

Perancangan Concurrent Penta-Band Low Noise Amplifier pada perangkat Mobile Communication

Muh Wildan^{1*}, Priyo Wibowo², Ratna Nurmayni³

¹Politeknik Penerbangan Indonesia Curug., Jl. Raya PLP Curug, Banten, 15820, INDONESIA

²Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Pamulang Bar, Banten 15417, INDONESIA

³Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. M.H. Thamrin No. 8,
Jakarta Pusat, 10340, INDONESIA

*Corresponding author, muh.wildan@ppicurug.ac.id

Abstrak

Perangkat telekomunikasi saat ini berkembang sangat pesat. Teknologi *hardware* pada *transceiver* merupakan salah satu yang menjadi perhatian bersama karena mampu meningkatkan efisiensi sekaligus mendukung berbagai standar komunikasi nirkabel global pada sistem GSM, WDCMA, 4G LTE, WLAN, DECT, maupun GPS. Kebutuhan perangkat *transceiver* saat ini yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat adalah ketika memiliki *device* yang kecil, *compact*, dan dapat bekerja secara bersamaan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *low noise amplifier* (LNA) yang mampu bekerja bersama secara simultan (*concurrent*) *penta-band* pada standar frekuensi perangkat *mobile communication* yang beroperasi dengan frekuensi tengah 948 MHz (GSM), 1220 MHz (GPS), 1880 MHz (DECT), 2450 MHz (Bluetooth, WLAN, Wi-Fi) dan 2740 MHz (LTE). Metode pada penelitian ini adalah perancangan dan analisis. Metode perancangan ini adalah melakukan pembentukan desain secara matematis dan simulasi rangkaian menggunakan perangkat lunak ADS 2009. Kemudian metode analisis digunakan untuk mengetahui hasil simulasi dengan analisis data agar supaya dihasilkan desain yang memenuhi spesifikasi rancangan yang ditetapkan. Hasil simulasi parameter *concurrent LNA penta-band* berupa Kestabilan (K) rangkaian, *input return loss* (S_{11}), *gain* (S_{21}) dan *noise figure* (NF) pada kelima frekuensi tersebut semuanya memenuhi kriteria perancangan yaitu $K > 1$, $S_{11} < -10$ dB, $S_{21} > 20$ dB, dan $NF < 3$.

Keyword: Penta-band, Multiband, Concurrent, LNA, Mobile Communication

Abstract

Telecommunications equipment is currently developing very rapidly. Hardware technology in transceivers is a common concern because it is able to increase efficiency while supporting various global wireless communication standards on GSM, WDCMA, 4G LTE, WLAN, DECT, and GPS systems. The current need for transceiver devices that suit people's needs is when they have devices that are small, compact, and can work simultaneously. This research aims to design a low-noise amplifier (LNA) that is capable of working simultaneously (concurrent) penta-band on standard mobile communication device frequencies that operate with a center frequency of 948 MHz (GSM), 1220 MHz (GPS), 1880 MHz (DECT), 2450 MHz (Bluetooth, WLAN, Wi-Fi), and 2740 MHz (LTE). The methods in this research are design and analysis. This design method is to carry out mathematical design formation and circuit simulation using ADS 2009 software. Then the analysis method is used to determine the simulation results with data analysis so that a design is produced that meets the specified design specifications. Simulation results of penta-band LNA concurrent parameters in the form of circuit stability (K), input return loss (S_{11}), gain (S_{21}), and noise figure (NF) at the five frequencies all meet the design criteria, namely $K > 1$, $S_{11} < -10$ dB, $S_{21} > 20$ dB, and $NF < 3$.

Keywords: Penta-band, Multiband, Concurrent, LNA, Mobile Communication

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel yang pesat menuntut perangkat *transceiver* untuk dapat beroperasi pada beberapa pita frekuensi sesuai standar yang ditetapkan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya radio, sekaligus mendukung perkembangan berbagai standar komunikasi nirkabel, seperti GSM, WCDMA, LTE, WLAN, Bluetooth, DECT, dan GPS. Perangkat *transceiver* secara umum terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu antena, *low noise amplifier*, *bandpass filter*, *oscillator*, *mixer*, *IF amplifier*, *detector*, dan *audio amplifier*. Komponen-komponen ini bekerja secara bersama-sama untuk melakukan proses transmisi dan penerimaan sinyal radio.

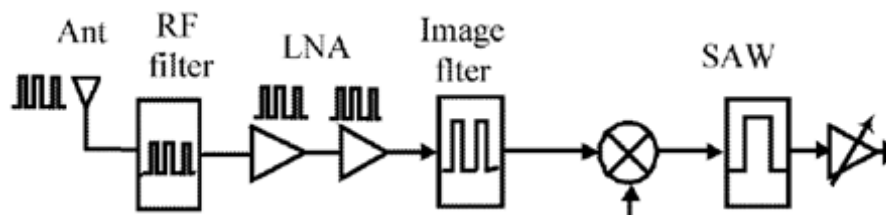
Bagian pertama RF *Front-end* dari sebuah perangkat *receiver* adalah *low noise amplifier* (LNA)[1][2][3][4]. Oleh karenanya, LNA harus mempunyai *noise* yang kecil untuk mengurangi kontribusi *noise* pada bagian berikutnya dan *gain* (penguatan) yang tinggi. LNA sangat dibutuhkan pada sistem *receiver*, mengingat daya sinyal yang diterima pada sistem ini relatif kecil [5]. Namun disisi lain, LNA juga bisa menambah *noise* dari suatu sistem nirkabel. Agar tambahan *noise* tersebut tidak berpengaruh besar pada sistem *receiver*, maka kontribusi *noise* dari LNA harus sekecil mungkin [1].

