

BAB 2

DASAR TEORI

2.1.KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [6] Achmad Rizal. D, Gamantyo. H, dan Puji Handayani pada tahun 2023 yang berjudul “*UE Clustering Based On Grid Affinity Propagation for mmWave D2D in Virtual Small Cells*” meneliti tentang bagaimana mengelompokkan UE yang tersebar secara acak, Sehingga kelompok UE tersebut dapat didefinisikan sebagai VSC dan selanjutnya akan dipancarkan *beamforming* dengan *gain* yang tinggi sehingga setiap kelompok UE akan dilayani dengan baik oleh BS. Penelitian ini menggunakan metode *Grid Affinity Propagation Clustering* (GAPC) untuk mengelompokkan UE.

Sedangkan [7] T.Varela Santana, Sofia Martinez. L dan G. Serrano pada tahun 2018, yang berjudul “*The Virtual Small Cells Based on UE Positioning : a Network Densification Solution*”, meneliti tentang *Virtual Small Cells* yang digunakan sebagai pengganti SBS, yang dikenal sebagai *Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Penelitian ini meneliti bagaimana VSC dapat dipancarkan langsung dari BS, sehingga tidak diperlukan SBS sebagai penguat daya. VSC yang diteliti dalam jurnal ini menggunakan algoritma pengelompokkan posisi UE yang didasarkan pada algoritma K-Means dengan deteksi GPS untuk mendeteksi lokasi UE dalam cakupan BS, dan yang kedua penelitian ini menggunakan sistem lokalisasi kooperatif menggunakan sinyal *Ultra-Wideband* (UWB).

Pada penelitian [8] Sata Norouzi, Yunlong Cai dan Benoit Champagne pada tahun 2021 yang berjudul “*Constrained K-Means User Clustering and Downlink Beamforming in MIMO-SCMA Systems*” meneliti tentang penggunaan algoritma clustering K-Means yang dikombinasikan dengan *downlink beamforming* dalam sistem MIMO-SCMA untuk meningkatkan kinerja jaringan seluler. Penelitian ini menggunakan algoritma K-Means yang jumlah anggota pada tiap *cluster*-nya dibatasi. Sehingga daya yang dipakai untuk memancarkan *beamforming* dapat diminimalkan. Penelitian ini menghasilkan efisiensi spektral dibandingkan dengan pendekatan *benchmark*.

Pada penelitian [9] Pravati Swain, C. Cristophorou, U. Bhattacharjee, Cristiano .M.S, dan A.Pitsillides pada tahun 2018 yang berjudul "*Selection of UE-*

based Virtual Small Cell Base Stations using Affinity Propagation Clustering". Jurnal ini membahas tentang penggunaan teknik *clustering* untuk memilih *Virtual Base Station* yang berbasis pada perangkat pengguna (UE). Algoritma *clustering* yang digunakan adalah *Affinity Propagation Clustering*. Penelitian ini menggunakan simulasi MATLAB dan divalidasi menggunakan *software* simulator NS3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik ini dapat meningkatkan kinerja jaringan seluler dengan mengurangi beban pada BTS dan meningkatkan *throughput* jaringan.

Pada penelitian [10] Shi Jianfeng, Xu Hao, Yang Zhaohui, dan Chen Ming pada tahun 2019 yang berjudul "*Energy Efficient Beamforming for User-Centric Virtual Cell Networks*", membahas tentang bagaimana cara untuk mengurangi pemakaian daya yang berlebih pada sistem kerja VSC pada saat menggunakan *beamforming*. Penelitian dimulai untuk memecahkan beberapa masalah diantaranya menggunakan UE sebagai titik pusat VSC, pengurangan daya yang digunakan dan mengurangi penggunaan daya total. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan simulasi, mereka melaksanakan penelitian dengan pendekatan metode *Weighted Minimum Mean Square Error (WMMSE)* dan penyelesaian masalah berikutnya menggunakan metode *Dual Lagrangian*, dari kedua metode tersebut menghasilkan sebuah algoritma yang memiliki performa yang cepat dan stabil dalam lingkungan simulasi

Tabel 2. 1 Kajian Pustaka

Penulis	Tahun	Judul	Perbedaan	
			Algoritma	Algoritma
T.Varela Santana, Sofia Martinez. L dan G. Serrano	2018	<i>The Virtual Small Cells Based on UE Positioning : a Network Densification Solution</i>	K- Means	GAPC- SNR & K- Means
Achmad Rizal. D, Gamantyo. H, dan Puji Handayani	2023	<i>UE Clustering Based On Grid Affinity Propagation for mmWave D2D in Virtual Small Cells</i>	GAPC- SNR	GAPC- SNR & K- Means

Sata Norouzi, Yunlong Cai dan Benoit Champagne	2021	<i>Constrained K-Means User Clustering and Downlink Beamforming in MIMO-SCMA Systems</i>	K-Means	GAPC-SNR & K-Means
Pravati Swain, C. Cristophorou, U. Bhattacharjee, Cristiano .M.S, dan A.Pitsillides	2018	<i>Selection of UE-based Virtual Small Cell Base Stations using Affinity Propagation Clustering</i>	APC	GAPC-SNR & K-Means
Shi Jianfeng, Xu Hao, Yang Zhaohui,dan Chen Ming	2019	<i>Energy Efficient Beamforming for User-Centric Virtual Cell Networks</i>	<i>Weighted Minimum Mean Square Error (WMMS E),Dual Lagrangi an</i>	GAPC-SNR & K-Means

2.2. DASAR TEORI

Pada bagian ini dipaparkan dasar teori yang digunakan dalam membuat model simulasi DVSC, dan menganalisa hasil dari model simulasi DVSC yang telah dibuat.

