



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**Profesor Emir Mauludi Husni**

***DELAY TOLERANT NETWORK***  
**UNTUK MENJEMBATANI *DIGITAL DIVIDE***  
**DI INDONESIA**

14 Maret 2020  
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**  
14 Maret 2020

**Profesor Emir Mauludi Husni**

***DELAY TOLERANT NETWORK  
UNTUK MENJEMBATANI DIGITAL DIVIDE  
DI INDONESIA***



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: *DELAY TOLERANT NETWORK UNTUK MENJEMBATANI DIGITAL DIVIDE* DI INDONESIA  
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,  
tanggal 14 Maret 2020.

**Hak Cipta dilindungi undang-undang.**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

**UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak Cipta ada pada penulis  
Data katalog dalam terbitan

Emir Mauludi Husni  
*DELAY TOLERANT NETWORK UNTUK MENJEMBATANI DIGITAL DIVIDE*  
DI INDONESIA  
Disunting oleh Emir Mauludi Husni

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2020  
vi+54 h., 17,5 x 25 cm  
ISBN 978-602-6624-41-3  
1. Teknik Komputer 1. Emir Mauludi Husni

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, shalawat serta salam kita sampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah, atas berkat dan rahmat Allah SWT, saya dapat menyusun naskah orasi ilmiah ini. Saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, atas perkenan penyampaian orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar ini.

Topik Orasi saya adalah berkaitan dengan bidang keahlian saya: *Computing Network on Spacecraft*, di mana pada orasi ilmiah ini penulis akan membahas hasil penelitian berkaitan dengan bidang keahlian yang telah dilakukan sebagai akademisi di ITB. *Delay tolerant network* (DTN) yang sebelumnya digunakan pada *deep space communication*, di Indonesia digunakan untuk menjembatani *digital divide* baik menggunakan komunikasi terrestrial maupun satelit.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan, dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 14 Maret 2020

**Emir Mauludi Husni**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
I. PROLOG .....	1
II. <i>DELAY TOLERAN NETWORK (DTN)</i> .....	3
III. DTN UNTUK <i>REMOTE AREA TERRESTRIAL</i> .....	5
IV. DTN UNTUK <i>REMOTE AREA</i> MENGGUNAKAN SATELIT ....	21
V. PENGEMBANGAN <i>SPACECRAFT: CUBESAT</i> UNTUK DTN ...	24
VI. DTN DALAM <i>INTERNET OF THINGS</i> .....	30
VII. PELUANG DAN PERANAN .....	34
VIII. EPILOG .....	39
UCAPAN TERIMA KASIH .....	40
DAFTAR PUSTAKA .....	42
CURRICULUM VITAE .....	45

***DELAY TOLERANT NETWORK***  
**UNTUK MENJEMBATANI *DIGITAL DIVIDE***  
**DI INDONESIA**

**1. PROLOG**

Dalam filsafat kita mengenal manusia sebagai *Homo Faber*, yakni makhluk yang suka bekerja. Memenuhi fitrahnya sebagai makhluk pekerja, manusia menjadi *tool-making animal*, yakni makhluk yang pandai membuat perkakas untuk membantu dirinya hidup lebih mudah. Manusia juga merupakan *Homo Mensura* (makhluk penilai) yang menjadikan manusia sebagai *homo valens*, yakni makhluk yang melakukan inovasi dan petualangan. Dalam era digital sekarang ini, perkakas yang digunakan mau pun petualangan yang dilakukan seorang manusia, bukan lagi terbatas pada benda secara fisik saja, tetapi juga dalam bentuk teknologi informasi dan komunikasi (TIK).

Berdasarkan *roadmap* pembangunan TIK Nasional, pada tahun 2013 masyarakat Indonesia telah memasuki era masyarakat informasi, merujuk pada tersambungannya jaringan *fiber optic* dan penyediaan layanan internet broadband yang lebih baik, serta peningkatan kualitas layanan seluler di Indonesia.

Yang menjadi permasalahan di Indonesia sebagai negara kepulauan adalah kemajuan TIK ini masih terkonsentrasi di daerah perkotaan. Kita

belum bisa menyatakan dengan bangga, bahwa Indonesia memiliki fasilitas TIK yang sama baik di *urban area* mau pun di *remote area*. Kesenjangan teknologi komunikasi yang termasuk dalam *digital divide*, bila semakin jauh jaraknya, dapat mengancam keamanan nasional karena ruang udara termasuk dalam batas teritorial sebuah negara yang perlu dijaga. Dalam bidang ekonomi khususnya perdagangan, kesenjangan teknologi juga dapat menyebabkan terhambatnya transaksi ekonomi bagi masyarakat yang tidak terjangkau kemudahan teknologi komunikasi. Dapat dikatakan, *digital divide* pada akhirnya berujung pada kesenjangan kesejahteraan masyarakat.

*Delay tolerant network* diusulkan penulis menjadi pendekatan untuk menjembatani *digital divide* di Indonesia. *Delay tolerant network* yang sebelumnya digunakan pada *deep space communication*, di Indonesia digunakan untuk menjembatani daerah terpencil baik menggunakan komunikasi *terrestrial* maupun satelit kecil (*CubeSat*). Selain itu DTN diusulkan sebagai jaringan pada *internet of things* untuk penggunaan masa depan.

Selanjutnya, perkenankan penulis menyampaikan beberapa hal terkait *delay tolerant network* yang telah maupun akan dikembangkan sebagai akademisi di ITB, dimulai dari pengenalan pada *delay tolerant network*. Penyampaian dilanjutkan dengan *delay tolerant network* untuk *remote areas* menggunakan komunikasi *terrestrial*, *delay tolerant network* untuk *remote area* menggunakan komunikasi satelit, pengembangan

*spacecraft (CubeSat)* untuk *delay tolerant network*. Selain itu *delay tolerant network* diusulkan untuk digunakan pada *internet of things* dan aplikasi lainnya di masa depan.

## 2. DELAY TOLERANT NETWORK (DTN)

Internet meraih sukses sebagai sarana komunikasi antara jaringan di seluruh dunia. Kesuksesan ini diraih karena semua perangkat komunikasi yang terlibat dalam internet menggunakan seperangkat protokol komunikasi yang sama, yaitu TCP/IP. Semua perangkat dalam subnet-subnet internet menggunakan TCP/IP untuk mengirim, meneruskan dan menerima data, dan memastikan kehandalan pengiriman pesan.

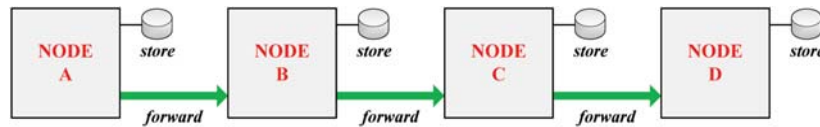
Pada internet konvensional ini, model TCP/IP adalah berdasarkan prinsip dimana harus selalu tersedia koneksi akhir-ke-akhir (*end-to-end*) secara terus menerus. Penggunaan internet bergantung pada beberapa syarat lainnya sebagai berikut.

- *Short Round Trips*: waktu tunda yang pendek harus dapat dicapai saat mengirim data dari sumber ke tujuan.
- *Symmetric Data Rates*: besar aliran data yang relatif sama pada dua arah antara sumber dan tujuan.
- *Low Error Rates*: data yang hilang atau rusak relatif kecil.

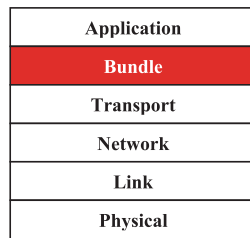
DTN menerapkan metode *store and forward packet switching* (Husni, 2016) dengan model transpor *hop-by-hop*, pada setiap titik yang dilewati

terdapat storage dan paket-paket informasi dikirim dari satu titik ke titik berikutnya jika koneksi tersedia hingga semua paket informasi sampai ke tujuan, seperti diilustrasikan pada Gambar 1.

DTN merupakan suatu arsitektur dan protokol jaringan yang dirancang untuk mampu menyajikan komunikasi di suatu lingkungan yang memiliki karakteristik: waktu tunda yang bervariasi atau panjang, *error rate* yang tinggi, laju data yang tidak simetris dan hubungan yang hanya sebentar-sebentar (*on-off-on-off*).



Gambar 1. Ilustrasi Mekanisme Store-and-Forward pada DTN



Gambar 2. Bundle Layer pada DTN

DTN menggunakan sebuah layer baru, yaitu *bundle layer* (Husni, 2016) seperti diilustrasikan pada Gambar 2. Format data dalam protokol DTN disebut dengan *bundle*. *Node* dalam DTN dapat berupa sebuah *host* atau

*router*. *Host* merupakan suatu perangkat yang mengirimkan atau menerima *bundle*, namun tidak meneruskannya hingga ke tujuan. *Router* merupakan perangkat yang berfungsi untuk meneruskan *bundle* dari satu *host* ke *host* lainnya atau dari *host* sumber hingga ke *host* tujuan.

### 3. DTN UNTUK REMOTE AREA TERRESTRIAL

*Delay tolerant network* untuk menjangkau daerah terpencil dengan komunikasi terrestrial telah diimplementasikan oleh penulis, yaitu *kampoeng.net*.

