

## ADAPTIF *POLY FRAME* PRMA PADA JARINGAN M2M KOGNITIF KAPILER

Eko Arifianto<sup>\*1</sup>, Aghus Sofwan<sup>2</sup>, Teguh Prakoso<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
email: <sup>1</sup>ekoarifianto8888@gmail.com, <sup>2</sup>asofwan@elektro.undip.ac.id, <sup>3</sup>teguhprakoso@elektro.undip.ac.id  
<sup>\*</sup>Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 30 Juli 2019, diterima untuk diterbitkan: 05 Oktober 2020)

### Abstrak

Komunikasi mesin ke mesin (M2M) pada jaringan kapiler, menggunakan metode transmisi *Packet Reservation Multiple Access* (PRMA), dan struktur *frame* data *frame* biasa, serta skenario komunikasi *event driven*. Seiring dengan penambahan perangkat, metode, struktur *frame* dan skenario komunikasi tersebut tidak dapat menangani laju data yang sangat banyak, sehingga terjadi kemacetan yang memperlambat komunikasi. Penelitian ini bertujuan membuat komunikasi M2M yang lancar walaupun perangkat bertambah banyak, dengan membuat struktur *frame* baru dan skenario komunikasi baru, berupa *Adaptive Poly Frame* (APF) serta *Scheduler Update* (SU). APF dan SU dirancang dengan memberikan nomor urut serta prioritas pada data, yang kemudian dioptimasi dengan meningkatkan peluang persaingan MK (O), jumlah siklus huni *slot* (B), jumlah siklus huni kanal (S), dan Transmisi Sukses PRMA ( $TS_{PRMA}$ ). Penelitian ini menghasilkan transmisi sukses 92-28%, optimasi transmisi sukses 93-30%, siklus transmisi 1,5-8,1% dan reduksi siklus transmisi 0,9-7,2%.

**Kata kunci :** *Packet Reservation Multiple Access, Komunikasi M2M, Adaptive Poly Frame, Scheduler Update*

## ADAPTIVE *POLY FRAME* PRMA IN CAPILLARY COGNITIVE M2M NETWORKS

### Abstract

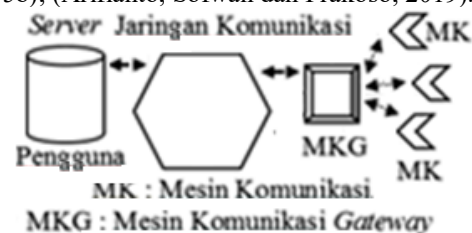
Machine to machine (M2M) communication in capillary networks, using the *Packet Reservation Multiple Access* (PRMA) transmission method, and ordinary *frame* data *frame* structures, as well as *event driven* communication scenarios. Along with the addition of devices, methods, *frame* structures and communication scenarios cannot handle very large data rates, resulting congestion that results in inefficient communication. This research aims to make M2M communication efficient even though the device is multiplying, by creating new *frame* structures and new communication scenarios, in the form of *Adaptive Poly Frame* (APF) and *Scheduler Update* (SU). APF and SU are designed by sequence number and prioritizing data, which is then optimized by increase the chance of MK contestation (O), the number of slot occupancy cycles (B), the number of canal occupancy cycles (S) and PRMA Success Transmission ( $TS_{PRMA}$ ). This research resulted in 92-28% successful transmission, 93-30% successful transmission optimization, 1.5-8.1% transmission cycle and 0.9-7.2% transmission cycle reduction.

**Keywords:** *Packet Reservation Multiple Access, M2M Communication, Adaptive Poly Frame, Scheduler Update*

### 1. PENDAHULUAN

Komunikasi mesin ke mesin (M2M) makalah ini adalah proses transmisi data dari mesin ke mesin pada jaringan kapiler menggunakan *Packet Reservation Multiple Access* (PRMA) sesuai prinsip kognitif radio pada kanal TVWS. Pada komunikasi M2M terdapat beberapa lingkup komunikasi, diantaranya lingkup Mesin Komunikasi (MK), lingkup jaringan dan lingkup aplikasi. Lingkup tersebut terhubung menjadi satu membentuk suatu urutan mekanisme komunikasi yang disebut sebagai arsitektur komunikasi M2M,

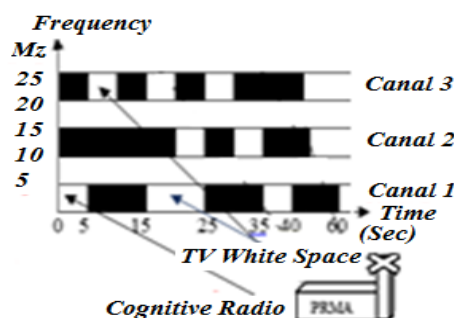
ditampilkan gambar 1 (Aijaz dan Aghvami, 2015a, 2015b); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019).



Gambar 1. Arsitektur komunikasi M2M (Aijaz dan Aghvami, 2013b); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019)

Gambar 1 memperlihatkan proses transmisi data dari MK ke pengguna, beberapa MK menyiarkan permintaan transmisi ke MKG, selanjutnya MKG memberi nomor urut MK dan mengindera kanal yang siap diperuntukkan. Berikutnya MKG mengirim hasilnya ke MK, kemudian MK mengatur frekuensi kerjanya ke kanal kosong yang telah diberikan oleh MKG dan memulai proses pemilihan *slot* secara acak. MK yang terpilih dapat melakukan reservasi untuk selanjutnya mentransmisikan data, kemudian MKG memberitahu MK bahwa reservasi telah berhasil dan data telah dikirimkan (Aijaz dan Aghvami, 2013b); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019).

Seiring dengan pertambahan MK otomatis data yang ditransmisikan semakin bertambah sehingga menyebabkan kepadatan pada kanal yang diperuntukkan. Dengan demikian, diperlukan kanal alternatif yang lebih lebar dari sebelumnya yang dapat menampung data tersebut, diantaranya adalah dengan kanal *TV White Space* (TVWS). Kanal TVWS merupakan kanal TV yang tidak dipakai karena perpindahan sistem siaran dari analog ke digital. Kanal TV analog memiliki rentang yang lebih lebar dari kanal TV digital. (Aijaz dan Aghvami, 2013b); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019).

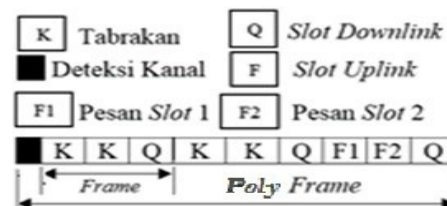


Gambar 2. Kanal TV White Space, Cognitive Radio, PRMA (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019)

Gambar 2 memperlihatkan proses penempatan data pada *slot* suatu *frame* kanal *TV White Space* dengan menggunakan metode *Cognitive Radio* kombinasi PRMA. *Cognitive Radio* mengidentifikasi ruang mana saja yang kosong pada suatu kanal TV dalam kurun waktu tertentu. Jika telah ditemukan, *Cognitive Radio* menyetel frekuensi kerja ke ruang kosong tersebut. Selanjutnya, PRMA secara bertahap menempatkan data pada *slot* kosong yang tersusun pada suatu *frame* dengan mekanisme reservasi beberapa data secara bersamaan (*poly access*). Namun, terlebih dahulu data yang dibawa MK melakukan proses persaingan untuk memperebutkan *slot* kosong tersebut. PRMA dalam menempatkan data menggunakan mekanisme persaingan secara bebas, dimana MK dapat memilih *slot* secara acak sehingga memungkinkan terjadinya pemilihan *slot* yang sama antara satu MK dengan MK lain sehingga menimbulkan tabrakan (Aijaz dan Aghvami, 2013a); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019).

