

## Perancangan *Concurrent Multiband Power Amplifier* Kelas E

Gunawan Wibisono<sup>1</sup>, Ferri Julianto<sup>2</sup>, Teguh Firmansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Elektro, Universitas Indonesia. <sup>3</sup>Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

**Abstrak** — Pada penelitian ini dirancang *High efficiency Concurrent Multiband RF Power Amplifier Class-E* dengan teknologi CMOS 0.18um type N, yang beroperasi pada frekuensi GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz, WIMAX 2300 Mhz, dan LTE 2600 Mhz, dengan menggunakan dua metode perancangan. Rancangan pertama menggunakan metode *multiband Class-E Power Amplifier* yang konvensional, dan perancangan kedua dengan menambahkan rangkaian *Driver Stage* untuk menghasilkan *Insertion loss (S<sub>21</sub>)* yang lebih besar. *input matching* dan *output matching* dirancang dengan menggunakan komponen lumped. Hasil dari perancangan ini diperoleh nilai *Insertion loss (S<sub>21</sub>)* bernilai lebih besar dari 15 dB dan *Return loss (S<sub>11</sub>)* dibawah -15 dB, Tegangan supply 5 Volt, *Power Added Efficiency* >50%.

**Kata Kunci** : Butler Matriks, Perubah fasa, pembagi daya.

**Abstract** — In this study designed *High efficiency concurrent Multiband RF Power Amplifier Class-E* with 0.18um CMOS technology type N, which operates pada frekuensi GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz, 2300 MHz WiMAX, and LTE 2600 MHz, using two methods of design. The first draft using *ePower Multiband Amplifier Class-conventional*, and the design by adding a second circuit for generating *Stage Driver Insertion loss (S<sub>21</sub>)* is greater. *matching input and output matching* designed using lumped components. Results obtained from this design nilai *Insertion loss (S<sub>21</sub>)* is larger than 15 dB and *return loss (S<sub>11</sub>)* below -15 dB, voltage supply 5 Volt, *Power Added Efficiency* > 50%.

**Keyword** : Butler matrix, phase Changer, power divider.

### I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi wireless jaringan pita lebar atau *broadband* yang begitu pesat dan tingkat kebutuhan aplikasi pengguna yang begitu beragam, mengharuskan perkembangan pula pada perangkat RF (radio frekuensi) yang dapat bekerja pada beberapa channel frekuensi sekaligus. Dibutuhkan sebuah *transceivers* yang mampu beroperasi pada *multiband* untuk meningkatkan efisiensi sekaligus mendukung perkembangan berbagai jenis standar komunikasi nirkabel seperti GSM, 3G, WIMAX dan LTE. Salah satu bagian dari *transceivers* adalah *Power Amplifier*, *Power amplifier* adalah bagian dari *transmitter* yang berfungsi untuk menguatkan sinyal keluaran sebesar-besarnya, bagian ini yang paling membutuhkan daya paling besar dari perangkat RF. *Power amplifier Class-E* dipilih karena diharapkan memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dan termasuk kelas *amplifier non-linier*. Sebagian besar jurnal atau makalah menjelaskan tentang perancangan *single-band* [7], *dual-band* [6] ataupun *wideband* [1, 8] dengan beragam metode. *Wideband Power Amplifier* diusulkan oleh [8] agar mampu beroperasi pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan *bandwidth* yang lebar. Kinerja yang dihasilkan pada [8] *S<sub>21</sub> Insertion loss* sebesar 9-11 dB pada 2-4 GHz, *S<sub>11</sub> Return Loss* sebesar -10 dB sampai -4 dB pada 2-4 GHz, efisiensi yang dihasilkan sebesar 50%-60%. Penggunaan *wideband Power Amplifier* ini memiliki kelemahan berupa penguatan terhadap frekuensi yang tidak diinginkan sehingga meningkatkan interferensi, oleh karena itu