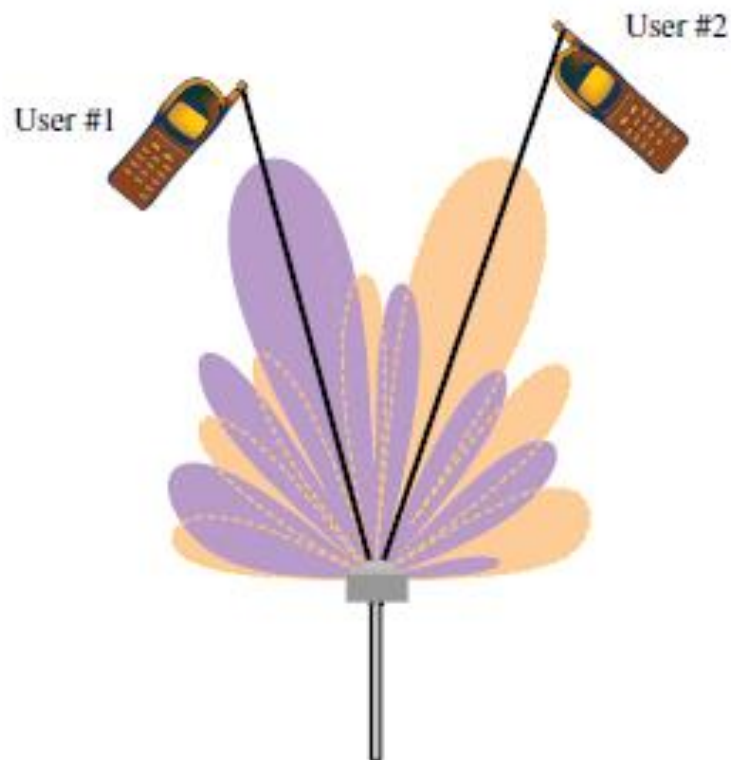
2.2.1. Beamforming

Beamforming merupakan teknik dalam *filtering* sinyal yang dilakukan secara bersamaan pada banyak jalur *transmitter* dan *receiver*. Teknik ini memanfaatkan susunan antena untuk mengubah *gain*, fasa, dan komponen polarisasi berdasarkan arah yang dituju. Tujuan utama *beamforming* adalah untuk meningkatkan kekuatan sinyal ke arah area atau perangkat target, sehingga

menghasilkan kualitas jaringan yang lebih baik. Hal ini berbeda dengan tujuan MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) yang berfokus pada peningkatan kapasitas dan mengatasi *multipath fading*. Prinsip dasar *beamforming* dapat diperoleh melalui perhitungan *phased array*[11].

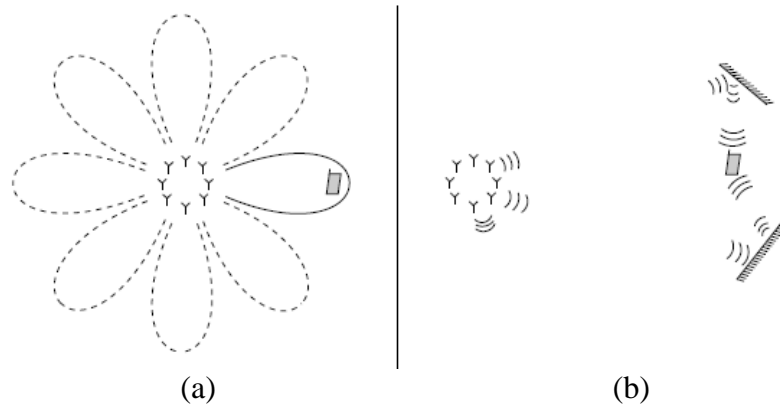
2.2.2. General Beamforming

Beamforming dapat juga disebut dengan *Spatial Division Multiple Access* (SDMA). Dimana SDMA merupakan sebuah teknik memancarkan *beamforming* yang berbeda untuk masing-masing UE. Dalam arti lain akan ada lebih dari satu pengguna yang dialokasikan ke dalam saluran komunikasi yang sama dalam *cell* yang sama secara bersamaan. Teknik ini dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa *beamformer* secara parallel pada BTS. *Beamformer* yang terpasang perlu memiliki algoritma *beamforming* adaptif yang digunakan untuk mengendalikan *beamforming* menuju *Direction of Arrival* (DOA).