Ide dasar dari *kampoeng.net* adalah membangun suatu sistem layanan internet dengan memanfaatkan sistem transportasi publik yang telah tersedia sebagai media perantara atau *router* untuk menghubungkan suatu desa ke layanan jaringan internet melalui suatu *server* agar penduduk di desa tersebut dapat menikmati layanan internet khususnya *email* dan portal berita.

Dalam perancangan sistem layanan, jenis layanan utama yang akan disajikan oleh *kampoeng.net* adalah layanan surat elektronik atau *email* dan penyajian info berita atau portal berita. Dasar pertimbangan pemilihan layanan adalah sebagai berikut.

- *Email* dan portal berita dapat dikatakan sebagai layanan dasar internet yang mampu menyediakan informasi kepada pengguna dan sebagai media untuk mengirimkan informasi dari satu pengguna ke

pengguna lainnya. Dengan adanya layanan email, penduduk di suatu desa dapat lebih mudah untuk saling mengirimkan informasi dengan penduduk di area lainnya. Dengan adanya layanan portal berita, penduduk di suatu desa yang sulit dijangkau oleh layanan penyedia informasi konvensional seperti koran atau majalah, dapat dengan mudah memperoleh informasi atau berita terkini.

- Layanan *email* dan portal berita tidak sepenuhnya memerlukan koneksi yang bersifat *real-time* sehingga dapat diterapkan di suatu lingkungan yang sulit dijangkau oleh penyedia jasa layanan internet pada umumnya.
- Sebagai layanan tambahan, dapat disajikan layanan pengiriman data atau dokumen *digital* dan layanan informasi lainnya seperti layanan informasi komersial (iklan, info kegiatan), layanan informasi publik (info sekolah, info layanan pemerintah) atau video dan musik.

Gambar 3 memperlihatkan arsitektur sistem dari *kampoeng.net*. Elemen utama penyusun arsitektur sistem dari *kampoeng.net* adalah sebagai berikut.

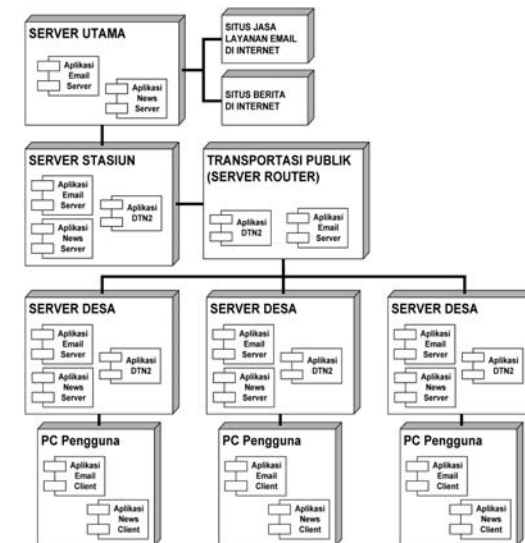
- *Server Utama*

*Server Utama* merupakan perangkat komputer *server* yang dilengkapi dengan aplikasi *Email Server* dan aplikasi *News Server*. Aplikasi *Email Server* di *Server Utama* berfungsi untuk mengelola data *email* yang diterima oleh *Server Utama* dari *Server Stasiun* dan dari jaringan internet. Aplikasi *News Server* berfungsi untuk mengunduh dan

menyimpan berita-berita terbaru dari berbagai layanan situs berita di jaringan internet.

- *Server Stasiun*

*Server Stasiun* merupakan perangkat komputer *server* yang diletakkan di stasiun transportasi publik, dilengkapi dengan aplikasi *Email Server*, aplikasi *News Server*, dan aplikasi DTN2. Aplikasi *Email Server* di *Server Stasiun* berfungsi untuk mengelola data *email* yang diterima oleh *Server Stasiun*. Aplikasi *News Server* berfungsi untuk mengunduh dan menyimpan data berita dari *Server Utama*. Aplikasi DTN2 berfungsi untuk pengolahan, pengiriman, dan penerimaan data-data *email* dan berita menggunakan protokol DTN.



Gambar 3. Arsitektur Sistem kampoeng.net.



- Transportasi Publik

Transportasi publik merupakan kendaraan transportasi publik yang dilengkapi dengan perangkat *Server Router* dan aplikasi DTN2, berfungsi sebagai DTN *router* untuk meneruskan data yang diunduh dari *Server Stasiun* ke *Server Desa* dan dari *Server Desa* ke *Server Stasiun*. Aplikasi *Email Server* di *Server Router* berfungsi untuk mengelola data *email* yang diterima oleh *Server Router*. Aplikasi DTN2 berfungsi untuk pengolahan, pengiriman, dan penerimaan data *email* dan berita menggunakan protokol DTN.

- *Server Desa*

*Server Desa* merupakan perangkat komputer *server* yang diletakkan di desa, dilengkapi dengan aplikasi *Email Server*, aplikasi *News Server*, dan aplikasi DTN2. Aplikasi *Email Server* di *Server Desa* berfungsi untuk mengelola *email* yang diterima di *Server Desa*. Aplikasi *News Server* di *Server Desa* berfungsi untuk mengelola data berita yang diperuntukkan bagi para pengguna di desa. Aplikasi DTN2 berfungsi untuk pengolahan, pengiriman, dan penerimaan data-data *email* serta pengolahan dan penerimaan data berita menggunakan protokol DTN.

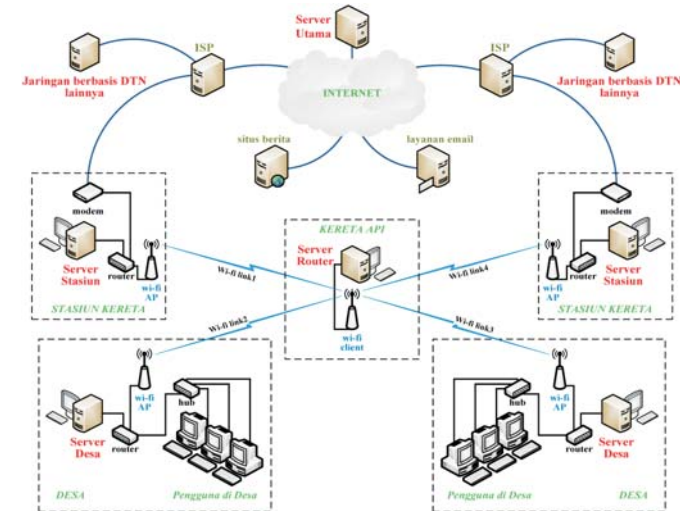
- PC Pengguna

PC Pengguna merupakan perangkat komputer personal yang dilengkapi dengan aplikasi *Email Client* dan aplikasi *News Client*. Aplikasi *Email Client* berfungsi sebagai perangkat antarmuka bagi

pengguna di desa untuk mengirim dan menerima *email*. Aplikasi *News Client* berfungsi sebagai perangkat antarmuka bagi para pengguna di desa untuk menerima layanan informasi portal berita.

### 3.1 Arsitektur Jaringan

Jaringan *kampoeng.net* merupakan suatu jaringan yang dibangun untuk menghubungkan suatu daerah pedesaan ke layanan *email* dan situs berita di jaringan internet melalui jaringan berbasis DTN dengan memanfaatkan sistem transportasi publik kereta api sebagai perantara transmisi data atau DTN *router* dan jaringan area lokal nirkabel atau *wi-fi* sebagai jaringan penghubung antara DTN *router* dengan desa. Arsitektur jaringan *kampoeng.net* diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Arsitektur Jaringan *kampoeng.net*

Elemen penyusun jaringan *kampoeng.net* adalah sebagai berikut.

- *Server* Utama, merupakan suatu perangkat komputer *server* yang berfungsi sebagai pusat pengolahan dan pengelolaan data yang dikirimkan oleh pengguna lain melalui jaringan internet serta data yang diunduh dari layanan *email* dan berita di internet, yang ditujukan bagi para pengguna desa yang berada di jaringan berbasis DTN, dan sebaliknya. *Server* Utama memiliki IP publik agar *server* dapat dikenali oleh elemen lainnya di jaringan internet.
- Stasiun kereta api, berfungsi sebagai *gateway* antara jaringan lokal berbasis DTN dengan *Server* Utama di jaringan internet. Stasiun kereta dilengkapi dengan perangkat komputer *Server* Stasiun sebagai perangkat pengelolaan dan pengolahan data. Stasiun kereta api dilengkapi dengan perangkat *Wireless Outdoor CPE* yang diatur sebagai *wi-fi access point (wi-fi AP)* untuk menghubungkan stasiun kereta api dengan kereta api serta perangkat modem ADSL atau HSDPA untuk menghubungkan stasiun kereta api ke *Server* Utama melalui jaringan internet.
- Kereta api, berfungsi sebagai DTN *router*. Kereta api dilengkapi dengan perangkat komputer *Server Router*. *Server Router* dapat diletakkan di ruang masinis atau ruang lainnya yang memiliki fasilitas sumber daya listrik. Untuk perangkat koneksi, kereta api dilengkapi dengan perangkat *Wireless Outdoor CPE* yang diatur sebagai *wi-fi client*.

