

ADAPTIF *POLY FRAME* PRMA PADA JARINGAN M2M KOGNITIF KAPILER

Eko Arifianto^{*1}, Aghus Sofwan², Teguh Prakoso³

^{1,2,3} Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
email: ¹ekoarifianto8888@gmail.com, ²asofwan@elektro.undip.ac.id, ³teguhprakoso@elektro.undip.ac.id
^{*}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,

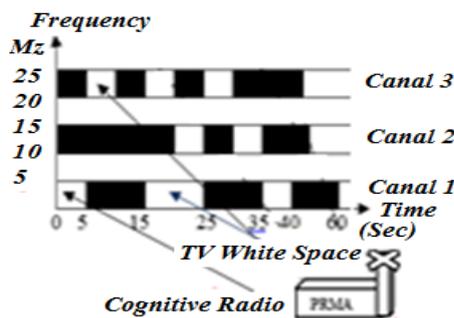
ditampilkan gambar 1 (Aijaz dan Aghvami, 2015a, 2015b); (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019).



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 penambahan 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).

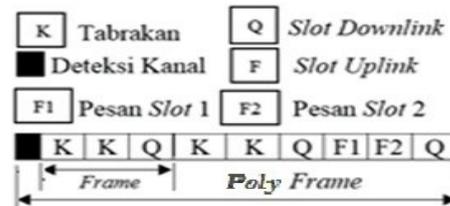


Gambar 2. Canal TV White Space, Cognitive Radio, PRMA (Arifianto, Sofwan dan Prakoso, 2019)

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).

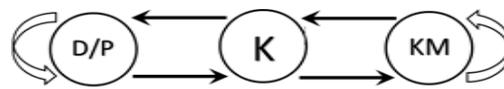
Proses terjadinya tabrakan, mengakibatkan *slot* tersebut tidak dapat ditinggali, sehingga diperlukan

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)

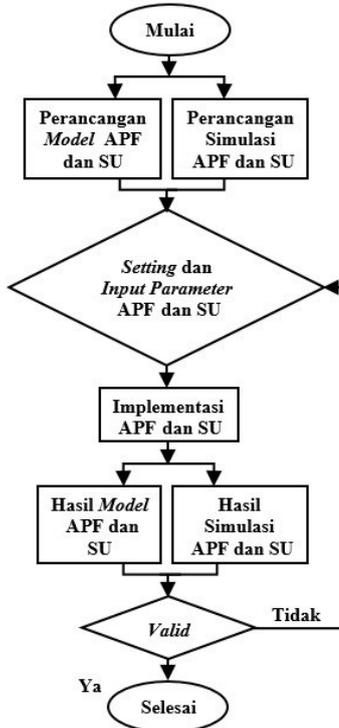
Gambar 4 memperlihatkan MK bersaing pada mode kompetisi (K) berdasar nomor urut. Jika terdapat dua MK bersaing, setelah mode K akan didapat pemenang yang langsung dapat menempati *slot* pada mode P. Namun, jika terdapat empat PKM dan diperoleh hasil kompetisi dengan dua pemenang serta dua yang kalah, maka kedua pemenang dapat langsung melakukan pemesanan *slot* pada mode pesan (P), kemudian menempatnya. 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*.

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

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

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

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

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.

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

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.

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

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
start RequestTransmissionCanalCognitiveRadio
  MK send Trans MsgReqCnl to the MKG
  for MKG do
    if MKG ∈ network then
      MKG get MsgReqCnl packet
    else
      MKG detects all empty canal and keep it
    end if
  end for
  MKG send EmptyCanalData to MK
end for
for MKG ∈ network do
  CognitiveRadio select slot & empty canal
  MKG broadcast empty SlotFrame and Canal
end for
    
```

```

end
start placing data in a Slot with PRMA
for MK ∈ other do
  if broadcast MK1,2 ≤ 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 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
start APF and SU
for MK send request sequence and priority to the MKG
  MK send MsgSeqPrior to the MKG
  for MK Data Traffic do
    if MK ∈ SlotFrame then
      MK get DataNumber packet APF
    else
      MK get Sequence of SlotFrame APF
    end if
  end for
  MK get Number and Sequence data transmission of SlotFrame APF
end for
for MK ∈ Uplink SlotFrame do
  MK Transmission data via Uplink SlotFrame and
  CognitiveRadio canal
end for
end
start Priority Important Data SU
for MK ∈ Important and Urgent do
  if transmission MK3,1 ≤ other then
    Send packet data to slot one S1 and slot two S2 with SU
    if MK has two broadcast other and
      connected with two different other MK then
      if other of MK3,1 > MK4,2 then
        Select MK4,2 as the next slot S1, S2 with SU
        Send packet data to slot three S3 and slot four S4 with SU
      end if
    end if
  end if
end if
end for
Send notification to MK or User via Downlink SlotFrame
end
    