Gambar 2. 1 Ilustrasi General Beamforming[12]

Dalam mendistribusikan sinyal terdapat dua kondisi sehingga dapat sampai kepada UE, berikut skenario dalam mendistribusikan sinyal :



Gambar 2. 2 Efek Distribusi

(a) Kondisi LOS, (b) Kondisi NLOS[13]

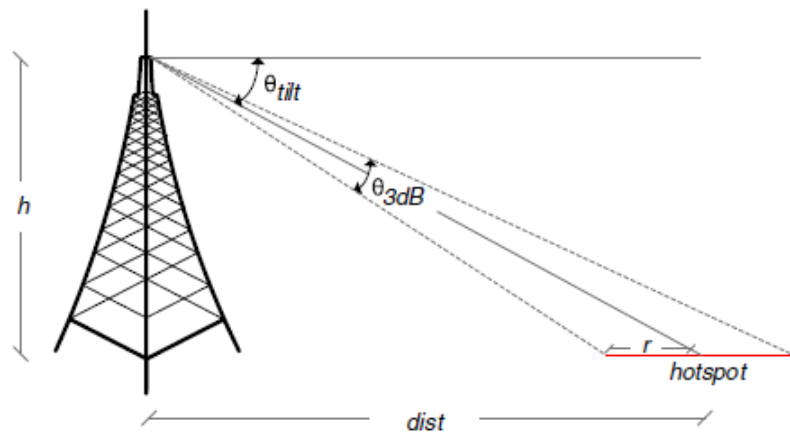
Dalam menentukan arah pancar *beam* dapat dilihat dari arah jalur propagasi dan arah array vector respon, dengan demikian dapat dituliskan sebagai :

$$y(\theta, \varphi) = \mathbf{h}^T \mathbf{w}_{opt} = \sum_{l=1}^L \lambda_1^c \alpha_l(\theta, \varphi) \quad (2.1)$$

Dimana L adalah jumlah *multipath* yang terjadi, $\lambda^c = Ae^{j\theta}$ merupakan atenuasi dan fasa yang dikirimkan, $\alpha_1(\theta, \varphi)$ merupakan konjugasi antara nilai scalar diantara array vector respon dan arah propagasi, nantinya nilai tersebut akan digunakan untuk menentukan *pointing* menuju arah UE. $\mathbf{h} = \mathbf{a}(\theta, \varphi)$ merupakan *noise* dari *free Space* channel, $y(\theta, \varphi)$ merupakan sinyal yang diterima, (θ, φ) merupakan arah dan sudut. Dalam perhitungan tersebut dapat dipahami bahwa sinyal yang diterima oleh antena dari UE akan digunakan untuk mengarahkan *beamforming* dari antena menuju UE[14].

2.2.3. Virtual Small Cells

Virtual Small Cells (VSC) merupakan suatu metode *beamforming* yang digunakan untuk meningkatkan *throughput* menuju suatu lokasi. Pengarahan *beamforming* ditujukan untuk melayani sekumpulan UE yang dianggap sebagai sebuah *cluster* oleh algoritma *clustering* yang diaplikasikan di dalamnya[15]. Dalam mengarahkan VSC diperlukan perhitungan untuk menentukan θ_{tilt} , θ_{3dB} , φ_{tilt} dan φ_{3dB} .



Gambar 2.3 VSC dalam sudut pandang vertical

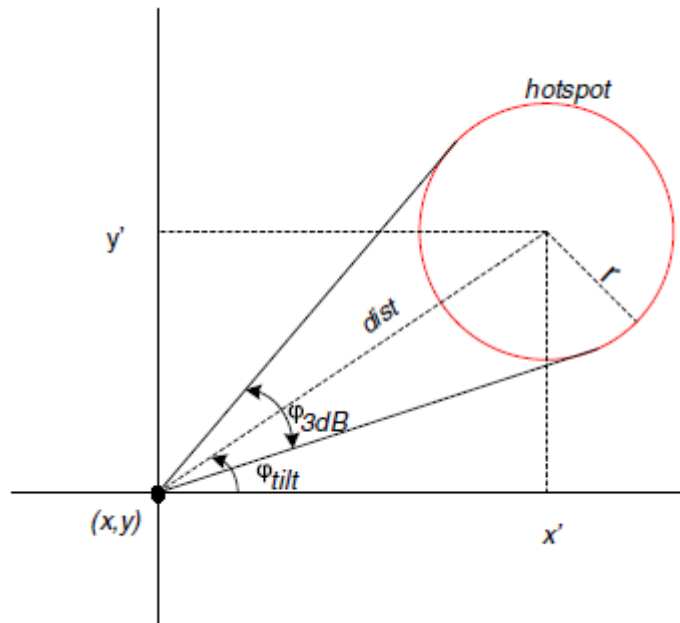
Pada Gambar 2.2, ditunjukkan bahwa untuk menentukan arah dan wilayah cakupan VSC perlu memperhatikan ketinggian tower sebagai nilai h , sudut kemiringan antena dari sudut normal sebagai nilai θ_{tilt} , lebar sudut *beamwidth* untuk dapat menentukan wilayah cakupan *cell* sebagai nilai θ_{3dB} , jarak antara antena dan titik tengah dari *cell* sebagai nilai $dist$, yang terakhir merupakan jari-jari dari *beamwidth* sebagai nilai r , setiap nilai tersebut dapat dinyatakan ke dalam persamaan berikut :

$$\theta_{tilt} = -\arctan\left(\frac{h}{dist}\right) [rad] \quad (2.2)$$

Dan

$$\theta_{3dB} = \arctan\left(\frac{h}{dist-r}\right) - \arctan\left(\frac{h}{dist+r}\right) [rad] \quad (2.3)$$

setelah menentukan setiap nilai pada sudut pandang vertikal perlu memperhitungkan setiap parameter pada sudut pandang horizontal.



