

# Analisa *Bit Error Rate* (BER) pada Penggunaan Modulasi Digital PSK dan QAM untuk Sistem Komunikasi Satelit UAV

Yanuar Prabowo, Nurul Chasanah, Rudi C Anwar,  
Abdul Rohman, Abdurrasyid Ruhiyat

yanuar.prabowo@lapan.go.id  
(29 Desember 2020)

---

## ABSTRAK

Potensi perkembangan teknologi UAV di Indonesia saat ini sudah mulai tumbuh dengan baik, yang mulai dilakukan oleh pemerintah maupun swasta. Pusat teknologi penerbangan LAPAN sebagai Litbangjirap pemerintah juga telah mengembangkan berbagai varian dari UAV yang dinamai LSU (LAPAN *Surveillance* UAV). Bersama dengan beberapa lembaga pemerintahan lain, saat ini sedang dilakukan pula pengerjaan pembuatan UAV kelas MALE dengan nama Elang Hitam. Misi yang diemban oleh UAV baik itu MALE atau yang lainnya adalah pemantauan (*surveillance*). Dalam melakukan misinya, sistem sangat dipengaruhi oleh jarak jangkauan dari modul komunikasi yang terpasang pada wahana. Semakin luas wilayah yang akan dipantau akan memerlukan sistem komunikasi yang memiliki jangkauan yang jauh juga. Salah satu solusi yang dapat diberikan untuk menyelesaikan hal tersebut adalah menggunakan sistem komunikasi satelit. Modulasi digital yang digunakan untuk simulasi ini adalah modulasi M-PSK (QPSK) dan M-QAM (4QAM, 16QAM). Penelitian tentang BER *Performance* dengan modulasi QPSK dan QAM banyak dilakukan salah satunya pada aplikasi STBC MIMO yang menyatakan banyaknya antena pada *transmitter* dan *receiver* yang digunakan akan menurunkan nilai BER pada kedua tipe modulasi tersebut<sup>[6]</sup>. Pemilihan modulasi

yang akan disimulasikan disesuaikan dengan penggunaan modem perangkat satelit komunikasi<sup>[4,5]</sup>. Salah satu satelit komunikasi di Indonesia Telkom 1 misalnya juga support untuk teknik modulasi digital ini yaitu QPSK, 8PSK dan 16 QAM<sup>[7]</sup>. Dari ketiga modulasi yang digunakan pada simulasi ini akan diketahui performansi Probabilitas bit error atau BER (Bit Error Rate) nya terhadap SNR yang dibutuhkan dalam mendesain sistem komunikasi satelit Nilai-nilai ini akan menjadi masukan pada perhitungan *link budget* desain satelit komunikasi khususnya untuk komunikasi *long range* UAV.

**Kata Kunci:** BER, MALE, Sistem Komunikasi, UAV, QPSK, QAM

### *ABSTRACT*

*UAV technology development in Indonesia has begun to grow, both by the government and private sector. LAPAN Aeronautics Technology Center, a government research institution, has also developed various UAV variants named LSU (LAPAN Surveillance UAV). Joining with several other government agencies, currently, LAPAN work on the manufacture of MALE-class UAVs under Elang Hitam's name. Whether it is MALE or others, the mission carried out by the UAV is monitoring (surveillance). In carrying out its mission, the system is strongly influenced by the distance from the communication module attached to the vehicle. The wider the area to be monitored will require a communication system that has a long-range as well. One solution that can be given to solve this is to use a satellite communication system. This digital modulation used M-PSK (QPSK) and M-QAM modulation (4QAM, 16QAM). Research on BER performance with QPSK and QAM modulation is carried out, one of which is in the MIMO STBC application, which states that the number of antennas on the transmitter and receiver used will decrease the BER value in both types of modulation. The selection of modulation to be simulated is completed with the use of a modem communication satellite device. One of the communication satellites in Indonesia, Telkom 1, also supports digital modulation techniques such as QPSK, 8PSK, and 16 QAM<sup>7</sup>. The probability bit error or BER (Bit Error Rate) to SNR is required to design a satellite communication system between the three modulations used in this simulation. These values will be input on the calculation of budget link design of communication satellites, especially for long-range UAV communication.*