Proses terjadinya tabrakan, mengakibatkan *slot* tersebut tidak dapat ditinggali, sehingga diperlukan

pengulangan transmisi data. Proses pengulangan yang terjadi secara terus-menerus mengakibatkan penggunaan energi berlebih serta keterlambatan proses transmisi data (Tzeng dan Lin, 2016); (Li, Cao dan Wang, 2017). Hal tersebut juga terjadi pada penelitian yang dilaksanakan (Aijaz dan Aghvami, 2013b) yang menggunakan struktur *frame* biasa serta skenario *event driven* yang tidak merubah metode penempatan data pada *slot* secara signifikan (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019).



Gambar 3. Struktur *Frame* Biasa (Aijaz and Aghvami, 2013b); (Arifianto, Sofwan and Prakoso, 2019)

Gambar 3 memperlihatkan struktur *frame* biasa dengan satu *Poly frame*, yang terdiri dari tiga *frame* yang masing-masing *frame* terdapat dua *slot* data yang dapat diperuntukkan untuk transmisi. Satu *frame* terdiri dua *slot* data sebagai penempatan data saat transmisi dan satu *slot* *downlink* yang memberitahukan bahwa reservasi sukses serta data berhasil ditransmisikan. (Aijaz dan Aghvami, 2013b).



D : Diam P : Pesan K : Kompetisi KM : Kembali  
Gambar 4. Skenario komunikasi *Event Driven* (ED) (Aijaz dan Aghvami, 2013b); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019)

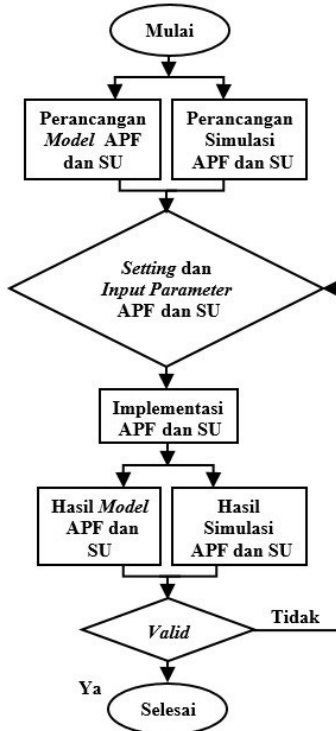
Gambar 4 memperlihatkan MK bersaing pada mode kompetisi (K) berdasar nomor urut. Jika terdapat dua MK bersaing, setelah mode K akan didapat pemenang yang langsung dapat menempati *slot* pada mode P. Namun, jika terdapat empat PKM dan diperoleh hasil kompetisi dengan dua pemenang serta dua yang kalah, maka kedua pemenang dapat langsung melakukan pemesanan *slot* pada mode pesan (P), kemudian menempatinnya. Sedangkan kedua MK yang kalah masuk prosedur Diam pada mode tunggu (D) untuk menunggu MK pemenang selesai reservasi (Aijaz dan Aghvami, 2013b); (Arifianto, Sofwan and Prakoso, 2019).

Makalah ini mengusulkan penggunaan *Adaptive Poly Frame* (APF) dan *Scheduler Update* (SU) sebagai solusi agar MK tidak memilih *slot* yang sama dengan MK lain. Makalah ini bertujuan membuat komunikasi M2M yang hemat energi walaupun jumlah MK bertambah sangat banyak. Selanjutnya, hasil APF-SU dioptimasi dengan meningkatkan peluang persaingan MK, tempo *slot* dan jumlah siklus huni *slot*. Dengan demikian, komunikasi M2M dengan APF-SU dapat menangani jumlah perangkat skala besar pada medan area yang sulit melakukan pergantian *battery* khususnya daerah rawan bencana,

sehingga penghematan energi sangat penting (Anton-Haro dan Mischa, 2015); (Martigne, 2015); (Arifianto, Sofwan and Prakoso, 2019).

## 2. METODE PENELITIAN

Makalah ini menggunakan beberapa langkah pada penelitian yang dilaksanakan, diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Langkah penelitian

Gambar 5 memperlihatkan langkah-langkah penelitian dimulai dari tahap mulai, kemudian melangkah ketahap perancangan *model* dan perancangan simulasi APF-SU. Perancangan *model* adalah pembuatan *model* APF-SU dalam bentuk *model* matematis indikasi ukuran efisien TS, OTS, ST, RST yang merepresentasikan model ilustratif APF-SU, persamaan (1)-(7). Langkah selanjutnya adalah perancangan simulasi APF-SU dengan membuat *pseudocode request and setup canal* yang merepresentasikan proses permintaan dan penyiapan kanal kosong yang akan diperuntukkan untuk transmisi data, Tabel 1. Membuat *pseudocode sequence and priority data* yang merepresentasikan proses pemberian urutan dan prioritas pada data, Tabel 2. Langkah berikutnya adalah memberikan masukan pada *model* dan simulasi sesuai dengan *parameter* APF-SU serta melakukan *setting* pada *parameter* tersebut, Tabel 3. Selanjutnya mengimplementasikan APF-SU pada *model* matematis dan simulasi dengan memberikan masukan data penelitian berupa data bencana alam hasil penginderaan MK, Tabel 4. Kemudian akan diperoleh hasil *model* Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9 dan hasil simulasi Gambar 13, Gambar 14. Jika keduanya bernilai sama maka kedua metode adalah *valid* dan

penelitian selesai, jika tidak maka penelitian diulang dengan *setting* serta *input parameter* baru.

### 2.1 Perancangan *model* matematis APF dan SU berupa TS, OTS, ST dan RST

Perancangan *model* matematis merupakan pembuatan rumus dan formula yang diperuntukkan untuk mengukur efisiensi dengan mengatur *parameter* sesuai tabel 3 dan data masukan sesuai tabel 4. Dengan hasil berupa rumus TS, OTS, ST dan RST.

