

2.4 Hubungan Gerakan Sedimen dengan Kecepatan Aliran

Butiran sedimen dengan ukuran partikel tertentu terangkut dan terbawa aliran sungai sebagai suspensi pada kecepatan tertentu dari aliran. Menurut standar perencanaan irigasi,

partikel yang ukurannya kurang dari 70 μ m akan terangkut sebagai sedimen layang. Dengan grafik hubungan antara diameter ayak dan kecepatan endap, dapat dilihat untuk suhu 20°C partikel berdiameter 70 μ m, kecepatan endapnya adalah 4000m/s. Ini berarti jika kecepatan aliran lebih kecil dari 4000m/s, maka partikel dengan diameter 70 μ m tersebut akan mengendap sebagai bedload dan bukan sebagai suspended load.

Data kecepatan aliran ini dapat disinergikan dengan data suspended load untuk menjadi sebuah data masukan mengenai informasi suspended load di sungai tersebut. Sebagai gambaran misalnya apabila data menunjukkan total suspended load tinggi untuk lokasi dan waktu tertentu, maka biasanya hal ini terjadi pada musim hujan dimana aliran sungai tinggi sehingga mengangkut bedload sungai menjadi suspended load. Sebaliknya pada musim kemarau dimana muka air sungai turun dan kecepatan aliran rendah, maka banyak suspended load yang mengendap sebagai bedload..

2.5 Sistem On-Line dan Real Time Monitoring

Untuk itu sistem monitoring yang tersedia tentunya harus mempunyai kemampuan untuk dapat berkomunikasi secara on-line dan data-nya real time.

Untuk data-data penunjang dapat diperoleh dari :

- Catatan-catatan periodik
- Laporan khusus
- Hasil dari suatu model matematik, ataupun hasil pemantauan di lapangan, dan sebagainya.

Sebagaimana telah kita ketahui, bahwa didalam suatu sistem monitoring terdapat komponen perangkat keras dan komponen perangkat lunak. Untuk membahas sistem monitoring, maka juga tidak terlepas dari sistem informasi.

Sistem informasi sangat erat kaitannya dengan sistem monitoring, dalam hubungannya dengan

lingkungan, maka untuk dapat membangun sebuah sistem informasi harus dibangun pula sistem monitoring.

3. Prosedur dan Metodologi

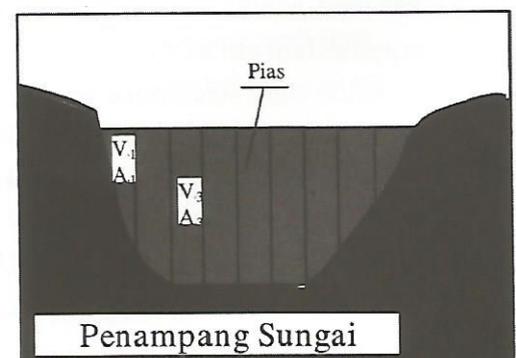
3.1 Prosedur

Pengukuran aliran sungai untuk menghitung dan menggambarkan hidrografi aliran masih digunakan cara yang konvensional yaitu dengan mengukur kecepatan pada ketinggian tertentu untuk mewakili suatu luasan penampang. Acuan pengukuran debit air, bisa dilihat pada gambar 2 dan tabel 1 dibawah ini.

Penentuan besar debit aliran sungai dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut yaitu:

1. Pengukuran debit sungai dilakukan dengan terlebih dahulu mengukur tinggi muka air sungai dengan *automatic water level record* (AWLR) atau dengan *ordinary water level record* (OWLR).
2. Pengukuran debit sungai dilakukan beberapa kali pada ketinggian air sungai yang berbeda-beda dengan metode *slope area*.

Apabila kedalaman sungai cukup dalam maka pengukuran kecepatan dilakukan pada kedalaman $[0.2 \times \text{ketinggian air}]$ dan pada kedalaman $[0.8 \times \text{ketinggian air}]$. Pada gambar 2 terlihat hasil pengukuran kecepatan misalnya v_1 dan v_2 maka kecepatan rata-rata sungai V adalah:



Gambar 2 : Contoh penampang sungai untuk pengukuran debit air ^[1]

Apabila kedalaman air sungai relatif kecil maka pengukuran kecepatan air cukup dilakukan sekali saja yaitu pada kedalaman $[0.6 \times \text{ketinggian air}]$.

Debit sungai pada penampang tertentu dan pada kedalaman air tertentu dihitung dengan cara seperti yang tertera pada tabel 1.

Tabel 1 : Contoh cara perhitungan debit air ^[2]

Perhitungan Debit			
Nomor Pias	Kecept.	Luas Pias	Debit Pias
1	.v ₁	.a ₁	.v ₁ X a ₁
2	.v ₂	.a ₂	.v ₂ X a ₂
3	.v ₃	.a ₃	.v ₃ X a ₃
4	.v ₄	.a ₄	.v ₄ X a ₄
5	.v ₅	.a ₅	.v ₅ X a ₅
6	.v ₆	.a ₆	.v ₆ X a ₆
7	.v ₇	.a ₇	.v ₇ X a ₇
8	.v ₈	.a ₈	.v ₈ X a ₈
9	.v ₉	.a ₉	.v ₉ X a ₉
Jumlah debit total penampang			Q

3.2 Metodologi

Strategi kegiatan yang digunakan dan pengimplementasian kegiatan, meliputi :

1. Kajian metoda monitoring gerakan sedimen (teknik pengambilan sampel, frekuensi dan metoda analisa)
2. Kajian kondisi lingkungan pada lokasi sistem sensor maupun kajian lingkungan daerah hulu sungai citarum
3. Kajian sistem sensor (kekeruhan, curah hujan, ketinggian permukaan air sungai)
4. Studi banding sistem sensor yang terpasang pada lingkungan sungai lain
5. Pemodelan sistem sensor kekeruhan, curah hujan dan ketinggian air
6. Pengukuran dan pengambilan sampel
7. Analisa serta kesimpulan

Data yang dibutuhkan sebagai *input* model kegiatan ini adalah :

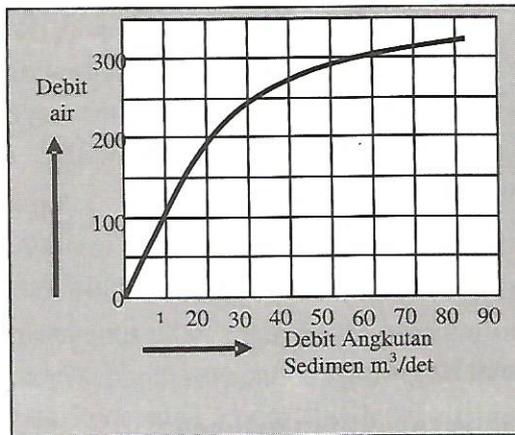
- Data kondisi cuaca harian
- Data debit sungai
- Data sedimentasi
- Peta topografi
- Peta tata guna lahan
- Peta pola sungai
- Peta kontur tanah

4. Hasil Kegiatan

4.1 Analisis angkutan sedimen

Ilmu adalah suatu cara untuk mendapatkan suatu informasi yang dilakukan berdasarkan suatu tahapan-tahapan yang logis, dimana apabila setiap tahapan diyakini kebenarannya, maka secara keseluruhan tahapan akan diyakini benar, dan hasil dari tahapan tersebut dapat dibuktikan secara empiris. Kondisi DAS yang disimpulkan berdasarkan *probabilitic causality* yaitu suatu kondisi dimana angkutan sedimen terjadi apabila telah terjadi kerusakan DAS.

- Pengukuran angkutan sedimen dilakukan bersama-sama dengan pengukuran debit aliran pada satu penampang tertentu, sehingga dapat ditarik hubungan antara besar debit dengan besar angkutan sedimen.
- Pengukuran angkutan sedimen dan pengukuran debit di atas dilakukan berkali-kali pada ketinggian permukaan air sungai yang berbeda-beda sehingga akan diperoleh hubungan antara debit aliran dengan angkutan sedimen.
- Berdasarkan grafik hubungan antara debit aliran dengan debit angkutan sedimen maka dapat dihitung besar angkutan sedimen setiap saat dalam kurun waktu satu tahun (lihat gambar 3).



Gambar 3 : Grafik Hubungan antara Debit dan Sedimen ^[2]

Beranjak dari latar belakang permasalahan kegiatan seperti diuraikan di atas, maka dapat disusun hipotesa sebagai berikut:

- Penataan ruang DAS yang baik dan benar meminimalkan beban pencemaran yang berasal dari daratan lahan.
- Semakin kecil beban pencemaran dari daratan lahan atas suatu DAS, maka kualitas DAS tersebut semakin baik.

Pada tabel 2 ditunjukkan titik-titik dimana lokasi sampling kegiatan pada DAS Citarum ini dilakukan.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada analisis hidrologi di DAS Citarum Hulu, adalah :

- Faktor dominan yang mempengaruhi terjadinya sedimentasi adalah kemiringan lahan, jenis tanah dan tata guna lahan, limbah buangan baik limbah domestik (penduduk) dan limbah industri.

Adapun kendala yang dihadapi pada saat analisis, adalah :

1. Sedimen kasar yang mudah mengendap

2. Tabung baca yang kotor
3. Gelembung udara
4. Getaran yang menyebabkan gerakan air di dalam tabung baca

5.2 Saran

Untuk pengambilan sampel kualitas air dilakukan pada hari dan jam yang berbeda, sehingga dapat diperoleh suatu perbedaan kualitas air pada setiap hari maupun setiap jam-nya.

Sedangkan untuk keperluan perencanaan dan pemanfaatan data pemantauan kualitas air, yang diambil pada waktu tertentu dan perioda yang tetap, kesemuanya itu bergantung kepada jenis sumber air dan tingkat pencemarannya, sebagai berikut ^[3]:

- Sungai/Saluran yang tercemar berat, dilakukan setiap 2 (dua) minggu sekali selama satu tahun.
- Sungai/Saluran yang tercemar ringan sampai sedang, dilakukan sebulan sekali selama satu tahun.
- Sungai/Saluran alami yang belum tercemar, dilakukan setiap 3 (tiga) bulan sekali selama satu tahun.
- Danau/Waduk dilakukan setiap 2 (dua) bulan sekali selama satu tahun.

Hal yang dianggap penting untuk diperhatikan dalam upaya pengelolaan DAS Citarum ini, yaitu ^[4]:

1. Pada dasarnya pengelolaan DAS bersifat multidisiplin dan lintas sektoral sehingga keterpaduan mutlak diperlukan dan perlu diterapkan azas "*Integrated Watershed Management Plan*".

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai melalui Proyek MKET LIPI TA 2003 2004 Ucapan terimakasih ingin penulis sampaikan kepada PPET LIPI atas ijinnya untuk mempublikasikan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

1. Pemerintah Prop. Jawa Barat BPLHD, "*Pengendalian Kualitas Air S. Cisadane, Ciliwung, Cileungsi, Citarum dan Cimanuk melalui Program Kali Bersih*", Strategi Pengendalian

Pencemaran Air Melalui Prokasih di 14 Kab/Kota, Bandung, 2001.

2. Pemerintah Prop. Jawa Barat BPLHD, "*Pola Pengendalian Pencemaran Air di DAS, Citarum Hulu s/d Tengah*", Strategi Pengendalian Pence-maran Air Melalui Prokasih di 14 Kab/Kota, Bandung, 2001.
3. Pemerintah Prop. Jawa Barat BPLHD, "*pengendalian Pence-maran Air*", Proyek Pengendali-an Pencemaran Air, Udara dan Tanah di Jawa Barat, Bandung, 2002.

Tabel 2 : Lokasi titik sampling DAS Citarum

No	LOKASI	DESA	KEC.	KAB.	ORDINAT	KETINGGIAN	KET.
1.	Bendungan Loa	Wangisagara	Majalaya	Bandung	LS 07°04,429 BT 107°44,922	729 meter	Pencemaran dari penduduk
2.	Jembatan Sapan	Bojong Emas	Majalaya	Bandung	LS 06°59,422 BT 107°42,269	688 meter	Mulai pencemaran pabrik dan penduduk
3.	Jembatan Cijeruk	Bojong Sari	Bojong Soang	Bandung	LS 07°00,292 BT 107°38,374	687 meter	Pencemaran dari pabrik dan penduduk
4.	Jembatan Dayeuh Kolot	Dayeuh Kolot	Dayeuh Kolot	Bandung	LS 06°59,468 BT 107°37,545	682 meter	Pencemaran dari pabrik dan penduduk
5.	Jembatan Cilampeni	Cilampeni	Ketapang	Bandung	LS 06°59,086 BT 107°33,737	673 meter	Pencemaran dari pabrik dan penduduk
6.	Jembatan Nanjung	Mekar Rahayu	Marga Asih	Bandung	LS 06°56,501 BT 107°32,178	692 meter	Pencemaran dari pabrik dan penduduk
7.	Curug Jompong	Jelegong	Soreang	Bandung	LS 06°56,432 BT 107°31,928	704 meter	Pencemaran dari pabrik dan penduduk
8.	Outlet Waduk Saguling	Citamiang	Maniis	Purwakarta	-	-	Belum tersurvei

Proses Metalisasi Kontak Grid Sel Surya Silikon Multikristal Menggunakan Metoda Firing Through

Erlyta S.R., Ika Ismet, Shohib
Puslit Elektronika dan Telekomunikasi LIPI
Kampus LIPI Gd. 20 Jl. Sangkuring
Bandung 40135
Telp. 022-2504660 Fax. 022-2504659
Email : erlyta@ppet.lipi.go.id

Abstract

Metallization process by screen printing to solar cell are often associated with a high series resistance that reduces the efficiency of the cell. The higher series resistance is due to poor contact quality between the metal and the silicon. This paper reports the improvement of contact quality of metallization process in multicrystalline silicon solar cells using firing through method, whereas the grid metallization process is formed after depositing the antireflection coating. It was shown that series resistance of 171 m Ω with cell efficiency of 8,05% was achieved using firing through process.

Key words : metallization, solar cell, firing through

Abstrak

Proses metalisasi kontrak metal sel surya yang menggunakan teknik screen printing menghasilkan tahanan seri yang cukup tinggi, akibatnya efisiensi yang dihasilkan menjadi rendah. Tahanan seri yang tinggi ini antara lain diakibatkan oleh kualitas kontak metal dengan substrat silikon yang kurang baik. Tulisan ini melaporkan hasil penelitian mengenai penggunaan metoda firing through dalam proses metalisasi kontak metal dimana proses metalisasi kontak grid dilakukan setelah substrat dilapisi dengan lapisan antirefleksi dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas kontak metal sel surya silikon multikristal. Dengan proses firing through ini dihasilkan sel surya yang mempunyai tahana seri yang cukup rendah yaitu sekitar 171 m Ω dengan efisiensi sekitar 8,05%

Kata Kunci : metalisasi, sel surya, firing through

1. Pendahuluan

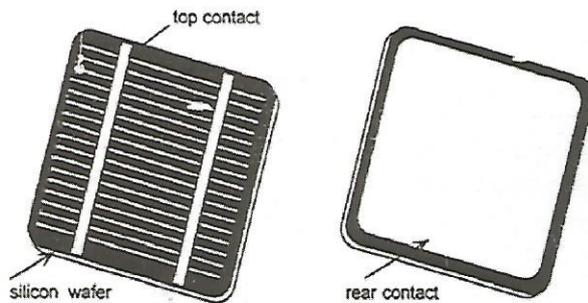
Salah satu aspek menentukan di dalam fabrikasi sel surya kristal adalah pembentukan kontak metal atau biasa disebut dengan metalisasi. Kontak metal bagian atas atau grid membentuk pola garis-garis yang menutupi sekitar 10% permukaan sel, sedangkan kontak metal bagian bawah menutupi hampir seluruh permukaan bawah sel [1]. Gambar-1 memperlihatkan pola kontak metal yang umum digunakan pada sel surya silikon kristal tunggal.

