

Studi Perbandingan Throughput pada Algoritma Pemetaan eOCSA dan Ohseki pada Teknologi WiMAX Mobile dengan Menggunakan Teknologi OFDMA

Yudiastuti

Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

Abstrak

Sistem Mobile WiMAX berdasarkan pada standard IEEE 802.16e membutuhkan alokasi semua sumber daya downlink yang dipetakan kedalam wilayah persegi empat dalam dua dimensi peta *Time-Frequency*. Dimana teknologi yang digunakan adalah OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Sudah banyak proposal algoritma pemetaan yang pernah diajukan para peneliti. Namun algoritma yang simple untuk diimplementasikan dan memiliki efisiensi *throughput* yang bagus adalah eOCSA yang diajukan oleh Chakchai So-In dkk. Dalam tugas akhir ini algoritma eOCSA akan dibandingkan dengan salah satu algoritma yang pernah diajukan sebelumnya yaitu algoritma Ohseki. Dari perhitungan diperoleh bahwa algoritma pemetaan eOCSA lebih efisien dibandingkan algoritma Ohseki, dimana efisiensi algoritma eOCSA 87.54 % sedangkan algoritma Ohseki 69.8 %.

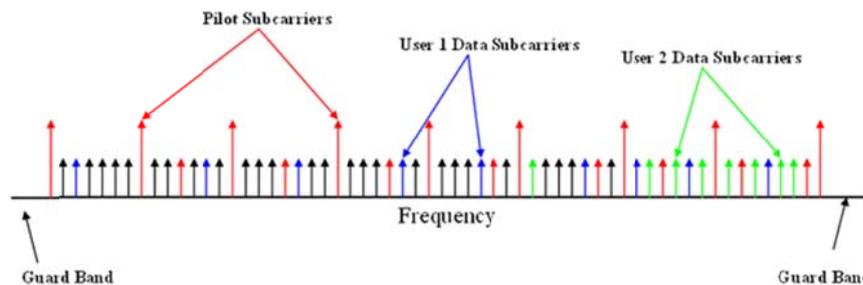
Keywords: WiMAX, OFDMA, Alokasi Sumber Daya, Pemetaan Dua Dimensi

1. PENDAHULUAN

Worldwide Interoperability for Microwave Access atau Wimax adalah salah satu standar pada *Broadband Wireless Access (BWA)* yang diperkenalkan oleh *Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE)*. Dikenal dengan sistem IEEE 802.16x. Implementasi teknologi ini bisa digunakan pada kondisi *Line Of Sight (LOS)* dan N-LOS. Keunggulan yang dimiliki WiMAX ini disebabkan karena penggunaan teknologi OFDM. OFDM adalah teknik modulasi multicarrier yang banyak di terapkan pada sistem komunikasi berkecepatan tinggi seperti di DSL (Digital Subscriber Line), WLAN (802.11 a/g/n), digital video broadcasting. Pada teknologi WiMAX, teknologi modulasi yang digunakan untuk standar 802.16e adalah OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Di dalam OFDMA data harus dipetakan ke dalam sebuah matrix time-frequency sebelum benar-benar ditransmisikan. Keefisienan, pemakaian daya dan factor-faktor QOS (Quality Of Service) harus dipertimbangkan dalam algoritma pemetaan.

2. ALOKASI *RESOURCE* (SUMBER DAYA) PADA OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) adalah sebuah versi dari skema modulasi digital OFDM. *Multiple Access* ini bekerja dengan mengalokasikan subbagian dari subkanal pada pengguna individual seperti ditunjukkan pada gambar 1. Dengan metode ini memungkinkan OFDMA melakukan transmisi data dengan kecepatan rendah untuk beberapa pengguna. Pada komunikasi nirkabel, masalah yang dihadapi WiMAX adalah banyaknya pengguna pada daerah geografis yang sama yang meminta kecepatan data yang tinggi dengan bandwidth yang terbatas dan latency yang rendah. Teknik multiple access memungkinkan pengguna membagi bandwidth yang tersedia dengan mengalokasikan beberapa bagian dari sumber daya yang tersedia pada masing-masing user. OFDMA dapat juga dideskripsikan sebagai kombinasi dari domain frekuensi dan domain waktu dari akses jamak., dimana sumber daya di partisi dalam domain ruang waktu dan frekuensi, dan slot dialokasikan pada indeks symbol OFDM-TDMA dan juga pada indeks subkanal OFDM-TDMA.



Gambar 1. Alokasi sumber daya pada OFDMA

2.1 Orthogonalitas

Sinyal-sinyal dikatakan orthogonal jika sinyal yang satu dengan yang lainnya berdiri sendiri (*mutually independent*). Istilah orthogonal didalam *Orthogonal Frequency Multiplexing* (OFDM) mengandung makna hubungan matematis diantara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan persamaan matematika, dua buah sinyal dikatakan orthogonal bila:

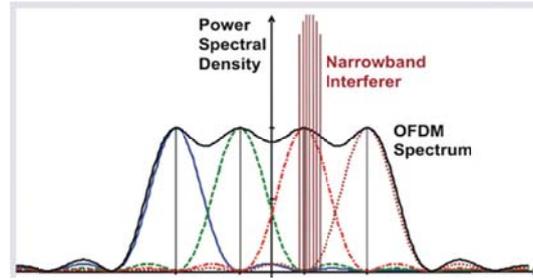
- a. Untuk sinyal waktu kontinu

$$\int_0^{T_s} \cos(2\pi n f_0 t) \times \cos(2\pi m f_0 t) dt = 0; n \neq m$$

- b. Untuk sinyal waktu diskrit

$$\int_0^{N-1} \cos\left(\frac{2\pi k n}{N}\right) \times \cos\left(\frac{2\pi k m}{N}\right) = 0; n \neq m$$

Dimana T_s adalah periode symbol dan N adalah jumlah subcarrier. Pemakaian frekuensi yang saling orthogonal pada OFDM memungkinkan subcarrier yang satu dengan subcarrier yang lainnya saling overlap tanpa menimbulkan interferensi antar carrier (ICI). Keorthogonalan sinyal OFDM dapat dilihat pada spectrum frekuensi seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Ortogonalitas OFDM

Secara matematis besarnya frekuensi subcarrier yang digunakan dapat dinyatakan sebagai:

$$f_k = f_o + \frac{k}{T_s}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Dari persamaan dapat diperoleh jarak setiap frekuensi subcarrier agar orthogonal minimal harus dipisahkan sejauh $1/T_s$ dan dapat dinyatakan sebagai:

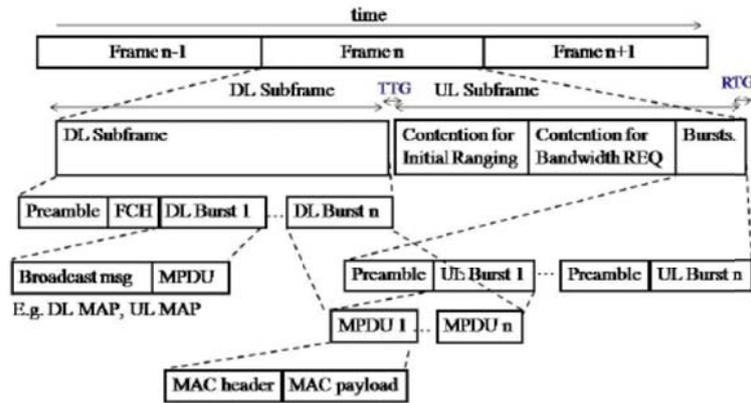
$$\Delta f = \frac{1}{T_s},$$

dimana Δf adalah jarak antara frekuensi subcarrier dan T_s adalah periode symbol.

OFDMA pada dasarnya gabungan dari FDMA dan TDMA; pengguna secara dinamis dialokasikan subcarrier (FDMA) pada slot waktu yang berbeda (TDMA). Kelebihan dari OFDMA dimulai dari keuntungan OFDM-TDMA pengguna tunggal dalam hal ketahanan terhadap pengendalian *multipath* dan jamak fleksibel yang bisa mengakomodasikan beragam aplikasi yang luas, data rate dan ketentuan QoS. Karena sistem akses jamak ini diterapkan pada domain digital, sebelum operasi IFFT, alokasi bandwidth yang dinamis dan efisien dapat dimungkinkan. Hal ini dimungkinkan dapat di terapkan algoritma penjadwalan terhadap domain frekuensi dan waktu.

