

# Pemodelan struktur fiber core multi-segmen untuk peningkatan kinerja pada sistem transmisi optik rentang panjang tanpa repeater = Modeling of multi-segment fiber core structure for performance enhancement of unrepeated ultra-long span optical transmission systems

Ibrahim Syuaib, author

Deskripsi Lengkap: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20508909&lokasi=lokal>

---

## Abstrak

Dalam kurun beberapa tahun ini telah terjadi pertumbuhan eksponensial terus-menerus dalam permintaan transmisi serat optik untuk aplikasi penghubung antar pulau, sistem fiber darat melewati bibir pantai (*festoon*), dan penggunaan transmisi terestrial rentang panjang untuk daerah terpencil. Sistem transmisi rentang panjang tanpa repeater dengan menggunakan amplifikasi Raman terdistribusi adalah solusi hemat biaya untuk menjembatani jarak transmisi beberapa ratus kilometer. Kerr nonlinier distorsi dan Raman amplifier noise telah diidentifikasi sebagai dua faktor kendala utama dalam meningkatkan performansi transmisi dan peningkatan jarak jangkauan. *Konfigurasi fiber core hibrida* yang terbentuk dari struktur tiga segmen diusulkan sebagai alternatif pengganti atas *fiber core konvensional berstruktur homogen satu segmen*. Karena ukuran fiber core dapat berubah sepanjang propagasi, maka rumus baku amplifikasi Raman harus ditulis ulang menjadi rumus umum dimana ukuran fiber core tidak lagi merupakan nilai konstan tetapi variabel atas jarak sepanjang propagasi. Dengan menggunakan persamaan Raman standar dan penulisan ulang ukuran fiber core (*fiber effective core area*) sebagai fungsi jarak propagasi, maka *penelitian ini mengusulkan pemodelan rumusan umum yang baru (new generalized formula)* agar sesuai untuk diaplikasikan pada sistem dengan struktur multi-segmen. Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa perbaikan atas *nonlinear phase shift* dan *optical signal-to-noise ratio* (OSNR) dapat dicapai secara bersamaan. Pencapaian ini tidak mungkin didapat jika hanya menggunakan struktur konvensional dengan fiber core tunggal (homogen). Dilakukan simulasi untuk mengetahui peningkatan kinerja transmisi dan perpanjangan jarak transmisi rentang panjang tanpa menggunakan repeater. Penggunaan fiber core hibrida dengan struktur tiga segmen mengindikasikan adanya peningkatan fleksibilitas *gain profile* pada sistem transmisi menggunakan Raman amplifier-terdistribusi, pengurangan dampak negatif dari efek nonlinier Kerr yang disebabkan oleh tingginya sinyal power, dan peningkatan OSNR yang disebabkan oleh penurunan *amplified spontaneous emissions* (ASE) dari Raman pump. Rentang transmisi tiga segmen dengan inti serat optik berstruktur hibrida dapat *mengurangi akumulasi nonlinear phase shift sebesar 1.29 radian, meningkatkan OSNR sebesar 0.31 dB*, dan meningkatkan performansi transmisi atas sinyal bermodulasi DQPSK dibandingkan dengan fiber core konvensional berstruktur tunggal. Hasil simulasi performansi BER pada sinyal berkecepatan 80 Gb/s menunjukkan *penurunan OSNR yang dibutuhkan sebesar 2.71 dB* untuk target BER sebesar  $10^{-9}$ . Dilakukan pengujian atas BER performansi untuk berbagai kecepatan data (40, 60, 80, dan 100 Gb/s) dengan hasil yang menunjukkan stabilitas dan konsistensi kinerja sistem untuk berbagai kecepatan data yang berbeda. Studi analitik dan simulasi kanal-tunggal pada panjang gelombang tunggal dengan menggunakan fiber core tiga segmen berstruktur hibrida

ini dapat digunakan sebagai pedoman dasar untuk studi lebih lanjut untuk skema amplifikasi broadband Raman multi-kanal multi-panjang gelombang. Selanjutnya dalam penelitian ini, berdasarkan pemodelan amplifikasi Raman terdistribusi dua arah dilakukan pengujian *gain profile* atas berbagai kemungkinan perbandingan power antara *forward pump* dan *backward pump*. Dilakukan peninjauan analitik atas pengaruh dari ukuran fiber core dan distorsi sinyal akibat Kerr nonlinier efek. Studi ini menunjukkan bahwa *penggunaan inti serat optik berukuran besar dapat menghasilkan OSNR yang lebih tinggi dan nonlinear phase shift yang lebih kecil* dibandingkan dengan yang berukuran kecil, oleh karena itu fiber core berukuran besar dapat diharapkan memberikan kinerja transmisi yang lebih baik dibandingkan dengan fiber core berukuran kecil. Dua jenis bentuk pulsa (NRZ dan RZ) dimodelkan dan disimulasikan untuk mengurangi distorsi nonlinier dan meningkatkan kinerja transmisi serat kemungkinan untuk memperpanjang jarak transmisi sistem rentang panjang. Hasil simulasi 40 Gb/s dengan modulasi DPSK berjarak 400 km menggunakan fiber  $150 \mu\text{m}^2$  menunjukkan bahwa target BER sebesar  $10^{-9}$  dapat dicapai oleh sinyal dengan bentuk pulsa RZ dengan OSNR pinalti sebesar 2.90 dB dibandingkan pulsa NRZ dengan OSNR pinalti sebesar 4.68 dB, hal ini menunjukkan *pengurangan OSNR pinalti sebesar 1.78 dB untuk pulsa RZ*. Pengaturan sinyal power yang tepat pada titik transmit sangat penting untuk mencapai penanganan noise yang lebih baik serta mendapatkan tingkat OSNR yang mencukupi pada sisi penerima. Dilakukan penyelidikan atas dampak dari fluktuasi input power terhadap performansi transmisi. Jika input power berfluktuasi dari nilai optimum (seperti 0 dBm pada simulasi ini), maka *fiber dengan ukuran effective core area yang lebih besar dan menggunakan sinyal dengan pulsa RZ akan memberikan toleransi yang lebih baik atas perubahan input power* dan memberikan transmisi pinalti lebih kecil, hal ini sangat cocok untuk transmisi rentang panjang.