#### 2.1.1. Transmisi Sukses (TS)

Transmisi Sukses  $TS_{AMF-SU}$  adalah jumlah tempo APF ditambah siklus huni kanal dikali peluang *frame* APF, reservasi sukses dibagi jumlah siklus huni *slot*.

$$A = \frac{P}{M} + \sum_{Y_n}^{B-J} \frac{J}{Y_n} B \quad (1)$$

$$K = \frac{Y_n(B+J)}{P} \quad (2)$$

$$TS_{PRMA} = \frac{J}{K} \left( \left( \frac{A \cdot M}{A + \frac{P}{K}} \right) Y_n \right) \quad (3)$$

$$TS_{AMF-SU} = ((P \cdot A(M + S)) \cdot (TS_{PRMA} \frac{J}{B})) \quad (4)$$

dengan

$B$  = jumlah siklus huni *slot*

$J$  = jumlah *slot* yang dapat ditinggali

$Y_n$  = jumlah persaingan ke  $n$

$n$  = jumlah MK dari 20 - 140

$P$  = peluang *frame* APF yang dapat ditinggali

$A$  = jumlah reservasi sukses

$K$  = jumlah reservasi tidak sukses

$M$  = tempo APF

$S$  = jumlah siklus huni kanal

$TS_{PRMA}$  = Transmisi Sukses *PRMA*

$TS_{AMF-SU}$  = Transmisi Sukses *APF-SU*

#### 2.1.2. Optimasi Transmisi Sukses (OTS)

Optimasi Transmisi Sukses (OTS) adalah proses meningkatkan jumlah transmisi yang berhasil dengan memaksimalkan jumlah reservasi berhasil menghuni *slot* dan tempo APF, mengurangi siklus huni kanal.

$$OTS = \frac{1}{N(S^2)} (((B \cdot O) \cdot (TS_{PRMA} \cdot Q)) (Q - (M \cdot Z_n))) \quad (5)$$

dengan

$M$  = tempo APF

$N$  = tempo *slot*

$O$  = peluang persaingan MK

$B$  = jumlah siklus huni *slot*

$S$  = jumlah siklus huni kanal

$TS_{PRMA}$  = Transmisi Sukses *PRMA*

$Q$  = peluang hunian kanal cadangan

$Z_n$  = tempo *slot* dibagi jumlah MK ke  $n$

$n$  = jumlah MK dari 20 - 140

### 2.1.3. Siklus Transmisi (ST)

Siklus Transmisi (ST) adalah reservasi tidak sukses dikali tempo APF ditambah siklus huni *slot* dan peluang persaingan dibagi *slot* yang ditinggali.

$$ST = \frac{N}{\frac{n}{S} \cdot (B-J) \cdot M} \left( K \cdot M + \frac{1}{S^2} (B \cdot N) + S \cdot O \right) \quad (6)$$

dengan

$M$  = tempo APF

$N$  = tempo *slot*

$O$  = peluang persaingan MK

$B$  = siklus huni *slot*

$J$  = jumlah *slot* yang dapat ditinggali

$K$  = jumlah reservasi tidak sukses

$S$  = jumlah siklus huni kanal

$Y_n$  = jumlah persaingan ke  $n$

### 2.1.4. Reduksi Siklus Transmisi (RST)

Reduksi Siklus Transmisi (RST), pengurangan ST meminimalkan waktu pengiriman dan penerimaan, menurunkan siklus huni *slot*, reservasi tidak sukses, tempo *slot* dan peluang persaingan.

$$RST = \frac{1}{S \cdot Rn \cdot M} (B + K \cdot Zn + O \cdot J) \quad (7)$$

dengan

$Rn$  = jumlah MK yang bersaing

$M$  = tempo APF

$Zn$  = tempo *slot* dibagi jumlah MK

$O$  = peluang persaingan MK

$B$  = jumlah siklus huni *slot*

$J$  = jumlah *slot* yang dapat ditinggali

$K$  = jumlah reservasi tidak sukses

$S$  = jumlah siklus huni kanal

## 2.2 Perancangan Simulasi

Perancangan simulasi dilakukan dengan membuat *pseudocode* permintaan dan persiapan kanal untuk transmisi *data*. Selanjutnya, membuat *pseudocode* penempatan *data* pada *slot* dengan metode PRMA serta *pseudocode* pemberian nomor urut dan prioritas. Selanjutnya, dibuat program simulasi untuk disimulasikan pada *software* matlab.

Tabel 1. Pseudocode Request and Setup Canal

Algorithm 1 : Pseudocode Request and Setup Canal
<b>start</b> RequestTransmissionCanalCognitiveRadio MK send Trans MesgReqCnl to the MKG <b>for</b> MKG <b>do</b> <b>if</b> MKG $\in$ network <b>then</b> MKG get MesgReqCnl packet <b>else</b> MKG detects all empty canal and keep it <b>end if</b> MKG send EmptyCanalData to MK <b>end for</b> <b>for</b> MKG $\in$ network <b>do</b> CognitiveRadio select slot & empty canal MKG broadcast empty SlotFrame and Canal <b>end for</b>

```

end
start placing data in a Slot with PRMA
for MK  $\in$  other do
    if broadcast MK1,2  $\leq$  other then
        Send packet data to slot one S1 and slot two S2 with PRMA
        if MK has two broadcast other and
            connected with two different other MK then
            if other of MK1,2 > MK3,4 then
                Select MK3,4 as the next frame slot S1, S2 with PRMA
                Send packet data to slot three S3 and slot four S4 with PRMA
            end if
        end if
    end if
end for
    Send packet data to the destination
end

```

Tabel 2. Pseudocode Sequence and Priority Data

Algorithm 2 : Pseudocode giving the sequence and priority of data
<b>start</b> APF and SU <b>for</b> MK send request sequence and priority to the MKG MK send MesgSeqPrior to the MKG <b>for</b> MK Data Traffic <b>do</b> <b>if</b> MK $\in$ SlotFrame <b>then</b> MK get DataNumber packet APF <b>else</b> MK get Sequence of SlotFrame APF <b>end if</b> MK get Number and Sequence data transmission of SlotFrame APF <b>end for</b> <b>for</b> MK $\in$ Uplink SlotFrame <b>do</b> MK Transmission data via Uplink SlotFrame and CognitiveRadio canal <b>end for</b> <b>end</b> <b>start</b> Priority Important Data SU <b>for</b> MK $\in$ Important and Urgent <b>do</b> <b>if</b> transmission MK <sub>3,1</sub> $\leq$ other <b>then</b> Send packet data to slot one S <sub>1</sub> and slot two S <sub>2</sub> with SU <b>if</b> MK has two broadcast other and connected with two different other MK <b>then</b> <b>if</b> other of MK <sub>3,1</sub> > MK <sub>4,2</sub> <b>then</b> Select MK <sub>4,2</sub> as the next slot S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> with SU Send packet data to slot three S <sub>3</sub> and slot four S <sub>4</sub> with SU <b>end if</b> <b>end if</b> <b>end if</b> <b>end if</b> Send notification to MK or User via Downlink SlotFrame <b>end for</b> <b>end</b>

Tabel 1 memperlihatkan *pseudocode* permintaan dan persiapan kanal dengan langkah-langkah sebagai berikut, MK mengirim pesan permintaan ke MKG. MKG mendapat paket pesan permintaan kanal dan mendeteksi seluruh kanal kosong dan menyimpannya. Selanjutnya, MKG mengirim data kanal kosong ke MK. *Cognitive radio* memilih *slot* dan kanal kosong yang tersedia, MKG menyiarkan kepada MK *slot* dan kanal kosong yang siap ditinggali. Selanjutnya, PRMA menempatkan data MK<sub>1,2</sub> pada *slot* 1 dan 2 jika tidak ada MK lain. Jika terdapat dua MK lain selain MK<sub>1,2</sub>, jika jumlah data pada MK<sub>1,2</sub> > dari MK<sub>3,4</sub> maka MK<sub>3,4</sub> menempati *slot* S<sub>1</sub> dan S<sub>2</sub>, MK<sub>1,2</sub> menempati *slot* S<sub>3</sub> serta S<sub>4</sub> pada *frame* berikut, kemudian paket *data* dikirim ke tujuan.