Gambar 2. 4 VSC dalam sudut pandang horizontal

Pada Gambar 2.4 , ditunjukkan bahwa untuk menentukan arah dan wilayah cakupan VSC perlu memperhatikan jarak antara antena dan titik tengah *cell* sebagai nilai *dist*, *beamwidth* sebagai nilai φ_{3dB} dan lebar sudut pergerakan dari sudut pancar maksimal antena sebagai nilai φ_{tilt} . setiap nilai tersebut dapat dinyatakan ke dalam persamaan berikut :

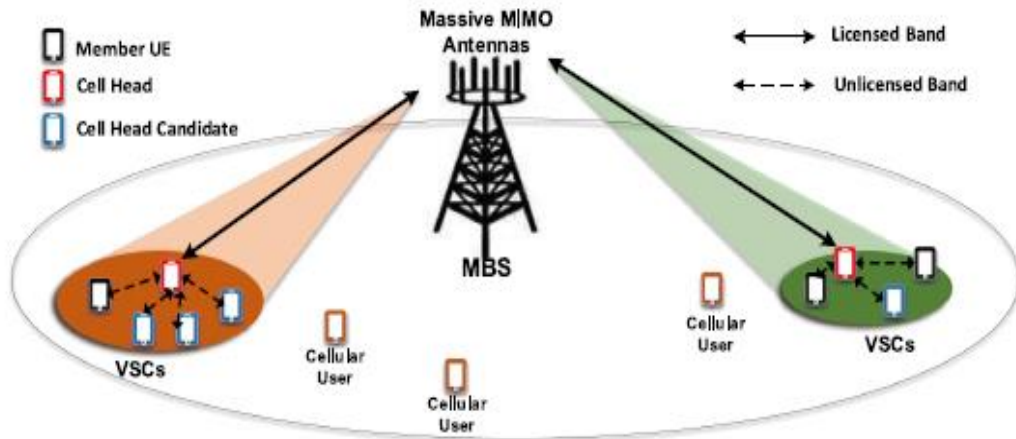
$$\varphi_{tilt} = -\arctan\left(\frac{y-y'}{x-x'}\right) [rad] \quad (2.4)$$

$$\varphi_{3dB} = 2\arctan\left(\frac{r}{dist}\right) [rad] \quad (2.5)$$

Persamaan 2.3 untuk menentukan sudut arah *beamforming* pada sudut pandang horizontal. Persamaan 2.4 untuk menentukan seberapa besar sudut *beam* yang akan dipancarkan[16].

2.2.4. Cell Head

Cell Head (CH) ini merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk menamai UE yang dipilih untuk menjadi perantara komunikasi antara BS dan UE lain yang ada disekitarnya.



Gambar 2. 5 Arsitektur VSC Dengan *Cell Head*

Pada gambar 2.5 dapat dijelaskan ada komunikasi antara CH dengan *Mobile Base Station*(MBS), ditandai dengan garis tanpa putus yang dimaksud dengan komunikasi yang terdaftar dan komunikasi antara CH dengan member UE ataupun kandidat CH, ditandai dengan garis putus-putus yang dimaksud dengan komunikasi yang tidak terdaftar. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa CH merupakan UE yang menjadi perantara MBS dengan member UE dalam cakupan VSC. Perantara yang dimaksud adalah CH digunakan untuk meningkatkan bandwidth dan mengumpulkan informasi kebutuhan bandwidth dari UE disekitarnya.

CH tidaklah dipilih dengan acak namun terdapat seleksi. Pemilihan CH dapat menggunakan fungsi berikut :

$$r(i, k) \leftarrow s(i, k) - \max_{(k', k' \neq k)} (a(i, k) + s(i, k')) \quad (2.6)$$

$$a(i, k) \leftarrow \min(0, r(k, k) + \sum_{i', i' \in (i, k)} \max(0, r(i', k))) \quad (2.7)$$

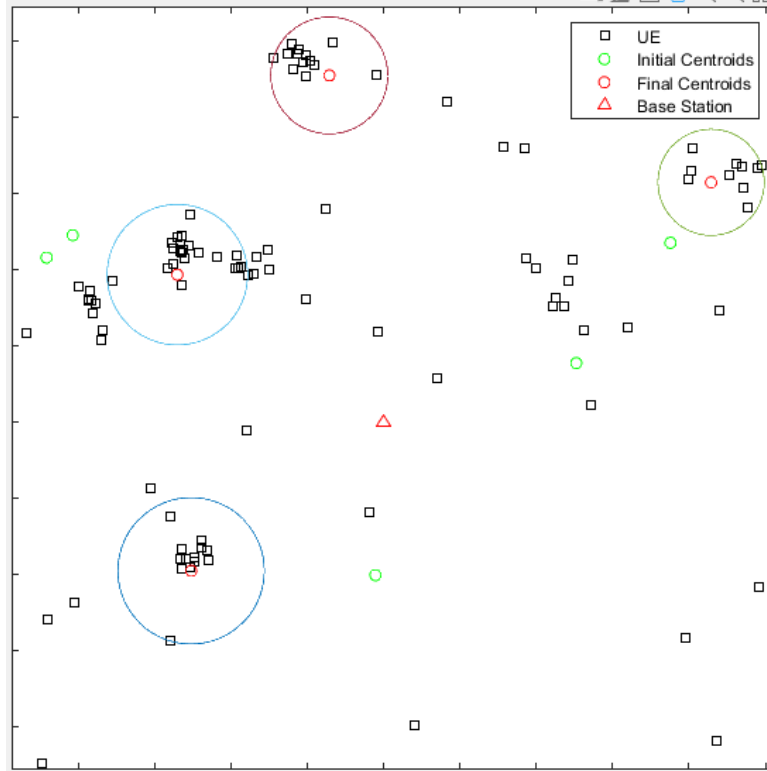
$$a(k, k) \leftarrow \sum_{i', s.t. i' \neq (k)} \max(0, r(i', k)) \quad (2.8)$$