Proses metalisasi kontak grid yang menggunakan teknik penyablonan (*screen printing*) merupakan teknik yang paling sederhana

dan murah sehingga banyak digunakan oleh hampir 90 % industri sel surya di dunia [2,3]. Akan tetapi pembentukan kontak metal menggunakan teknik penyablonan dapat mengakibatkan meningkatnya tahanan seri R_s yang mengakibatkan kualitas kontak metal menjadi rendah. Pada sel surya silikon multikristal yang mempunyai batas butir (*grain boundary*) dengan orientasi kristal berbeda, maka tahanan seri yang dihasilkan akan lebih besar, akibatnya baik daya maupun efisiensi sel yang dihasilkan akan menjadi rendah [4].

Proses *screen printing* membutuhkan pasta metal yang mengandung sejumlah kecil butiran gelas (*glassfrit*) yang berfungsi sebagai pembasah

(*wetting agent*), akan tetapi adanya *glassfrit* ini berkontribusi terhadap meningkatnya tahanan seri [2].



Gambar-1. Pola kontak metal pada sel surya silikon kristal tunggal [1].

Tahanan seri dapat dikurangi antara lain dengan cara (a) mengatur temperatur dan waktu pemanasan, (b) etsa kontak metal, (c) metalisasi di atas lapisan antirefleksi (*firing through*) serta (d) menggunakan pasta metal yang didoping fosfor (P) [4,5,6]. Cheek dkk. [7] melaporkan bahwa proses pengurangan tahanan seri menggunakan etsa kontak metal dapat mengakibatkan rusaknya sifat listrik dan sifat mekanik kontak metal.

Tulisan ini melaporkan hasil pengembangan pembuatan sel surya silikon multikristal menggunakan proses metalisasi dengan metoda *firing through* dimana proses metalisasi kontak atas atau grid dilakukan setelah substrat dilapisi dengan lapisan antirefleksi.

2. Metode Penelitian

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah silikon multikristal bulk *lifetime* 1 μ s produk Deutche Solar, tipe-p, tebal 330-400 μ m, resistivitas bulk 2,8-3 Ω cm, berukuran 5 X 5 cm^2 . Setelah proses teksturing dan pencucian yang masing-masing menggunakan larutan KOH dan metoda RCA, substrat silikon didoping dengan larutan

H_3PO_4 yang dipanaskan dalam tungku ban berjalan (*conveyor furnace*) pada temperatur 860 C, dilanjutkan dengan proses *deglasing* dengan menggunakan larutan HF 10%. Resistansi permukaan (*sheet resistivity*) sambungan p-n yang dihasilkan berkisar antara 39-40 Ω .

Pelapisan antirefleksi TiO_2 dilakukan dengan menggunakan teknik *screen printing*. Setelah pelapisan pasta Ferro 99007 dilakukan proses pengeringan (*drying*) pada temperatur 100 C dan proses pembakaran (*firing*) pada temperatur 505 C.

Proses metalisasi kontak juga dilakukan dengan teknik *screen printing*. Kontak bagian bawah dilapisi dengan pasta AlAg Ferro 3398, dilanjutkan dengan proses pengeringan (*drying*) pada temperatur 120 C, kemudian proses pelapisan pasta Ag Ferro 3349 pada bagian atas substrat dan dilanjutkan dengan proses pengeringan. Proses pembakaran (*firing through*) dilakukan di dalam tungku ban berjalan pada temperatur 720 C.

Sebagai pembandingan juga dilakukan fabrikasi sel surya dimana proses metalisasinya dilakukan sebelum pelapisan antirefleksi (tanpa *firing through*).

Karakteristik listrik sel surya diukur dengan menggunakan Simulator Matahari pada kondisi pengukuran radiasi 100 mW/cm^2 dan pada temperatur 25 C.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel-1 memperlihatkan hasil pengukuran karakteristik listrik sel surya dimana proses metalisasi kontak grid dilakukan dengan dan tanpa proses *firing through*.

Dari Tabel-1 berikut dapat diamati bahwa sel surya yang dihasilkan melalui proses metalisasi grid setelah pelapisan ARC mempunyai tahanan seri R_s yang lebih rendah yaitu sekitar 171 $\text{m}\Omega$ dibandingkan dengan proses metalisasi sebelum

pelapisan ARC yaitu sekitar 257 mΩ. Rendahnya tahanan seri ini disebabkan karena (a) rendahnya tahanan kontak antara metal dengan silikon akibat berkurangnya silikon yang terlarut oleh *glassfrit* karena terhalang oleh lapisan antirefleksi terutama di daerah batas butir, dan (b) ukuran partikel kontak Ag yang terbentuk menjadi lebih seragam dengan adanya lapisan antirefleksi di bawahnya.

Tabel-1. Hasil pengukuran karakteristik listrik sel surya multikristal pada kondisi pengukuran 100 mW/cm² dan pada temperatur 25 C

Karakteristik Listrik	Metalisasi tanpa firing through	Metalisasi dengan firing through
Tegangan sirkuit terbuka V _{oc} (mV)	520	530
Tegangan maksimum V _{max} (mV)	370	410
Arus hubung singkat I _{sc} (mA)	648	635
Arus maksimum I _{max} (mA)	496	473
Tahanan seri R _s mΩ	257	171
Daya maksimum P (mW)	180	200
Faktor kurva FF	0,536	0,582
Efisiensi η (%)	7,43	8,05

Tahanan seri sangat dominan mempengaruhi besarnya faktor kurva yaitu faktor idealitas sel surya. Semakin kecil tahanan seri akan semakin besar faktor kurva sebagaimana yang digambarkan pada persamaan (8):

$$FF = FF_0 (1 - I_s r_s) \tag{1}$$

dimana :

FF = faktor kurva

$$FF_0 = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \tag{2}$$

r_s = tahanan seri

Pada Tabel-1 dapat ditunjukkan bahwa sel surya dengan *firing through* mempunyai FF yang lebih besar daripada tanpa *firing through*, yaitu sebesar 0,582 dan efisiensi yang dihasilkan juga lebih tinggi yaitu sebesar 8,05 %. Sel surya tanpa *firing through* mempunyai FF sebesar 0,536 dengan efisiensi 7,43 %.

Parameter yang sangat menentukan unjuk kerja sel surya adalah efisiensi, karena merupakan ukuran seberapa banyak cahaya matahari yang jatuh pada permukaan sel surya yang diubah menjadi energi listrik. Efisiensi sel surya dirumuskan oleh persamaan (3) di bawah ini [9]:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \tag{3}$$

Berdasarkan persamaan (3) efisiensi sel selain bergantung kepada faktor kurva, tegangan sirkuit terbuka V_{oc}, dan tegangan maksimum V_{max}, juga bergantung kepada arus hubung singkat I_{sc} dan arus maksimum I_{max}.

Sel yang dihasilkan melalui proses metalisasi dengan *firing through* mempunyai efisiensi yang lebih tinggi, akan tetapi arus hubung singkat dan arus maksimum yang dihasilkan lebih kecil dari sel yang dihasilkan melalui proses tanpa *firing through*. Hal tersebut disebabkan karena pada sel dengan *firing through* cahaya yang direfleksikan oleh sel surya menjadi lebih tinggi yang diakibatkan oleh adanya refleksi oleh garis-garis metal di bagian atas permukaan sel, sementara pada sel tanpa *firing through*, garis-garis metal tertutupi oleh lapisan ARC, sehingga refleksi menjadi lebih kecil, akibatnya arus hubung singkat dan arus maksimum menjadi lebih besar. Meskipun

demikian karena faktor kurva (*fill factor*) dan tegangan maksimum yang dihasilkan lebih kecil, maka secara keseluruhan efisiensinya menjadi lebih rendah.

4. Kesimpulan

Proses metalisasi kontak sangat berpengaruh terhadap besarnya tahanan seri yang dihasilkan oleh sel surya. Sel surya dengan proses metalisasi *firing through* mempunyai tahanan seri yang lebih kecil dibandingkan dengan sel tanpa *firing through*, sehingga faktor kurva dan efisiensi yang dihasilkan menjadi lebih besar, yaitu sebesar 0,582 dan 8,05 %.

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada Program Kompetitif LIPI yang telah mendanai penelitian ini, dan kepada Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi LIPI yang mempublikasikan tulisan ini. Penulis juga berterimakasih kepada saudara A. Wahid Aminuddin dan Jojo Hidayat yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

5. Daftar Pustaka :

- Green, M., "Power to People: Sunlight to Electricity Using Solar Cells", UNSW Press, Sidney-Australia, 2000, hal. 8.
 - Ebong A., Brody J., Rohatgi A. dan Williams T., "Optimization of front metal contact firing scheme to achieve high fill factors on screen printed silicon solar cells, *Sol. Mat. Sol. Cells* **65** (2001), hal. 613-619.
 - Van der Heide A.S.H., Bultman J.H., Hoornstra J., dan Schonecker A., "Error diagnosis and optimization of c-Si solar cell processing using contact resistances determined with the Corescanner", *Sol. Mat. Sol. Cells* **74** (2002), hal. 43-50.
 - Summhammer R.M., "Novel process of grain boundary metallization on mc Si solar cells", *Sol. Mat. Sol. Cells* **65** (2001), hal. 303-309.
 - Firor K., Hogan S.J., Barrett J.M., dan Coyle R.T., "Series resistance associated with thick-film contacts to solar cells", *Prosiding 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.* (1982), hal. 824-827.
 - Porter L.M., Teacher A., dan Meier D.L., "Phosphorus-doped, silver-based pastes for self-doping ohmic contacts for crystalline silicon solar cells", *Sol. Mat. Sol. Cells* **73** (2002), hal. 209-219.
 - Cheek G.C., Mertens R.P., Van Overstraeten R., dan Frisson L., "Thick-Film Metallization for Solar Cell Applications", *IEEE Trans. Elec. Dev.* **ED-31** (1984), hal. 602-609.
 - Honsberg C. dan Bowden S. , "Series Resistance", *Photovoltaics CDROM: Devices, Systems, and Applications*, Vol.1, Photovoltaic Centre The University of New South Wales, Australia, 1999.
- Goetzberger A., Knobloch J., dan Voss B., *Crystalline Silicon Solar Cells*, John Wiley & Sons, England, 1998, hal. 71

Modulator QPSK pada Sistem Radio Digital

Ros Sariningrum , Yaya Sulaeman

Puslit. Elektronika dan Telekomunikasi LIPI

Jl. Sangkuriang Komplek LIPI, Bandung 40135, Indonesia

Email : ros@ppet.lipi.go.id, yaya@ppet.lipi.go.id

Abstract

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Modulator has been made to analyze QPSK modulation for Digital Radio System. The process was started by doing pre-analyze for each part of the circuits, and are made modules which are divided in to 3 parts are made, i.e.: data processing; local oscillator 220 MHz ; and integrating all of the part. Each output of modules are measured and observed, and compared with the references. After get the similar characteristic, those modules were integrated as QPSK modulator prototype which suitable to be used in digital radio system.

Key words: modulator QPSK, oscillator, digital radio

Abstrak

Modulator Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) ini dibuat untuk menganalisa proses modulasi QPSK pada Sistem Radio Digital. Proses pembuatan diawali dengan melakukan analisa pendahuluan tiap-tiap rangkaian dan pembuatan modul-modul yang terdiri dari 3 bagian utama yaitu bagian pemrosesan data, osilator lokal 220 MHz, dan bagian penggabungan sinyal akhir. Setiap modul diukur dan diamati serta dibandingkan dengan karakteristik acuan. Setelah diperoleh karakteristik yang mendekati, modul-modul tersebut digabung sehingga menjadi satu prototype Modulator QPSK yang siap mendukung sistem radio digital secara keseluruhan.

Kata Kunci: modulator QPSK, osilator, radio digital

1. Pendahuluan

Perangkat Radio Digital merupakan peralatan komunikasi yang bekerja dengan menggunakan sistem modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) dengan kemampuan masukan sinyal *baseband* sebesar 2048 kbps atau setara dengan 30 kanal saluran telepon.

Bagian transmitter terdiri atas *tx baseband*, *exciter* modul, dan sebuah penguat daya (*power amplifier*). Unit *exciter* terdiri atas modulator QPSK, *synthesizer*, dan *up mixer* (pencampur). Luaran Modulator dan *up mixer* (pencampur) ke luaran frekuensi oleh osilator local tersintesa dengan frekuensi 1,5 GHz. Luaran *exciter* modul kemudian masuk ke penguat daya siap untuk dipancarkan.

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui proses modulasi QPSK pada unit

exciter modul dari sistem digital radio, dengan melakukan eksperimen untuk mendapatkan karakteristik yang telah ditetapkan, sehingga memungkinkan untuk pengembangan sistem yang lebih efisien dan berdaya guna. Pada tulisan ini pembahasan rangkaian tidak akan dilakukan secara mendetail, tetapi secara garis besar berkisar pada data-data dan penjelasan untuk mendapatkan karakteristik yang diperoleh dari realisasi sistem modulator ini.

2. Teori Dasar

Teknik modulasi digital dapat dirumuskan dengan persamaan umum yang mempunyai bentuk kuadratur:

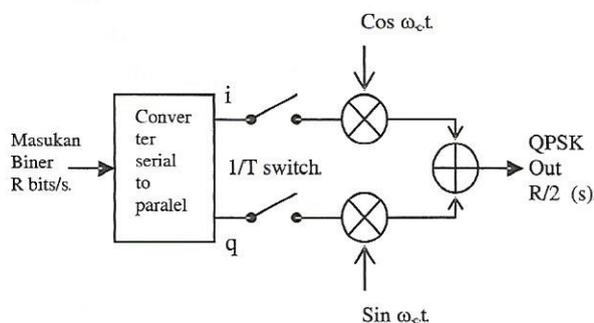
$$C(t) = A(t) \cos \omega_c t + B(t) \sin \omega_c t \dots\dots\dots (1)^1$$

¹ Roden ,Martin S., Digital and Data Communication Systems, Prentice Hall, Los Angeles, 1982 : 370

Pada sistem QPSK sinyal termodulasi mempunyai 4 kemungkinan keadaan fasa tertentu. Keadaan fasa ini dibangkitkan oleh pola pemetaan yang unik dari dua bit yang berurutan menjadi satu simbol. Keadaan fasa yang sesuai dijaga selama *interval* T_s , yang mempunyai durasi 2 bit ($T_s=2T_b$).

