

# KLASIFIKASI MODULASI DIGITAL MENGGUNAKAN KOMBINASI TEKNIK FUZZY CLUSTERING DAN TEMPLATE MATCHING SEBAGAI PENGENALAN POLA

Anggun Fitrian Isnawati

Program Studi Teknik Telekomunikasi, STT Telematika Telkom Purwokerto

Jl. D.I Panjaitan No. 128 Purwokerto, Telp: (0281) 641629

[anggun@stttelematikatelkom.ac.id](mailto:anggun@stttelematikatelkom.ac.id)

## ABSTRAK

Sebagian besar pendekatan untuk pengenalan dan klasifikasi modulasi telah didirikan pada komponen sinyal termulasi. Dalam tulisan ini, akan dikembangkan algoritma untuk klasifikasi modulasi menggunakan teknik *clustering Fuzzy C. Means* (FCM) yang mempertimbangkan konstelasi sinyal yang diterima untuk mengidentifikasi jenis modulasi yang dipakai pada komunikasi nirkabel. Identifikasi pola menggunakan template matching dan diperoleh hasil dengan tingkat kecocokan yang tinggi pada semua tipe modulasi yang digunakan.

*Keywords*— klasifikasi, modulasi, *clustering*, FCM, konstelasi

## I. PENDAHULUAN

Klasifikasi Modulasi (Modulation Classification - MC) merupakan subjek penting dalam militer dan aplikasi komunikasi komersial. Ini adalah masalah yang menantang, terutama di lingkungan yang non-kooperatif. Tujuan klasifikasi modulasi adalah untuk mengidentifikasi jenis modulasi dari komunikasi sinyal. Hal ini berperan penting dalam banyak aplikasi komunikasi seperti perangkat lunak radio, modem cerdas, dan sistem pengawasan elektronik. Dalam banyak situasi komunikasi militer seperti pengintaian, pengawasan dan elektronik peperangan, suatu langkah yang sangat diperlukan adalah untuk mengklasifikasikan secara otomatis jenis modulasi dari sinyal yang diterima [1].

Pengenalan modulasi otomatis memainkan peran penting dalam bidang sipil seperti identifikasi gangguan dan manajemen spektrum. Pengenalan jenis modulasi dari sinyal yang tidak diketahui memberikan pemahaman yang berharga mengenai struktur, asal dan sifat-sifatnya. Klasifikasi otomatis modulasi

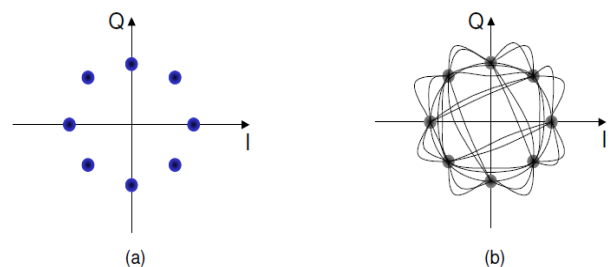
digunakan untuk spektrum pengawasan dan manajemen, identifikasi gangguan, evaluasi ancaman militer, sumber identifikasi dan banyak lainnya. Misalnya, jika jenis modulasi sinyal dicegat dan diekstrak. Aplikasi lain mungkin termasuk identifikasi sinyal sumber. Hal ini terutama berlaku untuk komunikasi nirkabel di mana berbagai layanan mengikuti standar modulasi yang sudah terkenal. Ada lagi penggunaan untuk aplikasi perkotaan dan militer dan baru-baru ini telah menarik banyak perhatian yang memungkinkan untuk membangun Intelligent penerima yang dapat mengenali jenis modulasi tanpa mengetahui informasi terlebih dahulu dari sinyal transmisi. Demikian cerdas pemancar-penerima tampaknya dapat memilih jenis modulasi yang paling tepat untuk mengirimkan informasi karena kondisi lingkungan dan saluran komunikatif, dan juga penerima dapat mengenali perubahan jenis modulasi segera. Oleh karena itu, dalam subjek komunikasi, transparansi dikembangkan karena jenis modulasi.