Over the years, there has been continual exponential growth in the demand for optical fiber transmission for applications in the areas of inter-island hopping, coastal festoon systems, and the use of single ultra-long span terrestrial links in remote regions. Ultra-long span unrepeated systems using distributed Raman amplification are cost-effective solutions for bridging several hundred kilometers transmission distances. Kerr nonlinear distortion and Raman amplifier noise have been identified as two major limiting factors in improving the transmission performance and extending reachable distance. *A configuration of a hybrid fiber effective core area consisting of a three-segment structure was proposed as an alternative to conventional single-segment fiber effective core area structure*. Since the value of the fiber effective core area changes along the propagation distance, the standard Raman amplification formulas should be rewritten to generalized formulas where the fiber effective core area is no longer a constant value but a function of propagation distance. Based on standard Raman coupled equations and rewriting the fiber effective core area as a function of propagation distance, *the new generalized formulas suitable for the multi-segment structure have been modeled and proposed in this study*. The numerical analysis results show that improvements to the nonlinear phase shift and optical signal-to-noise ratio (OSNR) can be achieved simultaneously. This achievement would be impossible with the sole use of a conventional single fiber core structure. An improvement of the transmission performance and the possibility to extend the transmission distance of unrepeated ultra-long span system were simulated. The introduction of a hybrid fiber effective core area in a three-segment structure indicated an increase in the flexibility of the gain profile of the distributed Raman amplified link, a reduction of the negative impact of the nonlinear Kerr effect due to the high signal power, and improvement of the delivered OSNR by means of the reduction of the Raman optical pump-induced amplified

spontaneous emissions (ASE). The three-segment transmission span with the hybrid fiber effective core area reduced the accumulated nonlinear phase shift by 1.29 radian, increased the delivered OSNR by 0.31 dB, and improved the transmission performance of the DQPSK-modulated signal compared to the conventional single fiber core structure. The simulated BER performance of the 80 Gb/s data signal showed the reduction of the required OSNR by 2.71 dB to achieve the target BER of  $10^{-9}$ . BER performance for various data rates (40, 60, 80, and 100 Gb/s) was examined, and the results showed the stability and consistency of the system performance across different data rates. These single-channel analytical and simulation studies on a three-segment hybrid fiber effective core area structure could be used as basic guidelines for further studies on the multi-channel broadband multi-wavelength Raman amplification scheme. Furthermore in this study, the gain profiles of various forward and backward pump power ratios are examined based on bidirectional pumped distributed Raman amplification model. The impact of fiber effective core area to amplification gain of bidirectional Raman, signal distortion due to Kerr nonlinear effect, Raman amplifier induced noise, and optical signal-to-noise ratio are analytically investigated. This study shows that a large effective core area fiber provides higher OSNR and smaller nonlinear phase shift compare to a small one. Therefore a large effective core area fibers can be expected to provide a better transmission performance compared to a small effective core area fiber. Two types of pulse shapes (NRZ and RZ) are modeled and simulated to reduce the nonlinear distortion and improve the transmission performance and the possibility to extend the transmission distance of ultra-long span system. Simulation of DBPSK modulated signal at a data rate of 40 Gb/s for 400 km transmission link using a large effective core fiber  $150 \mu\text{m}^2$  shows that the target BER of  $10^{-9}$  can be achieved by RZ pulse shaped signal with OSNR penalty at 2.90 dB compared to NRZ pulse at 4.68 dB, a significant OSNR penalty reduction of 1.78 dB on RZ pulse. An appropriate setting of the signal power level at the fiber launching point is important to achieve better noise performance to get an acceptable OSNR level at the receiver. The impact of input power fluctuation on the transmission performance and required OSNR are investigated. When the input power fluctuates from the optimum value (such as 0 dBm on our simulation), the fiber with a larger effective core area and signal in RZ pulse shape has better input power tolerance and less transmission penalty that is suitable for bidirectional Raman amplified ultra-long span systems.