Seiring berkembangnya teknologi nirkabel dibutuhkan *receiver* yang dapat bekerja pada beberapa aplikasi secara bersamaan, maka desain LNA yang dioperasikan pada beberapa band frekuensi secara simultan (*concurrent multiband*) banyak dilakukan penelitian. Keuntungan pada *concurrent multiband* adalah memiliki efisiensi fungsi yang tinggi, peningkatan nilai *data rate*, ketahanan sistem perangkat, peningkatan kinerja perangkat [6]. *Cascode shunt peaking* dan *LC resonator* dapat digunakan sebagai *impedance matching* (IM) untuk menghasilkan *tripleband* LNA akan tetapi metode menghasilkan nilai *gain* yang rendah, yaitu 10.6 ~ 11.79 dB dan *noise figure* yang cukup besar yaitu 3.73 ~ 4.03 dB [7]. Pada penelitian [8] *concurrent dualband* LNA menggunakan teknologi BiCMOS dan topologi *inductive source degeneration* masih memiliki nilai *noise figure* tinggi sebesar 3.2 ~ 5.5 dB. Pada penelitian [9] *concurrent dualband* LNA dengan metode *interstage matched* dan menggunakan topologi *inductive source degeneration* digunakan untuk menguatkan *power gain*, namun *noise figure* yang dihasilkan masih relatif besar, yaitu 1.66 ~ 1.95 dB. Sedangkan *concurrent dualband* LNA pada [10], dengan topologi *inductive source degeneration* dan teknik *matching* dengan *power constrained simultaneous noise and input matching* (PCSNIM) yang digunakan untuk mendapatkan *noise figure* yang kecil, nilai *gain* yang didapatkan rendah, yaitu 9.483 ~ 14.97 dB. Pada perancangan *concurrent penta-band* LNA pada [11], menggunakan topologi *inductive source degeneration* dan konfigurasi *cascode* pada MOSFET, nilai *gain* yang dihasilkan hanya berkisar antara 14.36 ~ 17.007 dB.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan *concurrent penta-band* LNA menggunakan komponen aktif jenis FET menggunakan *LC resonator* dan *lumped element* yang dikonfigurasi secara *cascade* sebagai *impedance matching*. Topologi *cascade* pada LNA dipilih karena mampu menghasilkan *noise* yang rendah dan *gain* yang tinggi. Selain itu *LC resonator* memiliki disain yang *compact* dan juga dapat diteruskan menjadi teknologi berbasis RFIC [12]. Pada penelitian ini, LNA dirancang memiliki *impedance matching* disusun dari *multi-LC resonator* agar dapat menghasilkan *penta-band* LNA. Transistor NE3210S01 dipilih karena memiliki konsumsi daya minimal 5 mW sehingga LNA yang dihasilkan juga akan memiliki efisiensi daya pada pengoperasian lima frekuensi yang berbeda yaitu pada frekuensi tengah 948 MHz (GSM), 1220 MHz (GPS), 1880 MHz (DECT), 2450 MHz (bluetooth, WLAN, Wi-Fi) dan 2740 MHz (LTE). Batasan permasalahan pada penelitian ini adalah perancangan LNA dengan topologi *cascade* dengan *multi LC resonator* sebagai *input matching* dan semua komponen dianggap ideal. Hasil perancangan disimulasikan dengan perangkat lunak Advance Design System (ADS) dan parameter simulasi yaitu kestabilan, *noise figure* (NF), *input return loss* (S_{11}) dan *gain* (S_{21}).

METODE

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan melibatkan proses perancangan dan analisis untuk mencapai desain yang memenuhi spesifikasi yang direncanakan. Gambar 1 memperlihatkan diagram blok *receiver* secara umum. Sedangkan penelitian ini difokuskan pada pengembangan *Low-Noise Amplifier* (LNA) dengan teknik *concurrent multiband* yang dapat beroperasi pada beberapa frekuensi dalam satu waktu. Selain itu, metode ini dapat menghasilkan parameter kinerja kestabilan rangkaian, nilai *return loss*, *power gain*, NF, dan VSWR yang baik pada beberapa frekuensi yang berbeda [13][7][9][8].



Gambar 1. Diagram blok receiver

Metode penelitian ini terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu perancangan dan analisis. Metode perancangan digunakan untuk membentuk desain LNA secara matematis dan melakukan simulasi rangkaian menggunakan perangkat lunak Advanced Design System (ADS). Analisis digunakan untuk menganalisis hasil simulasi dan memastikan bahwa desain yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang direncanakan. Parameter-parameter kinerja yang dianalisis antara lain kestabilan rangkaian, *Return Loss*, *Gain*, *Noise Figure* (NF) dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).