Untuk mempermudah realisasi, pengamatan, dan analisa, data masukan pemodulasi yang digunakan adalah dalam bentuk NRZ (*Non Return to Zero*) dengan kecepatan fb (bit per detik) diubah oleh konverter *serial to paralel* menjadi dua aliran bit data *I* dan *Q* yang berharga biner 1 dan 0 dengan kecepatan $fb/2$. Kemudian sinyal $I(t)$ dan $Q(t)$ dikalikan dengan sinyal pembawa (*carrier*) yang berbeda fasa 90° . $I(t)$ dikalikan dengan $\cos(\omega_c t + \theta_0)$ dan $Q(t)$ dikalikan dengan $\sin(\omega_c t + \theta_0)$, seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Gelombang QPSK mengalami perubahan setiap $2T_b$ detik, gelombang ini tidak mempunyai selubung yang konstan, karena dengan adanya pergeseran fasa 180° akan menyebabkan amplitudo kembali ke nol. Perubahan fasa 180° ini terjadi ketika sinyal $I(t)$ dan $Q(t)$ berubah secara bersamaan. Sedangkan fasa akan berubah 90° atau -90° jika hanya salah satu sinyal $I(t)$ atau $Q(t)$ yang berubah, yang akan menyebabkan fluktuasi selubung sebesar 3 dB.



Gambar 1: Sistem Dasar Modulasi QPSK²

² Sklar, Bernard, Digital Communications Fundamentals and Applications, Prentice Hall International Inc, 1988 : 400

Tabel 1. Pergeseran fasa pada QPSK³

i	q	s(t)
1	1	$+\cos \omega_c t$
1	-1	$-\sin \omega_c t$
-1	-1	$-\cos \omega_c t$
-1	1	$+\sin \omega_c t$

3. Pre-analisis sub sistem rangkaian

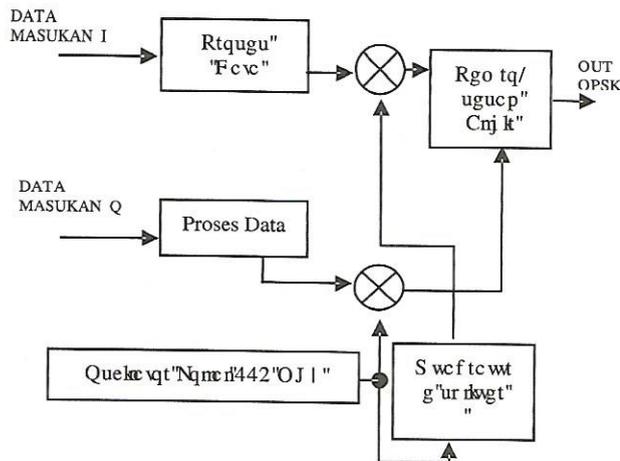
Spesifikasi yang diharapkan dapat diperoleh dari realisasi sistem adalah :

- Frekuensi pembawa : 220 MHz
- Daya Luaran Pembawa : +7 dBm
- Tegangan Luaran Sinyal pemodulasi : 0,6 Vp-p
- Daya Luaran QPSK : 20 dBm

Proses pembuatan sistem modulator QPSK ini meliputi 3 bagian (seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini) yaitu :

- a. Bagian Pemrosesan data yang meliputi komparator, limiter, dan LPF (*Low Pass Filter*).
- b. Bagian Osilator Lokal 220 MHz yang meliputi rangkaian Osilator kristal 73,333 Mhz, tripler, buffer penguat, dan quadratur splitter.
- c. Bagian pemrosesan akhir yang meliputi pencampur, rangkaian penjumlah dan penguat buffer akhir.
- d. Bagian pemrosesan akhir yang meliputi pencampur, rangkaian penjumlah dan penguat buffer akhir.

³ Roden, Martin S., Digital and Data Communication Systems, Prentice Hall, Los Angeles, 1982. : 424



Gambar 2 : Blok Diagram sistem keseluruhan

3.1. Komparator

Masing-masing *stream* data diproses oleh komparator yang menggunakan sebuah IC LM319. Kedua *stream* data tersebut dilewatkan melalui jaringan RC untuk memperlambat tepi (*edges*), juga untuk mengatur *mark-to-space ratio* karena luaran *Mark-to-space-ratio* pada 2 komparator harus betul-betul sama, yaitu dengan mengatur *switching threshold* menggunakan *resistor variable*. Pengaturan ini digunakan untuk menghilangkan kebocoran *clock* pada spektrum luaran QPSK.

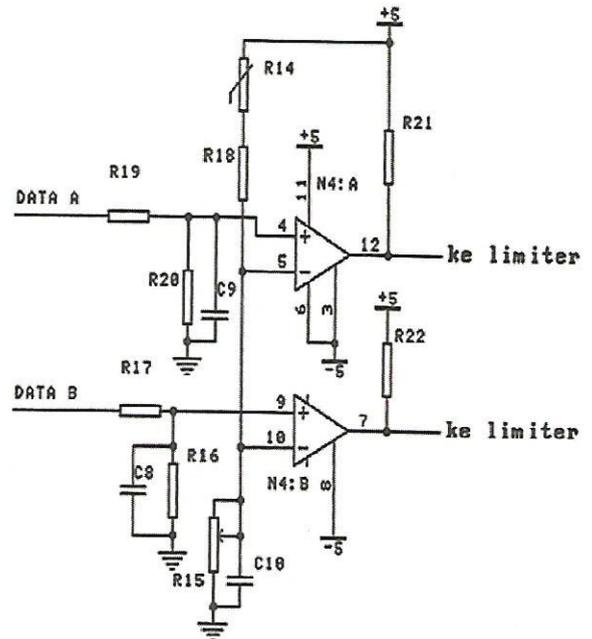
Rangkaian komparator seperti ditunjukkan pada gambar 3, mengkonversi data *stream* dari 0 sampai 5 volt menjadi sinyal simetrik 5V.

Prinsip kerja rangkaian ini adalah sebagai berikut:

Komparator merupakan detektor batas dengan sebuah tegangan acuan pada masukan *inverting*

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc} = \frac{5k6}{4k3 + 5k6} \cdot 5V = 2,83V$$

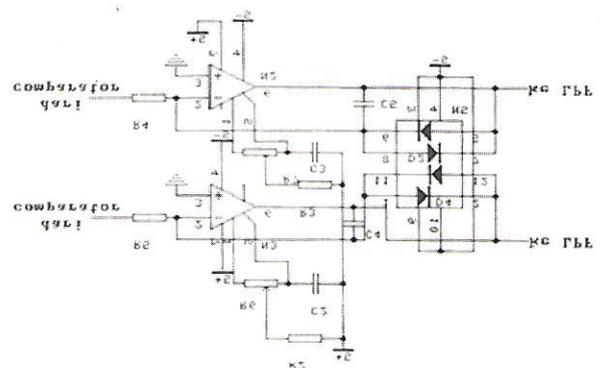
Bila V_{in} kurang dari V_{ref} , maka tegangan kesalahan adalah negatif dan keluarannya rendah. Apabila V_{in} lebih besar dari V_{ref} , maka tegangan kesalahan menjadi positif dan keluarannya tinggi.



Gambar 3 : Rangkaian *dual* komparator

Sebuah C digunakan masukan *inverting* untuk memperkecil *ripple* catu daya dan derau yang muncul pada masukan *inverting*. Agar efektif maka frekuensi *cut off* dari rangkaian ini harus jauh lebih kecil dari frekuensi *ripple* dari Gambar 4 : Luaran rangkaian *tripler* dan *buffer* pada *spectrum analyzer*.

Daya Luaran *Tripler & Buffer* : +7 dBm
 Frekuensi : 220 Mhz
 i supply.



Gambar 4 : Rangkaian *Limiter*

3.2. Limiter

Rangkaian *limiter* pada gambar 4 di atas, berfungsi sebagai pembatas yang mengkonversi tegangan simetrik 5V menjadi sinyal *bipolar* dengan amplitudo 0,7V yang diset oleh 2 buah dioda yang dipasang saling berbalik arah.

Prinsip Kerja :

Pada saat masukan mendapat pulsa positif, maka tegangan simpangan menjalankan keluaran *op amp* yang negatif dan akan meng-onkan dioda 1 (karena katoda menjadi lebih negatif), sehingga pada kondisi ini V_{out} akan mengikuti tegangan positif dari dioda (+0,7V). Apabila masukan mendapat pulsa negatif, maka keluaran *op amp* adalah positif akan meng-onkan dioda 2 sehingga V_{out} akan mengikuti tegangan negatif dari dioda (-0,7V). Sehingga diperoleh sinyal *bipolar* dengan tegangan 0,7V sesuai dengan tegangan *potensial barrier* dari dioda silikon.

3.3. Low Pass Filter (LPF)

Filter yang digunakan di sini adalah *filter chebyshev (equi-ripple)* orde 7 sebagai *filter base band*, dengan bentuk yang digunakan adalah *T-section*. *Filter* ini menentukan spektrum luaran *modulator* dan membentuk akhir pengumpulan *transmitting* ke bentuk *band channel Nyquist*.

Preset resistor dalam jaringan *matching* luaran pada *filter* untuk data B memberikan penyeragaman amplitudo pada kedua data *stream* yang telah di-*filter* dan siap masuk ke rangkaian pencampur.

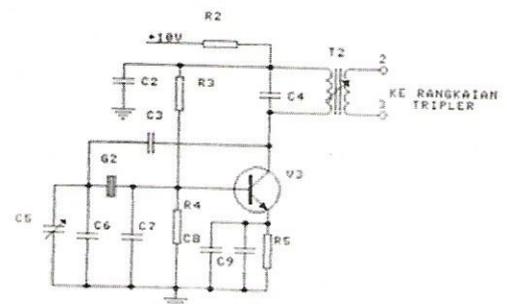
Aproksimasi *chebyshev* adalah sebuah *filter* ideal yang mempunyai lebih banyak respon frekuensi *rectangular* di daerah mendekati *cut off* daripada *filter Butterworth*. *Filter* jenis ini mempunyai daerah transisi yang lebih sempit di antara *passband* dan *stopband* dari pada *filter butterworth* tetapi mempunyai lebih banyak variasi *delay* di daerah *pass band*-nya.

3.4. Osilator

a. Osilator 73,333 Mhz

Rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 5 adalah osilator kristal yang bekerja pada 73,33 MHz menggunakan 3 *overtone* kristal, menggunakan transistor jenis BFR 91 yang mempunyai transistor untuk frekuensi tinggi dengan spesifikasi :

$$F_T = 5 \text{ GHz}, I_{c_{max}} = 30 \text{ mA}, V_{ce} = 5 \text{ Vdc}$$



Gambar 5 : Rangkaian Osilator

Transistor ini digunakan untuk bekerja pada kelas A dengan rangkaian tertala LC, yang berfungsi untuk meresonansi frekuensi kristal.

b. Rangkaian Tripler

Sebuah rangkaian *tripler* yang menghasilkan *carrier* 220 MHz dari frekuensi kristal 73,333 MHz.

Jenis pengali di sini merupakan suatu rangkaian masukan yang menala frekuensi ketiga dari frekuensi kristal juga ($f = 73,33 \text{ MHz} \times 3 = 220 \text{ MHz}$). Rangkaian *tripler* yang menggunakan transistor jenis BFR 91 merupakan penguat kelas A tertala. Konfigurasi ini mempunyai efisiensi yang lebih baik karena bisa mencapai 50 persen efisiensinya.

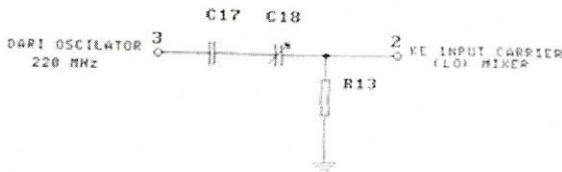
c. Buffer Amplifier

Transistor BFR 91 dan gabungan rangkaianannya membentuk sebuah *buffer* penguat

220 MHz yang ditala untuk menghasilkan daya +10 dBm untuk kedua pencampur.

Buffer ini berfungsi untuk mengkompensasi terjadinya redaman pada luaran rangkaian pengali, merupakan rangkaian penguat kelas A dengan penalaan menggunakan transformator yang digunakan untuk menala frekuensi 220 MHz juga.

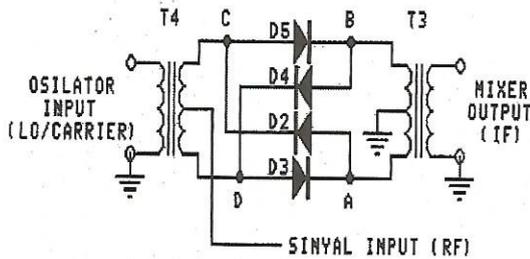
3.5. *Quadrature splitter*



Gambar 6 : Rangkaian *Quadrature splitter*

Dua buah kapasitor dibuat seri membentuk *quadratur splitter* pada 220 MHz, salah satu kapasitor dapat diatur sehingga *split* dapat diatur agar tepat 90, seperti ditunjukkan pada gambar 6.

3.6. Pencampur



Gambar 7 : *Double Balance Mixer (SBL-1)*

Dua buah SBL-1 (ditunjukkan pada gambar 7) digunakan untuk memodulasi data *stream* ke IF 220 MHz yang *drive* bagian pencampur dalam fasa *quadratur* sehingga sinyal QPSK diperoleh ketika kedua luaran pencampur digabungkan, menggunakan SBL-1 dari *mini circuit* seperti pada gambar 7.

Prinsip kerja dari pencampurimbang ganda adalah merupakan rangkaian-rangkaian dioda yang akan menghasilkan baik jumlah maupun selisih frekuensi dari dua sinyal yang masuk. Kedua frekuensi tersebut adalah f_{LO} dan f_{RF} yang menghasilkan frekuensi keluaran f_{IF} .

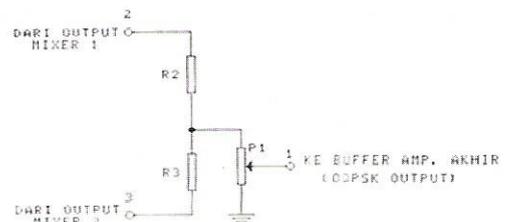
SBL-1 merupakan pencampurimbang ganda dengan keluaran sinyal IF terisolasi dari sinyal masukan RF dan LO, dapat diterangkan sebagai berikut :

Bila ada tegangan masuk ke LO dengan syarat karakteristik dioda D5 sama dengan dioda D4 dan kumparan sekunder transformator Lo simetris (ini merupakan syarat keadaan seimbang), maka tegangan di titik A sama dengan di tap transformator tengah (titik B) yaitu V_{gnd} , berarti tidak ada tegangan pada sisi IF dan RF. Begitu juga dengan masukan sinyal RF, maka tegangan di C sama dengan di D, berarti tidak akan ada sinyal RF yang timbul pada keluaran LO dan IF (dengan syarat karakteristik dioda $D2 = D5$, dan $D3 = D4$).