Pemilihan CH berdasarkan pada beberapa aspek, pertama UE yang akan menjadi CH berada ditengah kelompok UE ataupun mendekati, kedua memiliki spesifikasi yang cukup tinggi diantara UE lain pada area terpilih, ketiga UE yang ditunjuk oleh BTS harus menyetujui untuk menjadi CH. Syarat tersebut harus terpenuhi dikarenakan tugas CH sebagai perantara komunikasi antara BS dan UE

lain yang menjadi anggota VSC, CH ini berperan mengumpulkan informasi kebutuhan bandwidth dari UE yang lain. Informasi ini digunakan untuk menghindari *overhead* (pensinyalan yang berlebih). Selain itu CH bertugas membagi sumberdaya bandwidth, dan terus memperbarui kebutuhan koneksi setiap UE yang berada pada cakupannya[17].

2.2.5. K - Means

K-Means merupakan algoritma *clustering* yang digunakan untuk mengelompokkan UE yang terdeteksi pada area cakupan BS. Untuk dapat menentukan *cluster* yang terbentuk dalam suatu cakupan area BS, pertama algoritma ini membutuhkan inisialisasi awal yang mencakup nilai berapa *centroid* yang dapat terbentuk dalam suatu area, nilai ini akan disebut c yang berbentuk bilangan bulat, nilai yang kedua merupakan jumlah minimal anggota *cluster* selanjutnya disebut k yang berbentuk bilangan bulat, nilai yang ketiga merupakan nilai cakupan dari BS[8]. langkah kedua algoritma K-Means akan menentukan *centroid* secara acak dalam area yang telah ditentukan, banyaknya *centroid* yang diacak bergantung pada nilai c pada awal inisialisasi algoritma, setelah mengacak *centroid* algoritma K-Means akan mengelompokkan setiap UE yang ada dalam cakupan BS, pengelompokkan berdasarkan pada UE yang paling dekat dengan *centroid*. Jika dalam radius *centroid* terdapat UE dengan jumlah yang memenuhi syarat menjadi *cluster*, maka lokasi *centroid* akan di-*update* posisinya menjadi rata rata dari koordinat setiap UE yang terasosiasi dengan suatu *centroid*. Proses *update* akan terus diulang sampai tidak terjadi perubahan pada koordinat *centroid*. Syarat terbentuknya sebuah *cluster* adalah ketika UE yang terdeteksi disekitar *centroid* memenuhi nilai k , sehingga ketika jumlah UE di sekitar lokasi *centroid* tidak memenuhi nilai k maka tidak terbentuk *cluster* pada area tersebut. Jika UE yang keluar dari radius *centroid* mencapai 15% dari member *cluster* yang terbentuk, maka *cluster* akan dihapus dan proses update posisi *centroid* akan dihitung ulang



Gambar 2. 6 Algoritma K-Means

Pada gambar 2.6 algoritma K-Means mengelompokkan UE berdasarkan posisi UE yang paling dekat dengan *centroid*. Prosedur pengelompokan K-means menggunakan setiap jarak UE dengan setiap centroid yang ada (d) sebagai metrik dan jumlah *cluster* maksimum yang diijinkan (K) sebagai parameter *input*, dan memiliki fungsi evaluasi $f(k)$ dan vektor bobot (α_k) untuk menghitung jumlah pusat *cluster* yang paling optimal dalam persamaan (2.9) dan (2.10) masing-masing, langkah ini digunakan pada baris 19 dalam Algoritma 3.4 *Output* dari K-Means sendiri adalah nomor *cluster* (K), koordinat pusat (\mathbf{k}_K) dan jari-jarinya masing-masing (r) [18].

$$\alpha_k = \begin{cases} 1 - \frac{3}{4d}, & \text{if } k = 2 \text{ and } d > 1 \\ \alpha_{k-1} + \frac{1+\alpha_{k-1}}{6}, & \text{if } k > 2 \text{ and } d > 1 \end{cases} \quad (2.9)$$

$$f(k) = \begin{cases} 1, & \text{if } k = 1 \\ \frac{\mathcal{J}_k}{\alpha_k \mathcal{J}_{k-1}}, & \text{if } \mathcal{J}_{k-1} \neq 0, \forall U > 1 \\ 1, & \text{if } \mathcal{J}_{k-1} = 0, \forall k > 1 \end{cases} \quad (2.10)$$