```

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_{1,2} pada slot 1 dan 2 jika tidak ada MK lain. Jika terdapat dua MK lain selain MK_{1,2}, jika jumlah data pada MK_{1,2} > dari MK_{3,4} maka MK_{3,4} menempati slot S₁ dan S₂, MK_{1,2} menempati slot S₃ serta S₄ 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 S₁ dan S₂ 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 S₁ dan S₂, sedangkan MK_{3,1} dapat mengirimkan data pada slot S₃ serta S₄.

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 slot	200
J = jumlah slot yang dapat ditinggali	150
Yn = jumlah persaingan	20-180
P = peluang frame 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 slot	3 sec
O = peluang persaingan MK	0.5
Q = peluang hunian kanal cadangan	0.75
Rn = jumlah MK yang bersaing	20-180
Zn = tempo slot dibagi jumlah MK	0.15-7 sec

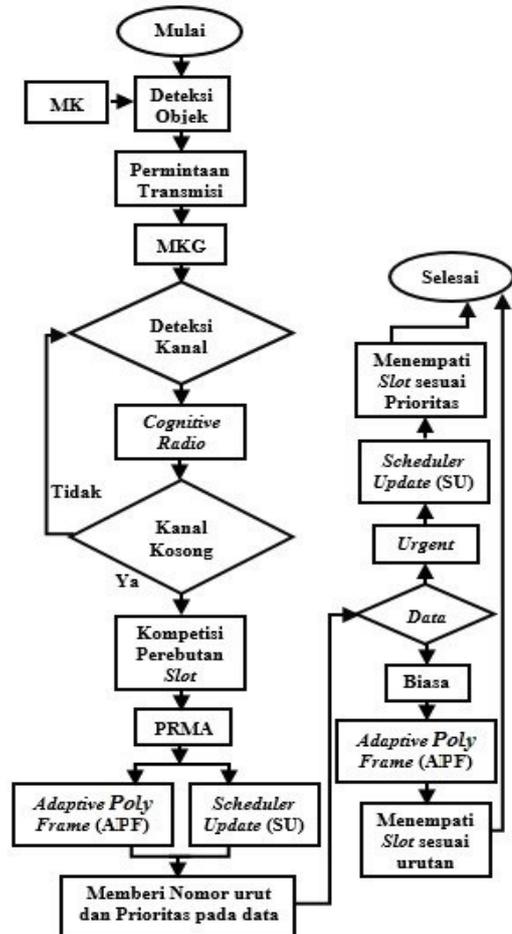
Tabel 3 memperlihatkan konfigurasi parameter, jumlah reservasi sukses (A) dan jumlah jumlah reservasi tidak sukses (K), tempo APF (M), tempo slot (N) dan jumlah siklus huni kanal, yang menentukan persentase jumlah TS_{PRMA} dan TS_{APF-SU}. Semakin besar nilai A dan semakin kecil nilai K maka semakin besar persentasi 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 ² /s)	tsunami (km/s)	kebakaran (0° 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 15 Ram 5GB, berfungsi sebagai penampung, dan pekeksesuksi, server atau pengguna, mengambil keputusan dari MK atau MKG. Smartphone dengan sensor, memiliki kemampun mendeteksi dan eksekusi data hasil penginderaan secara mandiri sebagai MK.

2.7. Software Simulasi

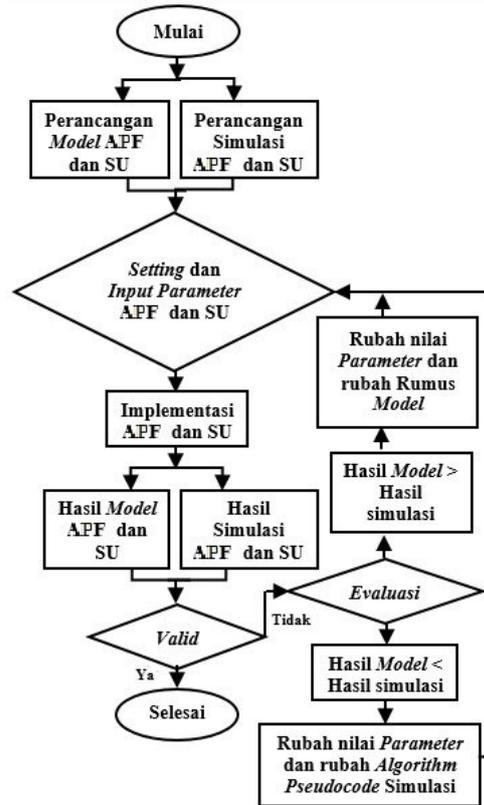
Software yang digunakan adalah Sistem Operasi Windows 8.1 Pro, platform operasi Software Simulasi Matlab R2015b. Kode program yang dituliskan pada Software Simulasi Matlab 2015b diberi masukan Tabel 4. Selanjutnya kode program diberi parameter sesuai konfigurasi parameter pada Tabel 3, untuk mengetahui 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

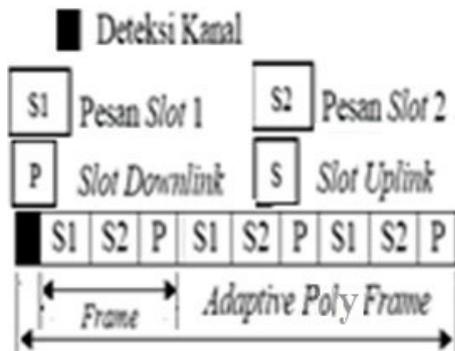
```