Carrier Balance dicapai dengan mengatur tegangan DC ke dalam 2 pencampur menggunakan pengatur *offset* pada *Op Amp*. N2 dan N3 yaitu *resistor variable* R6 dan R7 berturut-turut.

3.7. Rangkaian Penjumlah

Luaran kedua pencampur ini digabungkan dalam rangkaian penjumlah yang terdiri dari dua buah *resistor*, serta sebuah *resistor variable* yang digunakan untuk menghasilkan luaran gabungan QPSK sebelum di-*buffer*, seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 : Rangkaian Penjumlah

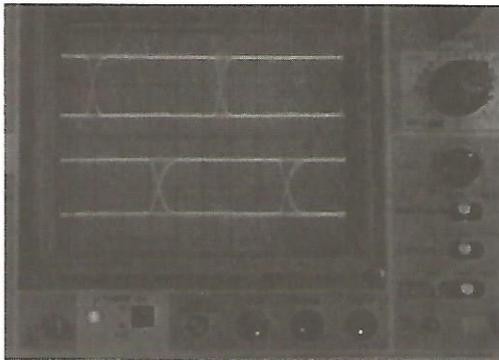
3.8. Buffer Akhir Luaran QPSK

Hasil penggabungan sinyal luaran kedua pencampur di-*buffer* ke daya luaran 6 dBm menggunakan *buffer* yang ditala yang terdapat pada *Transistor BFR 91* gabungan rangkaiannya. Rangkaian tala pada *collector* dari transistor menentukan frekuensi kerja dari luaran akhir *modulator QPSK*.

4. Pengujian dan Pengamatan Sistem

Pengukuran dilakukan secara bertahap dimulai dari dua buah rangkaian *komparator* yang merupakan rangkaian awal dari sistem ini, kemudian dua buah rangkaian *limiter*, dua buah rangkaian *filter*, rangkaian osilator 73,333 MHz, *tripler*, dan *buffer* penguat yang merupakan rangkaian *local oscillator* 220 MHz sebagai *carrier* untuk sistem modulator ini. Sinyal *carrier* ini kemudian fasanya digeser 90° agar sinyal *carrier* yang masuk ke kedua pencampur berbeda fasa 90° . Luaran dua buah pencampur digabungkan kemudian di-*buffer* lagi untuk mendapatkan luaran sistem yang optimal.

4.1. Pengujian dan Pengamatan Komparator

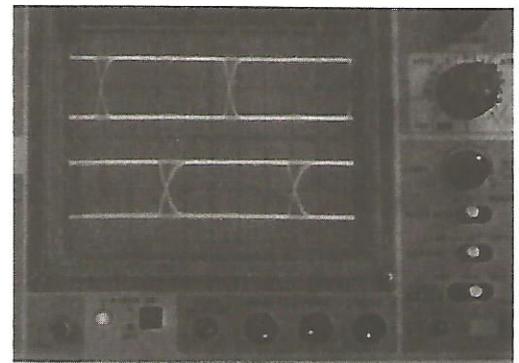


Gambar 9 : Sinyal Masukan dari *Tx-Base Band*.
Tegangan Masukan *Komparator* : 9 Vp-p
Periode : 0,5 s

Masukan rangkaian komparator ini diambil dari *Tx-Base band* yang merupakan sinyal HDB-3 yang sudah melalui proses konversi sinyal dari HDB-3 ke NRZ, *scrambling*, konversi *serial to paralel*, dan *differensial encoder*. Sehingga *Tx Base band* menghasilkan sinyal luaran yang berbentuk 2 data *stream* I dan Q yang berbeda $\frac{1}{2}$ dari bit yang lainnya (merupakan proses *offset* dari sistem *Modulator* ini), dengan bit *rate* 2.048 Mbps untuk masing-masing kanal I dan Q.

Gambar 9 menunjukkan masukan tegangan 5 Vp-p berupa data *stream* dengan bit *rate* 2,048 Mbps.

Dari gambar 10, terlihat bahwa ada cacat pada bentuk sinyal luaran *komparator* yaitu berupa gigi gergaji yang seharusnya berupa sinyal *square* sempurna, hal ini dikarenakan pemilihan karakteristik dan harga yang kurang tepat serta adanya toleransi dari komponen yang digunakan.



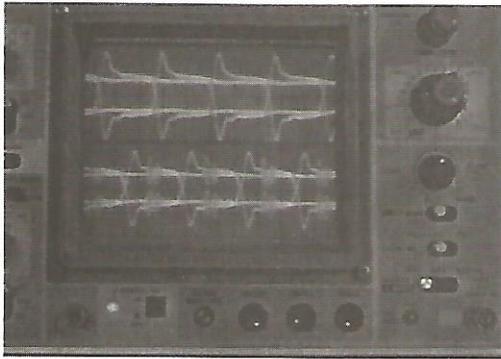
Gambar 10 : Luaran *Komparator* pada Osiloskop.

Tegangan Luaran *Komparator* : 4 Vp-p
Periode : 0,5 s

4.2. Pengujian dan Pengamatan Limiter

Tegangan Luaran *Limiter* : 1,5 Vp-p
Periode : 0,5 s

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa luaran yang diperoleh adalah :



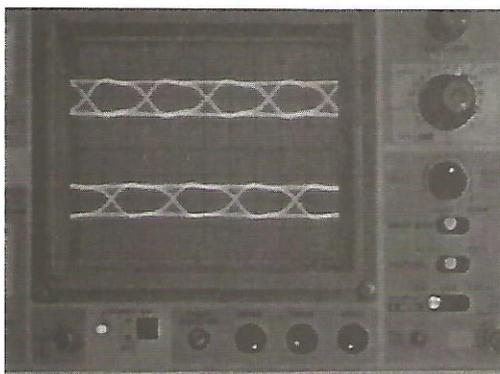
Gambar 11 : Luaran *Limiter* pada Osiloskop

Luaran dari Rangkaian *Limiter* ini diharapkan merupakan *stream data* dengan tegangan 0.7 V atau sekitar 1,4 Vp-p.

Pada *limiter* ini, juga terdapat cacat pada sinyal luarannya yaitu adanya *ripple*, hal ini juga disebabkan karena pemilihan karakteristik dan harga yang kurang tepat serta adanya toleransi dari komponen yang digunakan.

4.3 Pengujian dan Pengamatan *Filter*

Filter ini diharapkan memperbaiki bentuk luaran dari *limiter* pembatas dan mampu menyaring frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan. Pada gambar 12 dapat dilihat luaran *filter* yang diperoleh :



Gambar 12 : Luaran *Filter* pada Osiloskop

Tegangan Luaran *Filter* : 0,6 Vp-p

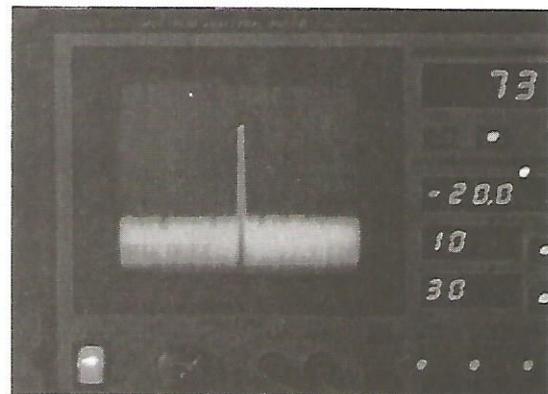
Periode : 0,5 s

Tampak bahwa kedua luarannya menghasilkan tegangan yang tidak sama, salah satu lebih kecil dari yang lainnya, penyebabnya seperti pada komparator dan limiter, ditambah oleh kurang tepatnya penalaan pada komponen yang berharga variabel (*resistor & induktor*).

4.4. Pengujian dan Pengamatan Osilator Lokal 220 MHz

• Rangkaian Osilator 73,333 MHz

Gambar 13 di bawah ini menunjukkan luaran dari rangkaian osilator 73,333 MHz pada *Spectrum Analyzer*



Gambar 13 : Luaran Rangkaian Osilator 73,333 Mhz

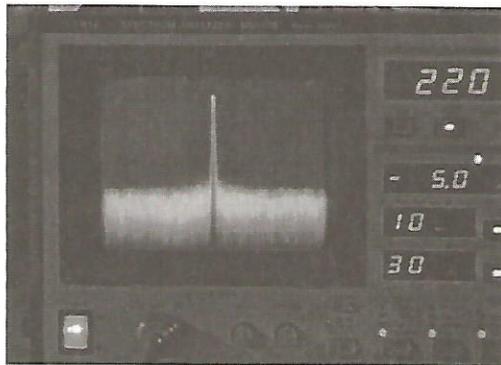
Daya Luaran Osilator : -20 dBm

Frekuensi : 73,333 MHz

Terlihat bahwa daya luaran masih terlalu kecil, karena belum melewati rangkaian *buffer*.

• Rangkaian Tripler & Buffer

Rangkaian ini merupakan pengali atau lebih tepatnya menguatkan sinyal pada frekuensi 220 MHz yang sebelumnya sudah dimunculkan oleh rangkaian osilator, menggunakan sebuah transformator yang dipasang pada kolektor.



Gambar 14 : Luaran rangkaian *tripler* dan *buffer* pada *spectrum analyzer*.

Daya Luaran *Tripler & Buffer* : +7 dBm

Frekuensi : 220 MHz

Sebuah *buffer* penguat 220 MHz yang ditala untuk menghasilkan penguatan agar kedua pencampur mencapai daya +10 dBm.

Dari gambar 14 dapat dilihat bahwa luaran yang dihasilkan hampir mendekati spesifikasi karena penggunaan jenis rangkaian yang menggunakan *transformator* sehingga penalaan frekuensi menjadi jauh lebih mudah.

4.5. Pengujian dan Pengamatan Pencampur

Luaran Pencampur merupakan hasil modulasi *carrier* 220 MHz oleh pemodulasi berupa *stream* data digital dengan bit *rate* 2.048 Mbps yang telah diperbaiki kualitasnya.

Luaran pencampur dapat dilihat pada gambar 15 di bawah ini.



Gambar 15 : Luaran Pencampur pada *Spektrum Analyzer*

Daya Luaran Pencampur : -30 dBm

Frekuensi : 220 MHz

Terlihat bahwa hasil pengukuran tidak terlalu jelas terlihat sampai pada daya terendah, karena daya-nya yang terlalu kecil, tidak sesuai dengan kemampuan dari alat ukur yang digunakan yang mempunyai skala maksimum terbatas, daya yang rendah tersebut disebabkan karena pencampur jenis SBL-1 mempunyai *conversion loss* sampai 7,5 dB.

4.6. Pengujian dan Pengamatan Penjumlah

Rangkaian penjumlah (*adder*) merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menggabungkan luaran kedua pencampur.

Gambar 16 menunjukkan bahwa pada luaran rangkaian penjumlah ini, hal yang sama seperti yang terjadi pada luaran kedua pencampur, daya luaran cenderung kecil, sesuai dengan daya kedua masukan dari pencampur-nya.



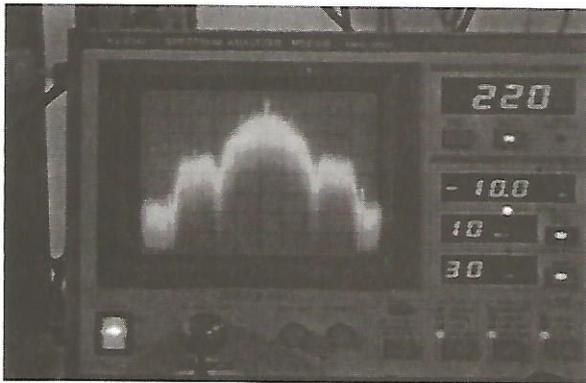
Gambar 16 : Luaran Rangkaian Penjumlah pada *Spectrum Analyzer*

Daya Luaran *Adder* : -30 dBm

Frekuensi : 220 MHz

4.7. Spektrum Sinyal Luaran Akhir QPSK 220 MHz

Gambar 17 di bawah ini merupakan spektrum sinyal luaran akhir dari keseluruhan sistem *modulator*.



Gambar 17 : Luaran Sistem *Modulator* QPSK pada *Spectrum Analyzer*

Daya Luaran *Modulator* : -20 dBm
 Frekuensi : 220 MHz
Bandwidth Main Lobe : 4 Mhz

Daya luaran akhir dari sistem *Modulator* QPSK ini daya-nya tidak sesuai dengan spesifikasi, dengan perbedaan 5 sampai 10 dB, dikarenakan kualitas kerja dari *buffer* penguat yang kurang baik, penguatannya yang kurang besar menyebabkan luaran rangkaian *adder* menjadi tidak terlalu tinggi setelah keluar dari rangkaian *buffer* penguat ini.

Kurang tajamnya bentuk sinyal bagian atas dari kedua *side lobe* luaran, disebabkan karena karakteristik di bagian pemrosesan data yang tidak tepat dan menyebabkan juga timbulnya *noise* yang berlebihan.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sistem *Modulator* QPSK ini diperoleh kesimpulan bahwa tegangan luaran yang tidak sesuai disebabkan oleh keterbatasan alat ukur (sulit untuk menampilkan skala yang kecil/rinci), sehingga hasil pengukuran menjadi kurang teliti, selain itu juga pemberian tegangan catu daya harus sesuai dengan kebutuhan dari rangkaian, karena ada kemungkinan terjadi penurunan arus setelah dihubungkan dengan modul masukan atau alat ukur lain.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, terutama kepada Daday R., AMd. serta seluruh staff dan karyawan/ti Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI.

6. Daftar Pustaka

1. AWA, *RMD 1504 Unduplicated Radio Terminal*, AWALimited, Australia, 1989.
2. Graeme, Jerald G., *Applications of Operational Amplifiers*, McGraw-Hill Inc., Tokyo, 1993.
3. Roden , Martin S., *Digital and Data communication Systems*, Prentice Hall, Los Angeles, 1982.
4. Sklar, Bernard , *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice Hall International Inc, 1988.
5. Wasito S., *Vademikum Elektronika*, PT. Gramedia, Jakarta, 1984.
6. Winch, Robert G., *Telecommunication Transmission Systems*, McGraw-Hill Inc., 1993.

Alat Pencatat Jumlah Orang di dalam Ruangan Menggunakan AT89S51

Teguh Praludi , Ratna Indra Wijaya *)

*) PPET-LIPI, Jl. Cisitno no 21/154D Bandung 40135

Telp (022) 2504660, faks (022) 2504659

Email:praludi@ppet.lipi.go.id, indra@ppet.lipi.go.id

Abstract

Amusement and shopping center which is the public place where people in and out the building. Information about how many people are coming in to the building is really needed by the building management. Because of that, some device that is used for detecting how many customers are detecting coming to the building everyday is required. Data will be collected as an input to maintain the management of the building maintenance.