Parameter LNA

Kestabilan rangkaian adalah faktor penting dalam perancangan komponen elektronik seperti *Low-Noise Amplifier* (LNA). Kestabilan tanpa syarat (*unconditionally stable*) mengindikasikan bahwa rangkaian tidak akan mengalami osilasi atau menjadi tidak stabil pada nilai beban atau *output* apapun. Kestabilan ini dinyatakan oleh faktor K , yang dikenal sebagai *Rollett Stability Factor*. Faktor K merupakan sebuah parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kestabilan suatu rangkaian. Jika nilai faktor K lebih besar dari 1, maka rangkaian dikategorikan sebagai "*unconditionally stable*," yang berarti rangkaian tersebut akan tetap stabil tanpa terpengaruh variasi beban atau *output* yang diberikan. Namun, jika nilai faktor K kurang dari 1, maka rangkaian berpotensi menjadi tidak stabil pada titik tertentu dengan variasi sumber dan beban. Pengukuran nilai kestabilan rangkaian dapat diperoleh dari analisis parameter S (S -parameter), yang dinyatakan oleh persamaan [2]:

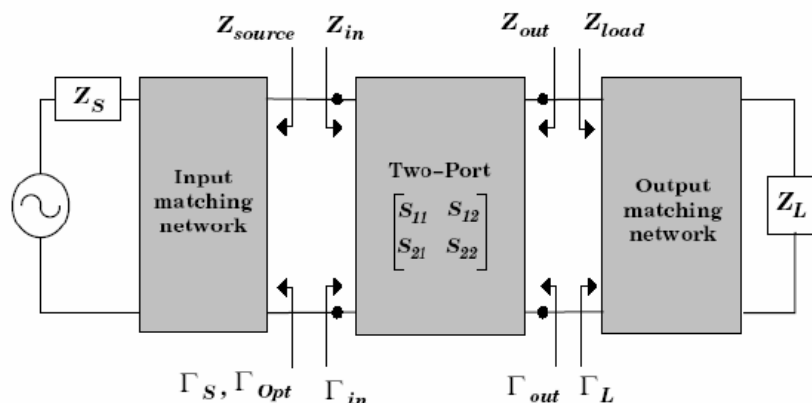
$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{11}||S_{21}|} \quad (1)$$

Dikatakan *unconditionally stable* jika $K > 1$ dan $|\Delta| < 1$, dengan

$$\Delta = S_{11} \cdot S_{22} \cdot S_{21} \quad (2)$$

Gain merupakan perbandingan antara level sinyal *output* dan level sinyal *input* pada sistem. *Gain* (S_{21}) dalam S -parameter biasanya dinyatakan dengan satuan desibel (dB). S_{21} suatu LNA haruslah tinggi, standar nilainya biasanya diatas 10 dB. Hal ini sesuai dengan fungsi LNA yaitu menguatkan sinyal RF yang diterima oleh *receiver* [14][4].

Return loss merupakan analisis tingkat refleksi daya sinyal yang kembali ke sumber pada berbagai frekuensi atau dapat diartikan sebagai daya yang tidak diserap oleh beban [3][1]. Tingkat refleksi pada *input* (*input return loss*) dari *Low-Noise Amplifier* (LNA), dapat menunjukkan adanya *mismatch* atau ketidakcocokan impedansi antara impedansi *input* (Z_{in}) LNA dengan impedansi saluran transmisi. *Input return loss* dapat diperoleh dari pengukuran S -parameter dalam besaran S_{11} dengan satuan desibel (dB). S_{11} dapat menunjukan seberapa baik keselarasan impedansi antara sumber dan LNA. Nilai S_{11} bernilai negatif karena menggambarkan kerugian daya akibat refleksi. *Port input* dan *output* yang dihubungkan ke generator (sumber) dan beban, seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. *Two Port network* terhubung ke sumber dan beban melalui IMN dan OMN [2]

Jika Z_{IN} adalah impedansi *input* pada *port* 1 dan Z_O adalah impedansi karakteristik saluran transmisi maka koefisien refleksi pada *port* 1 (*port input*) dan *input return loss* dalam bentuk S_{11} . [2] dapat dinyatakan dengan,

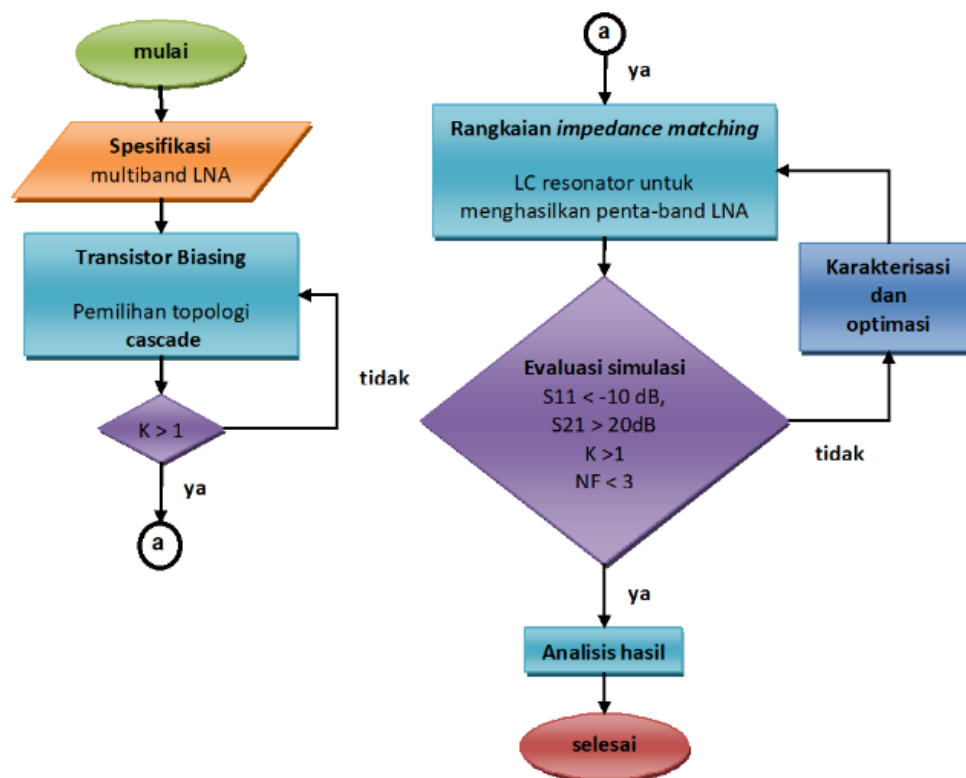
$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{IN} - Z_O}{Z_{IN} + Z_O} \quad (3)$$