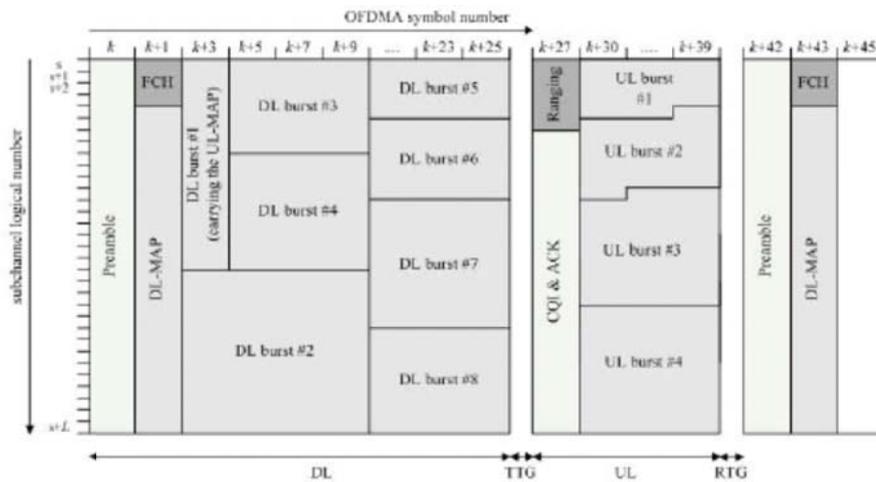
2.2 Struktur frame dari OFDMA

Struktur frame OFDMA berdasarkan standar IEEE.802 dapat dijelaskan secara logika dari gambar 3. Setiap frame terdiri dari subframe downlink (DL) dan uplink (UP). Sebuah *preamble* biasanya digunakan sebagai sinkronisasi waktu. Downlink map (DL-MAP) dan uplink map (UP-MAP) mendefinisikan *burst-start time* dan *burst-end time*, tipe-tipe modulasi dan *forward error control* (FEC) untuk setiap MS. *Frame Control Header* mendefinisikan (FCH) panjang MAP dan subcarrier-subcarrier yang biasa digunakan. Alokasi MS berkenaan dengan burst. WiMAX mendukung beberapa MS didalam satu burst bertujuan mengurangi busrt overhead. Setiap busrt dapat berisi beberapa MAC protocol data unit (MPDUs). MPDUs adalah unit terkecil dari MAC pada layer fisik. Pada dasarnya setiap MPDU adalah sebuah frame MAC dengan MAC header (6 byte), subheader-subheader yang lain seperti *fragmentation*, *packing* dan *subheader grant management* (GM) jika dibutuhkan dan terakhir payload.



Gambar 3. Struktur Frame dalam mode TDD.

Karena media wireless, kondisi kanal selalu berubah setiap waktu. Oleh karena itu WiMAX mendukung *adaptif modulation* dan *coding* yaitu modulasi dan pengkodean dapat dirubah secara adaptif tergantung dengan kondisi kanal. MS dan BS dapat melakukan perkiraan dan kemudian BS memutuskan modulasi dan skema pengkodean yang lebih efisien. *Channel Quality Indicator* (CQI) biasa digunakan untuk melewati informasi kondisi kanal. Gambar 4 juga menunjukkan celah TTG dan RTG. *Transmit-Receive Transition Gap* (TTG) terjadi ketika BS berubah dari transmit ke *receive mode* dan *Receive-transmit Transition Gap* (RTG) terjadi ketika BS dari receive ke transmit mode. MS juga mengg yang menggunakan celah-celah ini pada arah yang berlawanan.



Gambar 4. Struktur Frame dalam mode TDD OFDMA.

2.3 Parameter OFDMA

Tabel 1 adalah daftar parameter-parameter OFDMA dari beberapa lebar kanal. Hasil dari spasi subcarrier dan ukuran FFT (*Fast Fourier Transform*) sama dengan hasil dari bandwidth kanal dan faktor sampling. Contohnya untuk kanal 10 MHz, $10.93 \text{ kHz} \times 1024 = 10 \text{ MHz} \times (28/25)$. Pada tabel menunjukkan bahwa pada 10 MHz, waktu symbol OFDMA $102.8 \mu\text{s}$ dan maka ada 48.6 simbol didalam 5 ms frame./Dalam hal ini 1.6 simbol digunakan untuk TTG dan 47 simbol untuk RTG. Jika n digunakan untuk downlink kemudian 47-n untuk

uplink, slot DL menempati 2 simbol dan slot UL menempati 3 simbol, sehingga pembagian 47 simbol seperti $47-n$ adalah sebuah kelipatan dari 3 dan n adalah bentuk dari $2k+1$. Rasio DL:UL = 2:1, pertimbangan ini menghasilkan subframe DL ada 29 simbol dan subframe UL ada 18 simbol. Sehingga akan diperoleh total subframe DL terdiri dari $14 \times 20 = 420$ slot dan total subframe UL terdiri dari $6 \times 35 = 210$ slot.

Tabel.1 Parameter OFDMA untuk WiMAX

| Parameters | Values | | | | | | |
|---|--------|-------|------|------|------|------|-------|
| System bandwidth (MHz) | 1.25 | 5 | 10 | 20 | 3.5 | 7 | 8.75 |
| Sampling factor | 28/25 | | | | 8/7 | | |
| Sampling frequency (F_s , MHz) | 1.4 | 5.6 | 11.2 | 22.4 | 4 | 8 | 10 |
| Sample time ($1/F_s$, nsec) | 714.3 | 178.6 | 89.3 | 44.6 | 250 | 125 | 100 |
| FFT size (N_{FFT}) | 128 | 512 | 1024 | 2048 | 512 | 1024 | 1024 |
| Subcarrier spacing (Δf , kHz) | 10.93 | | | | 7.81 | | 9.76 |
| Useful symbol time ($T_b = 1/\Delta f$, μs) | 91.4 | | | | 128 | | 102.4 |
| Guard time ($T_g = T_b/8$, μs) | 11.4 | | | | 16 | | 12.8 |
| OFDMA symbol time ($T_s = T_b + T_g$, μs) | 102.8 | | | | 144 | | 115.2 |

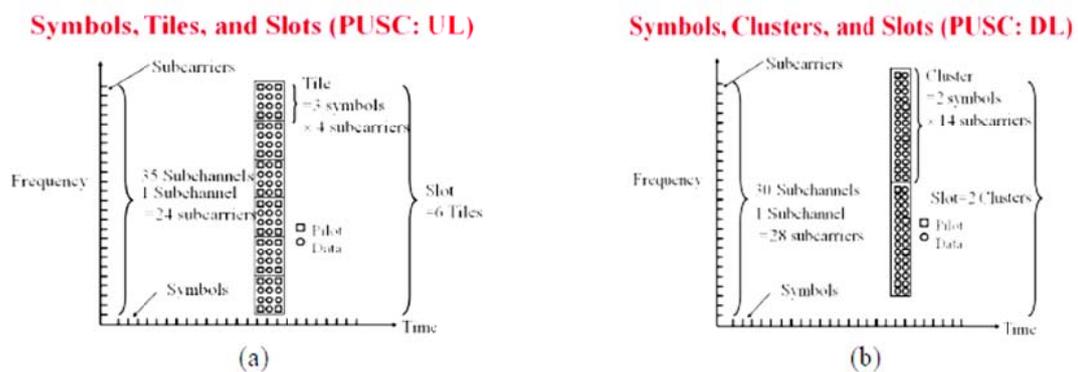
2.4 Skema Pengodean dan Modulasi OFDMA

Tidak seperti WiFi dan banyak teknologi selular lainnya yang menggunakan kanal-kanal dengan kelebaran yang tetap, WiMAX menggunakan hampir spektrum yang ada digunakan. Bandwidth kanal yang digunakan dari 1.25 MHz sampai 28 MHz. Kanal dibagi menjadi subcarrier yang sama besar. Contohnya 10 MHz dibagi menjadi 1024 subcarriers beberapa digunakan untuk transmisi data sedangkan yang lainnya di siapkan untuk memonitoring kualitas kanal (pilot subcarrier), untuk menyediakan zona aman (guard subcarrier) diantara kanal-kanal, atau untuk digunakan sebagai frekuensi referensi (DC subcarrier). Subcarrier data dan pilot dimodulasikan menggunakan satu dari beberapa MCS (Modulation and Coding Schemes) yang ada. *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) adalah contoh dari metode-metode modulasi. Pengkodean kepada bit-bit *Forward Error Correction* (FEC). Oleh karena itu QAM-64 1/3 menunjukkan sebuah MCS dengan 8 bit (64 kombinasi) QAM memodulasikan symbol 1/3 dari data.