- *Server* Desa di setiap desa yang dilewati oleh kereta api, berfungsi pusat pengolahan data di desa. *Server* desa merupakan suatu perangkat komputer untuk mengolah dan mengelola data yang diunduh dari kereta api. Untuk koneksi, *Server* Desa dilengkapi dengan perangkat *Wireless Outdoor CPE* sebagai *wi-fi AP* untuk menghubungkan *Server* Desa ke *Server Router* di kereta api. Untuk akses pengguna, digunakan *hub/switch* untuk menghubungkan *Server* Desa ke PC pengguna.
- Layanan koneksi ADSL dari *Internet Service Provider (ISP)* atau layanan koneksi HSDPA dari operator selular, sebagai jaringan penghubung antara *Server* Stasiun di stasiun kereta dengan *Server* Utama dan *Server* Utama dengan jaringan internet.
- Jaringan area lokal nirkabel atau jaringan *wi-fi* sebagai jaringan penghubung antara *Server Router* di kereta api dengan *Server* Stasiun di stasiun kereta dan dengan *Server* Desa.
- Jaringan berbasis DTN lainnya dalam hal ini adalah jaringan yang memiliki arsitektur dan sistem layanan yang serupa dengan *kampoeng.net* yaitu menggunakan DTN untuk menyajikan layanan internet ke suatu daerah dan menggunakan *Server* Utama yang sama. Untuk mempermudah pembahasan, desa atau suatu lokasi yang berada dalam cakupan layanan *kampoeng.net* akan disebut dengan desa di wilayah yang sama, sedangkan desa atau suatu lokasi yang berada di jaringan berbasis DTN lainnya akan disebut dengan desa di

wilayah yang berbeda atau wilayah lainnya.

- Layanan *email* merupakan penyedia jasa layanan *email* berbasis *web*, misalnya *Gmail* dan *Yahoo Mail*, atau penyedia jasa layanan *email* dari ISP.
- Situs berita merupakan situs penyedia layanan informasi berbasis *web* yang menyajikan layanan berita, misalnya *detik.com* dan *okezone.com*.

Sistem transportasi publik kereta api dimanfaatkan sebagai penunjang sistem layanan dengan stasiun kereta sebagai *gateway* antara jaringan berbasis DTN dengan jaringan internet dan kereta api sebagai media perantara transmisi data atau *router*. Dasar pertimbangan digunakannya kereta api sebagai DTN *router* adalah sebagai berikut.

- Kereta api telah memiliki infrastruktur jalur kereta api yang pada umumnya melewati area pedesaan sehingga tidak lagi diperlukan pembangunan infrastruktur baru untuk menjangkau area pedesaan.
- Kereta api memiliki sumber daya khusus berupa generator yang diinstalasikan di gerbong khusus sehingga memungkinkan instalasi perangkat pendukung sistem layanan seperti perangkat komputer server dan perangkat *wireless outdoor CPE*.
- Kereta api memiliki jadwal perjalanan yang tetap dan kecepatan yang relatif stabil sehingga dapat memudahkan perkiraan waktu penerimaan data di desa.

Dasar pertimbangan digunakan jaringan *wi-fi* sebagai jaringan

penghubung antara stasiun kereta dengan kereta api serta kereta api dengan desa adalah sebagai berikut.

- Jaringan *wi-fi* memiliki karakteristik penerapan yang fleksibel dan tidak memerlukan koneksi perkabelan yang rumit sehingga memudahkan proses instalasi perangkat.

Dalam membangun jaringan *wi-fi*, hanya diperlukan biaya instalasi awal, untuk selanjutnya tidak diperlukan biaya berlangganan seperti halnya jika menggunakan sistem komunikasi satelit. Dengan demikian pengguna di desa dapat menikmati layanan internet khususnya *email* dan portal berita serta layanan kurir data *digital* mau pun informasi lainnya dengan biaya yang lebih murah.

### 3.2 Pengujian di PT. Kereta Api Indonesia Daop II Bandung

Pada pengujian di PT. KAI Daop II Bandung, pengujian dilakukan terhadap kemampuan sistem layanan *kampoeng.net* dalam menyajikan layanan *email* dan berita menggunakan DTN, dengan beberapa batasan sebagai berikut.

- Lokasi Desa\_11 dan Desa\_12 dimodelkan dengan menggunakan 2 stasiun kereta, yaitu Stasiun Cimekar dan Stasiun Haurpugur, yang memiliki lokasi dan lingkungan sekitar menyerupai lingkungan daerah pedesaan.
- Pengujian layanan *email* yang dilakukan hanya untuk mekanisme pengiriman *email* dalam wilayah yang sama, pengiriman *email* ke

layanan *email* di internet, dan pengiriman *email* dari layanan *email* di internet.

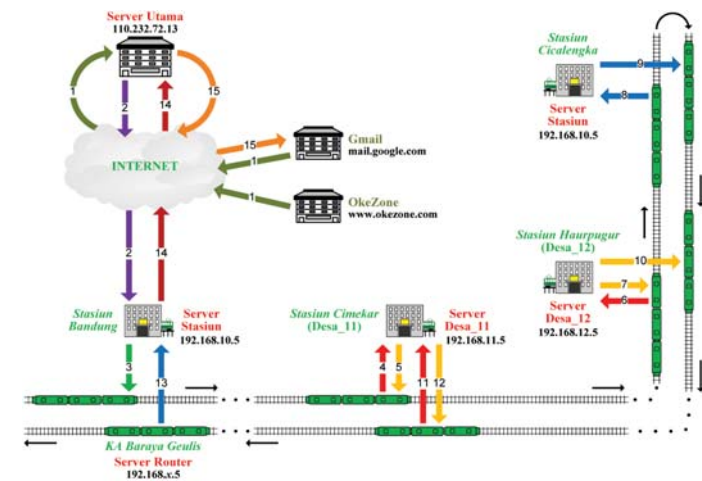
- Analisa kemampuan sistem dalam hal menyajikan layanan *email* dilakukan dengan menganalisa jumlah *bundle email* yang dapat terkirim dari:
  - *Server Router* di kereta api ke *Server Desa\_11* dan *Server Desa\_12*
  - *Server Desa\_11* dan *Server Desa\_12* ke *Server Router* di kereta api
  - Mengamati penerimaan *email* melalui aplikasi *Email Client* di *Server Desa\_11* dan *Server Desa\_12* serta di layanan *email* di internet.
- Analisa kemampuan sistem dalam menyajikan layanan portal berita dilakukan dengan mengamati jumlah *bundle data* berita yang dapat terkirim dari *Server Router* di kereta api ke *Server Desa\_11* dan *Server Desa\_12*, serta mengamati berita yang dapat ditampilkan ke pengguna di *Desa\_11* dan *Desa\_12*.
- Layanan *email* di internet yang digunakan hanya layanan internet dari *Gmail*.
- Situs berita di internet hanya menggunakan situs *www.okezone.com* sebagai situs sumber berita.
- Pengguna di *Desa\_11* dan *Desa\_12* tidak menggunakan perangkat komputer tersendiri untuk mengakses layanan *email* dan portal berita. Akses ke layanan *email* dan portal berita dilakukan melalui *Server Desa\_11* dan *Server Desa\_12* dengan *login* sebagai *user* yang berbeda

dengan *user* yang menjalankan fungsi aplikasi *server*.

Fasilitas dan lokasi di lingkungan PT. KAI Daop II Bandung yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut.

- Stasiun Bandung sebagai stasiun kereta yang memiliki koneksi langsung ke jaringan internet.
- Stasiun Cimekar sebagai *Desa\_11*.
- Stasiun Haurpugur sebagai *Desa\_12*.
- Stasiun Cicalengka sebagai stasiun transit untuk mekanisme pengiriman *email* melalui stasiun.
- Kereta Api Diesel (KRD) Baraya Geulis sebagai *DTN router*.

Skenario pengujian di PT. KAI Daop II Bandung diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skenario Pengujian di PT. KAI Daop II Bandung

Skenario pengujian di PT. KAI Daop II Bandung adalah sebagai berikut.

1. *Server* Utama mengunduh dan menyimpan berita dari situs *www.okezone.com*, juga menerima dan menyimpan *email* yang dikirimkan dari layanan *Gmail* (*mail.google.com*).
2. *Server* Stasiun mengunduh data berita dan *email* yang ditujukan kepada pengguna di Desa\_11 dan Desa\_12 dari *Server* Utama.
3. *Server Router* di kereta api mengunduh data berita dan *email* yang ditujukan kepada pengguna di Desa\_11 dan Desa\_12 dari *Server* Stasiun.
4. Ketika kereta api melewati area Desa\_11 pada *Trip1* dan tercakup dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_11, *Server Router* akan mengirimkan data ke *Server* Desa\_11 berupa *email* dan berita yang ditujukan bagi para pengguna di Desa\_11.
5. Ketika kereta api melewati area Desa\_11 pada *Trip1* dan tercakup dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_11, *Server* Desa\_11 akan mengirimkan data ke *Server Router* di kereta api berupa *email* dari para pengguna di Desa\_11 yang ditujukan ke pengguna di Desa\_12 dan pengguna layanan *Gmail*.
6. Ketika kereta api melewati area Desa\_12 pada *Trip1* dan tercakup dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_12, *Server Router* akan mengirimkan data ke *Server* Desa berupa *email* dan berita yang

ditujukan bagi para pengguna di Desa\_12. *Email* yang dikirimkan pada saat tersebut adalah *email* dari pengguna layanan *Gmail* dan *email* dari pengguna di Desa\_11.