2.2.6. GAPC-SNR

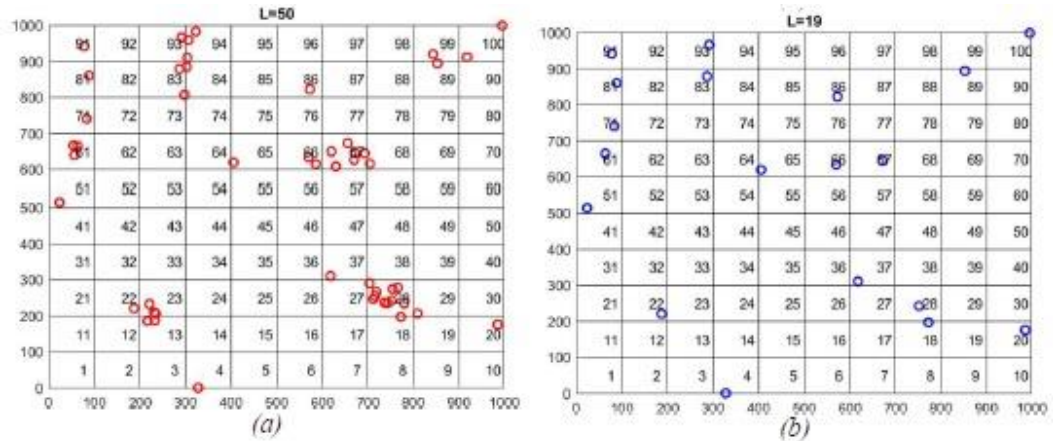
GAPC-SNR merupakan algoritma *clustering* yang digunakan untuk menentukan CH dari sekumpulan UE, CH yang telah ditentukan nantinya akan digunakan sebagai titik pusat sebuah VSC. nilai awal yang digunakan untuk menentukan *cluster* antara lain luas dari setiap grid dan luas cakupan antenna, setelah menentukan nilai awal maka algoritma GAPC akan melakukan inisialisasi membagi wilayah cakupan BS menjadi grid (kotak-kotak bagian), selanjutnya algoritma GAPC akan mendeteksi UE yang tersebar dalam area cakupan BS, Selanjutnya algoritma GAPC akan memetakan UE yang terdeteksi sesuai dengan koordinat wilayah cakupan BS. Selanjutnya algoritma GAPC akan menentukan satu UE pada setiap grid yang terdapat UE didalamnya, UE yang terpilih akan disebut dengan *eligible-UE*. *Eligible-UE* yang telah ditentukan selanjutnya akan menjadi kandidat CH dalam seleksi lebih lanjut menggunakan algoritma MAPC.

Konsep dasar GAPC merupakan algoritma *Modified Affinity Propagation Clustering* (MAPC) yang merupakan algoritma yang mengelompokkan UE berdasarkan dengan setiap aspek yang ditentukan pada inisialisasi awal. Dalam konteks pengelompokkan UE algoritma ini akan mempertimbangkan setiap pesan-pesan yang dikomunikasikan antara UE dan BS. Pusat *cluster* yang ditentukan dalam algoritma MAPC merupakan UE sehingga diperlukan pemilihan UE sebagai pusat *cluster*. UE yang menjadi pusat *cluster* dinamakan UE VBS, Penentuan UE VBS akan bergantung pada beberapa kondisi diantaranya :

- UE tersebut berada dalam cakupan BS dan memiliki posisi paling optimal untuk mendapatkan peningkatan *beam*.
- UE yang terpilih haruslah memiliki kondisi penerimaan sinyal yang paling bagus untuk menghindari interferensi dengan UE disekitarnya
- UE telah menerima dan mengirimkan pesan persetujuan dengan BS untuk diberikan ID node.

Selain syarat yang telah dijelaskan sebelumnya Algoritma ini menggunakan matriks tanggung jawab (*responsibility matrix*) dan matriks ketersediaan (*availability matrix*) untuk menentukan UE VBS yang layak. Proses iteratif dilakukan untuk menemukan UE VBS yang memiliki nilai positif pada matriks

E setelah iterasi terakhir. Selain itu, algoritma ini juga mempertimbangkan konvergensi waktu dan jumlah UE-VBS aktif yang dihasilkan, parameter yang digunakan dalam menentukan UE VBS dapat dimodifikasi berdasarkan kebutuhan[15].



Gambar 2. 7 Hasil Seleksi *Eligibility*

(a) *Eligibility* UE

(b) *Eligible* UE

Untuk lebih jelasnya, pemilihan *Eligible* UE secara umum dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$u \rightarrow l \rightarrow a \rightarrow w \tag{2.11}$$

Dalam persamaan diatas dapat dijelaskan menjadi u merupakan semua UE aktif dalam sebuah area jaringan, lalu dari semua UE yang aktif akan dipilih l merupakan UE yang memenuhi syarat, lalu a merupakan UE yang telah siap untuk menerima jaringan, dan w merupakan UE telah dipilih menjadi CH.

Inisialisasi nilai awal yang digunakan untuk menentukan *cluster* antara lain luas dari setiap grid dan luas cakupan antenna, setelah menentukan nilai awal maka algoritma GAPC akan melakukan inisialisasi membagi wilayah cakupan BS menjadi grid (kotak-kotak bagian) menggunakan fungsi :

$$G = L/R \tag{2.12}$$

Dimana G merupakan grid yang telah dibagi dari operasi L yang merupakan luas area *clustering* dan R yang merupakan luas grid. selanjutnya algoritma GAPC akan mendeteksi UE yang tersebar dalam area cakupan BS, selanjutnya algoritma GAPC akan memetakan UE yang terdeteksi sesuai dengan koordinat wilayah cakupan BS. Selanjutnya algoritma GAPC akan menentukan satu UE pada setiap grid yang terdapat UE didalamnya, Untuk menghindari *eligible* UE ganda dalam suatu grid digunakan matriks kesamaan, sebagai berikut :

$$\dot{s}_{ul} = -||u_u - l_l|| = -d_{ul} \quad (2.13)$$

Pada persamaan 3.7 dapat dijelaskan bahwa \dot{s}_{ul} merupakan nilai *similaritas* (kesamaan) yang diperoleh dari persamaan 3.8. Matriks vektor u_u yang berisi data koordinat UE dan matriks vector l_l yang berisi data koordinat *eligibility* UE (calon *eligible* UE). sehingga dibandingkan menjadi :