Modulasi adalah suatu proses penumpangan sinyal yang hendak dikirim pada sebuah sinyal *carrier*. Sinyal data dapat ditumpangkan ke sinyal *carrier* dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi, atau fase dari sinyal *carrier* tersebut. Untuk mendapatkan laju pengiriman data yang lebih besar, dapat pula dilakukan perubahan terhadap kombinasi dari beberapa parameter-parameter tersebut, misalnya dengan mengubah amplitudo dan fasenya sekaligus. Untuk pengiriman data melalui frekuensi *voiceband*, teknik yang biasanya digunakan adalah teknik modulasi digital multisimbol. Teknik modulasi digital multisimbol ada beberapa macam, di antaranya adalah MPSK (*Multi-Phase Shift Keying*) dan QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Modulasi digital multisimbol menawarkan kecepatan yang lebih tinggi karena setiap simbol yang dikirimkan melambangkan beberapa bit sekaligus. Untuk mendapat *data rate* yang tinggi pada *bandwidth* yang terbatas biasanya digunakan QAM. Modulasi QAM lebih berguna dan efisien dibandingkan yang lain dan hampir berlaku untuk semua modem progresif. Pengenalan modulasi merupakan langkah menengah di jalan menuju pemulihan pesan penuh.

Salah satu metode analisis khas untuk sinyal termodulasi adalah ekstraksi komponen In-Phase (I) dan Quad-Phase (Q). Menurut komponen ini, kita dapat melihat sinyal sebagai vektor dalam bidang I - Q yang disebut sebagai diagram konstelasi. Dengan menggunakan sinyal termodulasi konstelasi, klasifikasi modulasi dapat diselidiki sebagai masalah pengenalan pola dan algoritma terkenal pengenalan pola dapat digunakan.

#### A. Lintasan Sinyal dan Konstelasi

Salah satu metode terbaik untuk klasifikasi modulasi sinyal adalah penggunaan lintasan sinyal dan konstelasinya. Karena setiap jenis modulasi mempunyai konstelasi unik dan pengenalan lintasan modulasi sinyal dapat dilakukan secara akurat. Pendekatan untuk analisis sinyal termodulasi didasarkan pada ekstraksi in-phase (I) dan quad-phase (Q) komponen dari sinyal, yang diperoleh melalui demodulator yang sesuai. Hal ini memungkinkan melihat sinyal modulasi sebagai vektor dalam I - Q pesawat, yang lintasan diukur disajikan dalam diagram dua dimensi. Dua tipe diagram yang paling umum [2]:



Gambar. 1 Diagram I-Q (a) Konstelasi (b) Diagram vektor

#### B. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Pada QAM fase dan amplitudo dari sinyal *carrier* diubah-ubah untuk melambangkan data. Sinyal QAM dapat dituliskan sebagai berikut:

$$s(t) = I(t) \cdot \cos \omega_c t + Q(t) \cdot \sin \omega_c t \quad (1)$$

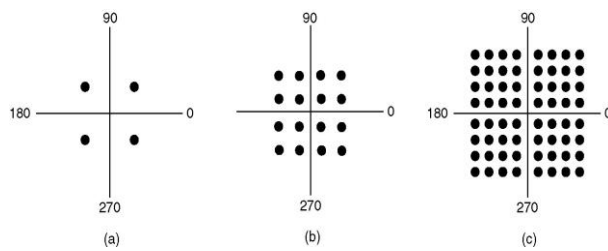
dengan:

$$I(t) = A \cdot \cos \theta \quad (2)$$

$$Q(t) = A \cdot \sin \theta \quad (3)$$

Dari persamaan (1), dapat dilihat bahwa sinyal QAM dapat dibentuk dengan menjumlahkan sebuah sinyal kosinus dengan amplitudo  $I(t)$  dan sebuah sinyal sinus dengan amplitudo  $Q(t)$ . Ini sama dengan menjumlahkan sebuah sinyal AM (*amplitude modulation*) yang

menggunakan *carrier* cosinus dengan sebuah sinyal AM lain yang menggunakan *carrier* sinus.



Gambar 2. Diagram Konstelasi (a) 4-QAM (b) 16-QAM (c) 64-QAM

Amplitudo dan fase untuk masing-masing simbol pada QAM dapat digambarkan dalam sebuah diagram dua dimensi yang disebut sebagai diagram konstelasi, seperti misalnya diagram konstelasi untuk 16-QAM yang dapat dilihat pada gambar 2. Sumbu x merupakan sumbu yang mewakili  $\cos \omega_c t$  dari persamaan (1) dan disebut sebagai sumbu I (*inphase*), sedangkan sumbu y adalah sumbu yang mewakili  $-\sin \omega_c t$  dari persamaan (1) dan disebut sebagai sumbu Q (*quadrature*). Perlu diperhatikan bahwa konfigurasi titik untuk 16-QAM tidak selalu seperti diagram konstelasi pada gambar 2.