Tabel 2 memperlihatkan *pseudocode* pemberian urutan dan prioritas data dengan langkah-langkah sebagai berikut, memulai APF-SU, MK mengirim

permintaan pemberian urutan dan prioritas ke MKG. MK mendapat paket nomor data APF. MK mendapat nomor urut *slot* pada *frame* APF. MK mendapat nomor dan urutan transmisi data dari *slot* pada *frame* APF. APF mulai menerapkan prioritas data penting dengan SU. MK yang penting dan *urgent*, jika  $MK_{3,1}$  lebih penting dari MK lain,  $MK_{3,1}$  diberi prioritas untuk mengirimkan paket data pada *slot*  $S_1$  dan  $S_2$  dengan SU. Jika terdapat dua MK baru yang terhubung dengan dua MK sebelumnya, jika  $MK_{4,2}$  lebih penting dari  $MK_{3,1}$ , maka  $MK_{4,2}$  dapat mengirimkan data pada *slot*  $S_1$  dan  $S_2$ , sedangkan  $MK_{3,1}$  dapat mengirimkan data pada *slot*  $S_3$  serta  $S_4$ .

### 2.3 Setting dan Input Parameter APF dan SU

Setelah perancangan *model* dan simulasi selesai langkah berikutnya adalah memasukan *parameter* Tabel 3 pada *model* matematis dan *model* simulasi untuk mencari nilai serta hasil simulasi TS, OTS, ST, RST sebagai ukuran efisiensi komunikasi M2M.

Tabel 3. Konfigurasi *Parameter Model* dan Simulasi

Parameter	Nilai
$B$ = jumlah siklus huni <i>slot</i>	200
$J$ = jumlah <i>slot</i> yang dapat ditinggali	150
$Yn$ = jumlah persaingan	20-180
$P$ = peluang <i>frame</i> APF dapat ditinggali	50
$A$ = jumlah reservasi sukses	670-440
$K$ = jumlah reservasi tidak sukses	140
$M$ = tempo APF	19 sec
$S$ = jumlah siklus huni kanal	2
$N$ = tempo <i>slot</i>	3 sec
$O$ = peluang persaingan MK	0.5
$Q$ = peluang hunian kanal cadangan	0.75
$Rn$ = jumlah MK yang bersaing	20-180
$Zn$ = tempo <i>slot</i> dibagi jumlah MK	0.15-7 sec

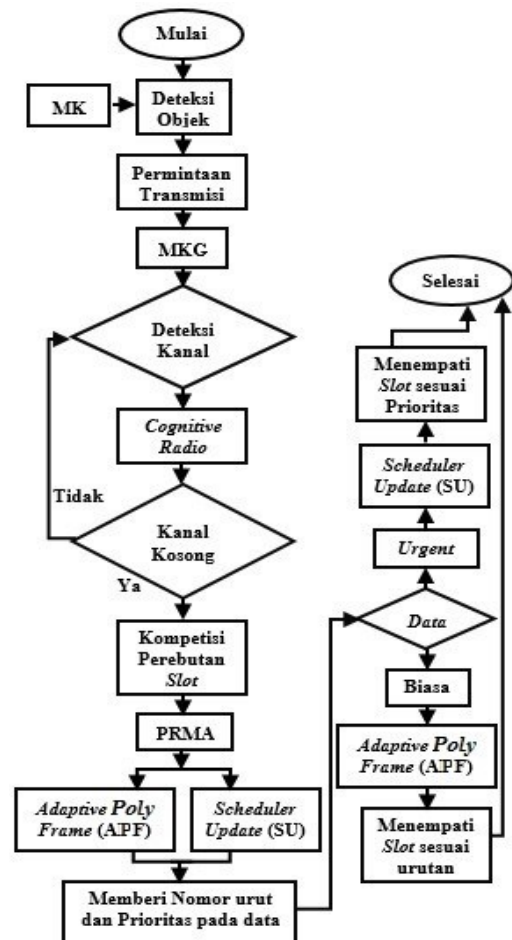
Tabel 3 memperlihatkan konfigurasi *parameter*, jumlah reservasi sukses ( $A$ ) dan jumlah jumlah reservasi tidak sukses ( $K$ ), tempo APF ( $M$ ), tempo *slot* ( $N$ ) dan jumlah siklus huni kanal, yang menentukan persentase jumlah  $TS_{PRMA}$  dan  $TS_{APF-SU}$ . Semakin besar nilai  $A$  dan semakin kecil nilai  $K$  maka semakin besar persentase  $TS_{PRMA}$ .

### 2.4. Implementasi APF dan SU

Langkah-langkah implementasi APF dan SU pada komunikasi M2M diperlihatkan Gambar 6.

Gambar 6 memperlihatkan langkah-langkah implementasi APF-SU komunikasi M2M, satu atau beberapa MK mengindera lingkungan dan objek target. Selanjutnya MK mengirimkan permintaan transmisi pada MKG, kemudian MKG mengindera kanal kosong yang dapat ditinggali serta memberikan nomor urut dan prioritas pada data. *Cognitive radio* memilih *slot* dan kanal kosong. Jika tidak ada kanal kosong maka MKG mengulang deteksi kanal, jika terdapat kanal kosong, kompetisi saingan mendapat *slot* dimulai. *Cognitive Radio* kombinasi PRMA dengan APF - SU melalui MKG memberikan nomor urut dan prioritas pada data. Jika terdapat data *urgent*,

dapat menempati *slot* 1 dengan mekanisme penempatan SU. Jika hanya data biasa, menempati *slot* sesuai nomor urut pada umumnya.



Gambar 6. Implementasi APF dan SU pada komunikasi M2M

### 2.5. Data pengujian penelitian

Data yang difungsikan untuk pengujian penelitian adalah hasil penginderaan sensor MK mandiri pada suatu lingkungan dan objek target yang sering atau berpotensi mengalami bencana selama kurun waktu 160 sec, masing-masing data memiliki karakteristik yang berbeda diperlihatkan Tabel 4.

Tabel 4. Contoh data pengujian, data bencana alam

sec	gempa (m/s)	banjir (m <sup>2</sup> /s)	tsunami (km/s)	kebakaran (°C)
10	50	30	0,01	32
20	65	40	0,025	35
30	75	50	0,05	33
40	85	60	0,1	35
50	100	70	0,2	32
60	120	80	0,4	40
80	150	90	0,4	60
90	200	100	0,5	90
100	150	110	0,6	95
110	120	120	0,7	100
120	110	130	0,8	100
130	100	140	0,9	110
140	80	150	1,1	120
150	70	140	1	110
160	60	130	0,9	100



Tabel 4 memperlihatkan empat data bencana alam selama 160 *sec* dengan karakteristik berbeda. Keempat data mengalami kenaikan signifikan mulai detik ke 80 – 140, menunjukkan bahwa pada waktu tersebut terjadi bencana, ukurannya fluktuatif terus bergerak hingga nilai maksimal. Sedangkan, mulai detik ke 140 data mengalami penurunan sehingga pada waktu tersebut bencana mulai mereda. Data tersebut diperuntukkan pada *model* matematis dan simulasi *matlab* sebagai data masukan, menghasilkan *output* berupa ukuran efisiensi komunikasi, indikasi persentasi TS dan OTS tinggi, ST serta RST rendah.