$$S_{11}(dB) = 20 \log |\Gamma_{in}| \quad (4)$$

Sinyal yang diolah melalui suatu sistem selalu bertambah *noise* sinyal *input*-nya. Oleh karena itu, *noise* pada *output* sebuah sistem selalu lebih besar daripada *noise* pada *input*. Kontribusi *noise* dari suatu sistem dinyatakan dengan *noise factor* (F) yang dituliskan dalam bentuk desibel ($10 \log_{10} F$) atau sering disebut sebagai *Noise Figure* (NF). *Noise Figure* pada LNA juga menyatakan derajat degradasi SNR akibat *noise* yang dibangkitkan penguat. Karena fungsi LNA adalah menguatkan sinyal dengan kontribusi *noise* yang kecil dan bernilai positif, maka nilai NF LNA harus kecil, standar nilainya berkisar antara 0 dB sampai dengan 3 dB.

Metode Perancangan

Langkah pertama dalam metode perancangan adalah menentukan spesifikasi LNA yang akan dirancang. Spesifikasi ini disesuaikan dengan diagram alur perancangan *penta-band* LNA yang tercantum dalam Gambar 3. Kemudian memilih topologi LNA, menentukan karakteristik *transistor* yang akan digunakan serta melakukan bias DC. Saat bias DC dilakukan, dipastikan *transistor* bekerja pada daerah saturasi. Untuk memastikan LNA bekerja pada frekuensi yang diinginkan, diperlukan rangkaian *impedance matching*. Dengan *impedance matching* yang tepat, LNA dapat berfungsi optimal pada *penta-band* yang ditargetkan. Setelah tahap perancangan, evaluasi simulasi dilakukan secara berulang hingga mencapai hasil yang optimum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Proses ini melibatkan pengujian dan pengoptimalan desain LNA menggunakan perangkat lunak Advance Design System (ADS). Langkah berikutnya adalah analisis hasil simulasi. Hasil analisis akan memberikan pemahaman mendalam tentang kinerja LNA di berbagai frekuensi, termasuk parameter seperti *return loss*, *gain*, dan *noise figure*. Analisis digunakan untuk memastikan bahwa LNA memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.



Gambar 3. Diagram Flowchart Perancangan Penta-band LNA

Spesifikasi perancangan *Concurrent penta-band LNA* pada penelitian ini secara lengkap seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi LNA

Spesifikasi	Frekuensi Tengah				
	948 MHz	1220 MHz	1880 MHz	2450 MHz	2740. MHz
K	> 1	> 1	> 1	> 1	> 1
S ₁₁	< -10 dB	< -10 dB	< -10 dB	< -10 dB	< -10 dB
S ₂₁	> 20 dB	> 20 dB	> 20 dB	> 20 dB	> 20 dB
NF	< 3 dB	< 3 dB	< 3 dB	< 3 dB	< 3 dB

Pada desain ini, menggunakan dua FET dirangkai secara *cascade* yang bertujuan untuk menghasilkan *gain* yang tinggi karena pada *cascade transistor* terjadi penguatan pada kedua FET yang digunakan [15]. Transistor yang dipilih adalah NE3210S01 *super low noise* dengan DC bias VDD = 5 V, VD = 2.151 V, VDS = 1.66 V dan IDS = 40.7 mA. Agar *transistor* dapat bekerja pada daerah tersebut maka harus diberi bias dengan komponen-komponen sebagai berikut

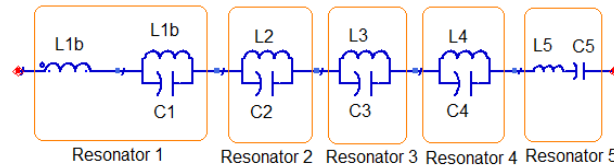
$$R_D = \frac{V_{DD}-V_D}{I_D} \quad (5)$$

$$R_D = \frac{5 - 2.151}{40.7 \times 10^{-3}} = 70 \Omega$$

$$V_G = 0 V$$

$$\text{Konsumsi daya} = (V_{DS}) (I_{DS}) = (1.66 V).(40.7 \text{ mA}) = 67 \text{ mW}$$