7. Ketika kereta api melewati area Desa\_12 pada *Trip1* dan tercakup dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_12, *Server* Desa\_12 akan mengirimkan data ke *Server Router* di kereta api berupa *email* dari para pengguna di Desa\_12 yang ditujukan ke pengguna di Desa\_11 dan pengguna layanan *Gmail*.
8. Ketika *Server* Desa\_12 mengirimkan data *email* yang ditujukan kepada pengguna di Desa\_11 ke *Server Router*, Desa\_11 yang menjadi tujuan pengiriman *email* telah terlewat oleh kereta api yang membawa *Server Router* sehingga mekanisme pengiriman *email* ke *Server* Desa\_11 akan dilakukan melalui *Server* Stasiun di Stasiun Cicalengka. *Email* dari pengguna di Desa\_12 dengan tujuan pengguna di Desa\_11 akan dikirimkan oleh *Server Router* ke *Server* Stasiun di Stasiun Cicalengka. Data *email* tersebut akan diolah dengan mekanisme pengolahan *email* duplikasi dan kemudian *Server* Stasiun akan mengirimkan *email* tersebut kembali ke *Server Router* untuk diteruskan ke Desa\_11 ketika kereta api melakukan rute perjalanan *Trip2*.
9. Data *email* untuk pengguna di Desa\_11 kembali dikirimkan oleh *Server* Stasiun ke *Server Router* untuk diteruskan ke Desa\_11 ketika kereta api melakukan rute perjalanan *Trip2*.
10. Ketika kereta api melewati area Desa\_12 pada *Trip2* dan tercakup

dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_12, *Server* Desa\_12 akan mengirimkan data ke *Server Router* di kereta api berupa *email* dari para pengguna di Desa\_12 yang ditujukan ke pengguna di Desa\_11 dan pengguna layanan *Gmail*.

11. Ketika kereta api melewati area Desa\_11 pada *Trip2* dan tercakup dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_11, *Server Router* akan mengirimkan data ke *Server* Desa\_11 berupa *email* yang ditujukan bagi para pengguna di Desa\_11 yang dikirimkan oleh pengguna di Desa\_12 melalui *Server* Desa\_12 pada rute perjalanan *Trip1* dan *Trip2*.
12. Ketika kereta api melewati area Desa\_11 pada *Trip2* dan tercakup dalam jaringan *wi-fi* dari *Server* Desa\_11, *Server* Desa\_11 akan mengirimkan data ke *Server Router* di kereta api berupa *email* dari para pengguna di Desa\_11 yang ditujukan ke pengguna di Desa\_12 dan pengguna layanan *Gmail*.
13. Data *Email* yang dikirimkan oleh pengguna di Desa\_11 dan Desa\_12 akan diteruskan oleh *Server Router* ke *Server* Stasiun. *Server* Stasiun akan memilah-milah data *email* yang diterima sesuai dengan alamat tujuan pengiriman *email*. Untuk *email* yang ditujukan kepada pengguna layanan *Gmail*, *Server* Stasiun akan meneruskan *email* tersebut ke *Server* Utama. Untuk *email* yang ditujukan kepada pengguna di Desa\_12, *Server* Stasiun akan mengolah dan menyimpan data *email* tersebut sampai *Server Router* di kereta api yang akan melakukan rute perjalanan berikutnya melakukan pengunduhan data

dari *Server* Stasiun.

14. *Server* Stasiun meneruskan data *email* yang ditujukan kepada pengguna layanan *Gmail* ke *Server* Utama.

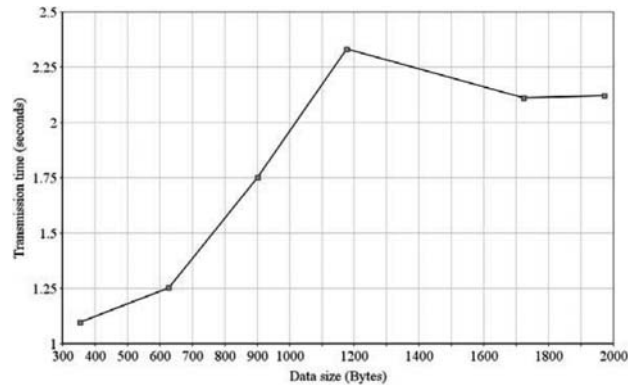
*Server* Utama menerima data *email* yang dikirimkan oleh *Server* Stasiun kemudian meneruskannya ke layanan *Gmail*. Pengujian telah dilakukan, hasilnya: waktu transmisi dan selang waktu koneksi dari seluruh proses transmisi data yang diamati ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian: Waktu Koneksi, Waktu Transmisi, dan Throughput

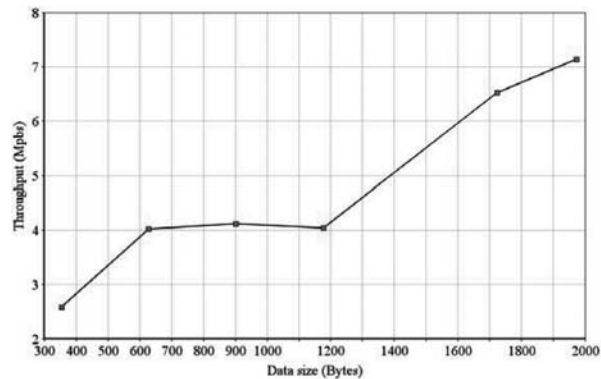
Lokasi Pengujian	Bundles Ter kirim	Total Data Ter kirim	Waktu Koneksi	Waktu Transmisi	Throughput Rata-rata
Stasiun Cimekar (Desa_11)					
<i>Trip 1</i>	300	8,20659 Mbytes	1 menit 52 detik	11,7277 detik	5,5981 Mbps
<i>Trip 2</i>	400	10,94284 Mbytes	2 menit 34 detik	27,9866 detik	3,1280 Mbps
Stasiun Haurpugur (Desa_12)					
<i>Trip 1</i>	274	7,49560 Mbytes	1 menit 52 detik	30,1049 detik	1,9919 Mbps
<i>Trip 2</i>	274	7,49556 Mbytes	2 menit 43 detik	32,6166 detik	1,8385 Mbps
KA Baraya Geulis ( <i>Router</i> )					
ke Stasiun Cimekar <i>Trip 2</i>	246	6,73907 Mbytes	2 menit 44 detik	14,3104 detik	3,7674 Mbps
ke Stasiun Haurpugur <i>Trip 1</i>	157	4,34023 Mbytes	2 menit 2 detik	52,0230 detik	0,6674 Mbps

Gambar 6 dan 7 menampilkan grafik waktu transmisi dan *throughput*.





**Gambar 6.** Waktu Transmisi Vs. Ukuran Data Transmisi dari Stasiun Cimekar (Desa\_11) ke DTN Router Selama Trip 1



**Gambar 7.** Throughput Vs. Ukuran Data Transmisi dari Stasiun Cimekar (Desa\_11) ke DTN Router Selama Trip 1

Hasil tes menunjukkan bahwa proses pengiriman dan pengiriman data, termasuk *email* yang dikirim antara kedua desa, berhasil menggunakan *router* DTN di kereta. *Throughput* sistem DTN

menggunakan kereta sangat tergantung dari bandwidth sistem komunikasi yang digunakan.

#### 4. DTN UNTUK REMOTE AREA MENGGUNAKAN SATELIT

Indonesia merupakan negara maritim terbesar di dunia dengan memiliki kurang lebih 17.850 pulau dan jumlah penduduk sebanyak 237 juta jiwa. Oleh karena itu, Indonesia sangat membutuhkan teknologi satelit karena setidaknya ada tiga hal mendasar yang memberikan keuntungan bagi Indonesia. Yang pertama, sebagai infrastruktur komunikasi yang menyatukan komunikasi Negara Kesatuan Republik Indonesia. Yang kedua, sebagai katalis perkembangan ekonomi Indonesia, dan yang ketiga sebagai pemicu semangat masyarakat Indonesia untuk dapat secara mandiri menguasai teknologi khususnya teknologi satelit.

Pemerintah Indonesia memulai perkembangan teknologi satelit di Indonesia dengan mendeklarasikan program satelit PALAPA pada Februari 1975 (Husni & Febrian, 2016). Program tersebut mengukuhkan Indonesia menjadi negara ketiga di dunia yang menggunakan teknologi satelit untuk keperluan komunikasi nasional. Tujuan umumnya ialah menyatukan komunikasi Indonesia dari Sabang sampai Merauke. Indonesia juga berada pada daerah *Ring of Fire* sehingga rawan terjadinya bencana alam. Untuk itu dibutuhkan alat komunikasi handal yang dapat menghubungkan komunikasi dari satu pulau ke pulau lainnya. Dengan

adanya teknologi satelit, sambungan internet sebagai sarana informasi, sambungan telepon jarak jauh untuk komunikasi suara, dan *telemedicine* sebagai sarana kesehatan untuk wilayah terpencil dapat dilakukan dengan baik.

Satelit komunikasi konvensional berada pada orbit *geostationary earth orbit* (GEO) dengan ketinggian sekitar 36.000 km di atas permukaan Bumi. Satelit GEO bergerak dengan kecepatan yang sesuai dengan rotasi Bumi dan tampak melayang-layang di tempat yang tetap.

Yang menjadi perhatian pada riset penulis satelit dengan orbit *low earth orbit* (LEO) beroperasi di antara 500-2.000 km di atas permukaan bumi. Satelit LEO berputar di orbit dengan kecepatan sekitar 8 kilometer per detik, menyelesaikan sirkuit penuh antara 90 dan 120 menit. Trend komunikasi satelit broadband adalah menggunakan satelit LEO karena memiliki keuntungan utama latensi yang lebih rendah dan energi transmisi data satelit-ke-bumi yang rendah sehingga ukuran satelit bisa sangat kecil (*CubeSat*, 10cm x 10cm x 10cm dan kelipatannya).