Data yang akan dikirim dibagi menurut jumlah bit untuk satu simbol. Setelah itu, data yang telah dibagi dipetakan menurut diagram konstelasi dengan menggunakan *mapper*. Keluaran dari *mapper* adalah komponen *inphase* dan *quadrature* untuk simbol yang ditentukan oleh data tadi. Kedua komponen ini dijadikan sebagai masukan untuk modulator. Pada penerima, sinyal yang telah dimodulasi perlu dikembalikan ke bentuk semula. Proses ini disebut sebagai proses demodulasi. Rumus untuk demodulator adalah sebagai berikut:

$$I'(t) = s(t) \cdot \cos \omega_c' t - sh(t) \cdot \sin \omega_c' t \quad (4)$$

$$Q'(t) = s(t) \cdot \sin \omega_c' t + sh(t) \cdot \cos \omega_c' t \quad (5)$$

Sinyal  $s(t)$  adalah sinyal yang diterima sedangkan  $sh(t)$  dihasilkan dengan melakukan *Hilbert transform* terhadap  $s(t)$ .  $\omega_c'$  adalah frekuensi *carrier* yang dibangkitkan pada penerima. Hasil dari demodulator dimasukkan ke *decision unit* yang merupakan unit untuk menentukan simbol yang telah dikirim oleh pemancar dari hasil demodulasi. *Decision unit* menentukan simbol mana yang sebenarnya dikirim oleh pemancar dengan cara menghitung jarak Euclidean dari titik yang diterima dengan semua titik yang ada pada diagram konstelasi. Simbol yang dipilih adalah simbol yang jaraknya paling kecil dengan titik yang diterima. Keluaran dari *decision unit* adalah komponen *inphase* dan *quadrature* dari titik ideal untuk simbol yang dipilih. Keluaran ini dikembalikan ke dalam bentuk bit-bit oleh unit *inverse mapper*. Pada proses demodulasi diperlukan *carrier* lokal yang memiliki frekuensi dan fase yang sama dengan *carrier* dari sinyal yang diterima. Perbedaan frekuensi *carrier* pemancar dengan frekuensi *carrier* penerima dapat terjadi karena adanya perbedaan frekuensi dari *oscillator* yang digunakan pada pemancar dengan yang digunakan pada penerima. Perbedaan frekuensi dari *oscillator* disebabkan karena ketidakakuratan pada pembuatannya, perbedaan temperatur, dan lain-lain. Perbedaan fase terjadi terutama pada saat pemancar dan penerima pertama kali dihubungkan dan *delay* fase pada sinyal yang terjadi pada saluran transmisi.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

Model simulasi pada penelitian ini menggunakan program MATLAB R2009a.

#### B. Jalannya Penelitian

Diagram konstelasi, yang terdiri dari komponen In-fase dan Quad-fase, dapat digunakan untuk klasifikasi modulasi. Karena konstelasi berbentuk simetris terhadap sumbunya, maka untuk mengurangi kompleksitas, dapat dipetakan semua simbol yang diterima ke dalam kuadran pertama di diagram konstelasi. Setelah memperoleh jumlah dan lokasi cluster di kuadran pertama, centroid dari kelompok dapat diperluas ke seluruh konstelasi secara simetris. Teknik yang diusulkan akan dirancang diharapkan mampu mengenali jenis-jenis modulasi digital yaitu: 4-QAM, QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM. Teknik ini menggunakan Fuzzy Clustering (Fuzzy C Means).

Secara ringkas, langkah-langkah penelitian dalam proses klasifikasi modulasi digital adalah sebagai berikut:

##### 1. Pendefinisian centroid ideal/standar.

Langkah pertama dalam penulisan ini adalah penentuan pola modulasi digital yang akan digunakan yaitu 4-QAM, QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM dengan cara mendefinisikan terlebih dahulu centroid ideal untuk setiap tipe modulasi. Centriod ideal tersebut akan berbentuk diagram konstelasi sebagaimana terlihat pada gambar 2.

##### 2. Pembangkitan data input

Proses selanjutnya adalah membangkitkan sampel data input berupa elemen titik-titik simbol dalam konstelasi kuadran secara acak dengan fasa dan amplitudo yang bermacam-macam.