AT89S51 Microcontrollers is fully equipped with EEPROM inside, which has timer and I/O device, where using Port I/O facility, can be used for organizing the data, Infrared sensor is applied as an input so we can detect how many customer will in or out the building.

In active condition, Personal Computer (PC) will display the number of the customer in the building when they passed the infrared sensor.

Key words : microcontroller, sensor, infra red

Abstrak

Gedung khususnya tempat hiburan dan perbelanjaan merupakan tempat keluar masuknya pengunjung. Informasi banyaknya pengunjung sangatlah diperlukan oleh pihak manajemen gedung. Untuk itu diperlukan suatu piranti yang digunakan untuk mengetahui jumlah pengunjung tiap harinya dimana datanya dapat digunakan sebagai salah satu acuan pengelolaan manajemen gedung.

Mikrokontroler AT89S51 yang telah dilengkapi dengan EEPROM di dalamnya, mempunyai timer dan perlengkapan I/O, dengan memanfaatkan fasilitas port I/O digunakan untuk mengolah data. Sensor infra merah sebagai masukan dapat mendeteksi berapa banyak pengunjung yang masuk maupun keluar dari gedung tersebut.

Pada kondisi aktif, PC akan menampilkan jumlah pengunjung yang melewati sensor infra merah dalam suatu gedung.

Kata Kunci : mikrokontroler, sensor, infra merah

1. Pendahuluan

Mikrokontroler merupakan komponen elektronika yang didalamnya telah dilengkapi dengan fasilitas input/output, memori (ROM dan RAM), sangatlah cocok digunakan untuk berbagai aplikasi.

Data harian pengunjung gedung penting untuk pengelolaan dan pengembangan bagi manajemen gedung tersebut. Data grafik pening-

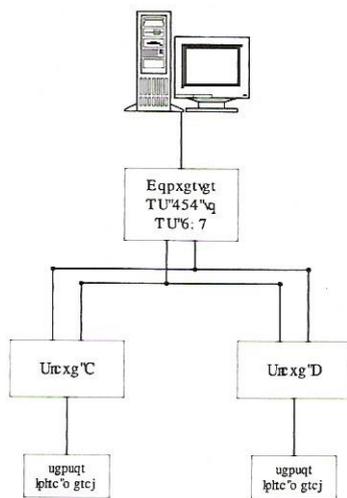
katan ataupun penurunan pengunjung, nantinya dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk persiapan diadakannya suatu promosi, atau pengaturan pengamanan gedung, dan lain sebagainya. Media pencatat pengunjung dalam suatu gedung pada saat ini masih menggunakan sistem pencatat manual yang kurang praktis dan efisien.

Pada tulisan ini alat pencatat jumlah orang di dalam ruangan menggunakan mikrokontroler

Atmel 89S51 dengan menempatkan sensor infra merah sebagai masukan. Sistem komunikasi yang digunakan antar mikrokontroller yaitu sistem komunikasi mutli-drop (*multi drop communication*) dengan RS485, sebagai penghubung antara PC (RS232) dengan antar muka RS485.

2. Rancangan Perangkat Keras

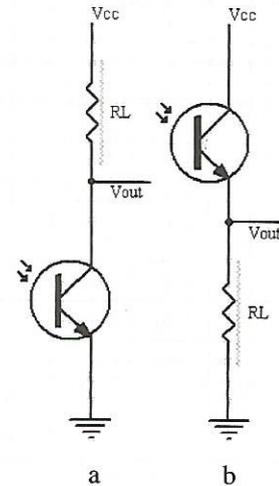
Secara keseluruhan, sistem terdiri atas 2 slave, untuk 2 ruangan yang berbeda, 1 konverter dan PC sebagai tampilan sistem. Blok diagram dari system ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Blok Diagram Sistem

2.1 Infra Merah dan Sensor Infra merah

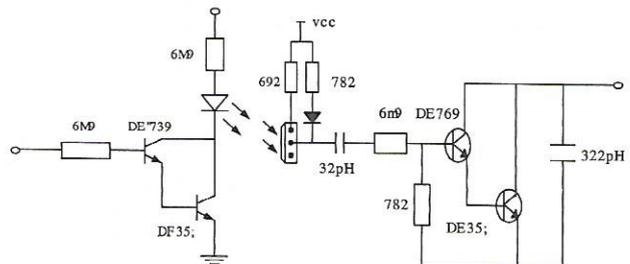
Sensor infra merah berfungsi untuk mendeteksi perubahan data dari penerima yang dipancarkan oleh pemancar. Rangkaian sensor infra merah terdiri atas dua bagian yaitu bagian pemancar dan bagian penerima. Infra merah digunakan sebagai sensor pemancar, sedangkan pada bagian penerima digunakan photodiode atau phototransistor. Rangkaian dasar dari penerima infra merah dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 : Rangkaian Dasar Phototransistor

Rangkaian pada gambar 2. (a) menunjukkan rangkaian penguat common-emitter (*common-emitter amplifier*). Input cahaya pada basis menyebabkan keluaran (V_{OUT}) berubah dari tinggi ke rendah (*high to low*), sedangkan rangkaian seperti yang ditunjukkan gambar 2 (b) adalah suatu penguat common-collector (*common-collector amplifier*). Input cahaya pada basis menyebabkan keluaran (V_{OUT}) berubah dari rendah ke tinggi (*low to high*).

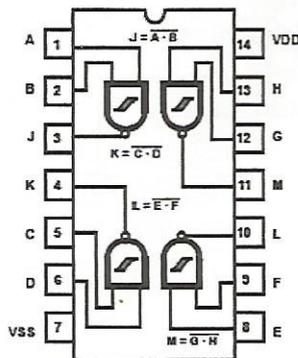
Rangkaian yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3. Cara kerja rangkaian ini adalah dengan memancarkan cahaya infra merah yang kemudian diterima oleh sensor infra merah. Jika jalur diantara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) terhalang, maka output dari Tr_1 akan berubah kondisi menjadi 'high'. Dalam keadaan normal, V_{out} akan mempunyai keluaran rendah atau logika 'low'.



Gambar 3 : Pemancar-Penerima Infra Merah

2.2 Inverter Schmitt-Trigger

Rangkaian *inverter* dengan *Schmitt-Trigger*, digunakan untuk merubah tegangan yang berlogika "high" menjadi "low" dan sebaliknya. Untuk itu digunakan IC seperti ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



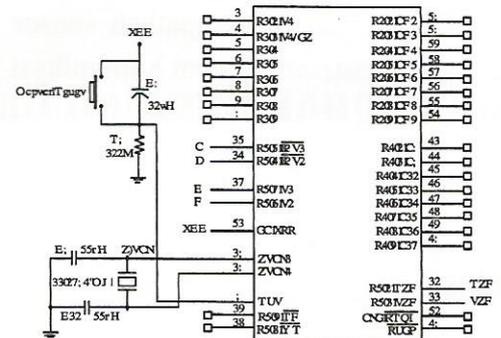
Gambar 4 : Blok Diagram IC CD 4093

IC CD4093 terdiri atas empat rangkaian *Schmitt trigger* Masing-masing rangkaian berfungsi sebagai dua masukan gerbang NAND dengan menghasilkan *Schmitt trigger* pada kedua masukannya.

2.3 Rangkaian Mikrokontroler Atmel 89S51

Rangkaian ini merupakan komponen utama sebagai pengendali utama seluruh rangkaian dimana sebagai pengendali digunakan IC mikrokontroler Atmel 89S51.

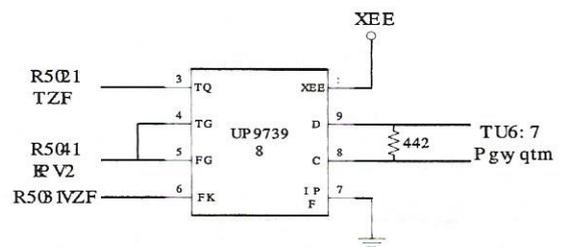
IC Atmel 89S51 hanya memerlukan tambahan 3 kapasitor, 1 resistor, 1 Xtal serta catu daya 5 volt. Kapasitor 10 mikro-farad dan resistor 10 kilo ohm dipakai untuk membentuk rangkaian reset, dengan adanya rangkaian reset ini Atmel 89S51 otomatis di reset begitu rangkaian menerima catu daya. Xtal dengan frekuensi maksimum 24 MHz dan 2 kapasitor 30 *pico-farad* dipakai untuk melengkapi rangkaian osilator pembentuk clock yang menentukan kecepatan kerja mikrokontroler.



Gambar 5 : Rangkaian Mikrokontroler Atmel AT89S51

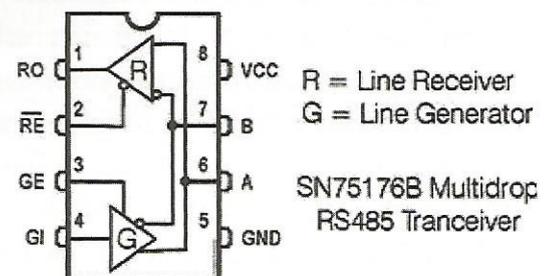
2.4 Rangkaian RS485

Hubungan IC 75176 ke AT89C51 bekerja dengan level tegangan TTL. Untuk itu pin DI (kaki 4 IC 75176) dihubungkan ke TXD, pin RO (kaki 1 IC 75176) dihubungkan ke RXD, sedangkan pin DE (kaki 3 IC 75176) dan RE dikendalikan oleh port P3.2 pada Atmel 89S51.



Gambar 6 : Rangkaian RS485

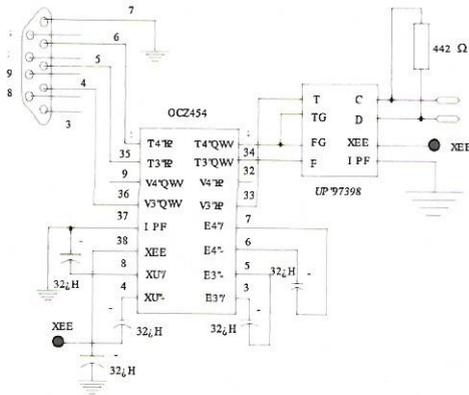
Untuk memenuhi ketentuan RS485, digunakan IC SN75176 Multipoint RS485 tranceiver. Di dalam SN75176 terdapat sebuah Line Generator dan sebuah Line Receiver yang dirangkai seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7 : Bagan IC SN75176

2.5 Rangkaian Konverter

Rangkaian Konverter ini digunakan sebagai penghubung antara PC (master) dengan slave.



Gambar 8 : Konverter RS 232 to 485

Komunikasi alat dengan PC adalah melalui serial port RS232 yang umumnya tersedia pada setiap PC.

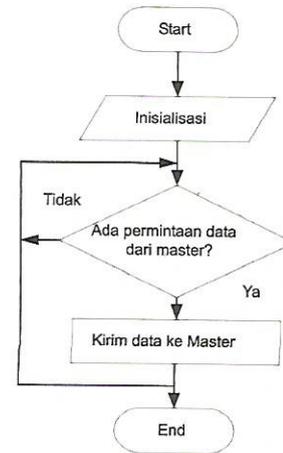
Standard RS232 mempunyai level yang berbeda dengan format data digital TTL, sedangkan kaki-kaki GI,RO dan GE dari IC 75176 bekerja pada level tegangan TTL, jadi hubungan-hubungan di atas tidak bisa dilakukan secara langsung. Untuk menghubungkan alat dengan PC diperlukan rangkaian konverter yang akan menyesuaikan data TTL ke RS232 dan arah sebaliknya dengan bantuan MAX232 yang berfungsi sebagai pengalih tegangan.

3. Perancangan Perangkat Lunak

3.1 Perangkat Lunak MCS-51

Perangkat lunak diperlukan agar mikrokontroler dapat bekerja atas apa yang harus dilakukan oleh mikrokontroler. MCS-51 memiliki bahasa pemrograman khusus yaitu bahasa *assembler* atau bahasa C yang dapat di compile ke assembler.

Perancangan perangkat lunak pada bagian slave ditunjukkan dengan diagram alir (*flowchart*) dari algoritma pemograman mikrokontroler.



Gambar 9 : Diagram Alir Slave

Adapun rutin program pada mikrokontroller-nya adalah sebagai berikut:

```

#include <at89x51.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#define UART_BUF_LEGHT 15

char MASTER_ID[]="000";
char RTU_ID[]="001";
int jumlahOrang=0;
char stream_input[UART_BUF_LEGHT];
int stream_count=0;
char status=0;

void interruptSerial ()interrupt 4 using 1 {
    if(RI) {
        ES=0;
        RI=0;
        stream_input[stream_count]=SBUF;
        ES=1;
        if(stream_input[stream_count]!='#')
            {stream_input[stream_count]='\0';
            status=1;
            stream_count=0;}
        else {
            if(stream_count<UART_BUF_LEGHT){stream_count++;}
        }
    }
}

void decodeCommand(char *command)
{if(!strcmp(command,RTU_ID,3))
    //Checking destination stream address
    
```

```

{command+=4;
 *strcpy(MASTER_ID, command, 3); //Get source
 stream address
 command+=4;
 if(!strcmp(command,"GET", 3)) //Return "jumlah
 orang"
 {P3_4=1;
 tundams(10); //printf("%s:%s:%d:",MASTER_ID,RTU_ID,
 jumlahOrang);
 printf("%s:",MASTER_ID);
 printf("%s:",RTU_ID);
 printf("%d:",jumlahOrang);
 printf("#");
 P3_4=0;
 }
 else if(!strcmp(command,"RST", 3)) //Reset "jumlah
 orang"
 {jumlahOrang=0;
 P3_4=1;
 tundams(10);
 //printf("%s:%s:OK:",MASTER_ID,RTU_ID);
 printf("%s:",MASTER_ID);
 printf("%s:",RTU_ID);
 printf("%d:",jumlahOrang);
 printf("#");
 P3_4=0;
 }}}
void initSerial(char baud) {
 TMOD=0x20; //timer 1 mode 2 (autoreload)
 PCON=0x0; //SMOD=0
 SM0=0;
 SM1=1; //mode 1
 REN=1; //terima dibolehkan
 RI=1;
 TH1=baud; //kecepatan 9600 bps (nilai reload)
 TL1=baud; //nilai awal timer
 TR1=1; //timer dijalankan}

void interruptMasuk() interrupt 0 using 1
{jumlahOrang++;}

void interruptKeluar() interrupt 2 using 1
{jumlahOrang--;}

void initInterrupt()
{EA=1; //enable semua interrupt
 EX0=1; // enable external interrupt 0 (INT0)untuk "sensor
 jalan masuk"

```

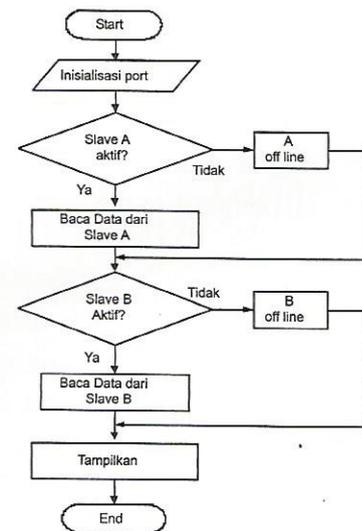
```

IT0=1; // dipicu pada transisi turun
 EX1=1; // enable external interrupt 1 (INT1)untuk "sensor
 jalan keluar"
 IT1=1; // dipicu pada transisi turun
 ES=1; //enable serial interrupt
 }
void main(void)
 {
 jumlahOrang=0;
 initPort();
 initInterrupt();
 initSerial(0x96);
 while(1){
 if(status==1)
 {
 status=0;
 tundams(500);
 decodeCommand(stream_input);
 }
 }
 }

```

3.1 Perangkat Lunak PC

PC digunakan untuk menampilkan data perhitungan. Gambar 10 merupakan diagram alir (*flowchart*) program pada PC.