Latensi adalah keterlambatan, biasanya diukur dalam milidetik, dalam transmisi data bolak-balik. Sistem satelit GEO memiliki latensi rata-rata hampir 600 milidetik, menjadikannya pengganti yang tidak cocok untuk sistem kabel atau serat. Namun, orbit satelit LEO yang lebih rendah akan menghasilkan latensi yang lebih dekat dengan kualitas darat dengan latensi rata-rata 32 milidetik. Elon Musk merencanakan sistem satelit Spacelink Starlink akan membentuk jaringan yang menyediakan layanan

internet broadband untuk menggantikan kabel serat optik di mana penggelaran kabel serat optik tidak layak secara ekonomi menggunakan minimal 800 (dari rencana 4.000) satelit LEO.

DTN akan digunakan sebagai protokol internet broadband masa depan dan sudah diuji coba oleh Surrey Satellite Ltd. Penulis mengusulkan penggunaan DTN untuk transmisi data digital ke remote area menggunakan CubeSat dengan biaya rendah.

Pada skenario nya, CubeSat akan melewati satu tempat setiap 90-120 menit di mana transmisi data dapat dilakukan selama 5-15 menit. File video dipecah-pecah menjadi ribuan hingga jutaan bundle untuk dikirim setiap bundle nya. Selama 5-15 menit, CubeSat akan mengirim file video per bundle sampai selesai. Jika belum selesai, CubeSat akan mengirim sisa bundle dari file video pada periode berikutnya (90-120) kemudian yang diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi Satelit DTN



## 5. PENGEMBANGAN SPACECRAFT: CUBESAT DTN

Perancangan satelit dewasa ini harus memiliki kemampuan mengintegrasikan devais-devais pintar agar performa dari satelit dapat meningkat. Satelit dengan kemampuan tersebut dapat direalisasikan dengan mengadaptasi konsep *internet-of-things* (IoT). Semua sensor dan subsistem lainnya terhubung dalam sebuah jaringan internet yang dapat diakses oleh pengguna di terrestrial.

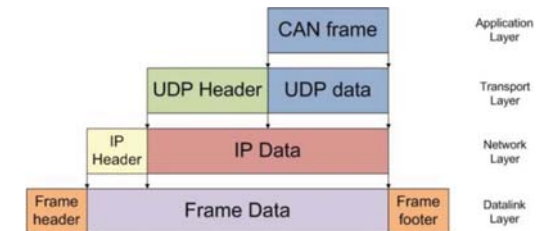
*On-board computer* (OBC) sebagai komponen utama pengolahan data satelit merupakan kunci utama perancangan satelit dengan konsep IoT. OBC satelit yang digunakan adalah OBC berbasis *on-board internet*. Dengan konsep tersebut semua devais pintar yang ada pada satelit dapat dikelola dan dikendalikan tanpa ada suatu format data tertentu sehingga misi satelit yang dirancang menjadi lebih fleksibel dan mudah diakses oleh pengguna di terrestrial via jaringan internet.

Protokol yang digunakan pada konsep on-board internet ini adalah protokol *controller area network* (CAN) over IP. Protokol CAN memiliki latensi yang rendah karena paket data yang pendek serta memiliki proses deteksi error pada data menggunakan *cyclic redundancy check* (CRC) untuk meningkatkan keandalan pengiriman data pada satelit. Kegagalan pengiriman data satelit di orbit disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya delay atau waktu tunda yang panjang, *single event upset* (SEU) dan koneksi antara OBC dengan stasiun bumi yang tidak selalu tersedia.

SEU terjadi pada rangkaian elektronika di dalam satelit karena radiasi elektromagnetik yang ada di luar angkasa. SEU merupakan jenis error yang tergolong soft error dan tidak destruktif. SEU menyebabkan gangguan pada logika digital dan perubahan nilai bit data sehingga diperlukan fasilitas deteksi error pada CAN over IP.

Karena periode satelit orbit LEO 90-120 menit maka koneksi antara satelit dan stasiun bumi akan terputus-putus dan menjadi kendala dalam sistem komunikasi data satelit. Sehingga satelit perlu menggunakan *delay tolerant network*.

Protokol *CAN frame over IP* bekerja dengan mengenkapsulasi CAN *frame* ke dalam *payload* IP. CAN *frame* yang dikirim adalah jenis CAN *Flexible Data Rate* (CAN-FD) dengan panjang bagian *data field* 64 byte. Layer-layer dari protokol CAN *frame over IP* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Layer CAN Frame over IP

*Fault tolerance* adalah properti yang memungkinkan sistem untuk terus beroperasi dengan benar ketika terjadi kegagalan pada (satu atau

lebih) komponennya. Jika kualitas operasi menurun seluruhnya, penurunan kinerja sebanding dengan tingkat kegagalannya. Kesalahan kecil tidak akan mengakibatkan kerusakan total pada sistem. *Fault tolerance* terutama diimplementasikan pada sistem yang membutuhkan tingkat ketersediaan yang kritis.

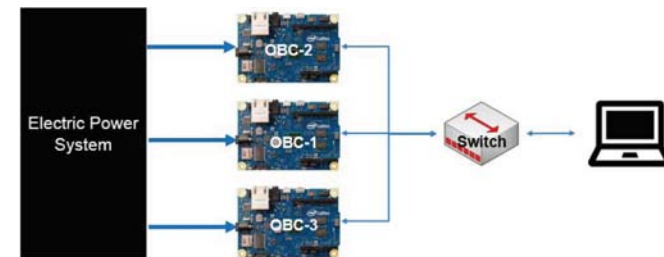
Desain *fault-tolerant* memungkinkan sistem untuk melanjutkan operasinya, meskipun dengan kinerja yang menurun, tetapi tidak gagal sepenuhnya, ketika beberapa bagian/komponen pada sistem mengalami kegagalan. Istilah ini seringkali digunakan untuk sistem komputer yang dirancang untuk terus bekerja penuh, meskipun dengan penurunan keluaran *output* atau peningkatan waktu respon, ketika terjadi kegagalan parsial. Ketika itu terjadi, sistem secara keseluruhan tidak berhenti beroperasi baik pada perangkat keras maupun pada perangkat lunak.

Pada riset ini penulis menggunakan konsep redundan untuk sistem *fault-tolerant* OBC. Redundan adalah duplikasi komponen atau fungsi pada sistem dengan tujuan untuk meningkatkan reliabilitas sistem, umumnya dalam bentuk *backup* atau *fail-safe*. Pada banyak *safety-critical systems*, seperti sistem *fly-by-wire* dan *hydraulic* pada pesawat, beberapa bagian pada sistem kendalinya dilipatgandakan menjadi tiga, yang biasanya dikenal sebagai *triple modular redundancy* (TMR). *Error* pada salah satu komponen dapat dikoreksi oleh kedua komponen lainnya. Pada TMR, sistem memiliki tiga komponen, ketiganya harus mengalami kegagalan sebelum sistem sepenuhnya gagal. Karena masing-masing

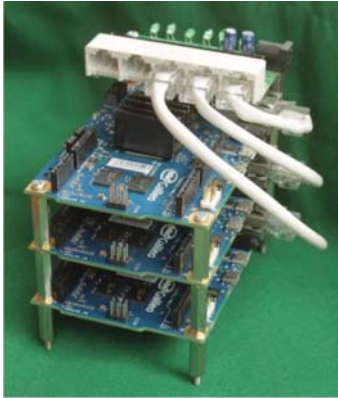
komponen itu sendiri dirancang agar tidak mudah mengalami kegagalan, dan setiap sub-komponen didesain agar gagal dengan tidak mempengaruhi komponen lainnya, kemungkinan ketiga-tiganya gagal sekaligus adalah sangat kecil.

Sistem yang dirancang berfungsi untuk mensimulasikan beberapa subsistem pada satelit. Subsistem tersebut antara lain *electric power system*, *telemetry & telecommand*, dan sistem redundan. Integrasi antar subsistem diilustrasikan pada Gambar 10 dan prototipenya dapat dilihat pada Gambar 11. OBC berkomunikasi satu sama lain ketika kabel ethernet terhubung ke switch.

Pada implementasinya, setiap frame CAN membawa data CRC. CRC yang digunakan adalah CRC-15 bit dengan polynomial  $x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x^0$ .



Gambar 10. Arsitektur Perangkat Keras OBC



Gambar 11. Prototipe Perangkat Keras OBC

Setiap OBC memiliki prioritas yang berbeda, yang tertinggi adalah untuk berkomunikasi dengan stasiun bumi dan dua lainnya berfungsi untuk mengumpulkan data sensor. Perangkat lunak yang dirancang dalam pengembangan sistem redundan terutama didasarkan pada sinkronisasi koneksi ketiga OBC. OBC-1 secara default adalah sebagai OBC utama. Sebagai OBC utama, fungsinya adalah untuk mengirim data ke stasiun bumi, dan juga menerima dan mengirim update perangkat lunak dari stasiun bumi ke OBC lainnya.