Penggunaan LC resonator sebagai bagian dari rangkaian *impedance matching* digunakan agar memungkinkan *Low-Noise Amplifier* (LNA) beroperasi pada lima frekuensi yang berbeda. Rangkaian LC resonator terdiri dari serangkaian resonator yang disusun secara seri, yaitu resonator 1 hingga resonator 5, dan rangkaian lengkapnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian LC resonator untuk penta-band LNA

Sedangkan untuk nilai Nilai Impedansi Input (Z_{in}) untuk masing masing resonator dan total resonator pada rangkaian lengkap penta-band LNA pada gambar 5 diberikan oleh persamaan :

$$Z_1 = sL_{1a} + \frac{sL_{1b}}{1+s^2L_{1b}C_1} \quad (6)$$

$$Z_2 = \frac{sL_2}{1+s^2L_2C_2} \quad (7)$$

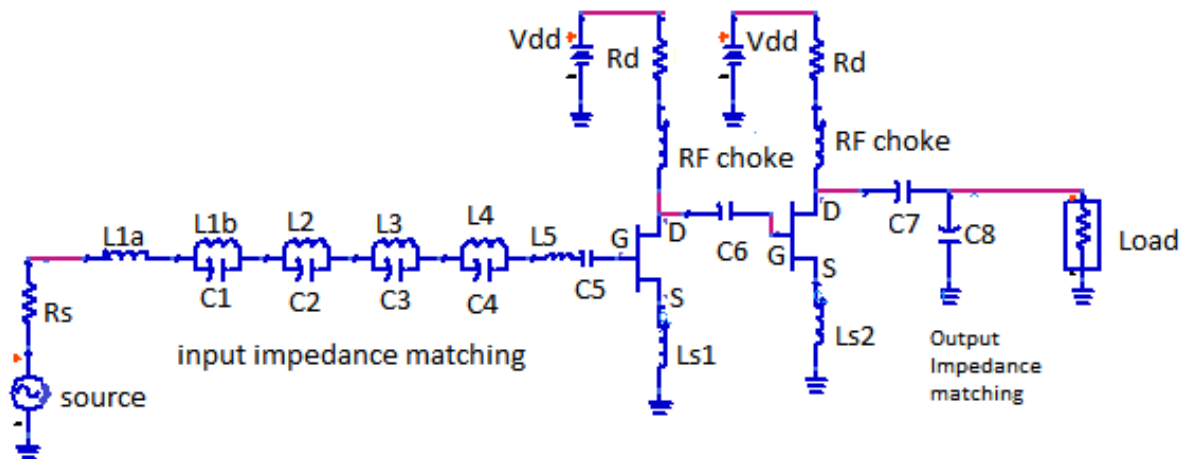
$$Z_3 = \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} \quad (8)$$

$$Z_4 = \frac{sL_4}{1+s^2L_4C_4} \quad (9)$$

$$Z_5 = sL_5 + \frac{L_5}{sC_5} \quad (10)$$

$$Z_{in} = sL_{1a} + \frac{sL_{1b}}{1+s^2L_{1b}C_1} + \frac{sL_2}{1+s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + \frac{sL_4}{1+s^2L_4C_4} + sL_5 + \frac{L_5}{sC_5} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \quad (11)$$

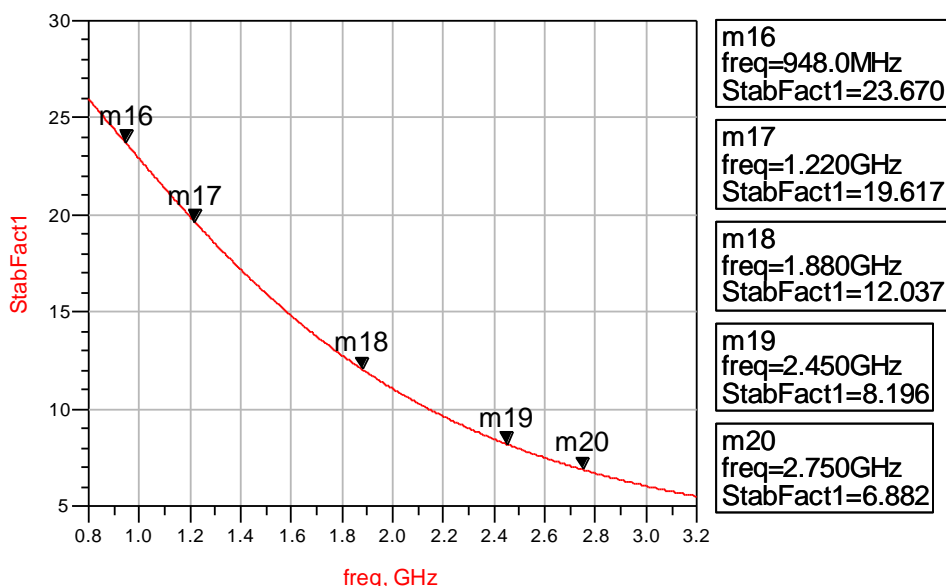
Rangkaian lengkap dari *concurrent penta-band LNA* terdiri dari *input impedance matching*, rangkaian *cascade FET transistor*, dan rangkaian *output impedance matching* seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *Concurrent penta-band LNA*