dibutuhkan filter yang baik untuk meminimalisasi interferensi tersebut,

Tujuan perancangan *Power Amplifier* ini adalah untuk mendapatkan frekuensi *multiband* pada 900 MHz untuk aplikasi GSM, 1800 MHz untuk aplikasi GSM, 2300 MHz untuk aplikasi WIMAX, dan 2600 MHz untuk aplikasi LTE. Dengan nilai *S<sub>11</sub>* < -15 dB, *S<sub>21</sub>* > 15 dB, *VSWR* < 2. Perancangan *Power Amplifier* ini dirancang dengan metode *concurrent multiband power amplifier* menggunakan Mosfet 0.18 um type N, untuk meningkatkan *Gain* digunakan *Driver Stage* pada rangkaian bias untuk mengaktifkan Mosfet ON dan OFF. Perancangan PA ini disimulasikan dengan *Advance Design System (ADS)*. Hasil simulasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi *Power Amplifier Class-E* yang *conventional* dengan menggunakan komponen lumped.

### II. PERANCANGAN BUTLER MATRIKS

Tahap awal dalam perancangan adalah menentukan spesifikasi design. Spesifikasi *multi band class-E power amplifier* yang dirancang bekerja pada frekuensi kerja 900 MHz, 1800 MHz, 2300 MHz, dan 2600MHz, menggunakan MOSFET 0.18um type N, *gain* > 15 dB, efisiensi >50%, tegangan supply <5 volt, arus *I<sub>DS</sub>* 100 - 150 mA, dan *return loss* < -15 dB dengan daya keluaran sebesar 100mWatt dari masukan daya RF sebesar 5-20 mWatt. Spesifikasi dari *multi band class-E power amplifier* yang diinginkan

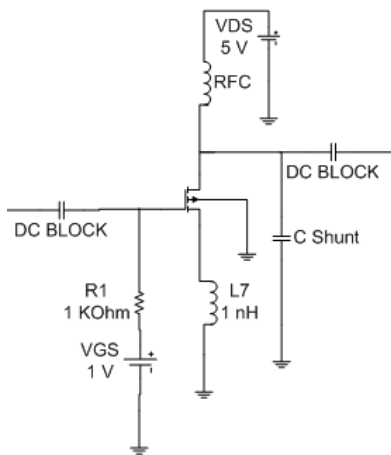
pada perancangan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *multi band class-E power amplifier*

Parameter	Nilai			
	900 MHz	1800 MHz	2300 MHz	2600 MHz
Frekuensi Operasi	900 MHz	1800 MHz	2300 MHz	2600 MHz
Frekuensi Tengah	950 MHz	1850 MHz	2350 MHz	2650 MHz
Gain	> 15 dB	> 15 dB	> 15 dB	> 15 dB
Tegangan Suplai (V <sub>DS</sub> )	< 5 V	< 5 V	< 5 V	< 5 V
Input Return of Loss	< -15 dB	< -15 dB	< -15 dB	< -15 dB

Rancangan ini menggunakan CMOS 0.18um TYPE N. Mosfet ini menggunakan jenis type-N yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi tinggi. Alasan mengapa menggunakan teknologi CMOS 0.18um type N ini adalah karena mosfet ini memiliki fitur dimensi dan ukuran transistor/mosfet jauh lebih kecil, sehingga pengembangan ke arah *system on a chip* untuk RFIC menjadi lebih baik secara jumlah dan ukuran.

Rangkaian DC bias pada perancangan ini menggunakan *supply* tegangan bias DC  $V_{DS} = 5 V$  dan  $V_{GS} = 1 V$  dengan arus  $I_{DS} = 100-200 mA$ .



Gambar 1. Bias DC mosfet untuk amplifier Class-E

Setelah diperoleh nilai bias, maka disimulasikan Loadpull untuk mencari nilai impedansi nya. Sehingga dapat di matching. Hasil Simulasi Load-Pull optimum pada masing-masing band frekuensi terlihat pada Table 2.