Secara default, OBC-2 adalah OBC pendukung yang memproses dan mentransmisikan data onboard ke OBC-1. OBC-2 juga akan mengambil peran OBC-1 sebagai OBC primer jika OBC-1 gagal. OBC-3 berperan sebagai pendukung OBC bersama OBC-2. OBC-1 akan meminta data dari OBC-3 jika OBC-2 gagal. OBC-3 juga akan mengambil alih peran OBC-1

untuk berkomunikasi dengan stasiun jika OBC-1 dan OBC-2 gagal. Kombinasi tindakan yang mungkin terjadi akan mengikuti skenario yang diilustrasikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skenario Sistem Redundan OBC

Table 2. Waktu Transmisi untuk Setiap Presentase Korupsi dari Data

Prosentasi Korupsi dari Data	Waktu Transmisi Rata-Rata (detik)
0%	76,894
2%	79,038
4%	80,595
6%	82,683
8%	83,682
10%	84,472

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa waktu transmisi rata-rata berbanding lurus dengan prosentase korupsi dari data. Waktu transmisi data terpanjang adalah 84,472 detik. Tes *error correcting code* dengan CRC menunjukkan bahwa pengiriman data menggunakan CAN *frames over IP* berhasil memperbaiki data yang rusak hingga 10%.

Dari hasil pengujian, simulasi CAN *frame over IP* dengan input manual berhasil melakukan koreksi terhadap semua data yang rusak. Sementara itu simulasi menggunakan *emulator* jaringan *NetEm* berhasil memperbaiki 100% data dengan variasi nilai prosentase kerusakan antara 0-10% dalam waktu pengiriman maksimum sebesar 84.472 detik. DTN pada komunikasi *Telemetry and Tele-command* juga berhasil memperbaiki semua kesalahan data dengan nilai prosentase kerusakan antara 0-2% dengan delay maksimum pada orbit dengan ketinggian 50.000 km. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem redundan berjalan baik di mana fungsi semua OBC masih bisa dijalankan selama ketiga OBC yang digunakan tidak mengalami kegagalan fungsi dalam waktu yang bersamaan.

## 6. DTN DALAM INTERNET OF THINGS

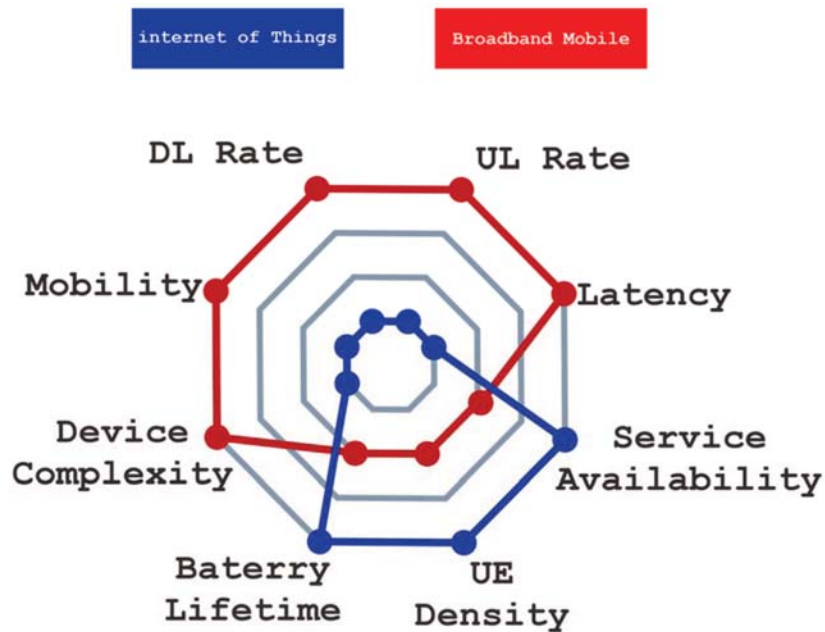
Saat ini, sebagian besar penelitian dalam bidang devais *internet of things* (IoT) fokus pada pengumpulan dan pengolahan data yaitu menciptakan sensor baru. Namun, jaringan yang mengintegrasikan perangkat IoT ke internet belum tersentuh, hanya menggunakan solusi

jaringan komputer yang ada seperti *wi-fi* atau *bluetooth*. Jaringan komputer ini tidak dirancang untuk perangkat *low energy* seperti sensor jarak jauh bahkan perangkat pervasive ini dianggap sebagai komputer mini. Karakter mobilitas dari IoT membuat jaringan komputer berbasis *hub/router* tidak cocok untuk jaringan IoT. Selain itu, kapasitas *hub/router* juga dapat membatasi jangkauan layanan yang disediakan oleh perangkat IoT.

Berbeda dengan evolusi jaringan mobile, dimana pada umumnya berfokus pada peningkatan throughput dan juga bagaimana mengurangi latensi. Jaringan IoT melibatkan komunikasi paket pendek dimana skala, cakupan, keandalan, dan efisiensi energi lebih penting daripada tingkat latensi.

Perbedaan persyaratan antara layanan broadband dan IoT diilustrasikan pada Gambar 13 (Balachandran et al., 2016). Dari delapan karakteristik layanan yang berbeda (*downlink (DL) throughput*, *uplink (UL) throughput*, *latency*, *service availability*, *user equipment (UE) density*, *battery lifetime*, *device complexity* dan *mobility*, cincin luar menyiratkan persyaratan yang lebih tinggi dibandingkan cincin dalam. Misalnya, evolusi seluler *broadband* telah bergerak menuju DL dan UL throughput yang lebih tinggi, latensi sangat rendah, dukungan mobilitas tinggi, dan ketersediaan layanan dan ketersediaan pengguna yang cukup baik, walaupun membutuhkan perangkat yang kompleks dan menyebabkan umur baterai menjadi rendah. Sebaliknya, layanan IoT lebih memperhatikan skala yang

masiv, kehandalan ketika cakupan diperluas, masa pakai baterai yang lama, dan perangkat dengan kompleksitas rendah dan murah (untuk memfasilitasi skala). Kebutuhan pada kecepatan data, mobilitas akan rendah sedangkan latensi tidak perlu kecil.



Gambar 13. Perbedaan Persyaratan antara Layanan IoT dan Mobile Broadband (Balachandran et al., 2016)

Trend densiti dari devais pada IoT adalah tidak terbatas. Sebagai gambaran, IPv6 telah menyediakan alamat sepanjang 128 bit atau sebanyak  $2^{128}$  ( $= 3,4 \times 10^{38}$ ) alamat yang cukup untuk semua benda fisik dan

mahluk hidup di bumi. Ini akan menjadi masalah utama pada IoT network, diperkirakan tidak ada provider yang mampu memberi layanan infrastruktur pada seluruh devais/user. Mungkin setiap user adalah carrier untuk user/devais lainnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa network untuk IoT akan berbeda dengan layanan mobile broadband dan jaringan komputer biasa.

Selain itu, masalah utama pada IoT network adalah privasi, keamanan, dan etika. Ketika banyak/semua benda fisik saling berkomunikasi, kepemilikan data dan keamanannya perlu diperhatikan, unauthorized user tidak boleh mengambil data yang bukan miliknya.

Pendekatan pada masalah IoT yang diusulkan pada riset ini adalah Delay tolerant network (DTN). Skema routing DTN berdasarkan pada pola Store-Carry-Forward dengan menggunakan protokol berbasis bundle layer. Jadi, jika network down ketika pesan dikirim, pesan tersebut masih disimpan pada suatu node sehingga ketika network up kembali, pengiriman pesan akan dilanjutkan (tidak seperti end-to-end network dimana pengiriman pesan harus diulang kembali dari awal). DTN telah diusulkan untuk banyak jenis komunikasi data. IoT adalah salah satu bidang baru dari DTN. IoT menghubungkan banyak objek fisik dengan sensor di mana pun juga, untuk berbagai domain (industri, militer, rumah pintar, dan lain-lain).

Penggunaan metode DTN pada IoT membolehkan devais berkomunikasi walaupun banyak dirupsi pada konektivitasnya. Sebagai

contoh pada kasus kontrol lalu lintas jalan, kendaraan akan merekam informasi penting sepanjang jalan. Kendaraan akan *store/carry* informasi sampai ada kesempatan untuk *forward* informasi yang telah direkam. Namun, skema DTN yang ada harus disesuaikan dengan karakteristik IoT network, seperti: heterogenitas, besarnya informasi (direkam) yang dipertukarkan, *information-centric based protocol* dan lain-lain.

IoT dipercaya menjadi fokus perkembangan industri komputer dan memiliki laju perkembangan riset yang tinggi pada beberapa dekade ke depan.

## 7. PELUANG DAN PERANAN

### 7.1 Penelitian Sebelumnya

#### DTN untuk area remote dan kegunaan lainnya

Mengatasi masalah keterbatasan layanan internet (*bandwidth*) di Indonesia khususnya di daerah remote, penulis mengusulkan metode *delay tolerant network* untuk digunakan sebagai infrastruktur IoT *network*. Pada penelitian sebelumnya (Husni, 2011; Husni & Waworundeng, 2011b; Husni & Wibowo, 2012; Husni, 2016) penulis telah berhasil menghasilkan sistem layanan internet pedesaan menumpang kereta api menggunakan *delay tolerant network* (DTN). Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi yang sesuai untuk digunakan adalah teknologi future internet berbasis DTN.