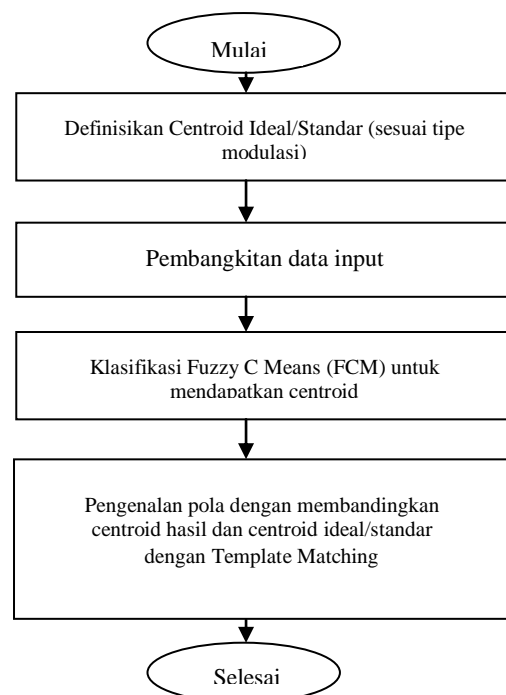
##### 3. Klasifikasi menggunakan *Fuzzy C Means* (FCM)

Dari sebaran data input tersebut, proses selanjutnya adalah klasifikasi data berdasarkan clustering menggunakan teknik Fuzzy C Means. Proses clustering ini nantinya akan menentukan titik centroid sebagai pusat dari tiap-tiap kelompok data dalam kuadran konstelasi.

##### 4. Pengenalan pola modulasi menggunakan *Template Matching*

Setelah menentukan centroid pada beberapa cluster yang terbentuk dari data input, maka proses selanjutnya yang merupakan proses terakhir yaitu pengenalan pola dari centroid yang dihasilkan. Pola-pola centroid tersebut disesuaikan atau dibandingkan dengan pola centroid ideal/standar yang telah ditetapkan lebih dahulu pada proses inisiasi awal. Teknik pengenalan pola yang diusulkan menggunakan *Template Matching*.

Secara ringkas, langkah-langkah tersebut ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini:

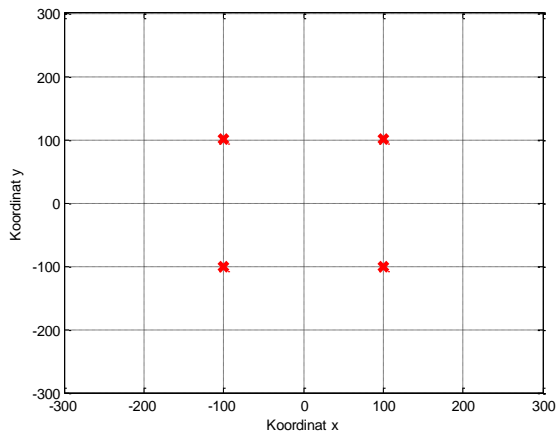


Gambar 3. Flowchart metode usulan penelitian

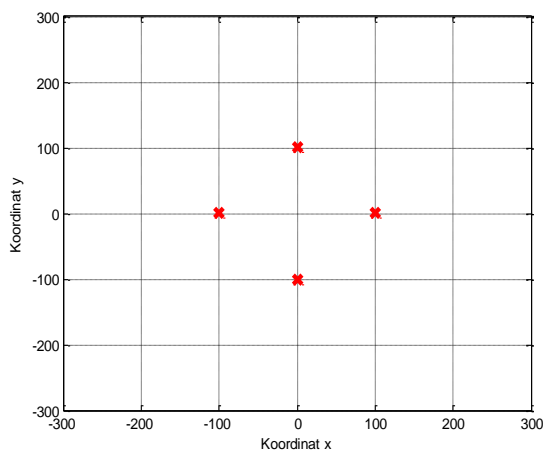
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pendefinisian Centriod Ideal/Standar

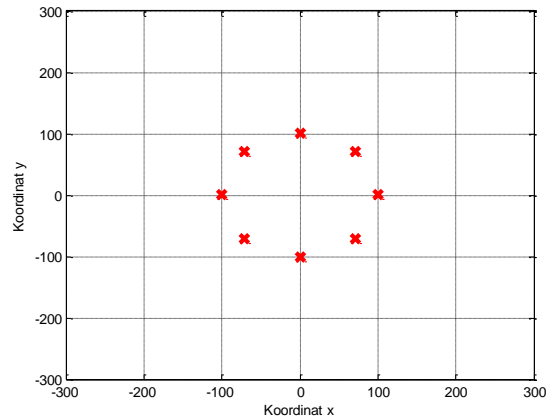
Untuk menentukan jenis modulasi yang digunakan maka terlebih dahulu didefinisikan diagram konstelasi modulasi digital berdasarkan centroid ideal/standar yang akan dijadikan acuan.