## 2.6. Peralatan Simulasi

Alat yang diperuntukkan pada penelitian ini adalah *laptop* I5 Ram 5GB, berfungsi sebagai penampung, dan pengeksekusi, *server* atau pengguna, mengambil keputusan dari MK atau MKG. *Smartphone* dengan sensor, memiliki kemampuan mendeteksi dan eksekusi data hasil penginderaan secara mandiri sebagai MK.

## 2.7. Software Simulasi

*Software* yang digunakan adalah *Sistem Operasi Windows 8.1 Pro*, platform operasi *Software Simulasi Matlab R2015b*. Kode program yang dituliskan pada *Software Simulasi Matlab 2015b* diberi masukan Tabel 4. Selanjutnya kode program diberi *parameter* sesuai konfigurasi *parameter* pada Tabel 3, untuk mengetahui ukuran efisien komunikasi M2M selama 160 *sec*, kode program dijalankan untuk mendapatkan simulasi TS, OTS, ST dan RST.

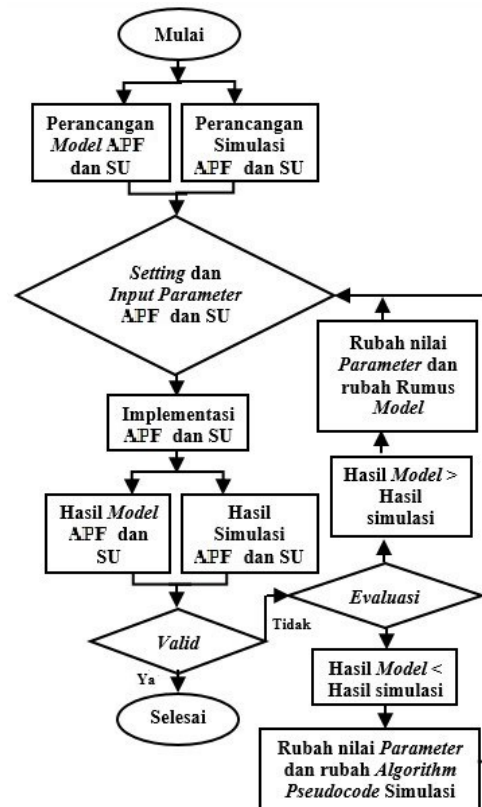
## 2.8 Skenario Evaluasi

Skenario evaluasi merupakan skenario yang diperuntukkan untuk memastikan kebenaran hasil dan model matematis yang digunakan, dengan hasil simulasi serta *pseudocode* yang difungsikan, melalui langkah-langkah yang diperlihatkan pada Gambar 7.

Gambar 7 memperlihatkan skenario evaluasi dilakukan dengan tujuan untuk menguji kebenaran *model* matematis yang telah dibuat. Skenario evaluasi dimulai dengan *setup model* matematis dan *setup simulasi* dengan menjalankan *pseudocode algorithm 3* Tabel 5, selanjutnya bandingkan hasil model matematis dengan hasil simulasi. *Model* matematis dengan rumus (1)-(7), sedangkan hasil simulasi dengan *pseudocode algorithm 1-2*. Keduanya, diimplementasikan dengan APF-SU, kemudian dijalankan dengan masukan data Tabel 4 dan dengan *parameter* sesuai konfigurasi *parameter* Tabel 3.

Selanjutnya, diperoleh hasil model matematis dan hasil simulasi, kedua hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan cara mengamati, jika kedua hasil *valid* (sama) maka skenario evaluasi selesai, jika kedua hasil tidak *valid* (tidak sama) dan

menjalankannya pada *pseudocode algorithm 3* Tabel 5.



Gambar 7. Langkah Skenario Evaluasi

Jika ternyata hasilnya berbeda maka skenario evaluasi dijalankan, dengan membandingkan data yang diperoleh, jika hasil *model* > hasil simulasi maka rubah nilai *parameter* dan rubah rumus model matematis. Sedangkan, jika hasil *model* < hasil simulasi maka rubah nilai *parameter* dan rubah *algorithm pseudocode* simulasi. Kemudian, *setting parameter* dan *input parameter* APF-SU. Langkah diteruskan sampai selesai sesuai pada gambar 12.

Tabel 5. *Pseudocode evaluation scenario and updating*

---

*Algorithm 3 : Pseudocode evaluation scenario and updating*

---

```

start Evaluation Scenario and Updating
MKG send MesgEvaSce to the Server
for Server EvaluationScenario do
    if Server ∈ ServerSystem then
        Server get ModelData APF-SU
    else
        Server get SimulationData APF-SU
    end if
    Server get Procedure Evaluation Compare Model and Simulation APF-SU
end for
for Server ∈ ValidationResult do
    Server set ProcedureEvaluation Model and Simulation APF-SU
end for
end
start Setting ProcedureEvaluation Model and Simulation APF-SU
for Server ∈ DifferentResult do
    if ModelResult APF-SU > SimulationResult APF-SU
    then
        setting parameter and change formula model
        if Server has two DifferentResult Model and compare with two DifferentResult Simulation then
  
```

---

```

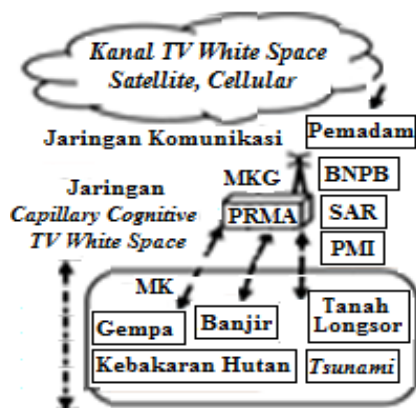
    if ModelResult < SimulationResult then
        setting parameter and change pseudocode
simulation
        Send update parameter to
ServerSystem
    end if
end if
end if
end for
Send new Formula and Pseudocode to ServerSystem
end

```

Tabel 5 memperlihatkan *pseudocode* skenario evaluasi dan pengupdatean *parameter* dengan langkah-langkah sebagai berikut. MKG mengirim pesan skenario evaluasi ke *server*, *server* menjalankan skenario evaluasi dan mendapatkan *data model* serta *data simulasi* APF-SU. Selanjutnya *server* menjalankan prosedur evaluasi dengan membandingkan *model* dan simulasi APF-SU. Kemudian melakukan *setting procedure evaluation* untuk mencocokkan kedua data. Jika *server* menemukan hasil yang berbeda, dengan hasil *model* > hasil simulasi. *Server* setting ulang *parameter* dan merubah *model* matematis. Jika *server* menemukan hasil *model* < hasil simulasi, *server* setting *parameter* dan merubah *pseudocode*. Selanjutnya hasil *setting* dan *update* dikirim ke sistem *server*, berikut *formula* serta *pseudocode* baru.