Didalam jaringan selular, arah downlink *Base Station* (BS) menuju *Mobile Station* (MS) dan arah uplink (MS ke BS) menggunakan frekuensi yang berbeda. Hal ini dinamakan *frequency division duplexing* (FDD). WiMAX menggunakan FDD tapi juga menggunakan TDD yang mana downlink (DL) dan uplink (UP) membagi frekuensi sama tetapi bergantian pada waktunya.

Subframe DL dan subframe UL dipisahkan oleh sebuah TTG (*transmit to transmit gap*) dan RTG (*receive to transmit gap*). Sebuah frame diperlihatkan dalam dua dimensi dimana arah vertical untuk frekuensi dan horizontal untuk waktu. Didalam OFDMA setiap MS dialokasikan pada bagian kecil dari subcarrier. Subcarrier-subcarrier yang ada dikelompokkan menjadi beberapa subkanal dan MS dialokasikan satu atau lebih subkanal untuk sejumlah simbol tertentu. Ada beberapa cara untuk mengelompokkan subcarrier didalam subchannel, yang banyak digunakan adalah *Partially Used Subchannelization* (PUSC). Didalam PUSC, subcarrier membentuk sebuah subchannel diseleksi secara acak dari semua subcarrier yang ada. Sehingga untuk membentuk sebuah

subkanal tidak boleh menggunakan frekuensi yang berdekatan. Pelanggan menggunakan variable “slot” didalam downlink dan uplink. Definisi tepatnya dari slot tergantung metode subkanalisasi dan arah transmisi (DL atau UL). Gambar 5 menunjukkan formasi slot untuk PUSC. Pada arah uplink, sebuah slot terdiri dari 6 tile dimana setiap tile terdiri dari 4 subcarrier yang berisi masing-masing 3 symbol time. Kombinasi symbol dari 12 subcarrier tsb yaitu 4 biasanya digunakan untuk pilot dan 8 untuk data. Oleh karena itu sebuah slot terdiri dari 24 subcarrier dikalikan 3 symbol time. Untuk Bandwidth 10 MHz ada 1024 subcarrier dari 35 subkanal UL. Formasi slot untuk berbeda seperti yang diperlihatkan pada gambar 5. Pada arah downlink, slot terdiri dari 2 cluster dimana setiap cluster terdiri dari 14 subcarrier yang masing-masing berisi 2 simbol waktu. Jadi sebuah slot terdiri dari 28 subcarrier dengan tiapnya 2 simbol panggil sebuah subkanal menghasilkan 30 subkanal downlink dari 1024 subcarrier pada 10 MHz.



Gambar 5. Symbol, tile, cluster dan slot.

2.5 Teknik Alokasi Resource pada OFDMA

Didalam mode OFDMA standar IEEE 802.16, bandwidth spektrum yang ada di dalam suatu frame dibagi menjadi beberapa subcarrier orthogonal. Subcarrier-subcarrier ini di kelompokkan kedalam subkanal logic, untuk mempermudah dalam hubungan dengan pelanggan yang berbeda. Penggabungan antara subcarrier fisik dan subkanal logic dinamakan mode permutasi.

Mode permutasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

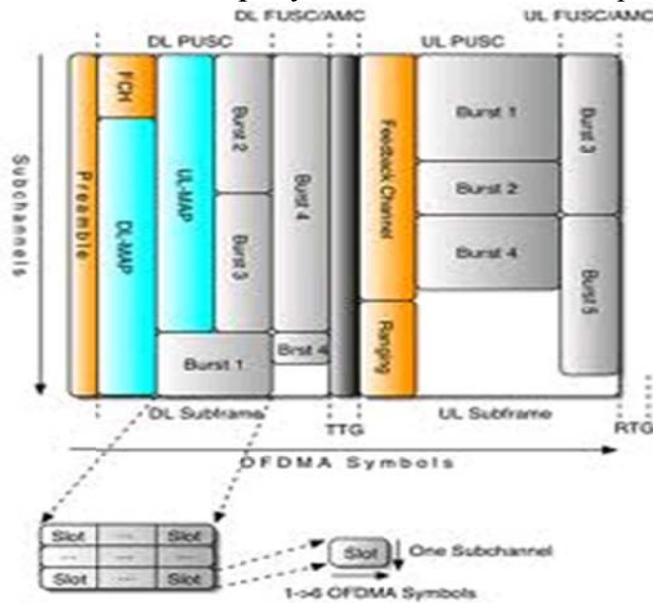
- Mode distributed permutation (PUSC, FUSC)
Subkanal-subkanal logic dibangun dari subcarrier-subcarrier yang didistribusikan sepanjang spectrum frekuensi yang ada. Perbedaan kanal ini mengurangi efek dari fast fading dari lingkungan mobile. Juga rata-rata Signal-to-Noise-Ratio (SNR) secara praktis sama untuk semua subkanal, sehingga subkanal tsb cukup memadai untuk semua transmitter.
- Mode Adjacent Permutation (seperti AMC-band)
Subkanal dibangun dari subcarrier yang berdekatan secara fisik. Sehingga SNR antar pelanggan sangat berbeda.

IEEE 802.16 mendefinisikan algoritma pemetaan untuk traffic uplink (SS ke BS). Sedangkan aturan pemetaan downlink (BS ke SS) tidak dispesifikasikan, hal ini menurut perbedaan masing-masing manufaktur. Transmisi didalam OFDMA dilakukan didalam sebuah dasar frame waktu. Frame dibagi menjadi dua subframe: DL subframe dan UL subframe. DL subframe berawal dari sebuah

preamble, yang dibutuhkan untuk mensinkronisasi SS. Setelah itu BS mentransmisikan DL- message yang berisi sejumlah variable *Information Element* (IE). Setiap IE menspesifikasikan posisi dan ukuran wilayah data tertentu, disebut sebagai sebuah burst. Posisi dan ukuran dari sebuah burst berhubungan pada koordinat-koordinat dari matrix OFDMA, yang memiliki dimensi symbol waktu (x-axis) dan subkanal-subkanal frekuensi (y-axis). Ruang yang tersisa ditempati oleh wilayah data baru.

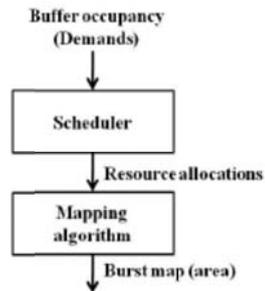
3. MASALAH PEMETAAN BURST DOWNLINK

Tidak seperti alokasi sumber daya uplink, menggunakan pemetaan garis horizontal, pemetaan burst downlink membutuhkan sebuah bentuk persgi. Teknik yang digunakan adalah OFDMA supaya mendapatkan data rate yang tinggi, jarak yang jauh dan mobilitas yang tinggi. Pada dasarnya prinsip kerja teknik OFDMA yaitu kanal yang masuk dibagi menjadi beberapa subcarrier. Sejumlah subcarrier dikelompokkan menjadi sebuah subkanal. Kemudian setiap MS diberikan sekelompok subkanal untuk beberapa symbol waktu OFDMA seperti gambar 6.



Gambar 6 Struktur Frame OFDMA

Penjadwalan sumber daya downlink dapat dilakukan dalam dua langkah. Pada langkah pertama, penjadwal memutuskan alokasi (jumlah slot untuk dialokasikan) kepada tiap SS (subscriber station). Hal ini dilakukan tanpa adanya kendala bentuk dan berdasarkan semata-mata pada permintaan (jumlah paket yang dikirim kepada suatu BS), kapasitas (jumlah slot yang ada) dan *quality of service* (QoS) kemudian dipetakan pada area burst.