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \dot{s}_{11} & \dot{s}_{12} & \cdots & \dot{s}_{1L} \\ \dot{s}_{21} & \dot{s}_{22} & \cdots & \dot{s}_{2L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{s}_{U1} & \dot{s}_{U2} & \cdots & \dot{s}_{UL} \end{bmatrix} = [\mathbf{s}_1 \quad \mathbf{s}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{s}_L] = [\bar{\mathbf{s}}_1 \quad \bar{\mathbf{s}}_2 \quad \cdots \quad \bar{\mathbf{s}}_U]^T \quad (2.14)$$

Untuk menentukan *eligibility* UE, maka diperlukan perbandingan antara setiap UE dengan UE yang lain, proses ini akan terus diulang sampai *eligibility* UE ditentukan pada setiap grid. Penentuan berdasarkan menggunakan matrix tanggung jawab, berikut fungsi umum matriks tanggungjawab :

$$\dot{r}_{ul} = \dot{s}_{ul} - \max \{(\bar{\mathbf{v}}_u \setminus \dot{v}_{ul}) + (\bar{\mathbf{s}}_u \setminus \dot{s}_{ul})\} \quad (2.15)$$

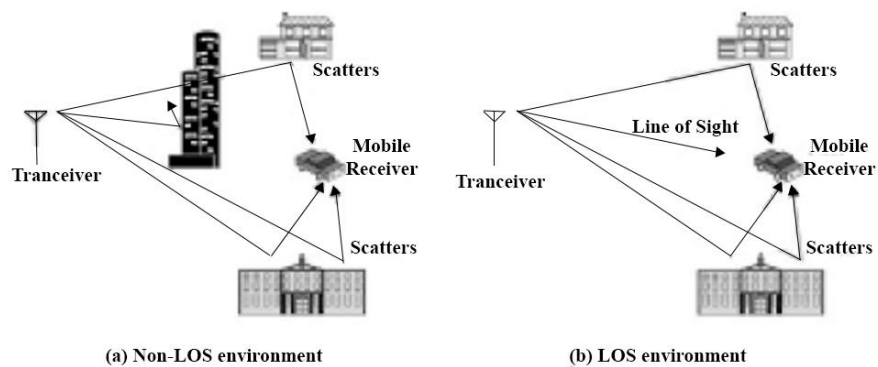
Setelah matrix tanggung jawab menentukan *eligibility* UE, selanjutnya *eligibility* UE akan dibandingkan dengan *eligibility* UE yang lain untuk menentukan *eligible* UE, proses perbandingan tersebut dilaksanakan menggunakan matriks ketersediaan, berikut fungsi umum matriks ketersediaan :

$$\hat{v}_{ul} = \min\{0, \hat{r}_{ll} + \sum_{u' \text{ s.t. } u' \neq (u,l)} \max(0, \hat{r}_{u'l})\} \quad (2.16)$$

UE yang terpilih menjadi *eligible-UE*, selanjutnya akan menjadi CH, sehingga dipertimbangkan lagi dalam algoritma MAPC. Pertimbangan ini bertujuan untuk menilai CH yang terpilih, apakah suatu CH memiliki anggota *cluster* yang cukup atau terlalu sedikit, jika suatu CH tidak memiliki anggota *cluster* yang cukup maka CH tersebut dianggap tidak ada. Jika terdapat CH yang memiliki anggota *cluster* berlebih maka sebagian anggota *cluster* tersebut akan dibagi dan menjadi anggota *cluster* yang lain. Pembatasan anggota *cluster* bertujuan untuk mengurangi beban jaringan pada CH.

2.2.7. Kanal Rayleigh

Dalam distribusi kanal Rayleigh terdapat 2 (dua) cara sinyal sampai kepada UE. Kondisi distribusi sinyal dapat terjadi di dalam atau di luar ruangan baik itu secara *Line of Sight* (LOS) atau *Non Line of Sight* (NLOS)[19]. Distribusi LOS merupakan distribusi sinyal yang tidak secara langsung mengenai perangkat penerima, sedangkan distribusi NLOS merupakan distribusi sinyal yang secara langsung mengenai perangkat penerima tanpa dipantulkan oleh objek lain. Secara umum distribusi sinyal dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. 8 Distribusi NLOS dan LOS

Dapat diperhatikan pada gambar 2.8 ditunjukkan bahwa sinyal yang terdistribusi melewati lingkungan menuju perangkat mobile membentuk scatter,

dan jumlah scatter yang terbentuk karena distribusi sinyal adalah tidak terbatas[20]. Dalam teorema central limit, sinyal yang diterima oleh perangkat mobile merupakan variabel gaussian acak yang direpresentasikan sebagai $W1 + jW2$, dimana variabel tersebut merupakan sinyal yang terdistribusi secara identik dan independen. Untuk meningkatkan kualitas sinyal yang dipancarkan oleh BS menuju UE. Dalam bentuk matematis sinyal yang telah terdistribusi dimodelkan dalam bentuk persamaan berikut :

$$y(t) = x(t) * h(t) + n(t) \quad (2.17)$$

Dengan asumsi $y(t)$ merupakan sinyal yang telah didistribusikan, merupakan hasil dari operasi $x(t)$ yang merupakan sinyal utama sebelum terjadi scattering di konvolusi dengan sinyal yang terbentuk dari scattering $h(t)$ dan dijumlahkan dengan $n(t)$ sebagai noise yang terjadi dalam distribusi sinyal.