### 3. MEKANISME KOGNITIF APF-SU

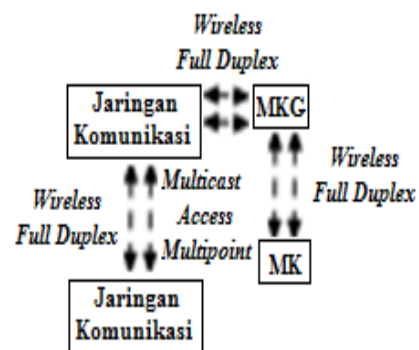
*Cognitive Capillary* adalah kumpulan suatu perangkat (MK) yang saling terhubung satu sama lain dengan membentuk suatu jaringan lokal yang menyerupai jaringan kapiler. Perangkat *Cognitive Capillary* memiliki kemampuan untuk dapat saling berkomunikasi satu sama lain secara mandiri pada suatu kanal dan media transmisi. Penelitian yang dilaksanakan menggunakan jaringan *Cognitive Capillary* dengan media transmisi nirkabel pada kanal TVWS (Aijaz dan A. H. Aghvami, 2015a, 2015b); (Ashrafuzzaman, 2018); (Zareei, 2017); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019)



Gambar 8. Jaringan *Cognitive Capillary*

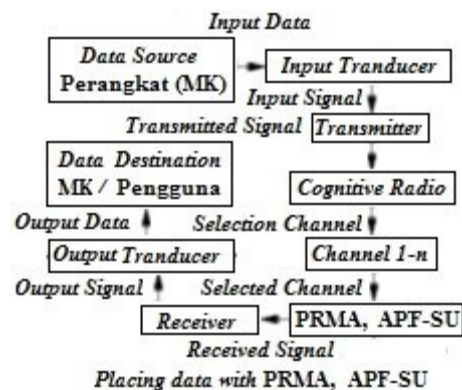
Gambar 8 memperlihatkan perangkat MK saling terhubung dalam suatu jaringan dengan membentuk *group* seperti jaringan kapiler. Masing-masing MK

dapat saling komunikasi satu sama lain dan dapat berkomunikasi dengan MKG. Salah satu *sensor* pada MK<sub>1</sub> mendeteksi adanya titik api pada suhu tertentu yang mengakibatkan kebakaran hutan. Selanjutnya, MK<sub>1</sub> mengirimkan data hasil penginderaan ke MK<sub>2-n</sub>, dan pengguna, melalui MKG pada *slot uplink*. MK<sub>1</sub> mengirimkan data letak dan jumlah titik api, pengguna mengirim data rekomendasi cara pemadaman kebakaran, jenis serta jumlah perangkat pemadam. Kemudian, pengguna memerintahkan MK<sub>2-n</sub> berupa *drone* atau pesawat pemadam sesuai letak dan posisi titik api. Setelah itu, MK<sub>1</sub> melaporkan hasil pemadaman ke MKG, jika sudah selesai MKG menutup proses pemadaman dan menginformasikan kepada pengguna, dan MK melalui *slot downlink*.



Gambar 9. Komponen Sistem transmisi data

Gambar 9 memperlihatkan penelitian yang dilaksanakan menggunakan sistem transmisi data dengan media transmisi secara nirkabel (*wireless*). Arah kanal transmisi data menggunakan sistem *full duplex*, dua atau beberapa perangkat MK dapat melakukan transmisi data secara bersamaan. Pengiriman dan penerimaan data dapat terjadi saat komunikasi. Jalur transmisi data menggunakan teknik *multicast*, suatu perangkat MK dapat mengirimkan data ke satu MK atau beberapa MK lain yang berkepentingan terhadap data tersebut. Konfigurasi jalur transmisi menggunakan *access multipoint*, suatu perangkat dapat terhubung dengan satu atau beberapa perangkat sekaligus secara bersamaan.



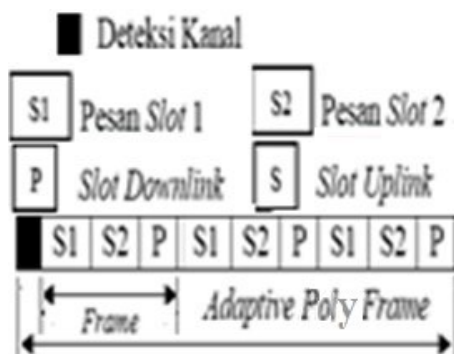
Gambar 10. Sistem transmisi data

Gambar 10 memperlihatkan sistem transmisi data penelitian yang dilaksanakan, sumber data dari

perangkat berupa *sensor* yang terpasang pada mesin komunikasi mandiri (MK) mengindera lingkungan yang menjadi target, selanjutnya data dikirim sebagai data masukan pada *input transducer*. Kemudian, data masukan diubah oleh *input transducer* menjadi sinyal masukan dan dikirim ke *transmitter* yang selanjutnya diubah menjadi sinyal transmisi. Sinyal transmisi dikirim ke *cognitive radio* untuk dapat mengindera dan memilih *slot* serta kanal yang kosong, data *slot* serta kanal kosong yang terpilih, ditempatkan data oleh MKG dengan mekanisme PRMA, APF-SU. Kemudian dikirim ke *receiver* sebagai sinyal yang diterima untuk dikirim ke *output transducer* sebagai sinyal keluaran yang selanjutnya diubah menjadi data keluaran dan dikirim ke tujuan, MK atau pengguna.

### 3.1 Adaptive Poly Frame (APF).

Data dari MK diberi nomor urut berdasar dari penyiaran tercepat permintaan transmisi data oleh MK kepada MKG. Sedangkan *slot* yang ada di *frame* diberi nomor urut sesuai tempo APF (M) yang ditinggalkan oleh pengguna *primer*. Pemberian nomor urut bertujuan untuk mencegah MK memilih *slot* yang sama saat prosedur kompetisi pemilihan *slot*. Selanjutnya data penting diberi prioritas sesuai dengan tempo *slot* (N) yang ditetapkan oleh MKG dengan mekanisme SU, persamaan (4)-(7).



Gambar 11. Adaptive Poly Frame (APF)

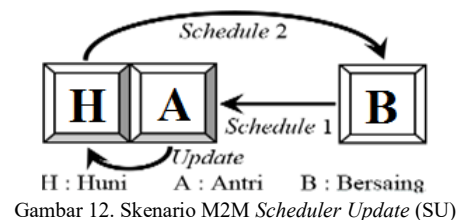
Gambar 11 memperlihatkan struktur *frame* APF yang terdiri dari tiga *frame* dengan masing-masing *frame* terdapat dua *slot* data. Dalam satu siklus transmisi data pada APF terdapat *slot* deteksi kanal, tiga *frame* dengan setiap *frame* terdapat dua *slot* data dan satu *slot downlink*. *Slot* deteksi kanal merupakan *slot* yang diperuntukkan MKG untuk memberitahu hasil penginderaan *slot* dan kanal kosong yang dapat ditinggali. *Slot* data (*uplink*) diperuntukkan MK untuk menempatkan data yang akan ditransmisikan. *Slot downlink* merupakan *slot* yang difungsikan MKG untuk memberitahukan kepada MK bahwa reservasi berhasil dan data telah ditransmisikan.

Ketika MK akan mentransmisikan data, MK menyiarkan permintaan ke MKG, MKG memberikan nomor urut pada data MK, dan *sensing* kanal yang hasilnya diberitahu melalui kanal deteksi. MK proses prosedur penempatan data pada *slot* sesuai nomor

urut yang diberikan MKG. MK tercepat, diberi nomor urut satu oleh MKG dan melakukan pemesanan *slot* 1 pada mode pesan S1 sedangkan MK berikut diberi nomor urut dua yang melakukan pemesanan *slot* 2 pada mode S2 pada *frame* pertama.