Gambar 7 Dua Langkah Alokasi Downlink

Pada langkah kedua adalah menggunakan batas area untuk menunjukkan ukuran sebenar dan lokasi dari burst yang berbentuk persegi. Masalah pemetaan dua dimensi adalah suatu variasi dari *bin packing problem*, yang mana sebuah *bin* yang harus diisi dengan benda-benda. Suatu *bin* bisa dua atau lebih dimensi, namun masalahnya pada bentuk benda yang akan dimuat didalam bin yang diberikan, misalkan benda-benda yang berbentuk lingkaran di muatkan didalam lingkaran, benda-benda yang berbentuk segitiga didalam dilngkaran , benda-benda kotak didalam persegi empat dan seterusnya.

Bin Packing problem dikenal sebagai *NP-Complete*, yaitu masalah kerumitan dalam komputerisasi dengan jumlah dari object. Di dalam IEE 802.16e WiMAX, pemetaan burst downlink dua dimensi dapat ditetapkan sebagai berikut:

1. Bentuk segiempat yang tetap *Bin (B)* dimana lebar W dan tinggi H . Sehingga *Bin (B)* sama dengan $W \times H$.
2. Diberikan sejumlah n $\{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ dimana b_i memiliki sebuah area A_i
3. Kita harus menentukan bentuk segiempat untuk lebar W_i dan tinggi H_i dimana $A_i \leq W_i \times H_i$
4. Lebar $W_i \leq W$ untuk semua i , sama tinggi $H_i \leq H$ untuk semua i
5. W_i, H_i, W dan H adalah integer
6. Jika $A_i < W_i \times H_i$, ruang extra $W_i \times H_i - A_i$, adalah pemborosan, juga ruang yang berlebih $A_i - A_i$ bisa digunakan jika tidak ada lagi alokasi yang bisa dimuat.
7. Tujuannya adalah memperkecil area yang tidak digunakan dan berlebih yaitu $W \times H - \sum A_i$.

Berdasarkan IEE802.16 WiMAX, banyak proposal yang sudah memperkenalkan pendekatan-pendekatan algoritma *heuristic* berdasarkan banyak factor. Secara umum ada empat pertimbangan dalam mendesain algoritma pemetaan ini:

1. Pemetaan sumber daya seharusnya memaksimalkan *throughput* dan meminimalkan *space* alokasi yang berlebih dan yang tidak dipakai.
2. Algoritma pemetaan seharusnya simple dan cepat supaya jumlah pengguna dan burst yang besar bisa ditangani secara efisien.
3. Algoritma seharusnya peduli dengan komponen-komponen variable dari DL-MAP dan UL-MAP. Variabel ini terdiri dari profil setiap burst dan karenanya tergantung dari jumlah burst.
4. Pemetaan sumber daya dapat memperkecil pemakaian energi pada MS, karena selama penerimaan burst MS harus aktif.

Tabel 5 menerangkan beberapa algoritma pemetaan burst downlink yang pernah diajukan :

Tabel 2 Pemetaan *Rectangular* Dua Dimensi untuk Downlink pada Jaringan WiMAX

| | Algorithm Descriptions | Pros | Cons | Complexity |
|--|---|--|---|---------------------------------|
| Yehuda Ben Shimol <i>et al</i> [36] (Raster Algorithm) | Assign the resource allocation row by row with largest resource allocation first | Simple | Lack of detailed explanation of how to map the resource to unused space in a frame when its size span over multiple rows Do not consider a variable part of DL-MAP | <i>N/A</i> |
| Takeo Ohseki <i>et al</i> [37] | Allocate in time domain first and then frequency domain (left to right and top to bottom) | Allow burst compaction if there are more than one bursts that belong to the same physical node | Do not consider the unused space Do not consider a variable part of DL-MAP | $O(N) + O(Search) + O(Compact)$ |
| Claude Desset <i>et al</i> [38] | Apply the binary-tree full search algorithm | Optimize frame utilization | Support only 8 users at maximum Do not consider a variable part of DL-MAP | <i>N/A</i> |
| Andrea Baccioccola <i>et al</i> [39] | Allocate from right to left and bottom to top | Optimize frame utilization Consider a variable part of DL-MAP | Map a single allocation into multiple rectangular areas that may increase the DL-MAP element overhead | <i>N/A</i> |

Pemetaan dua dimensi OFDMA pertama kali diperkenalkan oleh Yehuda Ben-Shimol dan rekan-rekannya. Algoritmanya simple dengan memberikan alokasi sumber daya baris per baris dengan mengalokasikannya pada lebar yang paling besar. Tidak ada penjelasan yang detail bagaimana memetakan sumber daya pada ruang yang tidak terpakai didalam sebuah frame.

Algoritma pemetaan yang lain diperkenalkan oleh Takeo Ohsaki dan rekan-rekan. Pemetaan ini pada dasarnya mengalokasikan didalam domain waktu pertama dan kemudian domain frekuensi (kiri kekanan dan atas kebawah). Algoritma ini tidak mempertimbangkan ruang yang tidak terpakai, dengan tidak mempertimbangkannya berarti akan mengurangi *throughput*.

Claude Desset dan rekan-rekan memperkenalkan algoritma hanya bisa mendukung maksimum 8 pelanggan untuk pemetaan burst didalam bentuk persegi. Pemetaan ini tidak mempertimbangkan variasi yang mungkin bisa dipetakan dari pasangan burst tertentu.

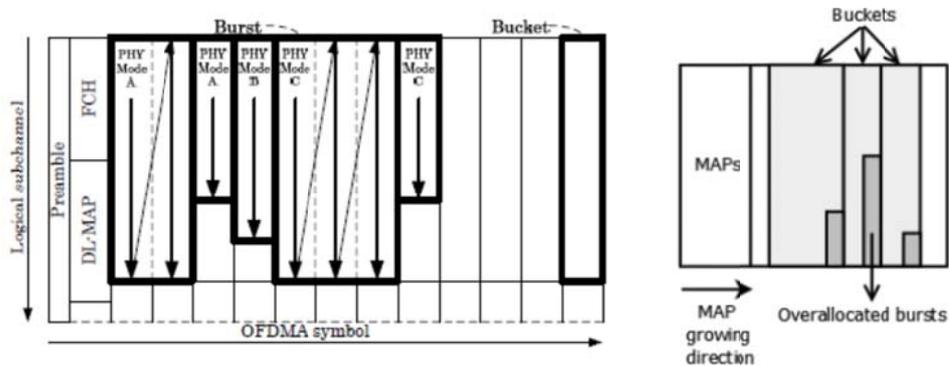
Baccioccola memperkenalkan sebuah algoritma yang mengalokasikan dari kanan ke kiri dan bawah ke atas. Namun algoritma ini memetakan satu alokasi untuk banyak frame sehingga akan meningkatkan overhead DL MAP.

4. ALGORITMA PEMETAAN BURST DOWNLINK

4.1 Algoritma Takeo Ohseki

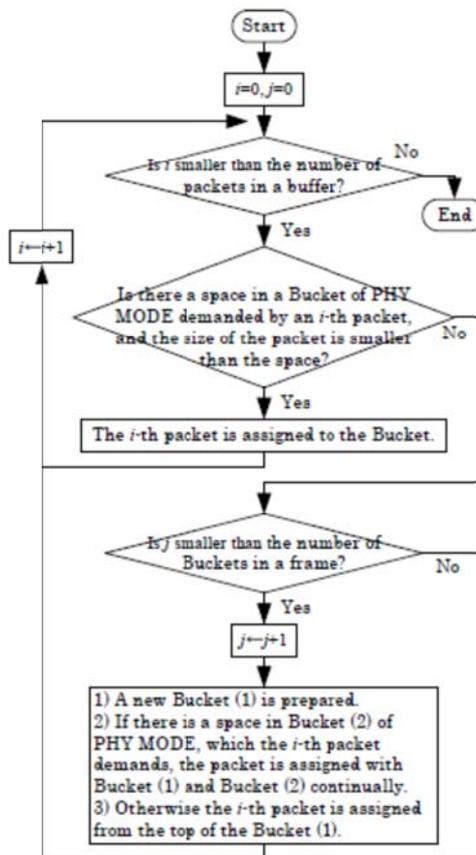
Tujuan dari algoritma ini adalah mengurangi jumlah burst dengan mengelompokkan data dari pelanggan yang berbeda, tetapi memiliki *Modulation and Coding Scheme* (MCS) yang sama. Hal ini dilakukan dengan mengalokasikan wilayah-wilayah data yang disebut *bucket*. Sebuah bucket berawal dari satu baris

burst (nilai lebar yang minimal) lalu ke baris selanjutnya, jika ada alokasi yang baru dengan *Modulation and Coding Scheme* (MCS) yang sama dibutuhkan ruang extra untuk memuatkannya. Karena pada awalnya setiap MCS mengalokasikan semua baris, sehingga hal ini menyebabkan kelebihan burst yang dialokasikan. Namun DL Burst bisa dikurangi dengan menggabungkan bucket-bucket yang memiliki MCS yang sama dan akhirnya menjadi satu downlink burst.