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
    
```

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)

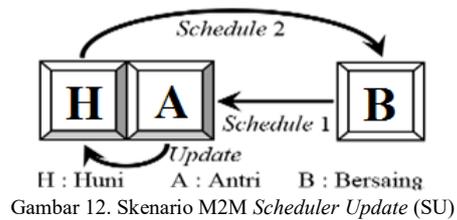
Gambar 11 memperlihatkan struktur *frame* APF yang terdiri dari tiga *frame* dengan masing-masing *frame* terdapat dua *slot* data. Dalam satu siklus transmisi data pada APF terdapat *slot* deteksi kanal, tiga *frame* dengan setiap *frame* terdapat dua *slot* data dan satu *slot downlink*. *Slot* deteksi 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 menempatnya. 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 persentasi efisiensi yang telah dicapai antara FB-ED dengan APF-SU. Menunjukkan bahwa persentasi 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

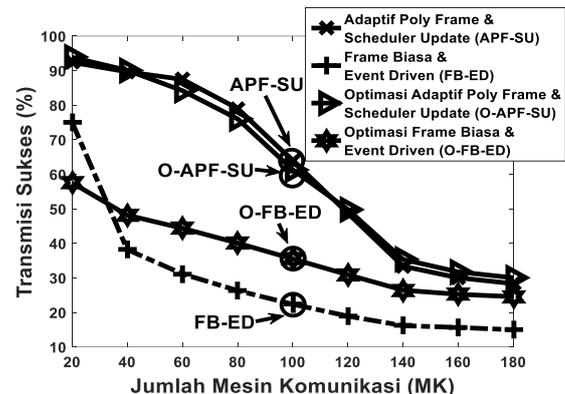
Tipe efisiensi	TS	OTS	ST	RST
Model	92-28%	93-30%	1,5-8,1%	0,9-7,2%
Simulasi	92-28%	93-30%	1,5-8,1%	0,9-7,2%

Tabel 8 memperlihatkan perbandingan hasil persentasi 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

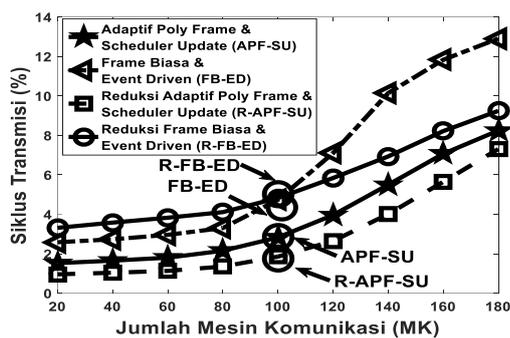
Hasil smulasi gambar 13 memperlihatkan simulasi TS dan OTS antara FB-ED dengan APF-SU. Menunjukkan bahwa hasil simulasi ST, OTS APF-SU lebih tinggi dari pada FB-ED, yang mengindikasikan bahwa (APF-SU) lebih efisien.



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, 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-CPSCCom-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.