### 3.2 Scheduler Update (SU).

Metode SU menerapkan proses transmisi data tidak selalu melakukan persaingan saat transmisi data pada setiap *frame* baru, MK yang telah melakukan pemesanan *slot* pada *frame* sebelumnya dapat menempati *slot* sesuai nomor urut posisi sebelumnya di *slot* pada *frame* berikutnya. Sedangkan pada MK yang datang berikutnya tidak perlu melakukan kompetisi pemilihan *slot*, karena MK sudah diberi nomor urut oleh MKG, MK baru hanya melakukan prosedur antri pada kurun waktu tertentu pada mode A, selanjutnya melakukan pemesanan *slot*, setelah MK sebelumnya selesai dengan prosedur *update*.



Gambar 12. Skenario M2M Scheduler Update (SU)

Gambar 12 memperlihatkan MK bersaing pada mode (B) berdasar nomor urut dari MKG. Jika terdapat dua MK bersaing, setelah mode B akan didapat pemenang yang langsung dapat menempati *slot* pada mode (H). Namun, jika terdapat empat MK dan diperoleh hasil kompetisi dengan dua pemenang serta dua yang kalah, maka kedua pemenang dapat langsung melakukan pemesanan *slot* dengan prosedur *Schedule 1* pada mode (H), kemudian menempatkannya. Sedangkan MK yang kalah masuk pada mode (A).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilaksanakan diperoleh hasil *model* dan hasil simulasi. Hasil *model* pada Tabel 6, 7 dan 8. Hasil simulasi pada gambar 13 dan 14.

### 4.1. Hasil Model

Hasil *model* pada Tabel 6 memperlihatkan efisiensi komunikasi M2M dengan indikasi persentasi hasil TS, OTS, ST dan RST dengan jumlah MK yang bersaing antara 20 -180.

Tabel 6 memperlihatkan bahwa, penelitian yang dilaksanakan diperoleh hasil dengan penurunan TS disebabkan meningkatnya jumlah MK, semakin besar jumlah MK maka semakin kecil persentasi TS. TS dapat ditingkatkan dengan menaikkan nilai  $TS_{PRMA}$ , melalui peningkatan nilai parameter jumlah reservasi sukses (A) dan menurunkan jumlah reservasi tidak sukses (K). Sedangkan untuk meningkatkan  $TS_{APF-SU}$



diperlukan menaikkan tempo APF (M) dan jumlah siklus huni kanal (S) persamaan (1)-(4).

Tabel 6. Hasil Model TS, OTS, ST dan RST

Jumlah MK	Nilai Ukuran Efisiensi (%)			
	TS	OTS	ST	RST
20	92%	93%	1,5%	0,9%
40	90%	90%	1,7%	1%
60	88%	85%	1,9%	1,2%
80	80%	78%	2,1%	1,4%
100	63%	61%	2,9%	1,9%
120	49%	50%	3,9%	2,8%
140	33%	35%	5,8%	4,2%
160	30%	33%	7%	5,8%
180	28%	30%	8,1%	7,2%

Hasil TS dapat lebih ditingkatkan lagi dengan optimasi hasil TS yang diperoleh sebelumnya, dengan menaikkan nilai parameter, tempo *slot* (N), peluang persaingan MK (O), jumlah siklus huni *slot* (B), Transmisi Sukses PRMA ( $TS_{PRMA}$ ), peluang hunian kanal cadangan (Q) dan menurunkan tempo APF (M) serta jumlah siklus huni kanal (S), persamaan (5).

Sedangkan, ST akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah MK yang dapat mempengaruhi penurunan efisiensi. ST dapat dikurangi dengan menurunkan tempo APF (M), tempo *slot* (N), peluang persaingan MK (O), siklus huni *slot* (B), jumlah reservasi tidak sukses (K), jumlah siklus huni kanal (S), dan meningkatkan jumlah *slot* yang dapat ditinggali (J) serta jumlah persaingan ke n ( $Y_n$ ), persamaan (6). Namun, pengurangan ST dapat lebih ditingkatkan dengan reduksi ST dengan menurunkan tempo *slot* dibagi jumlah MK ( $Z_n$ ), peluang persaingan MK (O), jumlah siklus huni *slot* (B), jumlah *slot* yang dapat ditinggali (J), jumlah reservasi tidak sukses (K), dan menaikkan jumlah MK yang bersaing ( $R_n$ ) serta tempo APF (M), persamaan (7).

Tabel 7. Perbandingan hasil model FB-ED, O-FB-ED dengan APF-SU, dan O-APF-SU

Model efisiensi	TS	OTS	ST	RST
FB-ED	75-15%	58-25%	2,5-13%	3,4-9,2%
APF-SU	92-28%	93-30%	1,5-8,1%	0,9-7,2%

Tabel 7 memperlihatkan perbandingan hasil persentase efisiensi yang telah dicapai antara FB-ED dengan APF-SU. Menunjukkan bahwa persentase TS APF-SU lebih tinggi 17%, OTS APF-SU lebih tinggi 35% dari pada FB-ED, dan ST APF-SU lebih rendah 1%, RST APF-SU lebih rendah 2,5% dari pada FB-ED, dengan demikian model yang diusulkan (APF-SU) lebih efisien dari pada model referensi (FB-ED).

Tabel 8. Perbandingan hasil Model APF-SU dan Model O-APF-SU dengan Simulasi APF-SU serta Simulasi O-APF-SU

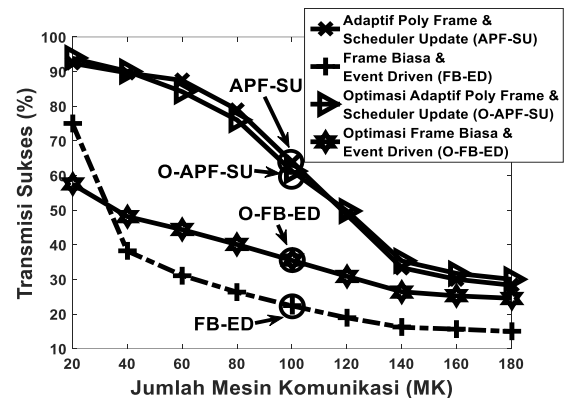
Tipe efisiensi	TS	OTS	ST	RST
Model	92-28%	93-30%	1,5-8,1%	0,9-7,2%
Simulasi	92-28%	93-30%	1,5-8,1%	0,9-7,2%

Tabel 8 memperlihatkan perbandingan hasil persentase efisiensi yang telah dicapai antara hasil

model matematis (*formula*) dan hasil simulasi (*pseudocode*) APF-SU. Menunjukkan bahwa hasil keduanya *valid* (sama) sehingga keduanya dapat memberikan hasil komunikasi yang efisien, dengan indikasi TS dan OTS memiliki nilai  $< 90\%$ , sedangkan ST serta RST memiliki nilai  $> 10\%$ .