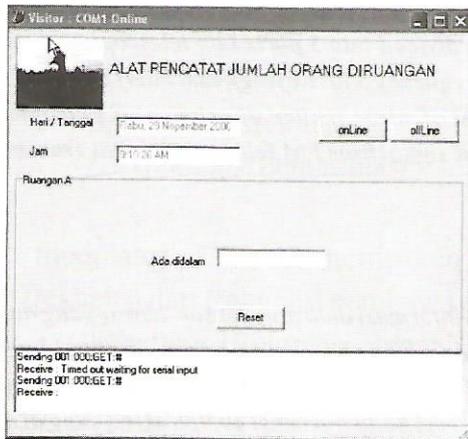


Gambar 10 : Diagram Alir PC

Hal pertama yang dilakukan dalam perancangan perangkat lunak pada bagian PC ini

yaitu inisialisasi port serial pada komputer. Inisialisasi ini dilakukan untuk komunikasi antara PC dengan konverter sebagai penghubung slave dengan PC. Jika komunikasi telah terjadi, kemudian dilakukan registrasi slave yang telah terhubung ke jaringan.

PC secara berkala akan menghubungi masing-masing slave secara bergantian untuk mengirimkan data jumlah orang yang tersimpan.



Gambar 11 : Tampilan Program pada PC.

4. Kesimpulan

Telah berhasil dirancang Alat Pencatat Jumlah Orang di dalam Ruangan Menggunakan AT89S51. Dari Hasil pengujian alat yang dibuat, didapat kesimpulan antara lain :

1. Rangkaian sensor infra merah akan memberikan logika 0 jika sensor infra merah dalam keadaan terbuka dan memberikan logika 1 jika sensor infra merah dalam keadaan terhalang /tertutup.
2. Dengan menggunakan sistem komunikasi *multidrop*, PC berfungsi sebagai master yang mengendalikan saluran slave dengan konverter RS 232 to RS 485 sebagai penghubung antara PC dengan slave dan komunikasi yang terjadi di saluran adalah komunikasi *half-duplex*, yakni komunikasi dua arah secara bergantian.
3. Sistem pada PC akan memonitoring status

aktifnya setiap slave dan menghitung jumlah pengunjung berdasarkan masukan dari slave.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi yang telah memberi kesempatan untuk menyusun makalah ini, juga kepada dewan redaksi jurnal elektronika yang telah memungkinkan tulisan ini dimuat.

6. Daftar Pustaka

1. Sedra Adel S. & Smith Kenneth C., "Rangkaian Mikroelektronik", Jilid 1 Edisi Kedua, Erlangga, 1990.
2. Putra Eko Agfianto, "Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi", Gava Media, 2002.
3. Strangio Christopher E., "The RS232 Standard A Tutorial With Signal Names and Definitions".
4. Ibnu, "Belajar Mikrokontroller Atmel AT89S8252", Gava Media 2003.
5. Martina Inge, "Seri Aplikasi Pemrograman Database Menggunakan Delphi". Elex Media Komputindo, 2002.
6. Goldie John, "Ten Ways to Bulletproof RS485 interfaces", National Semiconductor Application Note 1057, October 1996.
7. Nalwan Andi Paulus, "Panduan Praktis Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroller AT89C51", Elex Media Komputindo, 2003.
8. Susanto Budhy, "Konstruksi dasar AT89C51", 1 Maret 2000. <http://alds.stts.edu/digital>.
9. Wasito, "Data Sheet Book 1 Data IC Linier, TTL dan CMOS (Kumpulan Data Penting Komponen Elektronika)", Elex Media Komputindo, Agustus 1997.

Rancangan Penerima Digital FM Telemetry dengan Proses Sinyal FSK pada Frekuensi 49,9 MHz

Yaya Sulaeman, Ros Sariningrum

Puslit Elektronika dan Telekomunikasi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. Cisitno no. 21/154D Gedung Komplek Sangkuriang Bandung

Email : yaya@ppet.lipi.go.id, ros@ppet.lipi.go.id

Abstract

FM Telemetry Digital Receiver has been made to process all the information from sensors that is installed on observed location which is transmitted from transmitter via radio. This Receiver is divided into 3 parts i.e.: telescopic antenna, Band Pass Filter (BPF), Low Noise Amplifier (LNA), demodulator using FSK (Frequency Shift Keying), and interface RS 232. IC MC 3356 is used as demodulator FSK that work at 49,968 MHz which consist of mixer, limiter, discriminator, and data shaping comparator. As measurement, have shown that this receiver can process FSK signal from FM Telemetry Digital Transmitter.

Key words : *telemetry, FSK, frequency, IC.*

Abstrak

Penerima Digital FM Telemetry ini dibuat untuk mengolah semua informasi data dari sensor-sensor yang dipasang di lokasi pengamatan yang dipancarkan dari transmitter melalui media udara. Sistem penerima ini terdiri atas 3 bagian yaitu antenna telescopic, demodulator yang menggunakan proses pengolahan sinyal FSK (Frequency Shift Keying), dan antar muka (interface) RS 232. Demodulator FSK menggunakan IC MC 3356 yang bekerja pada frekuensi 49,968 MHz yang di dalamnya terdapat mixer, limiter, diskriminator, dan pembanding data. Hasil dari pengukuran sistem membuktikan bahwa sistem penerima ini dapat memproses sinyal FSK dari pemancar digital FM telemetry.

Kata Kunci : *telemetry, FSK, frekuensi, IC.*

1. Pendahuluan

Pengamatan suatu permukaan tangki, temperatur, kualitas dan kuantitas minyak di tempat pengeboran minyak sangat sulit jika harus dikontrol setiap waktu disamping berisiko tinggi. Sejalan dengan perkembangan teknologi, maka pada setiap titik pengamatan dipasang sebuah sensor, dan sebagai media transmisinya digunakan kabel. Pada sistem radio telemetry, penyampaian informasi data sensor dikirim melalui media transmisi udara.

Metodologi proses pengolahan sinyal di bagian penerima menggunakan sistem digital FM telemetry sinyal FSK. Secara umum prinsip kerja pemancar dan penerima dari sistem FM radio telemetry hampir sama dengan prinsip kerja pemancar dan penerima FM konvensional, yaitu

memodulasikan frekuensi, hanya FM konvensional, memiliki kelemahan yaitu mudah terinterferensi sinyal luar dan lebar pitanya (*bandwidth*) sempit. Pemancar digital FM telemetry mempunyai lebar bidang frekuensi sebesar 75 kHz. Sistem penerima digital FSK terdiri atas : antenna *telescopic*, BPF, LNA, demodulator FM, dan antar muka (*interface*) RS-232.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang suatu sistem penerima digital FM telemetry untuk meningkatkan sistem kerja dalam penyampaian informasi data dari sensor.

Setelah perancangan sistem, dilakukan pengukuran pada setiap keluarannya, sehingga akan terlihat hasilnya berupa bentuk, besaran, dan respon sinyalnya.

2. Teori Penunjang

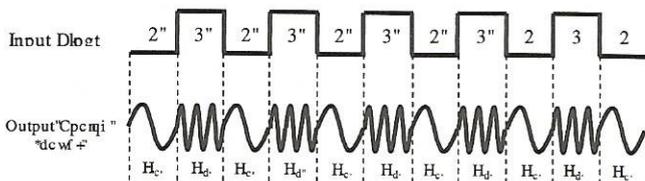
2.1. Indeks Modulasi

FSK merupakan salah satu bentuk dari modulasi FM, maka perhitungan indeks modulasi sama dengan yang terjadi pada FM konvensional, yaitu :

$$MI = \frac{\Delta f}{f_a} \dots\dots (1)$$

Di mana, MI = indeks modulasi
 Δf = deviasi frekuensi
 f_a = frekuensi pemodulasi

Dalam modulator FSK, f merupakan puncak deviasi frekuensi dari frekuensi pembawa dan sama dengan jarak antara frekuensi tengah dengan frekuensi *mark* (F_b) atau *space* (F_a). Puncak deviasi bergantung kepada besar amplitudo sinyal pemodulasi. Dalam sinyal biner deviasi frekuensi selalu konstan pada harga maksimum, sedangkan f_a merupakan frekuensi dasar sinyal biner yang berarti sama dengan setengah dari bit *rate*-nya. Pada gambar 1 di bawah ini diperlihatkan bentuk sinyal FSK dengan masukan sinyal biner 0101010101.



Gambar 1 : Bentuk sinyal FSK

Sehingga indeks modulasi menjadi :

$$MI = \frac{\frac{|f_m - f_a|}{2}}{\frac{f_b}{2}} = \frac{|f_m - f_a|}{f_b} \dots\dots\dots 2$$

Dengan, $\frac{|f_m - f_a|}{2}$ = puncak deviasi frekuensi

$\frac{f_b}{2}$ = frekuensi dasar sinyal

2.2. Osilator, Mixer dan IF (Intermediate Frequency)

Jenis osilator yang digunakan yaitu *colpitts*, dimana C_1 dan C_2 dipasang *paralel*. Kemudian *paralel* dengan L_1 . Fr (frekuensi resonansi) osilator ditentukan oleh persamaan:

$$Fr = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_1 \parallel C_2)}} \text{ MHz} \dots\dots (3)$$

Di mana :

- L , besarnya induktansi (πH)
- π , besarnya 3,14159
- Fr , frekuensi resonansi osilator (MHz)
- C_1 dan C_2 , besarnya kapasitansi (pF)

Persamaan $C_{paralel}$ (C_p) adalah :

$$C_p = C_1 + C_2 \dots\dots\dots (4)$$

Sinyal frekuensi RF (*Radio Frequency*) yang diterima akan dicampur di rangkaian pencampur (*mixer*) dengan sinyal frekuensi dari osilator, sehingga dihasilkan sinyal IF sebesar 10,7 MHz. Ditentukan dengan persamaan :

$$F_{IF} = F_{Osc} - F_{RF} \dots\dots\dots (5)$$

3. Perancangan Sistem

Perancangan sistem menggambarkan spesifikasi dari sistem telemetri ini. Bagian awal blok rangkaian adalah antenna *telescopic* 49,9 MHz yang bekerja untuk menangkap sinyal RF FSK. Luaran antenna merupakan masukan (*input*) dari rangkaian RF *demodulator* FSK yang mempunyai sensitifitas 25 dBm. *Demodulator* FSK dapat bekerja pada frekuensi maksimum 100 MHz, tetapi karena pemancar telemetri bekerja pada frekuensi

3.1. Antena

Antena *telescopic* memiliki respon radiasi sama (bulat/melingkar) ke segala arah dengan impedansi 50 . Kelebihan antenna ini adalah posisi antenanya tidak perlu diarahkan, dengan syarat sinyal RF berada dalam radius jangkauan antenna sehingga sistem bisa bekerja.

Perancangan antenna dibuat $\frac{1}{4}$ (di mana lambda adalah satuan panjang gelombang), dengan tujuan untuk memperkecil ukuran dan perhitungannya ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots\dots\dots 6$$

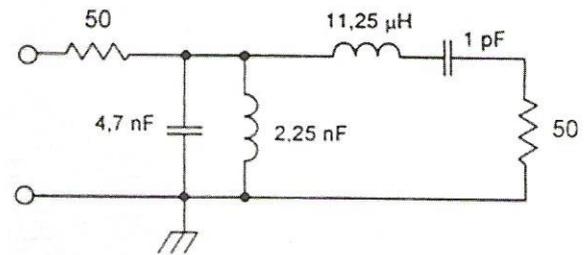
Di mana :

- c merupakan kecepatan rambat cahaya sebesar $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- f merupakan frekuensi kerja antenna yang dirancang (hertz)

3.2. BPF (Band Pass Filter)

Respon BPF yang diperlukan mempunyai redaman maksimal -3 db dengan *band width* 2 Mhz dan frekuensi tengah 49,968 MHz. Masukan dan luaran BPF mempunyai impedansi sama yaitu 50 untuk menghindari osilasi akibat rangkaian yang tidak *matching* impedansinya. Dengan adanya BPF ini diharapkan sistem tidak akan menerima sinyal frekuensi kelipatan kedua (f_2) dari pemancar telemetri atau sinyal lain yang dapat mengakibatkan interferensi.

Gambar 4 merupakan jenis BPF pasif, menggunakan komponen *variable* induktor dan kapasitor jenis *butterworth* orde-2, di mana L dan C adalah 1,414 (dari table *filter butterworth*), frekuensi tengah = 49,968 Mhz, frekuensi *cut off*₁ = 49 MHz, frekuensi *cut off*₂ = 51 MHz, dan *band width* = 2 MHz.



Gambar 4 : Rangkaian Band Pass Filter (BPF)

3.3. LNA (Low Noise Amplifier)

Rangkaian LNA ini menggunakan IC CLC425 *Ultra Low Noise Wideband Op Amp non inverting* dengan impedansi 50 Ω, Rangkaian dirancang untuk penguatan 1000 kali dengan kombinasi komponen resistor. *Op Amp* yang digunakan memiliki spesifikasi :

- ✓ Frekuensi kerja maksimum : 1,9 GHz
- ✓ Catu daya : tegangan simetrik 5V dan arus 5 15 mA
- ✓ Rentang penguatan : ± 10 1000 V/V
- ✓ Masukan dearau : 1,05 nV/√Hz; 1,6 pA/√Hz
- ✓ Impedansi masukan dan luaran : 50 Ω
- ✓ Temperatur : -40C sampai + 85C

3.4. Demodulator FSK

Pemcampur (*mixer*) akan memproses sinyal frekuensi RF dengan sinyal frekuensi osilator dan luarannya yang diambil adalah hasil pengurangan ($F_{osc} - F_{RF}$). Maka menurut analisis perhitungan besarnya frekuensi adalah 60,668 MHz - 49,968 MHz = 10,7 MHz.

Osilator berfungsi untuk mengeluarkan sinyal frekuensi lokal sebesar $F_{RF} + F_{IF}$. Osilator yang digunakan adalah jenis *colpitts*, yaitu dua buah komponen kapasitor dipasang *parallel* dan sebuah lilitan (*induktor*) dipasang *serial*. Perancangan frekuensi osilasinya mempergunakan persamaan :

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1\parallel C_2)}} \dots\dots(7)$$

IF bekerja menala sinyal yang dikehendaki dan mencegah pembebanan lebih, umumnya rangkaian mempergunakan komponen keramik filter 10,7 MHz. IF FSK ini memiliki *band width* sebesar 75 kHz, dibandingkan FM konvensional karena untuk komunikasi data diperlukan *band width* yang lebih lebar.