Penulis perlu memodifikasi model kanal Rayleigh sehingga dapat disesuaikan dengan *beamforming* yang adaptif, untuk model yang digunakan oleh penulis dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$h_{u,n} = \sqrt{\alpha_u \cdot G_{\max} \cdot A_u(\theta, \phi) \cdot L_p(d_u) \cdot \mathfrak{Z}_u} \quad (2.18)$$

Dimana $h_{u,n}$ merepresentasikan kanal *beamforming* difronthaul, α_u merepresentasikan komponen Rayleigh fading yang independen dan terdistribusi secara identik, G_{\max} merupakan variabel penguatan maksimum, $A_u(\theta, \phi)$ merupakan pola radiasi yang dinormalisasi dalam bentuk linier, sehingga sinyal yang dipancarkan dapat diarahkan, L_p merupakan hasil perhitungan free-space path loss untuk menganalisa perubahan sinyal pada saat ditransmisikan, d_u merupakan perhitungan jarak antara antenna dan UE, \mathfrak{Z}_u merupakan bilangan log normal untuk membentuk shadowing sebagai efek noise dari proses distribusi sinyal[21].

2.2.8. Jain's Fairness Index

Keadilan distribusi bandwidth dalam jaringan perlu diperhatikan dalam sebuah jaringan. Dalam konteks ini analisa keadilan *bandwidth* menggunakan matriks perhitungan *jain's fairness index* berdasarkan *throughput* yang diterima pada masing-masing UE baik dalam jaringan *makrocell* maupun dalam jaringan VSC. akan dibandingkan setiap *throughput* yang diterima UE pada jaringan *makrocell* dan *throughput* yang diterima oleh UE pada jaringan VSC, dengan demikian nilai keadilan didapatkan. Persamaan *Jain's Fairness Index* sebagai berikut :

$$J(R_1, R_2, R_3 \dots, R_u) = \frac{(\sum_{i=1}^U R_u)^2}{U \cdot \sum_{i=1}^U R_u^2} \quad (2.19)$$

Dimana R_u merupakan urutan *throughput* dari data UE ke- u , dan U merupakan jumlah UE yang ada. data yang dihitung dalam persamaan 1 merupakan *data rate* pada masing-masing UE[22].

2.2.9. Receive Strength Signal Indicator (RSSI)

Semakin besar sinyal yang diterima dapat meningkatkan kualitas koneksi antara perangkat penerima dan perangkat pengirim. RSSI merupakan metrik penting dalam komunikasi nirkabel yang digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat jaringan. Nilai RSSI umumnya dinyatakan dalam satuan decibel-milliwatt (dBm) dan menunjukkan tingkat daya sinyal yang diterima. Semakin tinggi nilai RSSI, semakin kuat sinyal yang diterima. Berikut standarisasi RSSI menurut TIPHON :

Tabel 2. 2 Standar RSSI Menurut TIPHON

Kategori	RSSI (dBm)
Sangat Bagus	> -70 dBm
Bagus	-70 dBm s/d -85 dBm
Sedang	-86 dBm s/d -100 dBm
Jelek	< -100 dBm

Persamaan untuk menentukan RSSI sebagai berikut :

$$RSSI = P_t - P_r + N + I \quad (2.20)$$

Dimana P_t merupakan daya kirim dari antena, P_r merupakan daya yang diterima pada UE, N merupakan noise yang timbul dari proses transmisi, dan I merupakan interferensi dari sinyal yang dikirimkan oleh *transmitter* lain[23].

2.2.10. Signal Noise Interference Ratio (SINR)

Ketahanan sinyal terhadap noise dan interferensi diperlukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *error* dalam proses transmisi. Rasio ketahanan sinyal dapat dihitung menggunakan persamaan SINR. SINR merupakan indikator penting dalam komunikasi nirkabel yang merepresentasikan rasio daya sinyal yang diinginkan terhadap total daya interferensi dan daya noise lingkungan. Berikut kategori rentang SINR berdasarkan TIPHON :

Tabel 2. 3 Standarisasi SINR

Kategori	Rentang Nilai
Sangat Bagus	> 30 dB
Bagus	10 dB s/d 29 dB
Normal	0 dB s/d 10 dB
Jelek	< -30 dB s/d -1 dB

Nilai SINR yang tinggi menunjukkan bahwa sinyal yang diinginkan lebih kuat dibandingkan interferensi dan noise, sehingga komunikasi menjadi lebih andal dan tahan terhadap gangguan. Jika daya noise adalah nol, maka SINR disederhanakan menjadi rasio sinyal terhadap interferensi (SIR). Sebaliknya, jika interferensi nol menyederhanakan SINR menjadi SNR. Berikut persamaan umum dari SINR :

$$SINR = \frac{P_s}{I+N} \quad (2.21)$$

Dimana P_S merupakan Daya sinyal, I merupakan interferensi, dan N merupakan *noise*, sedangkan untuk mencari besaran interferensi menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I = \sum_{i \in \mathcal{T}} P_i h_i \ell \quad (2.22)$$

Dimana \mathcal{T} merupakan himpunan dari *transmitter* yang saling menginterferensi, P_i merupakan daya yang dipancarkan, h_i merupakan perhitungan kumulatif untuk efek *shadowing* dan *fading*, ℓ merupakan fungsi *pathloss*[24].