#### 4.2. Hasil Simulasi

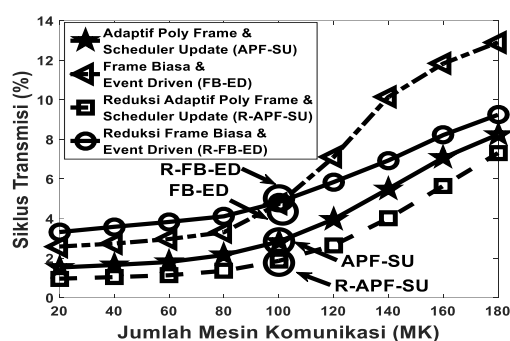
Hasil smulasi gambar 13 memperlihatkan simulasi TS dan OTS antara FB-ED dengan APF-SU. Menunjukkan bahwa hasil simulasi ST, OTS APF-SU lebih tinggi dari pada FB-ED, yang mengindikasikan bahwa (APF-SU) lebih efisien.



Gambar 13. Transmisi Sukses APF-SU, O-APF-SU, FB-ED, O-FB-ED

Gambar 13 memperlihatkan bahwa semakin besar jumlah MK yang berkompetisi, hasil TS dan OTS APF-SU semakin menurun, hal tersebut terjadi karena, jumlah MK yang bertambah menaikkan jumlah peluang reservasi yang tidak sukses (K), sehingga apabila nilai K semakin besar, maka nilai  $TS_{PRMA}$  akan semakin menurun. Jika  $TS_{PRMA}$  semakin menurun maka  $TS_{APF-SU}$  juga mengalami penurunan. Nilai K dipengaruhi jumlah *slot* yang dapat ditinggali (J) dan peluang *frame* APF yang dapat ditinggali (P). Sehingga, apabila ingin menaikkan  $TS_{PRMA}$  dapat dilakukan dengan menurunkan nilai K, dengan cara menurunkan nilai J dan menaikkan nilai P, persamaan (1)-(3).  $TS_{APF-SU}$  yang terus mengalami penurunan sepanjang pertambahan MK dapat dinaikkan dengan menaikkan nilai tempo APF (M) dan jumlah siklus huni kanal (S) serta  $TS_{PRMA}$  persamaan (4). Namun nilai TS dapat lebih ditingkatkan walaupun MK bertambah dengan Optimasi TS (OTS), dengan cara menaikkan nilai peluang persaingan MK (O), jumlah siklus huni *slot* (B), Transmisi Sukses PRMA ( $TS_{PRMA}$ ), peluang hunian kanal cadangan (Q) dan tempo *slot* dibagi jumlah MK ke n ( $Z_n$ ) persamaan (5).

Gambar 14 memperlihatkan bahwa semakin besar jumlah MK berkompetisi, hasil ST dan OST APF-SU semakin meningkat. Hal tersebut terjadi karena, jumlah MK yang bertambah ( $Y_n$ ) menaikkan tempo APF (M), tempo *slot* (N), peluang persaingan MK (O), siklus huni *slot* (B) dan jumlah siklus huni kanal (S), sehingga apabila nilai ( $Y_n$ ) semakin besar, maka nilai ST APF-SU akan semakin meningkat.



Gambar 14. Siklus Transmisi APF, R-APF-SU, FB, R-FB-SU

Jika ingin menurunkan ST APF-SU dapat dilakukan dengan menurunkan nilai parameter ( $M, N, O, B$  dan  $S$ ) persamaan (6). Namun ST dapat lebih diturunkan walaupun MK bertambah dengan Reduksi ST (RST), dengan cara menaikkan jumlah MK yang bersaing ( $R_n$ ), tempo APF ( $M$ ) dan jumlah siklus huni kanal ( $S$ ) atau menurunkan nilai tempo slot dibagi jumlah MK ( $Z_n$ ), peluang persaingan MK ( $O$ ), jumlah siklus huni slot ( $B$ ), jumlah slot dapat ditinggali ( $J$ ) dan jumlah reservasi tidak sukses ( $K$ ), persamaan (7).

## 5. KESIMPULAN

Hasil model dengan hasil simulasi bersifat *valid*, sehingga APF dan SU dapat difungsikan sebagai metode komunikasi M2M yang efisien dari pada FB serta ED. Tabel 7 dan 8, Gambar 13 serta 14. APF dan SU memberikan urutan dan prioritas pada data, untuk meningkatkan peluang MK menempati slot, sehingga meningkatkan jumlah TS. Urutan dan prioritas menurunkan jumlah slot yang tidak ditinggali, sehingga ST berkurang. Semakin rendah ST dan semakin besar TS, komunikasi M2M semakin efisien. Kombinasi APF dan SU menurunkan ST, serta meningkatkan TS, sehingga walaupun MK bertambah komunikasi M2M tetap efisien. Hasil model dan simulasi menunjukkan, APF serta SU yang diusulkan dapat meningkatkan TS dan OTS menurunkan ST serta RST.

## DAFTAR PUSTAKA

- AIJAZ, A. dan AGHVAMI, A. H. 2013a. A PRMA based MAC protocol for cognitive machine-to-machine communications. *IEEE International Conference on Communications*. September 2014. pp. 2753–2758. doi: 10.1109/ICC.2013.6654955.
- AIJAZ, A. dan AGHVAMI, A. H. 2013b. On the use and optimization of PRMA based cognitive M2M communications. *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 1265–1271. doi: 10.1109/GLOCOM.2013.6831248.
- AIJAZ, A. dan AGHVAMI, A. H. 2015a. Cognitive machine-to-machine communications for internet-of-things: A protocol stack perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 1–11. doi: 10.1109/JIOT.2015.2390775.
- AIJAZ, A. dan AGHVAMI, A.-H. 2015b. PRMA-Based Cognitive Machine-to-Machine Communications in Smart Grid Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(8), pp. 3608–3623. doi: 10.1109/TVT.2014.2359158.
- ANTON-HARO, C. dan MISCHA, D. 2015. *Machine-to-Machine Communications: Architecture, Performance and Applications*. Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 69. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- ARIFianto, E., SOFWAN, A. dan PRAKOSO, T. 2019. Komunikasi M2M Kognitif Berbasis PRMA dengan Multi Ultra Frame dan Payload Exchange. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada (JNTETI)*, 8(4), pp. 347–356. doi: http://dx.doi.org/10.22146/jnteti.v8i4.
- ASHRAFUZZAMAN, K. 2018. Efficient and Agile Carrier Sense Multiple Access in Capillary Machine-to-Machine Communication Networks. *IEEE ACCESS*, 6, pp. 4916–4932. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2790842
- LI, N., CAO, C. dan WANG, C. 2017. Dynamic resource allocation and access class barring scheme for delay-sensitive devices in machine to machine (M2M) communications. *Sensors (Switzerland)*, 17(6), pp. 1–20. doi: 10.3390/s17061407.
- MARTIGNE, P. 2015. *Machine-To-machine (M2m) Communications*. Doi: 10.1016/B978-1-78242-102-3.00002-2.
- TZENG, S. dan LIN, Y. 2016. Packet Reservation Multiple Access with Cross Multi-Frames in Cognitive Capillary Machine Type Communication Networks'. doi: 10.1109/iThings-GreenCom-CPSCo-SmartData.2016.88.
- ZAREEI, M. ET AL. 2017. Medium Access Control Protocols for Cognitive Radio Ad Hoc Networks: A Survey', *Sensors*, 17(9), p. 2136. doi: 10.3390/s17092136.