Selain itu, telah dilakukan penelitian DTN untuk kegunaan lainnya:

- *Tactical Text Messaging Radio* (Husni & Fauzan, 2015)
- *Energy Efficient Network Methods on Local Area Network* (Husni & Narendra, 2013)
- *Internet Protocol Based Satellite On-Board System* (Husni et al., 2016b)

Dengan penggunaan arsitektur dan protokol DTN pada layanan internet, diharapkan akan menghasilkan *Future Internet* yang dapat digunakan pada segala kondisi termasuk pada desa-desa terpencil di Indonesia dan dengan pemilihan teknologi yang tepat, akan dapat menekan biaya layanan.

Tujuan dari *Future Internet* berbasis DTN adalah menggabungkan layanan internet baik dengan teknologi kabel, maupun dengan teknologi wireless untuk mencakup seluruh area (baik yang sudah tercakup infrastruktur internet maupun belum) menggunakan teknologi DTN.

Kunci dari ide ini adalah memfasilitasi transpor oportunistik (putus-sambung-putus-sambung) dengan metode berbasis *hop-by-hop*, bukan aliran data *end-to-end* seperti pada TCP/IP. Model transpor *hop-by-hop* diimplementasikan dengan metode *store and forward packet switching* dimana terdapat *storage* berkapasitas besar pada jaringan sehingga tidak ada paket yang hilang dalam DTN, dengan demikian *Future Internet* akan menghasilkan layanan dengan kehandalan tinggi.



Future Internet berbasis DTN memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah:

- tidak ada paket yang hilang dalam jaringan meskipun terjadi fenomena antrian *bottleneck* pada trafik,
- dapat memperluas daerah cakupan hingga ke area yang belum memiliki infrastruktur internet (baik kabel, *wireless* atau satelit),

sehingga sistem ini sesuai untuk kondisi ekstrim seperti pada lingkungan IoT dan desa terpencil di Indonesia.

### Satellite for IoT

Membangun *payload* untuk satelit kecil bertujuan menerima sinyal *automatic identification system* (AIS) (Husni, 2016c). Sistem AIS digunakan oleh kapal laut untuk navigasi dan pelaporan lokasi kapal. Selain kapal laut, sistem AIS dapat digunakan sebagai *tracker* untuk truk, fasilitas militer, dan *personal tracker*.

### Security for IoT

Penelitian ini menawarkan suatu fitur keamanan yang digunakan untuk aplikasi pembayaran gerak kegunaan IoT lainnya (Husni, 2017). Penulis membuat metode baru, yaitu enkripsi yang menggunakan aturan dinamis yang diberi nama Enkripsi Aturan Dinamis atau *Dynamic Rule Encryption* (DRE). DRE memiliki kemampuan untuk melindungi data dengan cara mengenkripsi data dengan aturan dinamis, DRE juga memiliki fungsi sebagai koin untuk otentikasi.

Koin DRE dibangkitkan dengan menggunakan aturan dinamis berdasarkan waktu. Acuan waktu yang digunakan adalah berdasarkan urutan hari dalam tahun (*day of year*). Pengukuran kinerja pada penelitian ini adalah berdasarkan jarak Hamming. Hasil pengujian menunjukkan jarak rata-rata antara keluaran yang satu dengan keluaran yang lain sekitar 258 bit dari masukan 512 bit sehingga dapat dikatakan baik.

## 7.2 Target Riset Mendatang

### Opportunistic Network for Future IoT

Pendekatan pada masalah IoT yang diusulkan pada road map riset ini adalah *Delay tolerant network* (DTN) dikombinasikan dengan *Message Queue Telemetric Transport* (MQTT).

Skema routing DTN berdasarkan pada pola *Store-Carry-Forward* dengan menggunakan protokol berbasis bundle layer. Jadi jika *network down* ketika pesan dikirim, pesan tersebut masih disimpan pada suatu node sehingga ketika *network up* kembali, pengiriman pesan akan dilanjutkan (tidak seperti *end-to-end network* dimana pengiriman pesan harus diulang kembali dari awal). DTN telah diusulkan untuk banyak jenis komunikasi data. IoT adalah salah satu bidang baru dari DTN. IoT menghubungkan banyak objek fisik yang sensor dimanapun saja untuk berbagai domain (industri, militer, rumah pintar, dan lain-lain). Penggunaan metode DTN pada IoT membolehkan devais berkomunikasi walaupun banyak disrupsi pada konektivitasnya. Sebagai contoh pada

kasus kontrol lalu lintas jalan, kendaraan akan merekam informasi penting sepanjang jalan. Kendaraan akan *store/carry* informasi sampai ada kesempatan untuk forward informasi yang telah direkam. Namun, skema DTN yang ada harus disesuaikan dengan karakteristik IoT network, seperti: heterogenitas, besarnya informasi (direkam) yang dipertukarkan, *information-centric based protocol*, dan lain-lain.

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol *publisher/subscriber* ringan yang dirancang khusus untuk aplikasi IoT dan komunikasi mesin ke mesin. MQTT adalah protokol terbuka yang dioptimalkan untuk komunikasi dengan bandwidth terbatas. Pada tahun 2008, Stanford-Clark A. dan H. Linh Truong dari IBM menerbitkan spesifikasi MQTT untuk *Sensor Networks* (MQTT-SN) dimana TCP diganti oleh UDP. Kekurangan MQTT pada lingkungan mobile adalah pada saat perangkat menghadapi periode pemutusan yang diikuti oleh koneksi ulang. Diharapkan kombinasi DTN dan MQTT dapat memberikan pendekatan yang memberikan perbaikan pada kinerja IoT *network*.

### **Artificial Intelligent pada Transportasi**

Membangun metode navigasi dan asisten pengemudi untuk mencegah kecelakaan dan memudahkan pengemudi dalam pemilihan rute dan membantu mengatur lalu-lintas (Husni, 2017; Husni, 2017b; Husni & Boy, 2018; Nasution et al., 2020).

### **Sistem Satelit Artificial Intelligent untuk Manajemen Kearifan Lokal**

Sistem satelit dapat didesain untuk mengumpulkan data kearifan lokal secara *real-time* atau mendekatinya. *Artificial intelligent* akan menganalisa data kearifan lokal tersebut. Manfaat sistem ini dapat berupa digitalisasi dan pengenalan budaya dan kearifan lokal untuk meningkatkan kinerja dan ekonomi setempat.

## **8. EPILOG**

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa kita dapat melakukan sesuatu untuk menjembatani *digital divide* yang ada di Indonesia. Dengan penerapan teknologi *delay tolerant network* (DTN) yang biayanya lebih terjangkau dibanding teknologi telekomunikasi yang lain, maka banyak manfaat yang dapat diberikan pada masyarakat. Akses terhadap informasi yang lebih cepat, kesempatan perbaikan ekonomi melalui perniagaan online, penerapan *E-Government*, *E-Education* dan *surveillance* yang lebih tangguh.

Pengembangan *delay tolerant network* untuk menjembatani digital divide di Indonesia adalah sebuah contoh penggunaan teknologi tinggi yang tepat guna: awalnya digunakan untuk *deep space communication*, di Indonesia dapat digunakan untuk komunikasi daerah terpencil. Indonesia memiliki area yang sangat luas yang kaya akan budaya dan



sumber daya manusia. Jika setiap kampung/desa/kota/kabupaten mengembangkan teknologi tepat guna yang sesuai dengan budaya dan keadaanya maka Indonesia akan kaya dengan inovasi teknologi tepat guna. Inovasi teknologi tepat guna tersebut akan tumbuh menambah khasanah kearifan lokal di seluruh Indonesia. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi akan menjadi budaya seluruh masyarakat Indonesia dan mendukung peningkatan ekonomi setempat.

Semoga segala upaya penulis melalui riset dapat diterapkan di masyarakat sehingga dapat menjadi salah satu bentuk sumbangsih penulis karena sebaik-baiknya manusia adalah yang bermanfaat bagi orang lain. Untuk Tuhan, bangsa dan almamater.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, bahwasannya atas segala karuniaNya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Terima kasih kepada almarhum ayahanda Ir. Husaini Azharni, M.Ed. yang telah memupuk penulis menjadi akademisi sejak dini meski pun

tidak hadir di sini, tapi almarhumlah yang bahkan pada saat-saat terakhir masa hidupnya, selalu yakin akan datangnya hari ini. Untuk almarhum Bapak, moment berharga ini penulis persembahkan. Terima kasih kepada Ibunda Sri Mulyani yang motivasi dan doanya selalu menemani langkah penulis sampai meraih S1, S2, S3 dan Guru Besar. Kepada mertua penulis, KH. Sanusi Azhari dan almarhumah Yuyu Sumiyati, terima kasih untuk doa dan restunya. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada kakak saya, Drg. Ety Mulyana sekeluarga, kepada ipar-ipar; Widha, Nia dan almarhum Dede beserta keluarga. Serta ponakan-ponakan tercinta.

Suatu kehormatan dan kebahagiaan juga bagi penulis hari ini, atas kehadiran Keluarga besar Cirebon almarhum Djoko Abdullah (Pamitran), dari Bandung, Jakarta, Bogor, Semarang, Yogya dan Surabaya. Perkembangan saya sejak dini tidak bisa lepas dari jasa Keluarga besar almarhum Djoko Abdullah (Pamitran) yang selalu mendampingi saya selain orang tua dan kakak. Tidak lupa Keluarga besar almarhum Bapak Azharni Abdul Azis Harun yang sudah datang dari Jakarta. Kepada keluarga besar Azhari Zaenudin dan keluarga besar Joenoes Somantri, terima kasih.