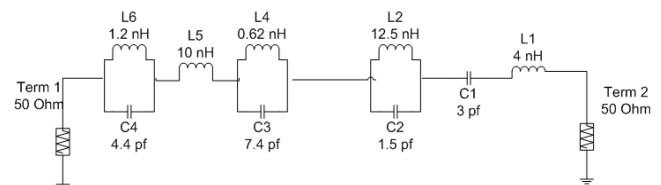
Tabel 2. Hasil Simulasi Load-Pull optimum pada masing-masing band frekuensi

Frekuensi operasi	PAE (%)	Impedance	Power Delivered (dBm)
900 MHz	74.62 %	29.716 + J9.893	28.57

1800 MHz	72.89 %	18.491 + J7.274	30.23
2300 MHz	72.10 %	19.327 + J17.367	28.42
2600 MHz	71.20 %	17.299 + J11.498	29.67

Rangkaian matching ini bertujuan untuk menyesuaikan antara impedansi yang ada pada konektor (50 ohm) dengan impedansi pada transistor, baik pada input maupun output dari rangkaian. Penyesuaian nilai impedansi (Z) ini bertujuan untuk mengurangi *return of loss* yang terjadi, selain itu penyesuaian impedansi dapat memperbaiki kinerja dari transistor tersebut.

Pada power amplifier class-A, B dan C kita dapat secara langsung mendesign rangkaian input dan output matching pada impedansi tertentu yang dapat ditentukan dengan simulasi load pull. Namun prinsip dasar dari power amplifier class-E berbeda dengan kelas amplifier lainnya, pada class-E power amplifier transistor membutuhkan nilai beban yang spesifik pada fundamental frekuensi. Kinerja multiband dari rangkaian class-E power amplifier ini dihasilkan dari rangkaian input matching yang beresonansi pada frekuensi center, yaitu 950 MHz, 1850 MHz, 2350 MHz, dan 2650 MHz. Desain resonator yang merupakan kombinasi dari rangkaian LC yang dipasang seri dan paralel. Untuk rangkaian input matching, terlihat pada Gambar 2.

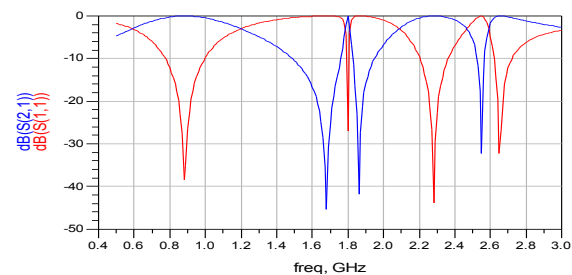


Gambar 2. Rangkaian input matching

Impedansi rangkaian input matching dapat dijelaskan pada persamaan berikut ini:

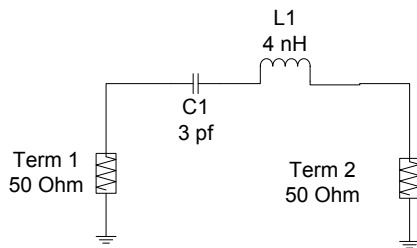
$$Z = \left(j\omega C + \frac{1}{j\omega L}\right)^{-1} + j\omega L + \left(j\omega C + \frac{1}{j\omega L}\right)^{-1} + \left(j\omega C + \frac{1}{j\omega L}\right)^{-1} + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (1)$$

Hasil simulasi input matching terlihat pada Gambar 3. Dibawah ini.



Gambar 3. Simulasi rangkaian input matching

Sementara itu, untuk rangkaian output matching, terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Output matching

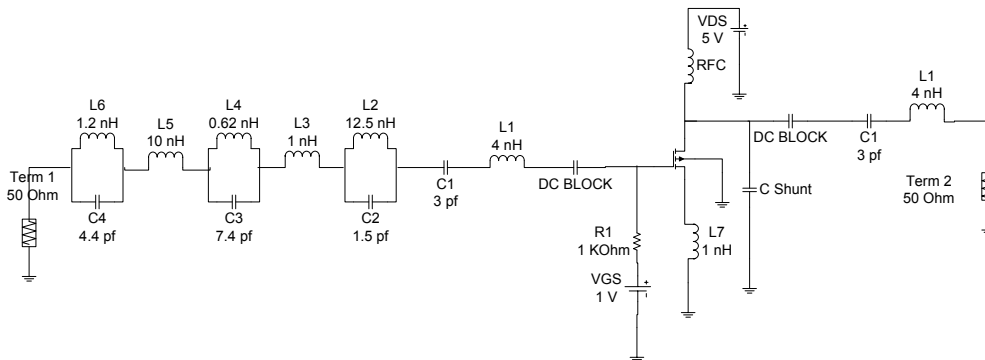
Impedansi rangkaian output matching dapat dijelaskan pada persamaan berikut ini:

$$Z = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R \tag{2}$$

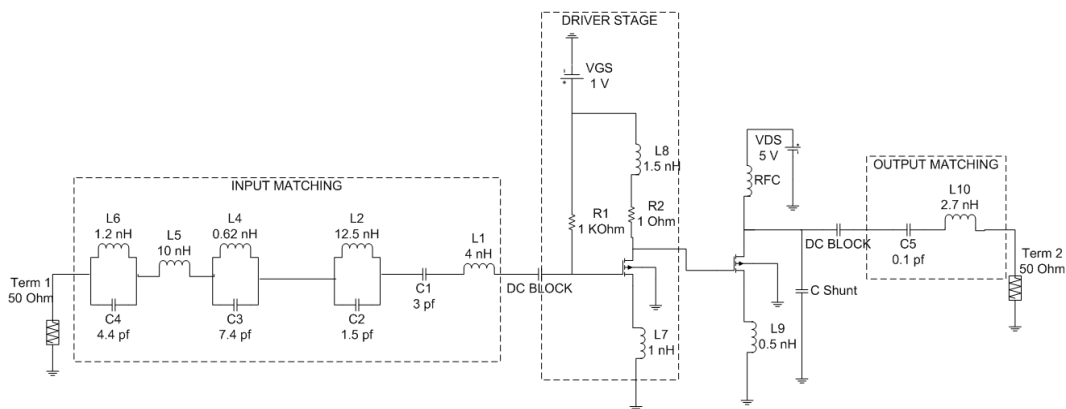
Rangkaian lengkap multiband PA terlihat pada Gambar 5. Sementara pada gambar 6 memperlihatkan rangkaian dengan driver stage.

### III. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

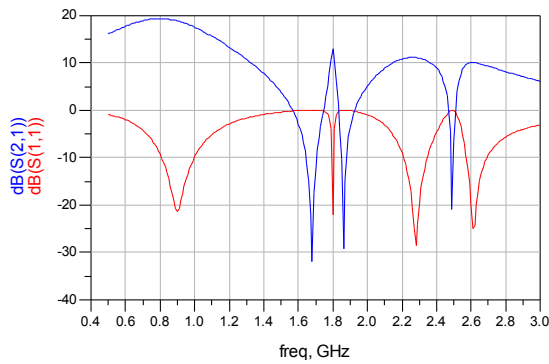
Pada bagian ini akan dibahas kinerja dari Multiband Power Amplifier yang didesain menggunakan software ADS untuk kemudian dianalisa kinerjanya. Gambar 7. memperlihatkan nilai return loss dan gain pada multiband power amplifier Kelas E.



Gambar 5. Rangkaian lengkap multiband power amplifier Kelas E.

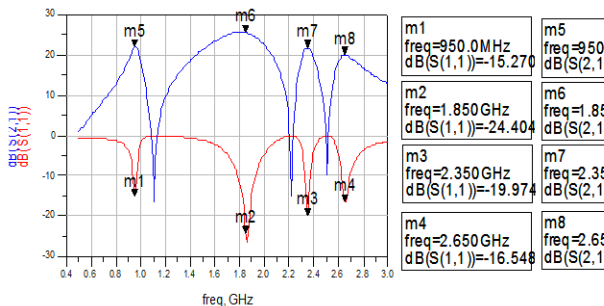


Gambar 6. Rangkaian lengkap multiband power amplifier Kelas E dengan Driver stage.