Gambar 8 Contoh Pemetaan Burst Downlink Algoritma Ohseki

Gambar 8 menunjukkan sebuah contoh pembentukan burst downlink menggunakan *bucket*. Prosedur kerjanya bisa dilihat pada flowchart di gambar 9.



Gambar 9 Flowchart Pembentukan Burst dan Packet Algoritma Pemetaan

4.2 Algoritma eOCSA

Efficient One Column Striping with non-increasing Area first (eOCSA) yang bertujuan untuk memaksimalkan *throughput* dengan memperkecil ruang yang tersisa (*unused space*) dan mengoptimalkan pemakaian energi pada SS (*Subscriber Station*) dengan memperkecil lamanya waktu terima SS. eOCSA adalah sebuah algoritma pemetaan baru dimana prinsip disainnya terdiri dari 4 langkah sbb:

1. Alokasi sumber daya (A_i), disusun dari yang bernilai besar ke kecil dan dipilih terlebih dahulu yang bernilai besar.
2. Pemetaan vertical, terdiri dari pemetaan alokasi sumber daya ini ke subframe DL. Diberikan sebuah area A_i , algoritma memetakan pasangan lebar-tinggi (W_i, H_i) untuk sebuah burst sbb:

$$W_i = \lfloor A_i/H \rfloor$$

$$H_i = \lfloor A_i/W_i \rfloor$$

H adalah tinggi maksimum ada pada subframe downlink, dengan bandwidth 10 MHz pada WiMAX mobile mendapatkan jumlah H adalah 30 subkanal, hal ini membuat wilayah yang dipetakan lebih besar dari alokasi yang dibutuhkan ($W_i \times H_i \geq A_i$) dan bentuk persegi memiliki kemungkinan lebar yang minimum sehingga bisa mengecilkan masa aktif MS dan energy.

3. Pemetaan Horizontal, setelah alokasi sumber daya dipetakan pada subframe DL, kemungkinan masih ada ruang yang tersisa atau belum dialokasikan (yang dikenal dengan sebuah *strip*). Algoritma eOCSA mencoba memberikan element yang terbesar selanjutnya untuk dialokasikan, yang bisa muat di ruang tsb. Pada langkah ini lebar wilayah tetap dan biasanya untuk menentukan tinggi yang dibutuhkan untuk element yang terbesar selanjutnya dapat dimuat pada wilayah berikut:

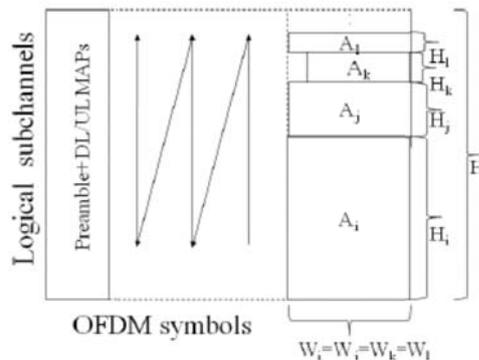
$$A_j < W_i \times H_o ; H_o = H - H_i$$

$$H_j = \lfloor A_j/W_i \rfloor$$

$$W_j = \lfloor A_j/H_j \rfloor$$

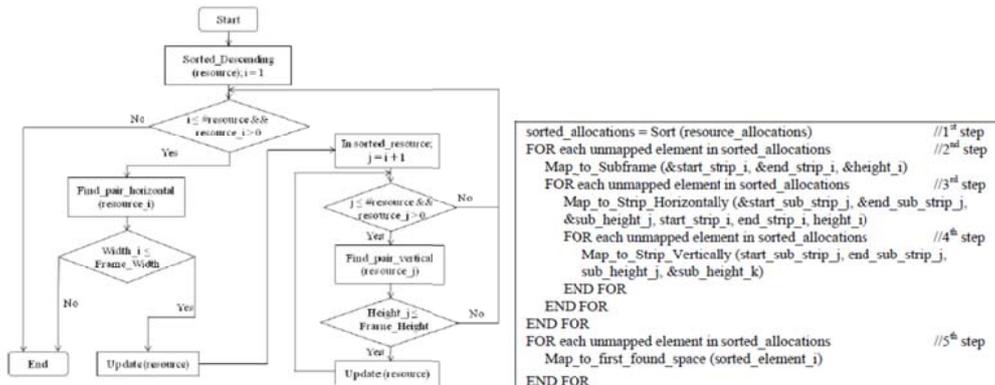
H_o adalah tinggi maksimum yang ada didalam *strip*. Langkah ini di ulang sampai tidak ada alokasi yang akan di muat di ruang yang ada.

4. Jika tidak ada alokasi lagi, kita kembali ke langkah 2 dan memilih alokasi yang terbesar untuk dipetakan ke subframe downlink. Prosesnya bergerak secara vertical dan horizontal dari kiri kekanan dan dari atas ke bawah seperti gambar 10.



Gambar 10 Contoh Pemetaan Burst Downlink menggunakan eOCSA

Gambar 11 menunjukkan flowchart algoritma eOCSA dan *code pseudo* yang menunjukkan jaringan dari beberapa langkah dari algoritma eOCSA yang digambarkan pada gambar 12.



Gambar 11 Flow Chart Algoritma Pemetaan Burst eOCSA

Gambar 12 Langkah-Langkah Algoritma eOCSA

5. PERBANDINGAN ALGORITMA eOCSA DAN TAKEO OHSEKI

Algoritma eOCSA dan Takeo Ohsaki adalah dua algoritma *heuristic* yang pernah di ajukan sebagai acuan dalam mengatur pemetaan alokasi sumber daya dalam Subframe Downlink (DL) pada WiMAX mobile, namun algoritma eOCSA yang di kenalkan oleh Chakchai So-In dan algoritma Takeo Ohsaki yang dikenalkan oleh Takeo Ohsaki memiliki perbedaan dalam hal prinsip kerja.

Algoritma eOCSA melakukan pemetaan berawal dari bawah ke atas dan dari kiri ke kanan dengan tidak memperhatikan (*Modulation and Coding Scheme*) MCS yang sama namun sangat memperhatikan area-area yang tidak digunakan (unused space). Alokasi sumber daya disusun dari alokasi sumber daya yang terbesar sampai terkecil, dimana yang memiliki kombinasi pasangan lebar yang bernilai terkecil yang dipilih dengan tujuan untuk memeperkecil masa aktif MS dan pemakaian daya.

Sedangkan Algoritma Takeo Ohsaki melakukan pemetaan berawal dari kiri ke kanan dahulu yang memiliki pasangan pemetaan yang memiliki lebar terkecil, setelah itu dari atas ke bawah dengan tidak memperhatikan area-area yang tidak terpakai. Alokasi-alokasi sumber daya yang memiliki MCS yang sama akan digabungkan dalam hal ini yang dinamakan *bucket*.

Dalam proyek akhir ini akan dibahas mengenai area-area yang tidak terpakai (*Unused space*), alokasi yang berlebih (*over allocation slot*) dan additional column dimana dengan berkurangnya nilai ketiga hal tersebut dapat memaksimalkan *throughput*.