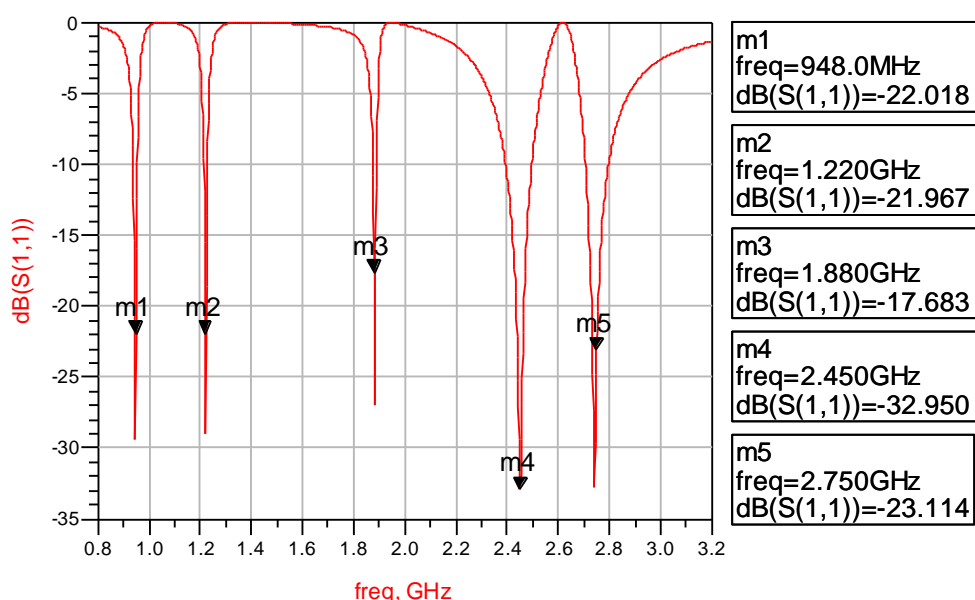
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dibahas hasil simulasi parameter *concurrent penta-band Low-Noise Amplifier* (LNA) yang meliputi aspek kestabilan (K), *input return loss* (S_{11}), *gain* (S_{21}), dan *noise figure* (NF). Hasil simulasi menunjukkan bahwa kestabilan (K) dari rangkaian *penta-band LNA* sesuai yang diharapkan dan dapat bekerja pada berbagai frekuensi ditetapkan. Pada frekuensi GSM 948 MHz, nilai K mencapai 23,670, sementara pada frekuensi GPS 1,220 GHz sebesar 19,617. Pada DECT 1,880 GHz, nilai K mencapai 12,307, dan pada frekuensi WLAN 2,450 GHz sebesar 8,196. Pada frekuensi LTE 2,750 GHz, nilai K adalah 6,882. Nilai-nilai K tersebut menunjukkan bahwa pada masing-masing frekuensi kerja, rangkaian LNA mencapai kondisi *unconditionally stable*. Hal ini diindikasikan oleh nilai K pada semua frekuensi lebih besar daripada 1.



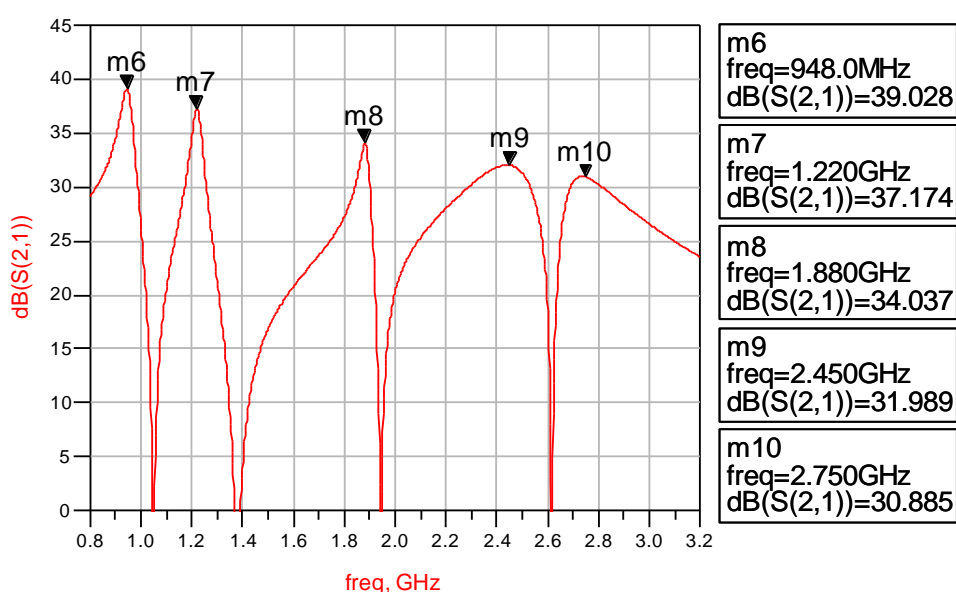
Gambar 6. Hasil simulasi factor kestabilan K

Selain itu, hasil simulasi menunjukkan nilai *return loss* (S_{11}) rangkaian *penta-band* LNA dibawah -10 dB seperti tampak pada Gambar 7. Hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa rangkaian *penta-band* LNA dapat beroperasi pada lima frekuensi yang berbeda. Pada frekuensi GSM yaitu 948 MHz dengan nilai S_{11} sebesar -22,018 dB. Sementara pada frekuensi GPS yaitu 1,220 GHz nilai S_{11} sebesar -21,967 dB. Nilai S_{11} pada DECT pada frekuensi 1,880 GHz sebesar -17,683 dB. Sementara itu, nilai S_{11} pada frekuensi WLAN 2,450 GHz sebesar -32,950 dB dan frekuensi LTE 2,750.GHz sebesar -23,114. Hasil yang dicapai pada kelima frekuensi tersebut memenuhi standar spesifikasi perancangan yaitu *return loss* lebih kecil dari -10 dB.