**Keywords:** BER, MALE, Communication System, UAV, QPSK, QAM

# 1. Pendahuluan

## 1.1. Latar belakang

Perkembangan UAV beberapa tahun terakhir sangat pesat, banyak negarane-negara di dunia mengaplikasikan UAV untuk berbagai keperluan baik untuk aplikasi militer maupun aplikasi sipil. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan hampir 70% wilayahnya terdiri dari lautan dengan berbagai potensi salah satunya perikanan<sup>[1]</sup>, sudah selayaknya memiliki UAV yang dapat digunakan untuk memantau wilayahnya dari berbagai ancaman. Potensi perkembangan teknologi UAV di Indonesia saat ini juga sudah mulai tumbuh baik dilakukan oleh pemerintah maupun swasta. Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN sebagai litbangjirap pemerintah juga telah mengembangkan berbagai varian dari UAV yang dinamai LSU (*LAPAN Surveillance UAV*)<sup>[2]</sup>. Selain itu konsorsium MALE (*Medium Altitude Long Endurance*) Nasional yang beranggotakan Kementerian Pertahanan Republik Indonesia (Ditjen Pothan dan Balitbang), TNI Angkatan Udara (Dislitbang AU), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), PT Dirgantara Indonesia, PT Lembaga Elektronik Nasional (PT LEN), serta Institut Teknologi Bandung (ITB) juga sedang mengerjakan pembuatan UAV kelas MALE dengan nama Elang Hitam.

Misi yang diemban oleh UAV baik itu MALE atau yang lainnya adalah pemantauan (*surveillance*). Dalam melakukan misi tersebut sangat dipengaruhi oleh jarak jangkauan dari sistem komunikasi yang terpasang pada wahana. Semakin luas wilayah yang akan dipantau akan memerlukan sistem komunikasi yang memiliki jangkauan yang jauh juga. Salah satu solusi yang dapat diberikan untuk menyelesaikan hal tersebut adalah menggunakan sistem komunikasi satelit.

Satelit yang akan digunakan dalam pengembangan sistem komunikasi adalah satelit *Geostationer* dengan frekuensi kerja di *Ku-band*. Satelit *Geostationer* adalah satelit yang memiliki orbit dengan ketinggian sekitar 36.000 km dari bumi<sup>3</sup>. Kecepatan gerak orbit tersebut sesuai dengan kecepatan gerak bumi, sehingga mengakibatkan satelit tersebut akan selalu berada di atas posisi tempat orbitnya berada. Pemilihan satelit tersebut karena rata-rata satelit komunikasi yang dimiliki oleh Indonesia adalah di orbit GEO. Sedangkan frekuensi *Ku-band* dipilih karena dengan frekuensi tersebut masih memungkinkan penggunaan antena yang kecil yang akan ditempatkan pada UAV dengan diameter antena sekitar 0,45 – 0,6 cm dan frekuensi tersebut mampu memberikan *bandwidth* yang cukup besar<sup>[4, 5]</sup>.

Modulasi digital yang digunakan untuk simulasi ini adalah modulasi M-PSK (QPSK) dan M-QAM (4QAM, 16QAM). Penelitian tentang BER Performance dengan modulasi QPSK dan QAM banyak dilakukan salah satunya pada aplikasi STBC MIMO yang menyatakan banyaknya antena pada transmitter dan receiver yang digunakan akan menurunkan nilai BER pada kedua tipe modulasi tersebut<sup>[6]</sup>. Pemilihan modulasi yang akan disimulasikan disesuaikan dengan penggunaan modem perangkat satelit komunikasi<sup>[4, 5]</sup>. Salah satu satelit komunikasi di Indonesia Telkom 1 misalnya juga support untuk teknik modulasi digital ini yaitu QPSK, 8PSK dan 16 QAM<sup>7</sup>. Dari ketiga modulasi yang digunakan pada simulasi ini akan diketahui performansi Probabilitas bit error atau BER (*Bit Error Rate*) nya terhadap SNR yang dibutuhkan dalam mendesain sistem komunikasi satelit. Nilai-nilai ini akan menjadi masukan pada perhitungan link budget desain satelit komunikasi khususnya untuk komunikasi long range UAV.