Di tulisan ini dibahas sebuah kasus dengan jumlah MS (Mobile Sation) ada 5 MS (A1, A2, A3, A4, A5) dengan alokasi sumber daya yang diberikan berbeda dari 1 sampai 360 slot, untuk menerangkan algoritma eOCSA dan Takeo Ohsaki.

Subframe Downlink diasumsikan ada 360 slot dihasilkan dari 12 time domain x 30 frekuensi domain, dimana dua slot kolom dalam DL subframe digunakan untuk FCH, DL-MAP dan UL-MAP, sisa 12 kolom untuk data burts.

Perbedaan yang akan di lihat pada dua algoritma ini adalah pada ruang yang tidak terpakai (*unused space*), kelebihan alokasi slot (*over allocation slots*) dan *additional column* (penambahan kolom).

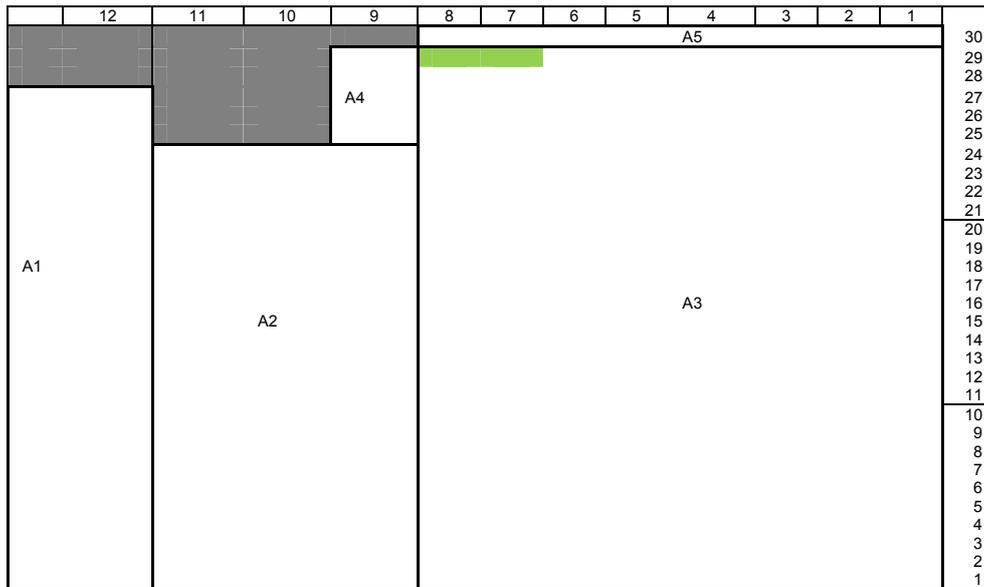
Berikut tabel alokasi sumber daya dan pasangan W_i dan H_i yang mungkin bisa untuk mengalokasikan sumber daya,

Tabel 3 Contoh Alokasi Sumber Daya Algoritma eOCSA

| MS | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------|-------------------|--------------------------|
| Alokasi (Slot) | 54 | 72 | 230 | 5 | 8 |
| Pemetaan (Lebar , Tinggi) | 2x27 3x18 4x14 | 3x24 4x18 | 8x29 | 1x5 5x1 | 1x8 2x8 8x1 |
| Kelebihan Alokasi | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |

Penjelasannya sbb:

1. Algoritma menyusun semua alokasi sumber daya dengan urutan yang memiliki nilai alokasi yang terbesar sampai terkecil. Sehingga dihasilkan urutan A3, A2, A1, A5 dan A4 secara berurutan. Pemetaan area subframe downlink dilakukan dari bawah keatas dan dari kanan ke kiri.
2. Alokasi sumber daya yang terbesar adalah A3 yang bernilai 230, pasangan pemetaan yang dipilih adalah 8x29 yang diperoleh dari hasil rumus :
 $W_i = [A_i/H]$ $H_i = [A_i/W_i]$
 $W_i = [230/30]= 8$ (dibulatkan ke atas)
 $H_i = [230/8] = 29$ (dibulatkan ke atas)
 Dari pemetaan ini menghasilkan alokasi slot yang berlebih 2 slot karena $8 \times 29 = 232$ sedangkan slot yang dialokasi sebesar 230. Juga menyisakan 8x1 slot. Algoritma lalu mencari pasangan alokasi yang bisa di petakan pada wilayah sebesar 8x1. Pasangan yang mungkin adalah pada MS A5 yaitu 8x1 sehingga tidak lagi menyisakan slot. Algoritma melanjutkan pemetaan ke kiri dengan mencari alokasi tertinggi lainnya.
3. Alokasi tertinggi selanjutnya adalah A2 yang bernilai 72. Pasangan pemetaan yang dipilih adalah 3x24 yang diperoleh dari rumus:
 $W_i = [72/30]=3$ (dibulatkan keatas)
 $H_i = [72/3] = 24$
 Pemetaan ini menghasilkan area yang tidak terpakai sebesar $6 \times 3 = 18$ slot. Algoritma lalu mencari pasangan pemetaan yang mungkin bisa dimuatkan didalam area tersebut. Alokasi yang bisa memuatnya adalah A5 dengan pasangan pemetaan 1x5 sehingga masih tersisa $(2 \times 6) + 1 = 13$ slot. Karena sudah tidak ada lagi alokasi yang bisa dimuat, algoritma mencari alokasi tertinggi lainnya.
4. Alokasi tertinggi lainnya adalah A1 yang bernilai 54. Pasangan pemetaan yang dipilih adalah 2x27 yang di peroleh dari rumus :
 $W_i = [54/30] = 2$ (dibulatkan keatas)
 $H_i = [54/2] = 27$
 Namun nilai terse melebihi lebar yang tersisa sehingga dibutuhkan tambahan kolom. Pemetaan ini menghasilkan $3 \times 2 = 12$ slot yang tersisa atau tidak digunakan. Gambar 13 adalah hasil pemetaannya.



Gambar 13 Hasil Pemetaan Algoritma eOCSA

5. Jadi total jumlah slot yang tidak digunakan adalah $(2 \times 2) + (2 \times 6) + (1 \times 1) = 16$ slot. Persentase perbandingan dengan total slot adalah $(16/390) \times 100\%$ (penambahan 1 kolom sebesar 30 slot) = 4%. Sedangkan jumlah alokasi slot yang berlebih adalah $2 \times 1 = 2$ slot. Persentase perbandingan dengan total slot adalah $(2/390) \times 100\% = 0,5\%$ dan ada penambahan satu kolom sebesar 30 slot. Karena slot-slot yang tersisa dan berlebih dianggap suatu pemborosan sehingga diperoleh efisiensi algoritma eOCSA adalah $[390 - (16 + 2)/390] \times 100\% = 95,3\%$

Untuk hasil dari alokasi sumber daya selanjutnya bisa dilihat di lampiran. Jumlah alokasi sumber daya pada percobaan ini 1 sampai 20. Asumsi bahwa setiap MS membutuhkan hanya satu burst. Alokasi sumber daya untuk setiap MS diberikan secara acak dari range 1 sampai 360.

Berikut tabel hasil percobaan yang memberikan informasi mengenai slot-slot yang tersisa dan alokasi slot yang berlebih.