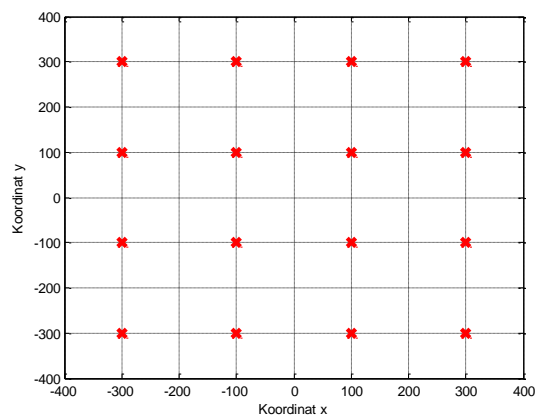
Gambar 4. Centriod ideal/standar untuk modulasi 4-QAM



Gambar 5. Centriod ideal/standar untuk modulasi QPSK



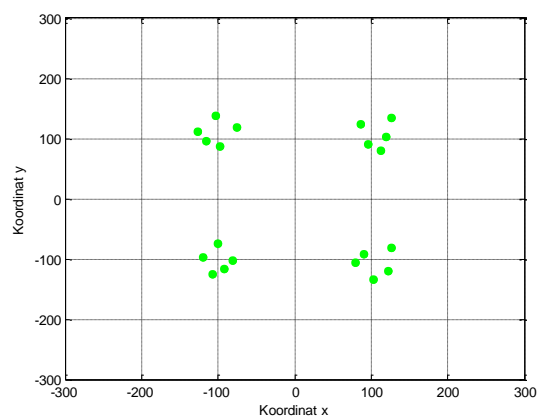
Gambar 6. Centriod ideal/standar untuk modulasi 8-PSK



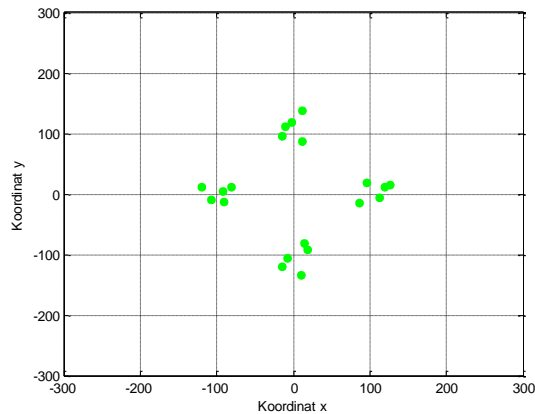
Gambar 7. Centriod ideal/standar untuk modulasi 16-QAM

#### B. Pembangkitan Data Input

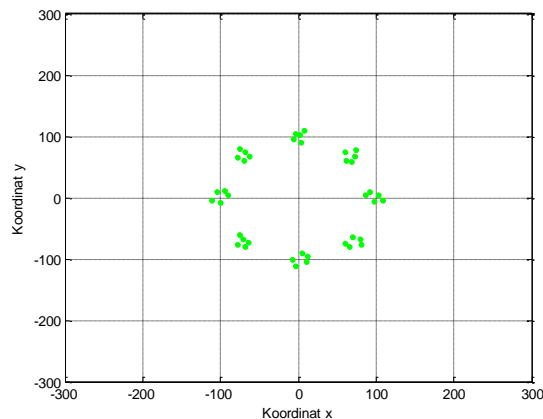
Data yang dibangkitkan berupa titik-titik konstelasi yang menggambarkan jarak dari titik pusat (0,0) sebagai amplitudo dan sudut di setiap kuadran sebagai fasa.



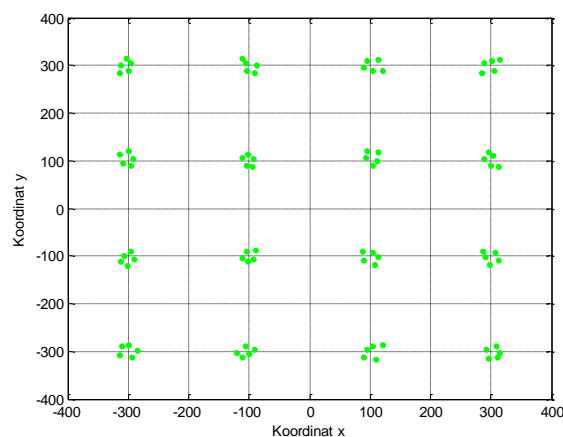
Gambar 8. Sebaran data untuk modulasi 4-QAM