## 1.2. Masalah penelitian

Masalah penelitian tentang penggunaan modulasi digital ini adalah karena misi terbang UAV memerlukan sistem komunikasi jarak jauh untuk memenuhi misi terbangnya. Untuk memenuhi sistem komunikasi jarak

jauh maka diperlukan suatu analisa model sistem komunikasi yang akan digunakan, salah satu poin dari sistem komunikasi adalah penggunaan modulasi karena setiap data yang dikirimkan harus melalui proses modulasi sebelum ditransmisikan melalui transmitter dan diterima oleh *receiver*.

### 1.3. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengetahui kinerja dari modulasi yang akan digunakan pada modem komunikasi satelit untuk mendapatkan desain link komunikasi satelit yang baik.
2. Membantu dalam mendesain *link budget* dalam komunikasi satelit khususnya untuk UAV.

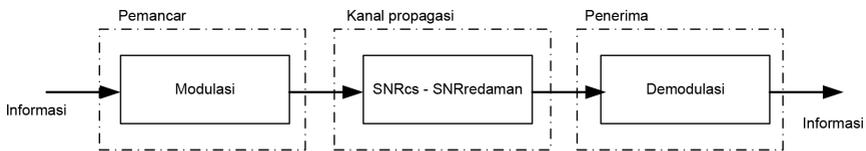
### 1.4. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan masukan awal untuk mendesain link sistem komunikasi satelit pada UAV
2. Menambah pengetahuan bagi tim komunikasi dalam memahami sistem komunikasi khususnya komunikasi satelit.

## 2. Metodologi

Metodologi yang dilakukan untuk mengetahui nilai BER dari modulasi yang digunakan adalah menggunakan pendekatan *analytical* dengan membuat model sistem dan mensimulasikan model tersebut melalui matlab. Model sistem komunikasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



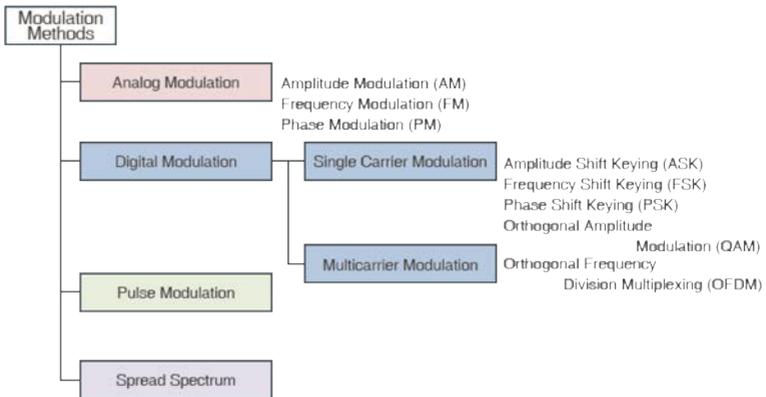
**Gambar 1.** Model sederhana sistem komunikasi

Modulasi yang digunakan pada model sistem komunikasi ini adalah QPSK, 4QAM dan 16 QAM. Modulasi ini sering dipakai pada sistem komunikasi satelit. Kanal propagasi yang disimulasikan di sini adalah kondisi ideal ketika clear sky, sehingga belum ada nilai redaman yang mengganggu dari kanal propagasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai SNR minimal yang dibutuhkan sistem komunikasi agar dapat bekerja dengan baik untuk mendapatkan Bit Error Rate tertentu yang diinginkan oleh sistem yang dibangun.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Modulasi

Modulasi merupakan proses perubahan karakteristik dari suatu sinyal dengan sinyal yang lain. Sinyal yang mengalami perubahan tersebut disebut sinyal carrier (pembawa), sedangkan sinyal yang melakukan perubahan adalah sinyal informasi<sup>[8]</sup>. Ada beberapa macam modulasi pada sistem komunikasi yaitu modulasi analog seperti AM (*Analog Modulation*), FM (*Frequency Modulation*), PM (*Phase Modulation*) dan modulasi digital seperti FSK (*Frequency Shift Keying*), PSK (*Phase Shift Keying*), QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)<sup>[9]</sup>, lihat Gambar 2.