Tabel 4 Hasil Percobaan Menggunakan Algoritma eOCSA

| Σ MS | Unused Slot | Over Allocation Slot | % Unused Slot | % Over Allocation Slot | Additional Column | % Throughput |
|-------------|-------------|----------------------|---------------|------------------------|-------------------|--------------|
| 1 | 240 | 3 | 33 | 0.83 | 0 | 65.8 |
| 2 | 175 | 0 | 48,6 | 0 | 0 | 51 |
| 3 | 41 | 5 | 11,3 | 1,3 | 0 | 87,2 |
| 4 | 117 | 3 | 32,5 | 0,83 | 0 | 66,6 |
| 5 | 16 | 2 | 4 | 0,51 | 1 | 95,3 |
| 6 | 36 | 8 | 9,2 | 2,05 | 1 | 88,7 |
| 7 | 53 | 7 | 14,7 | 1,94 | 0 | 83,33 |
| 8 | 7 | 2 | 1,6 | 0,83 | 0 | 97,7 |
| 9 | 39 | 3 | 9,2 | 0,7 | 2 | 90 |
| 10 | 18 | 12 | 4,6 | 3 | 1 | 92,30 |
| 11 | 30 | 6 | 6,25 | 1,25 | 4 | 98,75 |
| 12 | 47 | 9 | 9,2 | 1,76 | 5 | 89 |
| 13 | 22 | 5 | 4 | 0,92 | 6 | 95 |
| 14 | 46 | 7 | 8 | 1,2 | 7 | 90 |
| 15 | 32 | 5 | 7,1 | 1,1 | 3 | 91,7 |
| 16 | 18 | 6 | 3,15 | 1,05 | 7 | 95 |
| 17 | 59 | 3 | 8,9 | 0,45 | 10 | 90,6 |
| 18 | 50 | 5 | 8,7 | 0,38 | 7 | 90,3 |
| 19 | 12 | 3 | 1,9 | 0,47 | 9 | 97,6 |
| 20 | 18 | 8 | 3 | 1,3 | 8 | 95,6 |
| Total | 1076 | 102 | 180,6 | 21,87 | 71 | 1751,48 |

Dari tabel diatas diperoleh data-data berikut :

% rata-rata *unused space* = $180.6/20 = 9.03 \%$

% rata-rata *over allocation slot* = $21,87/20 = 1,09 \%$

Rata-rata jumlah penambahan kolom = $71/20 = 3,55$ kolom

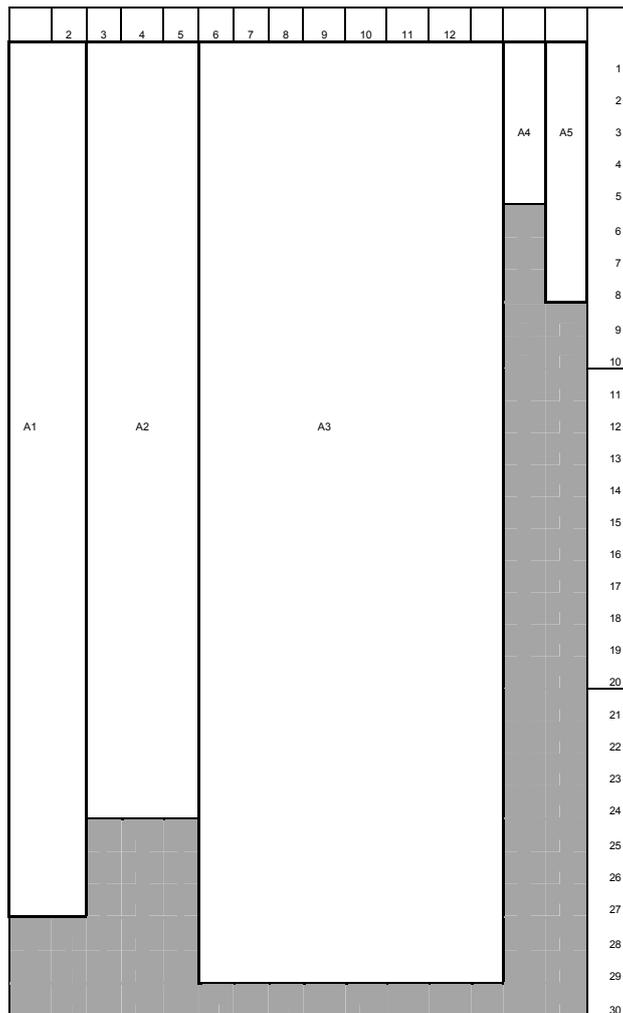
% Rata-rata efisiensi algoritma eOCSA = $1751.48/20 = 87.57\%$

Berikut diberikan 5 alokasi sumber daya yang akan dipetakan didalam subframe DL dengan menggunakan algoritma Takeo Ohsaki.

Tabel 5 Alokasi Sumber Daya Algoritma Ohseki

| MS | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| Alokasi (Slot) | 54 | 72 | 230 | 5 | 8 |
| Pasangan pemetaan (Lebar, Tinggi) | 2x27 3x18 4x14 | 3x24 4x18 | 8x29 9x26 | 1x5 5x1 | 1x8 2x8 8x1 |
| Kelebihan Alokasi | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |

1. Algoritma memetakan alokasi sumber daya yang ada dengan mengambil pasangan pemetaan yang memiliki lebar terkecil
2. Berikut hasil pemetaannya:



Gambar 14 Hasil Pemetaan Algoritma Ohseki

3. Pemetaan berikut menghasilkan kolom tambahan 90 slot dan area yang tersisa (unused slot) : $6+18+8+3+44=79$ dengan tidak ada slot yang berlebih. Sehingga persentase are yang tersisa $[79/(360+90)] \times 100\% = 17.5\%$ dan menghasilkan efisiensi algoritma $(450 - (79+2)/450) \times 100\% = 82\%$

Untuk hasil dari alokasi sumber daya selanjutnya bisa dilihat di lampiran. Jumlah alokasi sumber daya pada percobaan ini 1 sampai 20 MS. Asumsi bahwa setiap MS membutuhkan hanya satu burst. Alokasi sumber daya untuk setiap MS diberikan secara acak dari range 1 sampai 360.

Berikut tabel hasil percobaan yang memberikan informasi mengenai slot-slot yang tersisa , alokasi slot yang berlebih dan penambahan kolom.

Tabel 6 Hasil Percobaan Menggunakan Algoritma Ohseki

| Σ MS | Unused Slot | Over Alloc. Slot | % unused Slot | % Over Alloc. Slot | Additional Column | % throughput |
|-------------|-------------|------------------|---------------|--------------------|-------------------|--------------|
| 1 | 120 | 3 | 33 | 0.83 | 0 | 65.8 |
| 2 | 175 | 0 | 48.6 | 0 | 0 | 51 |
| 3 | 71 | 4 | 19.7 | 1.1 | 0 | 79 |
| 4 | 117 | 3 | 32.5 | 0.83 | 0 | 66.6 |
| 5 | 79 | 2 | 17.5 | 0.4 | 3 | 82 |
| 6 | 96 | 9 | 21.3 | 2.5 | 3 | 76.6 |
| 7 | 112 | 7 | 26.6 | 1.6 | 2 | 71 |
| 8 | 96 | 2 | 21.3 | 0.44 | 3 | 78.2 |
| 9 | 129 | 3 | 25.2 | 0.58 | 5 | 74.1 |
| 10 | 205 | 4 | 35.9 | 0.7 | 7 | 63 |
| 11 | 197 | 6 | 31.2 | 0.95 | 9 | 67.7 |
| 12 | 183 | 9 | 27.7 | 1.36 | 10 | 70.9 |
| 13 | 202 | 5 | 28 | 0.69 | 12 | 71.25 |
| 14 | 227 | 9 | 30.2 | 1.2 | 13 | 68.5 |
| 15 | 245 | 4 | 32.6 | 0.53 | 13 | 66.8 |
| 16 | 258 | 6 | 31.8 | 0.74 | 15 | 67.4 |
| 17 | 239 | 3 | 28.4 | 0.35 | 16 | 79.8 |
| 18 | 292 | 5 | 36 | 0.61 | 15 | 63.3 |
| 19 | 282 | 3 | 31.3 | 0.33 | 18 | 68.3 |
| 20 | 347 | 8 | 37.3 | 0.86 | 19 | 61.8 |
| Total | 3672 | 95 | 596.1 | 16.6 | 165 | 1393.05 |

Dari tabel diatas diperoleh data-data berikut :