Gambar 7. Hasil simulasi *return loss* (S_{11})

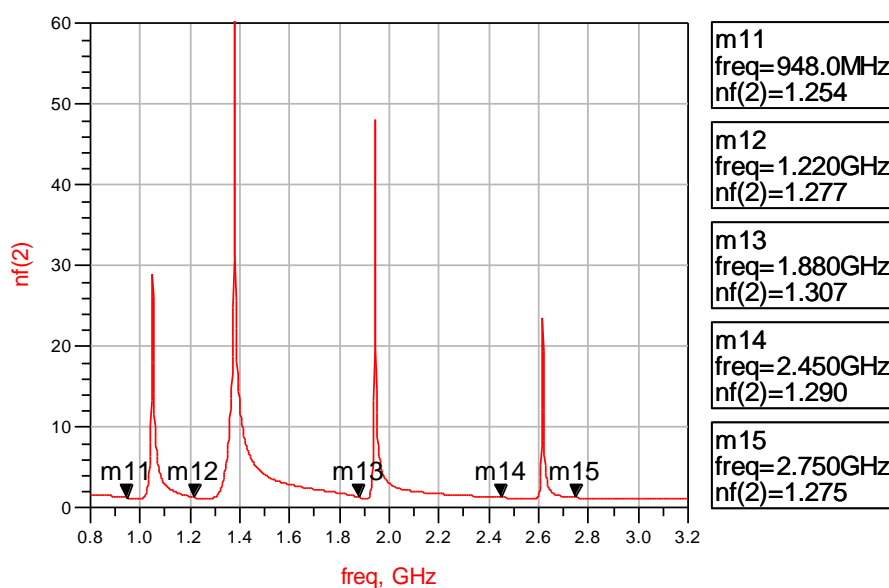
Gain (S_{21}) merupakan parameter yang menggambarkan sejauh mana LNA dapat meningkatkan level daya sinyal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *penta-band* LNA berhasil memberikan *gain* yang memadai pada frekuensi kerja yang berbeda, sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan seperti rangkaian tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil simulasi *gain* (S_{21})

Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian *penta-band* LNA mampu beroperasi pada lima frekuensi yang berbeda pada frekuensi GSM 948 MHz, nilai S_{21} sebesar 39,028 dB. Sementara pada frekuensi GPS 1,220 GHz nilai S_{21} sebesar 37,174 dB. Nilai S_{21} pada DECT 1,880 GHz sebesar 34,037 dB. Sementara itu, nilai S_{21} pada WLAN frekuensi 2,450 GHz sebesar 31,989 dB dan LTE frekuensi 2,750 GHz sebesar 30,885 dB. Hasil simulasi menunjukkan nilai *gain* pada semua frekuensi kerja bernilai antara 30 dB – 40 dB atau melampaui spesifikasi yang direncanakan dalam perancangan yaitu > 20 dB.

Parameter selanjutnya yaitu NF (*noise figure*) yang mengindikasikan tingkat kebisingan yang diperkenalkan oleh LNA ke dalam sinyal. Hasil simulasi *noise figure* rangkaian *penta-band* LNA seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil simulasi *noise figure*