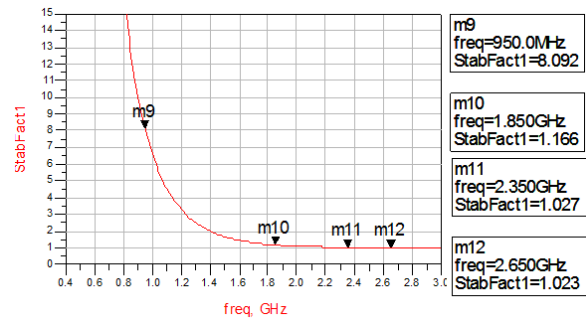
Gambar 7. Hasil  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  Multiband Power Amplifier Class-E

Seperti terlihat pada gambar 7 hasil  $S_{11}$  rata-rata pada tiap band  $< -15$  dB dan berdasarkan hasil simulasi *return loss* ( $S_{11}$ ) sudah sesuai dengan target yang diharapkan. Namun untuk  $S_{21}$  (Gain) pada beberapa band frekuensi masih dibawah target yang diharapkan yaitu  $S_{21} > 15$  dB. Gambar 8 memperlihatkan nilai *return loss* dan gain pada multiband power amplifier Kelas E dengan ditambahkan driver amplifier.



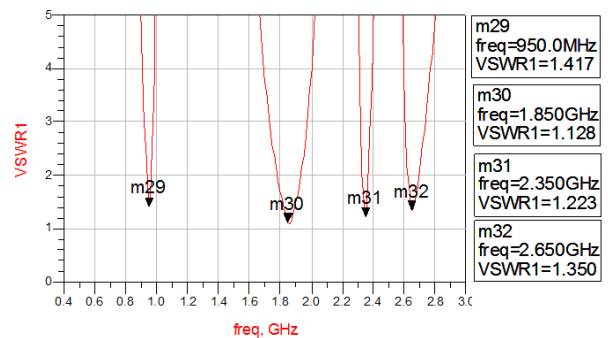
Gambar 8. Hasil  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  Multiband Power Amplifier Class-E dengan driver amplifier

Nilai *Gain* pada masing-masing frekuensi telah mencukupi spesifikasi yang diharapkan, yaitu minimal nilai  $> 15$  dB pada frekuensi kerjanya. Untuk dapat mengetahui apakah multiband power amplifier yang telah dirancang telah memenuhi kriteria kestabilan atau tidak, dapat dilihat dari nilai faktor kestabilan  $K$ . Nilai dari parameter kestabilan  $K$  diharapkan bernilai lebih besar dari satu. Jika kondisi tersebut telah terpenuhi maka dapat dikatakan bahwa multiband power amplifier dalam keadaan *unconditionally stable*. Dari gambar 4.5 dapat kita lihat bahwa nilai  $K$  pada range frekuensi 1800 – 2600 MHz mendekati angka kestabilan yaitu antara 0.847 – 0.963, hal ini menandakan bahwa pada range frekuensi tersebut tidak dapat memenuhi angka kestabilan yaitu 1. Sedangkan pada range frekuensi 900 MHz telah memenuhi angka kestabilan diatas 1 yaitu bernilai 4.457.



Gambar 8. Nilai Kestabilan Multiband Power Amplifier Class-E.

VSWR pada rangkaian ideal bernilai satu. Semakin VSWR mendekati satu rangkaian semakin baik. Dari gambar 9 tampak bahwa hasil simulasi rangkaian bernilai mendekati satu pada frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, 2300 MHz dan 2600 MHz. Dalam hal ini, dapat kita katakan hasil simulasi rangkaian ini mempunyai VSWR yang baik karena secara keseluruhan, nilai VSWR mendekati nilai satu.



Gambar 9. Nilai VSWR Multiband Power Amplifier.

Pada tabel 3 memperlihatkan nilai perbandingan kinerja dari Power Amplifier Class-E yang didesign, dengan hasil yang lain.