**Gambar 2.** Macam-macam Modulasi Komunikasi [9]

Pada penulisan kali ini akan dianalisa penggunaan modulasi digital M-PSK dan M-QAM terhadap nilai probabilitas error dengan *signal noise ratio*.

### 3.2. Modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)

Modulasi QPSK merupakan salah satu modulasi dari M-PSK. Pada modulasi QPSK sinyal pembawa mempresentasikan keadaan fasa untuk menyatakan simbol dari bit sinyal informasi. QPSK memiliki empat symbol untuk merepresentasikan bit informasi, satu symbol QPSK terdiri dari dua bit yaitu “00”, “01”, “10” dan “11”. Setiap dua bit akan mengalami perubahan fasa sebesar 90°. Nilai *probability of bit error* ( $P_b$ ) dari modulasi QPSK dapat dirumuskan sebagai berikut<sup>[7]</sup>:

$$P_b = Q\left[\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right] \quad (1)$$

Dimana

$P_b$  : Probabilitas *bit error*

$E_b$  : *energy per bit*

$N_o$  : rapat daya derau sistem

Modulasi ini merupakan teknik modulasi yang paling banyak digunakan, karena tidak rumit, konsumsi daya yang stabil dan bandwidth yang efisien<sup>[10]</sup>. Dengan teknik modulasi QPSK, sinyal dapat membawa informasi dua kali lebih banyak dari PSK biasa atau BPSK dengan menggunakan bandwidth yang sama<sup>[10]</sup>.

### 3.3. Modulasi M-QAM

Modulasi QAM merupakan modulasi yang menggabungkan modulasi ASK (*Amplitude Shift Keying*) dan FSK (*Frequency Shift Keying*). Probabilitas simbol error untuk sinyal MQAM (Mgenap) dalam noise Gaussian adalah sebagai berikut<sup>[11]</sup>

$$P_e = 2 \left\{ \frac{\sqrt{M} - 1}{\sqrt{M}} \right\} \left[ 1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3T_0 B}{2(M-1)} \left( \frac{S}{N} \right)} \right] \quad (2)$$

Dimana S adalah daya rata-rata sinyal carrier yang diterima terhadap periode simbol, dan N adalah daya noise yang ternormalisasi pada bandwidth (B) Hz. Untuk pemetaan kode gray dari bit-bit sepanjang *inphase* dan *quadrature* dari konstelasi QAM, maka probabilitas bit error  $P_b$  diberikan pendekatan sebagai berikut<sup>[11]</sup>:

$$P_b \approx \frac{P_e}{\log_2 M} \quad (3)$$

Dimana  $P_b$  adalah Probabilitas bit error dan  $P_e$  adalah Probabilitas simbol error, maka probabilitas dari bit kesalahan QAM dapat dinyatakan<sup>[11]</sup>:

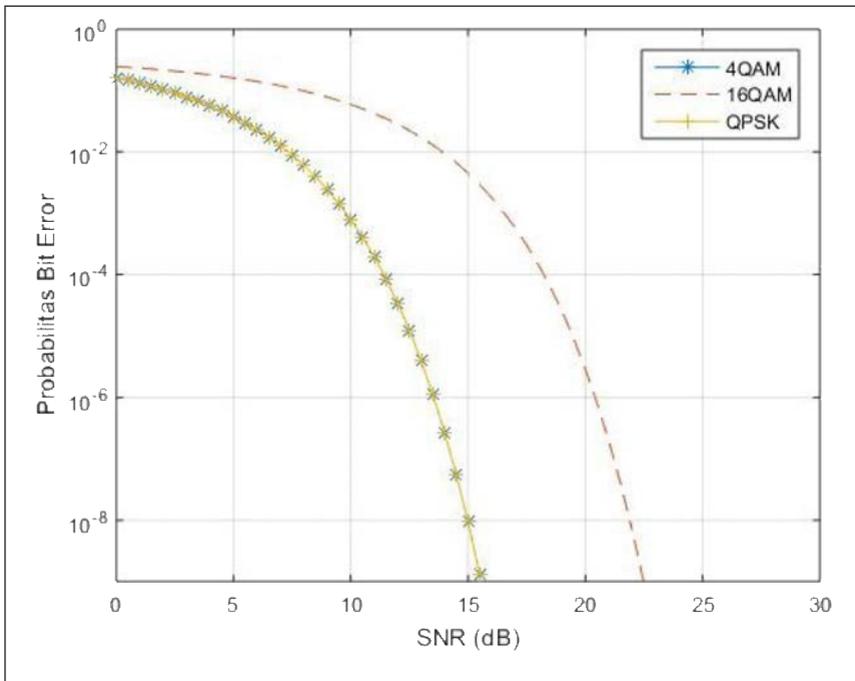
$$P_b = \frac{2}{\log_2 M} \left\{ \frac{\sqrt{M} - 1}{\sqrt{M}} \right\} \left[ 1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2(M-1)} \left( \frac{E_b}{N_0} \right)} \right] \quad (4)$$

Keuntungan menggunakan QAM adalah bentuk modulasi yang lebih tinggi dan sebagai hasilnya dapat membawa lebih banyak bit informasi per simbol. Dengan memilih format order QAM yang lebih tinggi, kecepatan data sebuah link dapat ditingkatkan<sup>[12]</sup>.

### 3.4. Hasil simulasi

Probabilitas *bit error* adalah suatu nilai perbandingan antara jumlah bit yang error yang diterima oleh penerima terhadap jumlah bit yang dikirim. Misalkan BER  $10^{-6}$ , maka dapat diartikan hanya boleh terdapat 1 bit error yang diterima oleh penerima dalam proses pengiriman 1 juta data.

Dari rumus modulasi QPSK dan M-QAM di atas, maka disimulasikan semua modulasi yang digunakan yaitu QPSK, 4-QAM dan 16-QAM. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 3.** Grafik probabilitas error modulasi PSK dan QAM

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai modulasi yang digunakan akan membutuhkan nilai SNR yang semakin besar pula sesuai dengan target probabilitas bit error atau BER (*Bit Error Rate*) yang diinginkan oleh sistem komunikasi yang akan didesain. Perbandingan SNR dengan Probabilitas *Bit Error* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 1.** Perbandingan nilai SNR sesuai modulasi yang digunakan

Probabilitas Bit Error	SNR (dB)		
	QPSK	4QAM	16QAM
$10^{-9}$	15,5	15,5	22,5
$10^{-6}$	13,5	13,5	20,5
$10^{-4}$	11,5	11,5	18,3

Dari tabel dapat lebih detail diketahui bahwa untuk mendapatkan nilai probabilitas bit error atau BER dengan nilai  $10^{-9}$  pada modulasi QPSK memerlukan SNR pada *receiver* sebesar 15,5dB; pada 4QAM sebesar 15,5dB dan pada 16QAM sebesar 22,5dB. Untuk BER dengan nilai  $10^{-6}$  pada modulasi QPSK memerlukan SNR pada receiver sebesar 13,5dB; pada 4QAM sebesar 13,5dB dan pada 16QAM sebesar 20,5dB. Sedangkan untuk BER dengan nilai  $10^{-4}$  pada modulasi QPSK memerlukan SNR pada receiver sebesar 11,5dB; pada 4QAM sebesar 11,5dB dan pada 16QAM sebesar 18,5dB. Nilai SNR pada modulasi QPSK dan QAM pada BER tertentu memiliki kesamaan nilai, hal ini dikarenakan kedua modulasi tersebut memiliki kesamaan dalam merepresentasikan bit dalam simbol yaitu 2 bit dalam 1 simbol. Sedangkan untuk 16QAM terdapat 4 bit dalam 1 simbol. Sehingga 16QAM memerlukan SNR yang lebih besar karena memerlukan energi bit yang lebih banyak dalam merepresentasikan bit ke simbol tersebut.