Gambar 9. Sebaran data untuk modulasi QPSK



Gambar 10. Sebaran data untuk modulasi 8-PSK



Gambar 11. Sebaran data untuk modulasi 16-QAM

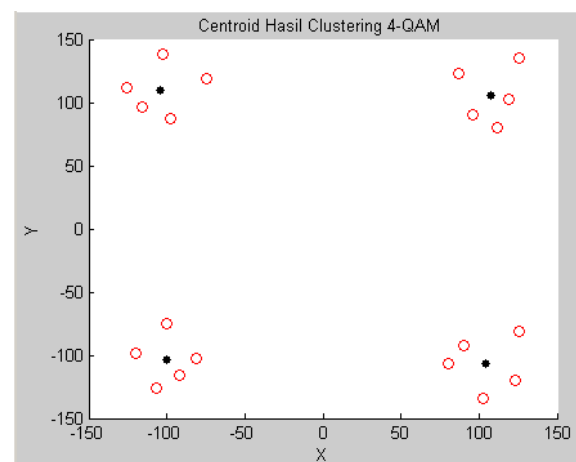
### C. Klasifikasi menggunakan Fuzzy C Means (FCM).

Dari sebaran data tersebut kemudian di klasifikasikan menggunakan Fuzzy C Means sehingga diperoleh centroid hasil clustering untuk setiap tipe modulasi yang ada. Gambar 12 sampai gambar 19 berikut adalah

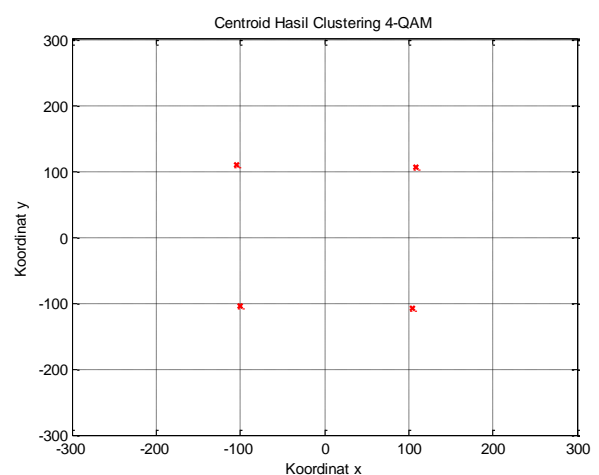
hasil dari proses clustering dalam rangka penentuan centroid berdasarkan FCM.

Setelah diperoleh hasil centroidnya maka proses selanjutnya adalah membandingkan antara centroid hasil dengan centroid ideal/standar kemudian ditentukan polanya berdasarkan template matching dengan menghitung mean selisih antara kedua centroid tersebut baik sumbu x maupun sumbu y, sebagaimana terlihat pada Tabel 1 sampai Tabel 4.