Tabel 3. Perbandingan hasil perancangan

Parameter	Propose							
	Conventional Concurrent Multiband Class-E PA				Concurrent Multiband Class-E PA Dengan Driver Stage			
	0.95	1.85	2.35	2.65	0.95	1.85	2.35	2.65
$f_0$ (GHz)	0.95	1.85	2.35	2.65	0.95	1.85	2.35	2.65
$S_{21}$ (dB)	17,720	12,402	10,517	9,588	21,934	25,581	21,798	19,977
$S_{11}$ (dB)	-27,638	-32,818	-25,070	-21,059	-15,270	-24,404	-19,974	-16,584
VSWR	1,087	1,047	1,118	1,194	1,417	1,128	1,223	1,350
Stab Fact	1,034	1,008	1,005	1,004	8,092	1,166	1,027	1,023
PAE (%)	86.81%				52.98%			

Hasil seperti pada tabel 3 menunjukkan bahwa nilai *multiband Power Amplifier Class-E* yang diusulkan masih tergolong lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Penurunan nilai Power Added Efficiency hasil simulasi disebabkan oleh karena rangkaian Driver Stage membutuhkan daya yang cukup besar untuk melakukan penguatan, sehingga akan menurunkan efisiensi dari rangkaian power amplifier.

## IV. KESIMPULAN

Telah dirancang Concurrent Multiband Power Amplifier Class-E yang bekerja pada frekuensi kerja 900 MHz, 1800 MHz, 2300 MHz, dan 2600 MHz untuk aplikasi GSM, WIMAX, dan LTE. Dari hasil simulasi, ditunjukkan bahwa multiband power amplifier class-E ini telah mencapai kinerja yang diharapkan sesuai spesifikasi yang ditetapkan.

## PERNYATAAN

Penelitian ini dibiayai dari Program Penelitian Strategis Nasional, Dikti, tahun 2012, dengan kontrak nomor.3393/H2.R12/HKP.05.00/2012

## REFERENSI

- [1] Mark P. Van der heijden, Mustafa Acar, and Jan S. Vromans. "A Compact 12-watt High-Efficiency 2.1-2.7 GHz Class-E GaN HEMT Power Amplifier for Base Stations". IEEE. 2009.
- [2] Sugijono, Erwin. "Perancangan Dual Band High Power Amplifier Untuk Mobile WIMAX dan LTE Pada Frekuensi 2,35 GHz dan 2,65 GHz". Depok: Universitas Indonesia 2011.
- [3] Firmansyah, Teguh. "Perancangan Dielectric Resonator Oscillator Untuk Mobile WiMAX Pada Frekuensi 2,3 GHz Dengan Penambahan Coupling  $\lambda/4$ ". Depok: Universitas Indonesia 2010.
- [4] Hella M. Mona, Mohammed Ismail. *RF CMOS Power Amplifier: Theory, Design and Implementation*. New York: Kluwer Academic Publisher. 2002.
- [5] Pozar, David M. *Microwave and RF Design of Wireless Systems*. New York: Wiley and Sons, 2000.
- [6] Seung Hun Ji, Gyu Seok Sik Cho, Jae W. Lee and Jaeheung Kim. "836 MHz/1.95 GHz Dual – Band Class-E Power Amplifier Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines". Korea: Hankuk Aviation University 2006.
- [7] S.A.Z Murad, R.K. Pokharel, H. Kanaya dan K. Yoshida. "A 2.4 GHz 0.18- $\mu\text{m}$  CMOS Class-E Single-Ended Power Amplifier without Spiral Inductors". IEEE. 2010.
- [8] Paul Saad , Christian Fager , Haiying Cao, Herbert Zirath, and Kristoffer Andersson . "Design of a Highly Efficient 2–4-GHz Octave Bandwidth GaN-HEMT Power Amplifier". IEEE. 2010.
- [9] Choi Hing Cheung. "RF Power Amplifier – Class F Power Amplifier". Hongkong: The Chinese University of Hongkong.
- [10] A. Diet, M. Villegas, G. Baudoin, F. Robert. "A Methodology for Multi-Band Class E RF PA Gain". IEEE. 2010.