Pembatas (*limiter*) berfungsi untuk mengontrol penguatan secara otomatis dan memperbaiki perubahan-perubahan sinyal dari IF. Pendeteksi (*discriminator*) mendeteksi sinyal informasi data dan tidak meloloskan sinyal pembawanya. Pembanding data akan mengumpanbalikkan luaran sinyal data dengan sinyal data yang masuk, kemudian membandingkan sinyal tersebut, sehingga dihasilkan suatu sinyal data yang stabil.

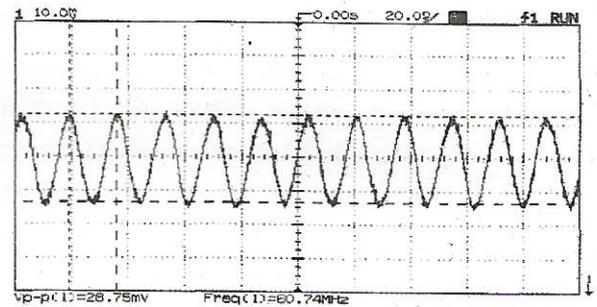
4. Pengukuran

Pengukuran merupakan data yang sangat penting sebagai bahan untuk analisa dan perbandingan antara teori dengan perancangan sistem. Dari data dapat dilihat ; bentuk dan *level* sinyal, respon dan besar frekuensi, besar penguatan, tegangan, arus, tahanan, kapasitansi dan induktansi.

Pengukuran pada bagian-bagian rangkaian dilakukan sebagai berikut :

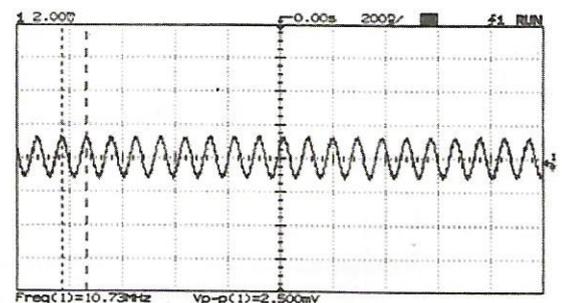
- ❖ Hasil pengukuran pada BPF adalah menunjukkan frekuensi yang bekerja pada frekuensi tengah 49,968 MHz. Dengan redaman -0,7 dBm dan lebar pita 7,5 MHz.
- ❖ Hasil pengukuran LNA menunjukkan penguatan *linier* pada frekuensi kerja sistem. Perbandingan sinyal masukan dan luaran, terlihat bahwa LNA mempunyai penguatan sebesar 21 dBm, antara 55 MHz sampai 95 MHz.
- ❖ Gambar 5 adalah hasil pengukuran osilator. Osilator merupakan pembangkit gelombang, sehingga tidak diperlukan masukan sinyal

Demodulator FSK. Dengan catu tegangan sebesar 5 volt DC yang diberikan, luaran osilator pada osiloskop yang terukur adalah : *level* luaran 28,75 mVp-p dengan frekuensi 60,74 MHz.



Gambar 5 : Hasil pengukuran bentuk sinyal Osilator

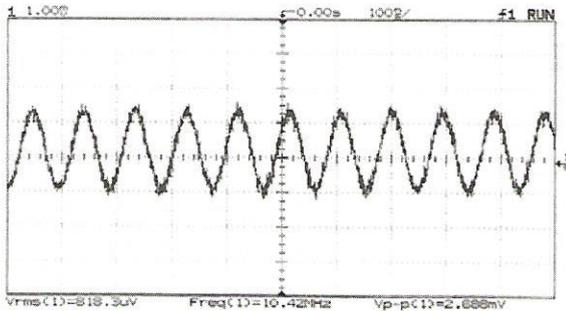
- ❖ Gambar 6 menunjukkan sinyal luaran pengukuran *mixer*. Pengukuran luaran *mixer* dilakukan untuk mengetahui selisih frekuensi antara RF dan osilator. *Signal generator* diatur pada frekuensi 49,968 MHz, *level* 0 dBm dan impedansi 50 . *Function generator* diatur untuk mengeluarkan bentuk gelombang data 10 kHz dan *level* 5 Vp-p. Hasil luaran *mixer* diukur pada osiloskop adalah *level* luaran : 2.5 mVp-p dengan frekuensi 10,73 MHz.



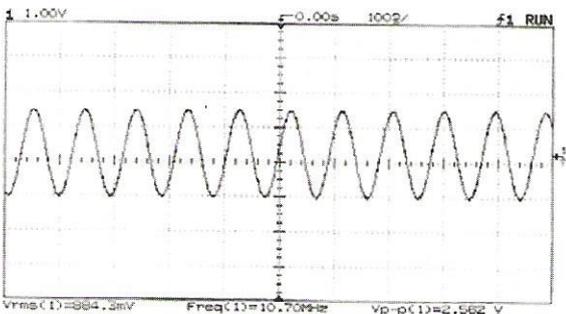
Gambar 6 : Hasil pengukuran bentuk sinyal *Mixer* pada Osiloskop.

- ❖ Gambar 7a dan 7b menunjukkan sinyal pengukuran *limiter*. Rangkaian *limiter* diukur untuk melihat *level* dan bentuk sinyal. *Level*

sinyal dari *signal generator* dibuat bervariasi sehingga diketahui kerja dari rangkaian *limiter*.

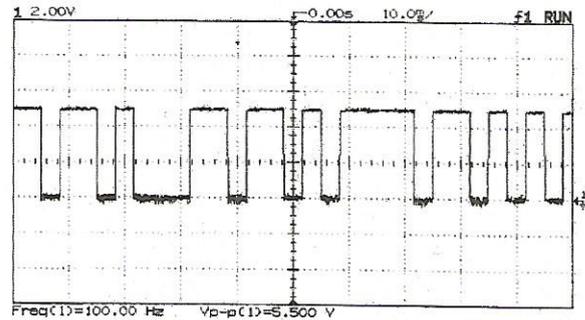


Gambar 7a : Bentuk luaran *Limiter* dengan *level* masukan minimum



Gambar 7b : Bentuk luaran *Limiter* dengan *level* masukan maksimum

❖ Gambar 8 menunjukkan sinyal pengukuran pembeding data. Pengukuran sistem penerima FSK merupakan pengukuran akhir, sinyal masukan berasal dari pengolah sinyal digital dalam hal ini adalah pemancar FSK langsung. Pembeding data merupakan pengukuran akhir dari sistem telemetri, luarannya berupa sinyal informasi data yang dapat dilihat pada osiloskop dalam kondisi disimpan (*stored*).



Gambar 8 : Hasil pengukuran pembeding data sistem penerima digital FM Telemetri

5. Analisa

- ❖ Antena telescopic yang digunakan bekerja pada $1/4 \lambda$, dimana $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{49,968} = 6$ meter yang berarti panjang antena telescopic adalah 1,5 meter.
- ❖ Redaman BPF tidak lebih dari $1/2$ daya yang menunjukkan bahwa *filter* ini bekerja cukup baik, dengan maksimal redaman -3 dBm. Lebar *band width* dapat dihitung :
 $f_{c2} - f_{c1} = 53,7 \text{ MHz} - 46,2 \text{ MHz} = 7,5 \text{ Mhz}$.
- ❖ Besarnya penguatan LNA dapat kita atur dengan menentukan harga *resistor*. Persamaan penguatan LNA adalah :

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_g} \dots\dots\dots (8)$$

R_f adalah komponen feedback rangkaian (51 k Ω)

R_g adalah komponen gain-setting rangkaian (51 Ω)

$$A_v = 1 + \frac{51.000}{51} = 1.001 \text{ kali}$$

$$A_v = 10 \log 1001 = 30 \text{ dB}$$

- ❖ Analisa untuk rangkaian osilator, karena sulitnya mendapatkan komponen dengan Q tinggi mengakibatkan frekuensi yang

dihasilkan sering berubah, sangat rentan terhadap temperatur ruangan dan induksi dari komponen-komponen di sekelilingnya. Masalah ini dapat diatasi dengan cara dipasang pelindung (*shield*) atau mengganti komponen lilitan dan kapasitor dengan sebuah osilator kristal. Dari hasil pengukuran seperti pada gambar 5 terlihat bahwa frekuensi osilator 60,668 MHz muncul, karena komponen lilitannya bisa ditala mulai dari frekuensi 23 MHz sampai 113 MHz. Perhitungan *luaran* osilator :

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1\parallel C_2)}} \text{MHz} = \frac{1}{2 \times 3,14 \sqrt{0,4 \cdot 10^{-6} (15 \cdot 10^{-12} + 5,6 \cdot 10^{-12})}} = 55,45 \text{MHz}$$

- ❖ Pengukuran *mixer* dan IF (gambar 6), *luaran mixer* akan dihasilkan empat nilai frekuensi berbeda yaitu : F_{RF} , F_{OSC} , $F_{OSC} + F_{RF}$, dan $F_{OSC} - F_{RF}$, artinya akan muncul beberapa frekuensi yaitu ; 49,968 MHz, 60,668 MHz, 110,636 MHz dan 10,7 MHz. Pada bagian IF frekuensi-frekuensi tersebut akan ditala oleh filter 10,7 MHz dengan redaman cukup besar yaitu sekitar -30 dBm sehingga sinyal frekuensi perlu penguatan kembali agar didapatkan *level* sinyal sebesar 0 dBm.
- ❖ Rangkaian *limiter* memiliki komponen luar lilitan dan kapasitor yang beresilasi pada frekuensi 10,7 MHz, seperti terlihat dari hasil pengukuran gambar 7a dan 7b yang mempunyai *level* masukan minimal 800 uVp-p dan masukan maksimal 800 mVp-p. Jika *level* sinyal masukan di bawah atau di atas *level* tersebut terjadi suatu bentuk sinyal *sinusoidal* yang cacat, yang mengakibatkan sistem tidak dapat bekerja sehingga terjadi kesalahan pada informasi data yang diperoleh.

- ❖ Hasil pengukuran pembanding data menunjukkan suatu bentuk sinyal data yang variabel dengan kecepatan (*baud rate*) 300 Hz. Osiloskop yang digunakan untuk pengukuran harus memiliki fasilitas *stored*, jika tidak sinyal ini tidak akan terukur karena bentuk sinyal akan terus berubah bergantung kepada sinyal informasi data yang dikirimkan dari bagian pengirim FSK.
- ❖ Pada pengukuran ini, di bagian pengirim FSK dikirimkan sinyal informasi berupa tulisan HELLO (disimpan dalam IC RAM) yang tampil pada layar monitor menggunakan *software* terminal. *Software* terminal mengolah data tersebut sehingga mudah dimengerti oleh operator. Jika ada kesalahan pada proses penerimaan sinyal, yang akan tampil di layar monitor adalah tulisan dalam bentuk bahasa mesin.
- ❖ Sistem penerima FSK memiliki indeks modulasi (data diambil dari gambar 7 hasil pengukuran):

$$MI = \frac{\left| \frac{f_m - f_a}{2} \right|}{\frac{f_b}{2}} \times 100\% = \frac{|f_m - f_a|}{f_b} \times 100\% = \frac{5 - 3,5}{1,5} \times 100\% = 100\%$$

6. Kesimpulan

Secara umum rancangan penerima digital FM telemetry ini dapat bekerja dengan baik, sehingga dapat berkomunikasi dengan bagian pemancarnya. Dari hasil membandingkan perancangan sistem dan hasil pengukuran, komponen-komponen elektronika yang digunakan menjadi penyebab terjadinya penyimpangan dalam realisasi sistem. Hal ini jelas terlihat dari hasil pengukuran osilator.

Untuk merancang suatu sistem lebih baik digunakan komponen dengan toleransi kecil dan Q (faktor kualitas) yang tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, terutama kepada Arief S.S., ST. serta seluruh staff dan karyawan/ti Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI.

7. Daftar Pustaka

1. Williams, Arthur B., "*Electronics Filter Design Handbook*", McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.
2. Freeman, Roger L, "*Telecommunication Transmission Handbook*", third edition, Wiley Interscience, 1991.
3. Taub, Herbert, Donald L. Schilling, "*Principles of Communication Systems*", second edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
4. Milman, Jacob, Sutanto, "Mikroelektronik Sistem Digital dan Rangkaian Analog", jilid 2, Erlangga, 1992.
5. Schwartz, Mischa, "*Transmisi Informasi, Modulasi, dan Bising*", Erlangga, 1986.
6. Motorola, "Linear and Interface Integrated Circuit", Motorola, 1985.
7. Roddy, Dennis & Coolean, Jhon, Kamal Idris, "*Komunikasi Elektronik*", Erlangga, 1984.

Osilator Dielektrik (DRO) untuk Sistem Komunikasi Satelit

Pamungkas Daud^{*)}, Mashury Wahab^{*)}

^{*)}Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi-LIPI (PPET-LIPI)
Jl.Cisitu No.21/154D,telp.2504660/fax.2504659,e-mail:pmkdaud@ppet.lipi.go.id

Abstract

The measurement of high frequency oscillator module which can be used for up-link satellite communications system which operate in C band is reported. This microwave oscillator module is applied using dielectric resonating oscillator (DRO). The measurement characteristic such as Power output, frequency oscillation, frequency stability, and phase noise measurements were carried out

Keywords : *microwave oscillator, frequency stability, phase noise*

Abstrak

Pada Penulisan ini akan dilaporkan hasil pengukuran dari sebuah modul rangkaian osilator frekuensi tinggi dengan menggunakan teknologi Dielectric Resonator (DR) yang telah dirancang dan direalisasikan untuk penggunaan pada Sistem Uplink satelit di daerah Band-C. Pengukuran yang dilakukan meliputi besaran-besaran Bandwidth (BW), Output Daya (P), Frekuensi Osilasi (F), Derau Fasa(N) dan Faktor Kualitas (Q).