#### 1. Hasil Clustering 4-QAM



Gambar 12. Penentuan centroid modulasi 4-QAM

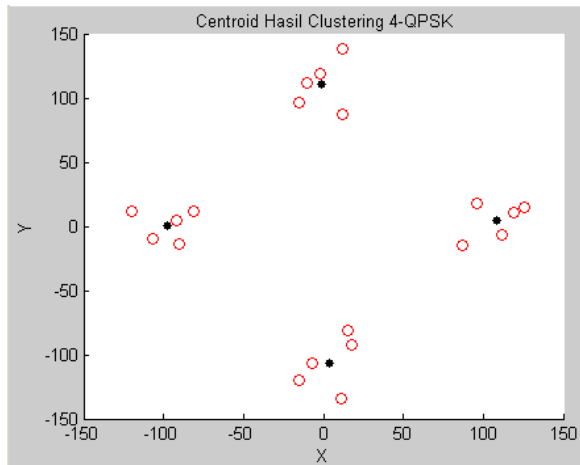


Gambar 13. Centroid hasil clustering 4-QAM

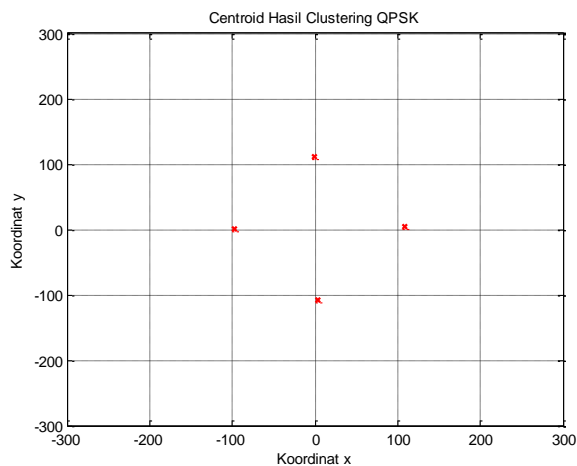
TABEL 1.  
PERBANDINGAN CENTROID 4-QAM

Centroid Ideal		Centroid Hasil		Mean Selisih Centroid	
x	y	x	y	x	y
100	-100	104,1521	-107,0436	4,0402	6,7750
-100	100	-103,941	110,1877		
100	100	107,9467	105,8747		
-100	-100	-99,8792	-103,9142		

## 2. Hasil Clustering QPSK



Gambar 14. Penentuan centroid modulasi QPSK

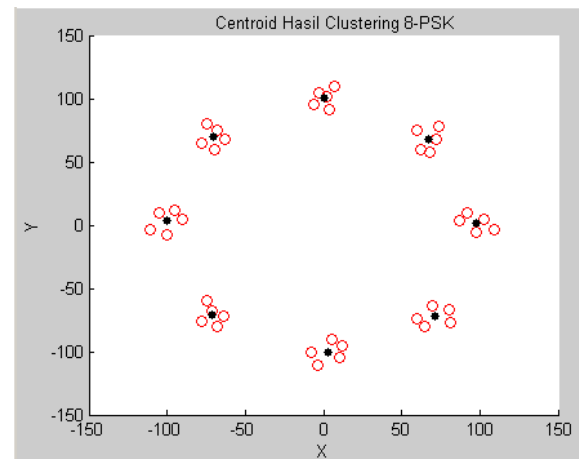


Gambar 15. Centroid hasil clustering QPSK

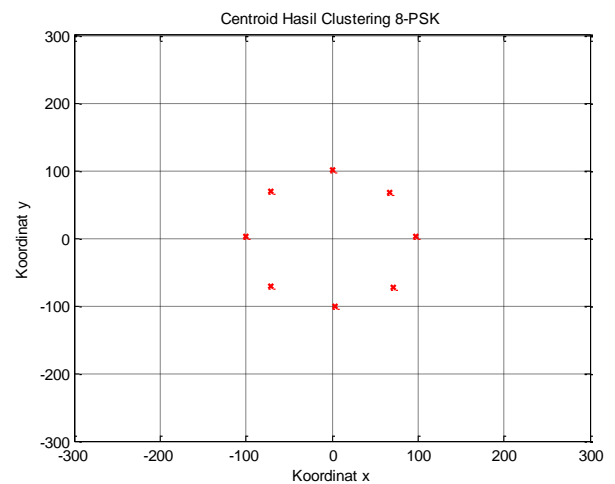
TABEL 2.  
PERBANDINGAN CENTROID QPSK

Centroid Ideal		Centroid Hasil		Mean Selisih Centroid	
x	y	x	y	x	y
-100	0	-97,7651	0,7970	3,9815	5,8528
0	-100	3,9785	-107,116		
100	0	108,5871	4,8778		
0	100	-1,1253	110,6199		