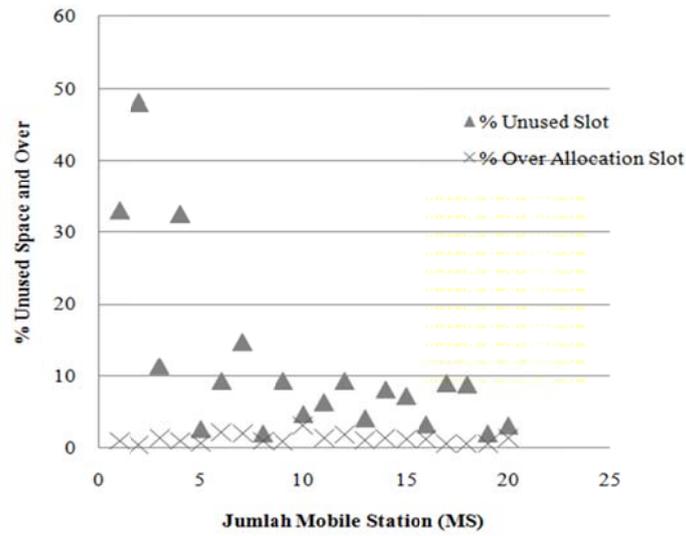
% rata-rata *unused space* = $596.1/20 = 29.8\%$

% rata-rata *over allocation slot* = $16.6/20 = 0.83\%$

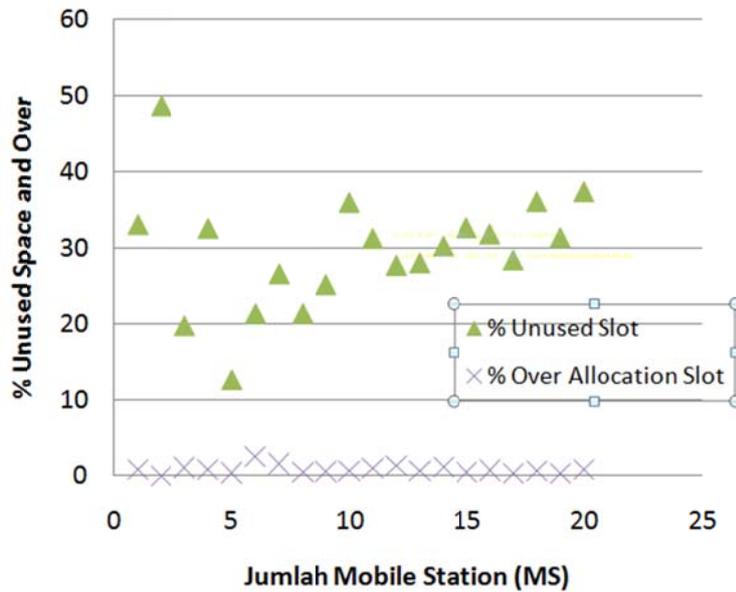
Rata-rata jumlah penambahan kolom = $165/20 = 8.25$ kolom

% rata-rata efisiensi algoritma Ohsaki = $1393.05/20 = 69.6\%$

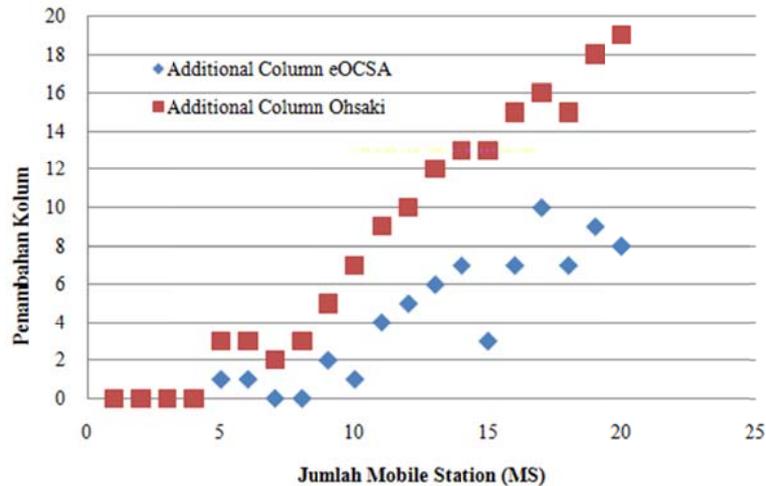
Dari tabel algoritma eOCSA dan Ohseki diatas akan diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 15 Perbandingan jumlah MS dengan Slot-slot yang tidak terpakai dan berlebih pada Algoritma eOCSA



Gambar 16 Perbandingan jumlah ms dengan slot-slot yang tidak terpakai dan berlebih pada algoritma takeo ohseki



Gambar 17 Perbandingan penambahan kolom pada eOCSA dan Takeo Ohsaki

Dari data dan grafik yang diperoleh bisa dilihat perbandingan jumlah *unused space*, alokasi slot yang berlebih dan penambahan kolom pada algoritma eOCSA dan Takeo Ohsaki.

Untuk perbandingan jumlah MS dengan *unused space* pada eOCSA cenderung menurun dengan nilai rata-rata 9.03%, jika dibandingkan dengan algoritma Ohsaki yang cenderung naik dengan nilai rata-rata 29,8%. Hal ini dikarenakan prinsip kerja Ohsaki yang tidak mempertimbangkan adanya *unused space*, karena hanya menyusun alokasi pada arah horizontal saja, sedangkan algoritma eOCSA menyusun alokasi pada arah vertical dan horizontal.

Untuk perbandingan jumlah MS dengan alokasi slot yang berlebih untuk kedua algoritma cenderung sama yaitu algoritma eOCSA 1,09% dan algoritma Ohseki 0.83% jadi rata-rata alokasi yang berlebih pada kedua algoritma adalah satu slot saja.

Sedangkan untuk penambahan kolom pada kedua algoritma, dimana algoritma Ohsaki cenderung naik sehingga didapat nilai rata-rata penambahan 8.25 kolom, masih besar jika dibandingkan dengan algoritma eOCSA rata-rata penambahan 3,55 kolom tiap MS. Jumlah penambahan kolom yang terlalu besar akan menambah delay dalam pemetaan selanjutnya.

Sehingga diperoleh nilai persentase rata-rata *throughput* yang tinggi adalah algoritma eOCSA 87.57% bila dibandingkan dengan algoritma Ohseki 69.6%.

6. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan efisiensi algoritma pemetaan eOCSA dan Ohseki pada teknologi WiMAX Mobile dengan menggunakan teknologi OFDMA dapat diambil kesimpulan :

1. Algoritma pemetaan eOCSA lebih efisien dalam penggunaan slot didalam OFDMA, slot-slot yang tersisa (*unused slot*) rata-rata 8.8% di bandingkan algoritma Ohseki yang cenderung tinggi dengan rata-rata 29.8 %
2. Dengan jumlah *Mobile station* yang sama dan alokasi yang sama untuk kedua algoritma pemetaan, penambahan kolom untuk algoritma Ohsaki

cenderung lebih besar yaitu 8,25 kolom rata-rata penambahan, dibandingkan algoritma eOCSA yaitu 3.55 kolom.

3. Dibandingkan algoritma pemetaan Ohsaki, algoritma pemetaan eOCSA lebih efisien yaitu 87.54%.

REFERENCES

- [1] So-In, Chakcai., and Al-Tamimi, Abdoel Karim. 2010. *Resource Allocation in IEEE 802.16 Mobile WiMAX*. USA: Washington University.
- [2] So-In, Chakcai., and Al-Tamimi, Abdoel Karim. 2010. *eOCSA: An Algorithm for Burst Mapping with Strict QoS Requirements in IEEE 802.16e Mobile Wimax Networks*. USA: Washington University.
- [3] So-In, Chakcai., and Al-Tamimi, Abdoel Karim. 2008. *eOCSA: An Algorithm for Burst Mapping in IEEE 802.16e Mobile Wimax Networks*. USA: Washington University.
- [4] Del-Castillo, Juan I. et al. 2010. *OFDMA Resource Resource Allocation in: A performance Allocation in IEEE 802.16 Networks: A Performance Comparative*. Spain:Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).
- [5] Ohseki T, Morita M., and Inoue T. 2007. *Burst Construction and Packet Mapping Scheme for OFDMA Downlinks in IEEE 802.16 Systems*. Japan: KDDI R&D Laboratories, Inc.
- [6] Johan. 2008. *Tugas Akhir Perbandingan Bit Rate Antara OFDM-TDMA dengan OFDMA pada Teknologi WiMAX*. Medan: Universitas Sumatra Utara
- [7] Wardhana,L dan Makodian, N. 2010. *Teknologi Wireless Communication and Wireless Broadband*. Yogyakarta: CV Andi

