UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis dan Eksperimen Rangkaian Penguat Biopotensial Berbasis Operational Transconductance Amplifier (OTA) Dua Tingkat sebagai Elemen Penyusun Larik Akuisisi Biopotensial pada CMOS 45 nm**
Yudhistira Tampati, Ir. Prapto Nugroho, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. ; Enas Dhuhri Kusuma, S.T., M.Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

# INTISARI

Sinyal biopotensial adalah tegangan listrik lemah berorde mikrovolt hingga milivolt yang timbul dari aktivitas jantung, otak, dan otot, dan direkam oleh alat kesehatan seperti perekam aktivitas listrik jantung atau elektrokardiogram (EKG); karena besarnya jauh di bawah gangguan jala-jala listrik yang muncul sama besar pada kedua elektrode, penguatnya harus memperkuat selisih tegangan kedua elektrode sekaligus menekan gangguan bersama tersebut, yaitu kemampuan yang dinyatakan oleh *common-mode rejection ratio* (CMRR), dan kebutuhan itu berlipat pada alat yang merekam banyak titik pengukuran karena setiap titik memerlukan satu kanal penguat tersendiri. Penelitian ini merancang dan menguji satu kanal penguat semacam itu, yaitu penguat selisih berbasis penguat transkonduktansi operasional atau *operational transconductance amplifier* (OTA) dua tingkat berkompensasi Miller pada teknologi rangkaian terpadu *complementary metal-oxide-semiconductor* (CMOS) 45 nm, yaitu teknologi pembuatan cip yang hemat daya dengan panjang kanal transistor 45 nm, agar keluarannya cukup besar dan cukup bersih untuk dibaca oleh pengubah analog ke digital. Simulasi pra-*layout* menghasilkan penguatan searah 51 dB, lebar pita penguatan satuan atau *unity gain bandwidth* (UGB), yaitu frekuensi saat penguatan turun menjadi satu kali, sebesar 81,01 MHz, laju perubahan tegangan keluaran 15,43 V/$\mu$s, tegangan ofset keluaran $-739{,}3$ $\mu$V, dan waktu penetapan 70,95 ns, sehingga tiga dari lima sasaran spesifikasi terpenuhi dengan selisih yang lebar, yaitu UGB, laju perubahan tegangan keluaran, dan tegangan ofset keluaran, sedangkan penguatan dan waktu penetapan belum mencapai sasaran. Karena sinyal biopotensial hanya berfrekuensi rendah, kelebihan kecepatan tersebut jauh melampaui kebutuhan, sedangkan kekurangan penguatan berdampak langsung pada ketelitian pengukuran dan menjadi sebab memanjangnya waktu penetapan sehingga menjadi parameter yang paling perlu diperbaiki, sementara keunggulan rancangan ini terletak pada tegangan ofset keluaran yang sekitar sebelas kali lebih kecil daripada rancangan pembanding pada pustaka serta pada kesederhanaan susunannya, sehingga penelitian ini menyediakan data unjuk kerja dan justifikasi perancangan yang dapat dipakai sebagai acuan dalam mengembangkan larik penguat biopotensial pada teknologi CMOS 45 nm.

**Kata kunci:** *CMOS integrated circuits, operational transconductance amplifiers, Miller compensation, bioelectric potentials, low-power electronics.*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis dan Eksperimen Rangkaian Penguat Biopotensial Berbasis Operational Transconductance Amplifier (OTA) Dua Tingkat sebagai Elemen Penyusun Larik Akuisisi Biopotensial pada CMOS 45 nm**
Yudhistira Tampati, Ir. Prapto Nugroho, S.T., M.Eng., D.Eng., IPM. ; Enas Dhuhri Kusuma, S.T., M.Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

# ABSTRACT

*Biopotential signals are weak electrical voltages, only in the microvolt to millivolt range, produced by the activity of the heart, the brain, and the muscles, and recorded by medical devices such as the electrocardiogram (ECG); because their amplitude is far smaller than power-line interference that appears equally at both electrodes, the amplifier must amplify the voltage difference between the two electrodes while suppressing that common interference, an ability expressed by the common-mode rejection ratio (CMRR), and this need multiplies in devices that record many measurement points at once, since each point requires its own amplifier channel. This research designs and evaluates one such channel, namely a difference amplifier based on a two-stage Miller-compensated operational transconductance amplifier (OTA) in 45 nm complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) integrated-circuit technology, that is, a low-power chip fabrication technology with a 45 nm transistor channel length, so that its output is large enough and clean enough to be read by an analog-to-digital converter. Pre-layout simulation yields a DC gain of 51 dB, a unity gain bandwidth (UGB), that is, the frequency at which the gain falls to unity, of 81.01 MHz, an output voltage slew rate of 15.43 V/$\mu$s, an output offset voltage of $-739.3$ $\mu$V, and a settling time of 70.95 ns, so that three of the five target specifications are met by a wide margin, namely the UGB, the slew rate, and the output offset voltage, whereas the gain and the settling time fall short. Because biopotential signals occupy only low frequencies, the surplus speed far exceeds what is required, whereas the gain shortfall directly affects measurement accuracy and is the reason the settling time is prolonged, making the gain the parameter most in need of improvement, while the strength of this design lies in an output offset voltage about eleven times smaller than that of a comparable design in the literature and in the simplicity of its topology; this study therefore provides performance data and design justification that can serve as a reference for developing biopotential amplifier arrays in 45 nm CMOS technology.*

**Keywords:** CMOS integrated circuits, operational transconductance amplifiers, Miller compensation, bioelectric potentials, low-power electronics.