Kata kunci : *osilator gelombang mikro, kestabilan frekuensi, derau fasa*

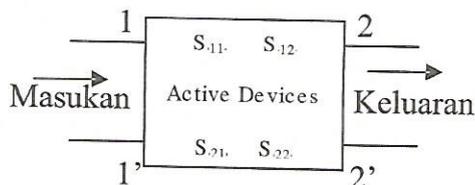
1. Pendahuluan

Komunikasi dengan menggunakan frekuensi pembawa (*carrier*) yang tinggi (orde Gigahertz) memerlukan suatu persyaratan-persyaratan (*requirements*) teknis rancangan yang cukup tinggi, apalagi bila akan digunakan untuk transmisi sinyal digital. Sebuah modul rangkaian osilator frekuensi tinggi untuk Sistem *up-link* satelit yang bekerja pada frekuensi sekitar 5,9 dan 6,4 GHz (daerah Band-C) dapat digunakan dengan menggunakan proses konversi dari frekuensi radio (RF) ke frekuensi antara (IF) sebelum dilakukan proses deteksi. Dengan demikian diperlukan satu rangkaian osilator yang dapat mengubah sinyal RF menjadi sinyal IF di bagian mixer. Untuk sinyal RF yang menggunakan modulasi digital, diperlukan sinyal keluaran osilator yang memiliki derau fasa

yang rendah[1], dimana osilator yang digunakan pada daerah frekuensi kerja seperti diatas dapat direalisasikan antara lain dengan menggunakan resonator dielektrik[2] (*DR, dielectric resonator*). Komponen resonator dielektrik (DR) yang dapat memiliki faktor kualitas (Q) yang amat tinggi[2]. Struktur rangkaian yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan teknologi *microstrip-lines* digabungkan dengan teknologi penggunaan komponen *Dielectric Resonator* (DR) dan komponen transistor sebagai komponen aktif osilator[4,5]. Pada proses pembuatannya disamping melibatkan teknologi proses *thick/thin film* untuk alur-alur transmisi di *Printed Circuits Board* (PCB) juga digunakan *packet software* aplikasi "*microwave harmonica*" [6] untuk simulasi rangkaian.

2. Hasil Pengukuran dan Analisa Osilator Dielektrik

Perancangan modul-modul rangkaian RF yang menggunakan komponen aktif, akan lebih mudah bila menggunakan parameter-s dalam menganalisa dan perancangan serta simulasinya[5], seperti yang diperlihatkan gambar 1 berikut ini :



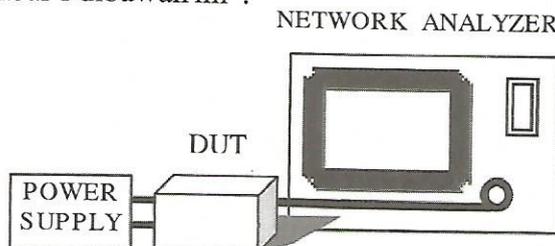
Gambar 1: Parameter-s sebagai suatu Kutub-4 untuk Analisa Rangkaian RF

Dimana S_{11} = koefisien pemantulan di kutub 1-1', S_{21} = koefisien transmisi dari kutub 1-1 ke kutub 2-2', dan S_{12} = koefisien transmisi pada kutub 2-2' ke kutub 1-1', sedangkan S_{22} = koefisien pemantulan di kutub 2-2' dalam keadaan kutub 1-1' dipasang beban yang cocok..

Pada sistem pengukuran digunakan peralatan-peralatan sebagai berikut :

- Network Analyzer yang terdiri dari control unit, test set unit dan signal source
- Modul rangkaian osilator dielektrik sebagai DUT (Device Under Test)
- Power Supply
- Kabel Coaxial dan Connector SMA

Rangkaian pengukuran dapat digambarkan seperti gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1: Rangkaian Peralatan Sistem Pengukuran

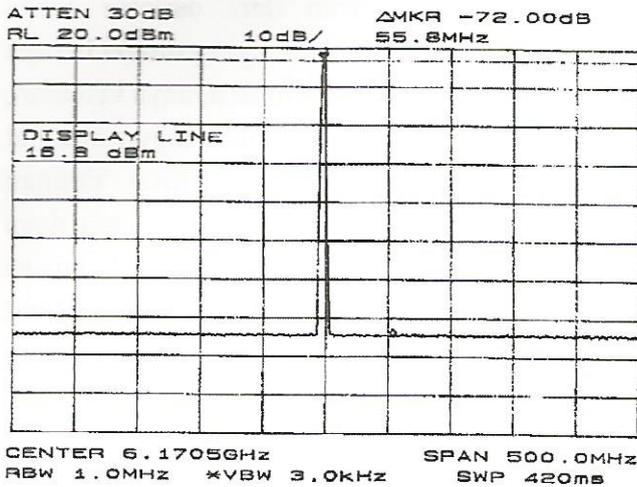
Untuk melihat keluaran dari osilator DRO (*dielectric resonant oscillator*) yang dibuat berupa respon frekuensi osilasi, derau fasa, daya keluaran, dan faktor kualitas (Q) yang terukur, digunakan alat *Network Analyzer* Model - Wiltron dengan frekuensi kerja : 40 MHz. 20 GHz., catu daya variabel digital dan secara diagram blok proses pengukuran yang dilakukan seperti yang terlihat pada gambar 1. Dari hasil pengukuran yang dilakukan Osilator *band -C* yang dirancang berosilasi disekitar *band-C* (5.9 GHz, 6,4 GHz) dengan derau fasa (N) mendekati besaran yang kecil, sementara daya keluaran osilator yang terukur didapat lebih besar dari yang direncanakan.

2.1 Pengukuran Frekuensi Osilasi

Hasil pengukuran frekuensi osilasi dari osilator *band-C* yang dirancang dapat dilihat pada gambar 2., dimana osilasi terjadi pada frekuensi 6,17050 GHz.. Pengukuran dilakukan pada resolusi *bandwidth* 100 KHz. , frekuensi *span* 10 MHz. , *Referensi Level* (RL) 20 dB dan redaman alat ukur 30 dB (*internal attenuation*). Bila dibandingkan dengan frekuensi 6,1025 GHz hasil perancangan , ketidak sesuaian dengan frekuensi 6,17050 GHz hasil pengukuran disebabkan oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- Kurang tepatnya menentukan frekuensi resonan dari DRO
- Tidak tepat dalam menentukan parameter S dari transistor yang bersesuaian dengan frekuensi resonan yang sebenarnya

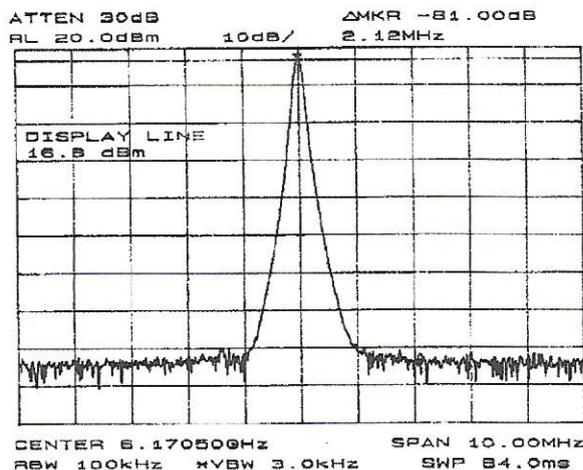
Ketidak tepatan yang terjadi umumnya disebabkan kelemahan dalam menentukan kedua parameter diatas, disamping kesalahan lain yang mungkin terjadi diluar perhitungan.



Gambar 2 : Hasil Pengukuran Frekuensi Osilasi

2.2 Pengukuran Daya Keluaran

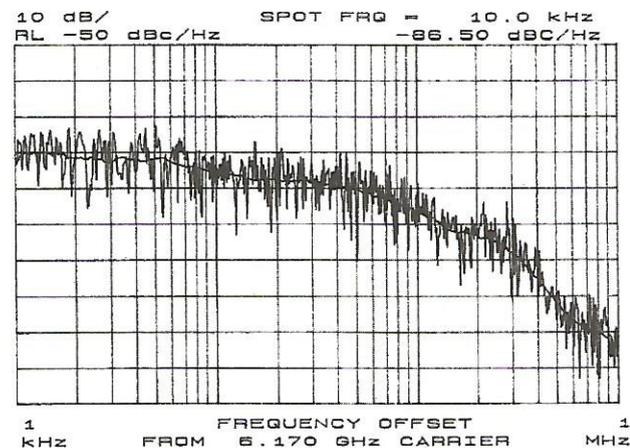
Daya keluaran yang terukur dapat dilihat pada gambar 3 didapatkan hasil yang terukur sebesar 16.8 dBm. Pada gambar 3 tersebut pengukuran diambil pada resolusi *bandwidth* 1,00 MHz. , frekuensi *span* 500 MHz. , *Referensi Level* (RL) 20 dB dan redaman alat ukur 30 dB (*attenuate internal*), perbedaan dari resolusi *bandwidth* dan *span* frekuensi yang diambil hanya mempengaruhi tampilan hasil pengukuran menjadi lebih tajam, tetapi secara fisis besarnya besaran yang terukur sama.



Gambar 3 : Hasil Pengukuran Daya Keluaran

2.3 Pengukuran Derau Fasa

Hasil pengukuran derau fasa dapat dilihat pada gambar 4. , dimana pengukuran diambil pada *frequency offset* 6,170 GHz dengan frekuensi *offset* mulai dari 1 KHz sampai dengan 1 MHz. dan referensi level -50 dBc/Hz. Dari hasil pengukuran untuk *spot* frekuensi 10,0 KHz didapat derau fasa sebesar -86.50 dBc/Hz., bila dilihat mulai dari frekuensi *offset* 1 KHz. sampai dengan 1 MHz. Besarnya rentang (*range*) dari derau fasa adalah sekitar 76 dBc/Hz sampai dengan -138 dBc/Hz.



Gambar 4 : Hasil Pengukuran Derau Fasa

2.4 Faktor Kualitas (Q)

Faktor kualitas (Q) secara umum dapat dicari dengan menggunakan rumus $Q = f_0 / BW$, dimana f_0 menyatakan frekuensi osilasi dan BW adalah lebar frekuensi (*bandwidth*) pengamatan yang dilakukan. Dari hasil pengamatan pada gambar.3 dan gambar 4 yang dilakukan, didapatkan factor kualitas (Q) sebagai berikut :

$BW_{-3\text{ dB}}$ diperkirakan sebesar 0,2 MHz. , sehingga faktor kualitas untuk $BW_{-3\text{ dB}}$ sebesar $Q_{-3\text{ dB}} = 6170,50 \text{ MHz} / 0,2 \text{ MHz} = 30852,50 \sim 30852$

Sedangkan untuk $BW_{-96,8\text{ dB}}$, faktor kualitas $Q_{-96,8\text{ dB}}$ sebesar $= 6170 / 0,8 = 7713$. Dari hasil perhitungan diatas terlihat bahwa faktor kualitas Q

nilainya besar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

($Q > 1000$). Hasil pengukuran bila dibandingkan dengan hasil simulasi dan rancangan secara keseluruhan dapat dikatakan tidaklah terlalu jauh berbeda ; baik untuk frekuensi osilasi, daya keluaran, derau fasa maupun faktor kualitas yang diharapkan.

3. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

- Analisa rangkaian RF(frekuensi tinggi) akan lebih mudah bila menggunakan Parameter S
- Pemakaian jalur-jalur konduktor mikrostrip sangat cocok untuk modul-modul rangkaian yang bekerja pada frekuensi tinggi. □ P r o s e s simulasi rangkaian sangat membantu dalam perancangan dan realisasi modul rangkaian RF (*electronics/RF devices*), sehingga *software* simulasi sangat diperlukan.
- Pengukuran menghasilkan frekuensi osilasi 6,17050 GHz , daya keluaran 16,8 dBm, phase noise -76 dBc/Hz sampai dengan -138 dBc untuk frekuensi offset 1 KHz. s/d 1 MHz. , dan factor kualitas (Q) antara 7713 sampai dengan 30852

4. Saran

Penelitian penggunaan komponen *Dielectric Resonating Oscillator* (DRO) untuk osilator *microwave* ini bisa dikembangkan lebih lanjut, terutama untuk modul rangkaian *microwave* terpadu (*Microwave Integrated Circuits / MIC's*) seperti *Filter* dengan *output filtering* yang hampir *flat*, *Diskriminator* , *Osilator* dengan frekuensi yang lebih tinggi lagi dan penggunaan *microwave devices* lainnya.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai dari DIPA-PPET tahun anggaran 2004. Penulis mengucapkan terimakasih kepada PPET-LIPI yang telah memberikan kesempatan untuk mempublikasikan tulisan ini.

5. Daftar Pustaka

1. Trantech, "*A Designer's Guide To Microwave Dielectric Ceramics*", 1998
2. Kayfez. D and Guillon, P, "*Dielectric Resonator*", Vector Fields, Oxford Mississippi, 2000
3. T.C Edward "*Fundamental for Microstrips Design*", John Wiley Sons, New York 1987
4. Gentili, Christian, "*Microwave amplifiers and oscillators*", 1998
5. Vendelin ,George D., "*Design of amplifiers and oscillators by the S-parameter method*", 1981
6. "*Microwave Harmonica*" untuk simulasi dan perancangan dari desain *microwave device*, 1998



Aturan Penulisan Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi PPET LIPI

1. Redaksi menerima naskah karangan berupa hasil penelitian, pengembangan dan penerapan dalam bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, diutamakan hasil dari kelompok kerja penelitian.
2. Semua naskah yang masuk akan direview dan diseleksi oleh Dewan Direksi.
3. Naskah yang telah dikoreksi akan dikembalikan ke penulis untuk diperbaiki, setelah itu diserahkan kembali ke redaksi pelaksana.
4. Makalah berisi abstrak (bahasa Inggris dan bahasa Indonesia), pendahuluan, tinjauan pustaka, metoda penelitian, hasil dan pembahasan, kesimpulan, ucapan terimakasih dan daftar pustaka.
5. Judul makalah ditulis dengan huruf kecil Times New Roman 14 spasi 1 (Judul Makalah).
6. Keterangan tentang penulis (nama penulis [**dicetak tebal**], instansi, alamat instansi, telepon, fax dan e-mail) ditulis dibawah judul makalah dengan huruf Times New Roman 10 spasi 1.
7. Judul **Abstrak** ditulis dengan huruf tebal di tengah, Times New Roman 12 spasi 1,5 terhadap isi bawahnya. Isi Abstract (dalam bahasa Inggris) dan Abstrak (dalam bahasa Indonesia) ditulis memanjang pada satu kolom dengan huruf Times New Roman 10 spasi 1 dan dicetak miring, dilengkapi dengan kata kunci dibawahnya.
8. Bila tulisan dalam bahasa Indonesia, yang didahulukan Abstract dalam bahasa Inggris dan bila tulisan dalam bahasa Inggris Abstrak bahasa Indonesia didahulukan.
9. Sub judul tulisan ditulis dengan huruf tebal, kecil, Times New Roman 12 spasi 1,5 terhadap tulisan bawahnya dengan penomoran angka biasa, (**1 Pendahuluan**).
10. Selain Abstrak, isi makalah ditulis dalam 2 (dua) kolom dengan huruf Times New Roman 12 spasi 1.
11. Gambar dan tabel harus diberi nomor urut, keterangan ringkas dengan huruf Times New Roman 12 dan disebutkan dalam isi makalah, gambar harus disesuaikan dengan ukuran halaman jurnal, (Gambar 1 :).
12. Persamaan matematik harus ditulis dengan jelas, diberi nomor urut, dan diberi keterangan notasi yang dipergunakan.
13. Contoh penulisan Daftar Pustaka sebagai berikut: Harper, Charles. A, "*Handbook of Thick Film Hybrid Microelectronic*", McGraw-Hill, New York, 1974.
14. Makalah maksimal 6 halaman, termasuk gambar dan tabel.