## 3. Hasil Clustering 8-PSK



Gambar 16. Penentuan centroid modulasi 8-PSK

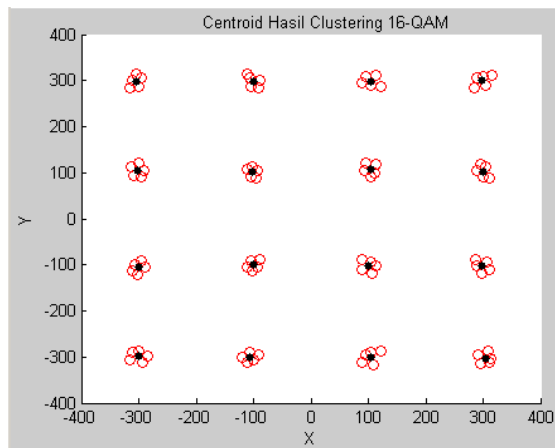


Gambar 17. Centroid hasil clustering 8-PSK

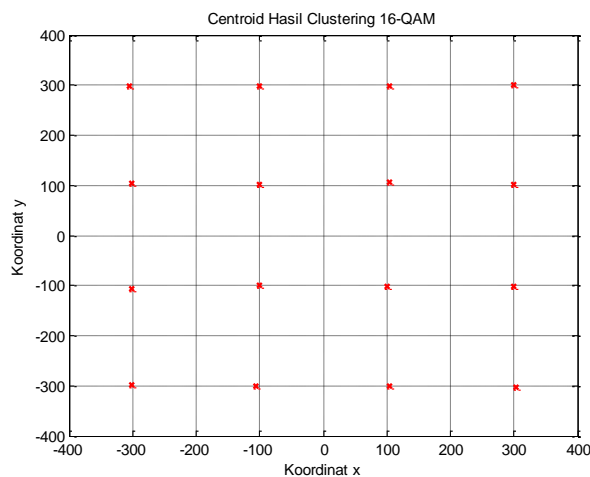
TABEL 3.  
PERBANDINGAN CENTROID 8-PSK

Centroid Ideal		Centroid Hasil		Mean Selisih Centroid	
x	y	x	y	x	y
70,7107	-70,7107	71,2517	-72,3278	1,3285	1,5103
100	0	97,8509	1,7906		
-70,7107	-70,7107	-71,1111	-71,3022		
-70,7107	70,7107	-70,7276	69,5809		
70,7107	70,7107	67,2314	67,6865		
0	100	0,7282	100,6460		
-100	0	-100,1573	3,1329		
0	-100	3,1559	-100,1503		

#### 4. Hasil Clustering 16-QAM



Gambar 18. Penentuan centroid modulasi 16-QAM



Gambar 19. Centroid hasil clustering 16-QAM

TABEL 4.  
PERBANDINGAN CENTROID 16-QAM

Centroid Ideal		Centroid Hasil		Mean Selisih Centroid	
x	y	x	y	x	y
300	100	299,6887	102,9052	2,2754	2,2525
-300	300	-305,1646	298,8202		
-100	-100	-100,2477	-100,5051		
100	-300	103,7496	-300,3346		
-100	300	-100,3614	298,7251		
300	300	298,8496	300,5342		
-300	-100	-301,0355	-105,8188		
-300	100	-301,9773	104,9545		
300	-100	298,8296	-102,2153		
300	-300	304,0554	-302,8590		
-300	-300	-300,8289	-298,7283		
-100	100	-101,1818	100,8281		
100	300	104,8433	298,8204		
100	100	103,5898	106,9533		
100	-100	100,9251	-102,1907		
-100	-300	-105,8141	-301,0358		

#### D. Pengenalan Pola Menggunakan Template Matching

Dengan membandingkan antara centroid ideal/standar dan centroid hasil clustering maka akan diperoleh tingkat kecocokan berdasarkan pengenalan pola. Teknik yang digunakan pada pengenalan pola disini adalah menggunakan Template Matching, dimana metodenya adalah dengan menghitung mean (rerata) dari selisih antara centroid ideal dengan centroid hasil. Jika rerata selisihnya kurang dari 25% (atau tingkat kecocokannya lebih dari 75%) maka pola tersebut dikenali atau dengan kata lain modulasinya cocok. Hasilnya menunjukkan tingkat kecocokan yang tinggi pada semua tipe modulasi yang digunakan yaitu rata-rata diatas 95%, sebagaimana diperlihatkan pada tabel 5 berikut ini:

TABEL 5.  
HASIL PENCOCOKAN POLA

JENIS MODULASI	MEAN SELISIH CENTROID		TINGKAT KECOCOKAN		KET
	x (%)	y (%)	x (%)	y (%)	
4-QAM	4,0402	6,7550	95,9598	93,2450	COCOK
QPSK	3,9815	5,8528	96,0185	94,1472	COCOK
8-PSK	1,3285	1,5103	98,6715	98,4897	COCOK
16-QAM	2,2754	2,2525	97,7246	97,7475	COCOK

#### IV.PENUTUP

Berdasarkan hasil pengenalan pola menggunakan *template matching*, hasilnya menunjukkan tingkat kecocokan yang tinggi pada semua tipe modulasi yang digunakan yaitu rata-rata diatas 95%, yang menunjukkn bahwa pola tersebut dikenali atau dengan kata lain modulasinya cocok.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Negar Ahmadi & Reza Berangi, “Symbol Based Modulation Classification using Combination of Fuzzy Clustering and Hierarchical Clustering”, An International Journal (SPIJ), Volume (4) : Issue (2)
- [2] Negar Ahmadi & Reza Berangi, “A Template Matching Approach to Classification of QAM Modulation using Genetic Algorithm”, An International Journal (SPIJ) Volume (3): Issue (5)