## 4. Penutup

### 4.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

3. Semakin besar modulasi yang digunakan akan membutuhkan SNR yang besar pada penggunaan probabilitas bit error atau BER yang diinginkan
4. Modulasi yang memerlukan nilai SNR paling besar untuk mendapatkan BER tertentu  $10^{-9}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-4}$  adalah 16QAM
5. Nilai prediksi SNR ini akan menjadi masukan dalam mendesain link budget sistem komunikasi satelit khususnya UAV

### 4.2. Saran

Saran dan perbaikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Menambahkan nilai redaman dalam kanal propagasi agar dapat lebih mendekati nilai riil sistem komunikasi satelit yang akan digunakan
2. Menambahkan mode *coding* pada sistem komunikasi yang akan didesain
3. Memperbanyak perbandingan modulasi pada simulasi agar dapat membantu dalam menentukan modulasi yang paling efisien digunakan

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Penerbangan, Koordinator Program dan Fasilitas Pusat Teknologi Penerbangan, dan Majelis Peneliti Utama (MPU) Pusat Teknologi Penerbangan atas dukungan dalam peran Pustekbang dalam penguasaan Teknologi aeronautika serta segenap tim Program Sistem Komunikasi - MALE yang telah banyak berpartisipasi untuk berdiskusi dan menyusun paper ini.

## Daftar Pustaka

- [1] A. Q. Jaelani, U. Basuki “Illegal, Unreported, Unregulated (IUU) Fishing: Upaya Mencegah dan Memberantas Illegal Fishing Dalam Membangun Poros Maritim Indonesia.” *Jurnal Supremasi Hukum*, Volume 3 No. 1, Juni 2014
- [2] A. Bintoro, “Laporan Pelaksanaan Program Litbangyasa PUSTEKBANG 2016: Kajian Sertifikasi LSU, Pengembangan Laboratorium Pustekbang dan Misi LSU-03.” Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN, Bogor, 2016
- [3] <https://www.itu.int/newsarchive/wtpf96/fact>.
- [4] Datasheet, Ctech Airborne Terminal Dev-Ku-18, Broadband Satcom-on-the-move, Turkey
- [5] Datasheet, Kingsat Maritime Antennas KM-P6, Guangzhou, PRC
- [6] Sarnin S Suzi, Sulang M S, AsaÁri H A Nurhuda, “BER Performance of QAM and QPSK Modulation Technique for DCT Based Channel Estimation of STBC MIMO OFDM”, *ICMIE 2016*, DOI : 10.1051/mateconf/20167506002
- [7] Ariyanti S, Purwanto A Budi, “Analisis kinerja penggunaan modulasi QPSK, 8PSK, 16QAM pada satelit Telkom-1”, *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, Vol.11 No.1 Maret 2013 : 45-64
- [8] <https://www.ukessays.com/essays/computer-science/modulation-systems-used-in-satellite-communications-ii-computer-science-essay.php>
- [9] “Modulation Method Classification”, Rohm, 16 Nov. 2020, <https://www.rohm.com/electronics-basics/wireless/modulation-methods>
- [10] Sharief N, Areej S, Rawan Y, “Study of QPSK Modulator and Demodulator in Wireless Communication System using Wireless Communication System using MATLAB”, *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM)* – eISSN: 1865-7923, vol 7, no.2. 2013.
- [11] Glover, I, Grant, P, *Digital Communications*, Prentice Hall, Chapter 11, hal 394, 1998.
- [12] “QAM Formats: 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM,” *Electronics-notes*. 17 Nov 2020, <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/quadrature-amplitude-modulation-types-8qam-16qam-32qam-64qam-128qam-256qam.php>