Pada frekuensi GSM 948 MHz, nilai NF sebesar 1,254. Sementara pada frekuensi GPS 1,220 GHz sebesar 1,277. Nilai NF pada DECT 1,880 GHz sebesar 1,307. Sementara itu, NF pada WLAN frekuensi 2,450 GHz sebesar 1,290 dan LTE frekuensi 2,750 GHz sebesar 1,275. Hasil simulasi menunjukkan bahwa LNA mampu menjaga tingkat *noise* dibawah batas yang ditetapkan < 3 dB pada semua frekuensi. NF yang rendah diperlukan untuk menjaga kualitas sinyal yang diterima setelah diolah oleh rangkaian. Kualitas sinyal yang diterima oleh penerima sangat penting dalam sistem komunikasi. *Noise* yang berlebihan dapat mengganggu sinyal yang diinginkan, sehingga akan mempengaruhi kualitas komunikasi secara keseluruhan. Oleh karena itu, menjaga tingkat *noise* yang rendah penting dalam memastikan bahwa sinyal yang diterima tetap berkualitas dan tidak terganggu oleh *noise* yang tidak diinginkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis kinerja *penta-band* LNA pada perangkat *mobile communication* dengan frekuensi tengah 948 MHz (GSM), 1220 MHz (GPS), 1880 MHz (DECT), 2450 MHz (Bluetooth, WLAN, Wi-Fi) dan 2740 MHz (LTE) didapatkan kesimpulan (1) telah dirancang *concurrent penta-band* LNA menggunakan *LC resonator* yang dipasang secara seri antara *resonator* ke-1 sampai dengan *resonator* ke-5 dapat *matching* pada semua frekuensi yang diharapkan. Sedangkan biasing yang diterapkan pada transistor dengan cara *cascade common source degeneration* agar memiliki nilai *gain* yang tinggi. (2) Hasil simulasi kestabilan, *input return loss* (S_{11}), *gain* (S_{21}) dan *noise figure* (NF) menunjukkan performansi yang baik dan masih memenuhi spesifikasi perancangan pada kelima frekuensi kerja yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. L. Rohde, *Applications Rf/ Microwave Circuit Design for Wireless Applications*, vol. 2. 2000.
- [2] D. M. Pozar, *Microvawe Engineering*, 4th ed. New York: Wiley, 2011.
- [3] G. Wibisono, M. Wildan, J. Wahyudi, E. Widodo, and T. Firmansyah, "Co-design Structure of Dual-Band LNA and Dual-Band BPF for Radio Navigation Aid Application," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 116, Feb. 2021, doi: 10.1007/s11277-020-07754-9.
- [4] F. Fatonah, M. Wildan, S. Purnomo, and A. M. Soleh, "Design of High Gain Low Noise Amplifier at Base Station Receiver VOR Equipment for Ground Check Monitoring as Learning Media in Civil Aviation Design of High Gain Low Noise Amplifier at Base Station Receiver VOR Equipment for Ground Check Monitoring as Le," no. October, pp. 397–402, 2020.
- [5] P. Vizmuller, "RF Design Guide Systems, Circuits and Equations." p. 281, 1995.
- [6] H. Hashemi and A. Hajimiri, "Concurrent multiband low-noise amplifiers-theory, design, and applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 1, pp. 288–301, 2002, doi: 10.1109/22.981282.
- [7] C.-Y. Kao, Y.-T. Chiang, and J.-R. Yang, "A concurrent multi-band low-noise amplifier for WLAN/WiMAX applications," in *2008 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, 2008, pp. 514–517, doi: 10.1109/EIT.2008.4554357.
- [8] O. El-Gharniti, E. Kerherve, J.-B. Begueret, and D. Belot, "Concurrent Dual-Band Low Noise Amplifier for 802.11a/g WLAN applications," in *2006 13th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, 2006, pp. 66–69, doi: 10.1109/ICECS.2006.379702.
- [9] S. Datta, K. Datta, A. Dutta, and T. K. Bhattacharyya, "Fully Concurrent Dual-Band LNA Operating in 900 MHz/2.4 GHz Bands for Multi-standard Wireless Receiver with Sub-2dB Noise Figure," in *2010 3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, 2010, pp. 731–734, doi: 10.1109/ICETET.2010.21.
- [10] G. Zhiqiang, L. Dawei, H. Shiqing, H. Haisheng, and Z. Zhongzhao, "The design of dual-band CMOS low noise amplifier for wireless applications," in *Proceedings of 2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, 2011, vol. 1, pp. 675–678, doi: 10.1109/CSQRWC.2011.6037042.
- [11] P. Sulistyningrum, "Perancangan Concurrent Multiband Low Noise Amplifier Menggunakan CMOS 0.18 μm ." Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [12] S. H. Mousavi, A. Elzayat, and A. B. Kouki, "Highly compact lumped element resonators in LTCC for avionic systems," *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, pp. 4–6, 2012, doi: 10.1109/MWSYM.2012.6259696.
- [13] T. Firmansyah and G. Wibisono, "Perancangan Multiband Low Noise Amplifier (LNA) menggunakan Metode Multisection Impedance Transformer (MIT) Untuk Aplikasi GSM, WCDMA, dan LTE," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 2, no. 2, p. 69, 2016, doi: 10.36055/setrum.v2i2.448.
- [14] M. Wildan, I. Hermawan, and A. T. Prihandoyo, "Rancang Bangun High Gain Low Noise Amplifier untuk Meningkatkan Sensitifitas Receiver pada VHF Air-Ground," *J. Teknol. Penerbangan*, vol. 1, pp. 26–38, 2017.
- [15] A. Dorafshan and M. Soleimani, "High-gain cmos low noise amplifier for ultra wide-band wireless receiver," *Prog. Electromagn. Res. C*, vol. 7, pp. 183–191, 2009, doi: 10.2528/PIERC08090903.

Biodata Penulis

Muh Wildan, lahir di Purworejo, 30 Mei 1977. Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo 2007. Tahun 2014 memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro Program Pascasarjana (S2) Universitas Indonesia dengan bidang konsentrasi Teknik Telekomunikasi. Dosen tetap di Program Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug sejak tahun 2019 – sekarang.

Priyo Wibowo, dilahirkan di Magelang, 14 Oktober 1979. Sarjana Sains di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta 2004. Tahun 2014 memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro Program Pascasarjana (S2) Universitas Indonesia dengan bidang

konsentrasi Teknik Telekomunikasi. Tenaga pengajar tetap di Program Studi Teknik Industri, Universitas Pamulang sejak tahun 2016 – sekarang.

Ratna Nurmayni, lahir di Jakarta, 8 Mei 1986. Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom tahun 2008. Tahun 2015 memperoleh gelar Magister Teknik di jurusan Teknik Elektro Program Pascasarjana (S2) Universitas Indonesia dengan bidang konsentrasi Teknik Telekomunikasi. Sebagai Periset Muda di Pusat Riset Teknologi Transportasi BRIN (d.h BPPT) sejak tahun 2009 – sekarang.