Selanjutnya terimakasih kepada para guru, dosen dan pembimbing saya, baik di SD, SMP, SMA, S1, S2 dan S3 atas semua ilmu yang telah diberikan. Kemudian juga pada Prof. Iskandar Alisyahbana yang mengenalkan saya pada teknologi satelit dan memberikan bimbingan dan rekomendasi untuk melanjutkan S2 dan S3 di University of Surrey, UK.

Terimakasih kepada Prof. Kuspriyanto yang menerima saya sebagai dosen di KK Teknik Komputer pada tahun 2007 dan secara konsekuen membimbing dan memotivasi saya untuk mengajukan usulan GB ini yang sebelumnya tidak terpikirkan oleh saya ketika bergabung ke ITB dan rekan-rekan di KK Teknik Komputer dan Laboratorium Sistem Kendali dan Komputer. Kemudian pada almarhum Prof. Adang Suwandi Ahmad dan Prof. Carmadi Machbub yang menjadi sponsor pengusulan saya ke GB. Terimakasih juga untuk Prof. Jaka Sembiring, Dekan STEI, Prof. Nana Rahmana, WDS STE yang memproses dan mendukung usulan GB saya dan Prof. Yanuarsyah Haroen yang telah memeriksa dan memberikan saran saya pada penulisan artikel jurnal ilmiah.

Akhirnya, terimakasih tertinggi saya sampaikan terhadap istri tercinta Iin Rahmi Handayania, S.Sos., M.Ikom. yang selalu mendampingi ke mana pun dalam keadaan susah maupun senang dan mendorong saya dalam meraih Guru Besar dan juga kepada anak-anak saya Angkasa nasrullah Emir, Alam Raihan Emir dan Samudra Rasyid Emir.

#### DAFTAR PUSTAKA

Balachandran, K., Kang, J.H., Karakayali, K. & Rege, K.M. (2016). Delay-Tolerant Autonomous Transmissions for Short Packet Communications. Proceedings of IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 2016.

Husni, E. (2011). Delay Tolerant Network Based Internet Services for Remote Areas Using Train Systems. Proceeding of IEEE International Conference on Networks (ICON).

Husni, E. & Waworundeng, J. (2011b). Telemedicine System Based On Delay Tolerant Network. Proceeding of International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI).

Husni, E. & Wibowo, A. (2012). E-mail System for Delay Tolerant Network. Proceeding of 2012 International Conference on System Engineering and Technology (ICSET).

Husni, E. & Narendra, A. (2013). Energy Efficient Network Methods on Local Area Network. International Journal of Internet Protocol Technology. 78(4).

Husni, E. & Fauzan, M. (2015). Design and Implementation of Bundle and Network Layer in Tactical Text Messaging Radio using Delay Tolerant Network (DTN). Advanced Science Letters. 21(1).

Husni, E. (2016). Design of Delay Tolerant Network for Remote Areas Using Independent Deletion Mechanism. Proceedings of 2nd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta.

Husni, E., Febrian, N. & Putra, A. (2016b). Internet Protocol Based Satellite On-Board System. Telkomnika, 14(3) 2016.

Husni, E. (2016c). Design of Automatic Identification System (AIS)

Receiver for Low Earth Orbit (LEO) Satellite. International Review on Modelling and Simulations (IREMOS). 9(6).

Husni, E. (2017). Dynamic Rule Encryption for Mobile Payment. Security and Communication Networks. 2017.

Husni, E. (2017b). Driving and fuel consumption monitoring with internet of things. International Journal of Interactive Mobile Technologies. 11(3).

Husni, E. & Boy, G. (2018). Car driver attitude monitoring system using fuzzy logic with the internet of things. ICIC Express Letters. 12(11).

Nasution, S.M., Husni, E., et al. (2020). Road Information Collector Using Smartphone for Measuring Road Width Based on Object and Lane Detection. International Journal of Interactive Mobile Technologies. 14(2).

## CURRICULUM VITAE



Nama : **EMIR MAULUDI HUSNI**  
Tmpt. & tgl. lhr. : Bogor, 7 Juli 1967  
Kel. Keahlian : Teknik Komputer  
Kantor : LSKK-STEI,  
Gd. Achmad Bakrie lantai 2,  
Jalan Ganesha 10 Bandung

Nama Istri : Iin Rahmi Handayani

Nama Anak : 1. Angkasa Nasrullah Emir  
2. Alam Raihan Emir  
3. Samudra Rasyid Emir

### I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Doctor of Philosophy (Ph.D.), Satellite Communications, University of Surrey, UK, 1997.
- Master of Science (M.Sc.), Satellite Engineering & Satellite Communications, University of Surrey, UK, 1994.
- Sarjana Teknik Elektro (Ir.), Institut Teknologi Bandung (ITB), 1992.

### II. RIWAYAT KERJA di ITB

- Staf Pengajar STEI ITB, 2006 - Sekarang
- Ketua Kelompok Keahlian Teknik Komputer, 2020 - Sekarang

- Anggota Senat STEI-ITB, 2020 - Sekarang

### III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- CPNS III/C 1 April 2006
- Penata III/C 1 Desember 2007
- Penata Tk.I III/D 1 Oktober 2013
- Pembina IV/A 1 Oktober 2015

### IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Lektor 1 Juli 2008
- Lektor Kepala 1 Juli 2013
- Guru Besar 1 Agustus 2019

### V. KEGIATAN PENELITIAN

#### 5 Tahun Terakhir Sebagai Leader

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan
2015	Pengembangan Prototipe Sistem Layanan Pembayaran Mobile dengan Near Field Communication (NFC) Smartcard	PENPRINAS MP3EI
2015	Pengembangan Satelit Mikro Berbasis On Board Internet	Penelitian Desentralisasi (PTUPT)
2016	Pengembangan Satelit Mikro Berbasis On Board Internet	Penelitian Desentralisasi (PTUPT)

Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan
2016	Pengembangan Satelit Cubesat Maritim: Automatic Identification System (AIS)	Insentif Riset SINas 2016
2017	Pengembangan Satelit Mikro Berbasis On Board Internet	Penelitian Desentralisasi (PTUPT)
2017	Pengembangan Satelit Cubesat Maritim: Automatic Identification System (AIS)	Insentif Riset SINas 2017
2018	Pengembangan Satelit Cubesat Maritim: Automatic Identification System (AIS)	Insentif Riset SINas 2018
2018	Pengembangan Gembok Elektronik Berbasis Internet of Things (IoT)	Penelitian Desentralisasi (PTUPT)
2018	Satelit Nano Hankam: Automatic Identification System (AIS)	Penelitian Kompetitif Nasional (PUSN)
2019	Satelit Nano Hankam: Automatic Identification System (AIS)	Penelitian Kompetitif Nasional (PP)
2019	Pengembangan Gembok Elektronik Berbasis Internet of Things (IoT)	Penelitian Desentralisasi (PTUPT)

### VI. PUBLIKASI

#### Pada Jurnal (5 tahun terakhir)

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
2016	Internet Protocol Based Satellite On-Board System	Vol.14, No.3	Telkomnika (Scopus)
2016	Enkripsi Aturan Dinamis pada Aplikasi Pembayaran	Vol. 5, No.3	Jurnal Nasional Teknik Elektro dan

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
	Gerak Vol. 5, No.3		Teknologi Informasi (JNTETI), (Nasional Terakreditasi)
2016	Algoritma Peringatan Dini Pencurian Ikan pada Data Automatic Identification System (AIS) Berbasis Terrestrial dan Satelit	Vol. 14, No.2	Jurnal Teknologi Dirgantara (Nasional Terakreditasi)
2016	Design of Automatic Identification System (AIS) Receiver for Low Earth Orbit (LEO) Satellite	Vol.9, No.6	International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), (Scopus)
2017	Dynamic Rule Encryption for Mobile Payment	2017	Security and Communication Networks (Scopus)
2017	Evaluasi Kompleksitas Pendekodean MAP pada Kode BCH Berdasarkan Trellis Terbagi	Vol. 6, No.1	Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), (Nasional Terakreditasi)
2017	Driving and Fuel Consumption Monitoring with Internet of Things	Vol. 11, No.3	International Journal of Interactive Mobile Technologies (Scopus)

Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
2018	Car driver attitude monitoring system using fuzzy logic with the internet of things	Vol. 12, No. 11	ICIC Express Letters (Scopus)
2020	Road Information Collector Using Smartphone for Measuring Road Width Based on Object and Lane Detection	Vol. 14, No.2	International Journal of Interactive Mobile Technologies (Scopus)

#### Pemakalah Seminar Ilmiah (5 tahun terakhir)

Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
The 4 <sup>th</sup> Interplanetary Cubesat Workshop	Design and Implementation of Triple Modular Redundant System on Linux Based On-Board Computer for Cubesat	London, 2015
The 2015 3 <sup>rd</sup> International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment	Digital Signature for Contract Signing in Service Commerce	Samosir Island, 2015

Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
The 2015 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems	Linux Based Redundant System for Satellite On-Board Computer	Bali, 2015
International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME)	Design of IP Based On-Board Computer for Small Satellite	Bandung, 2015
The 2015 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)	Linux Based Redundant System for Satellite On-Board Computer	Bali, 2015
Advanced Research in Engineering and Information Technology International Conference	Multi Provider Mobile Payment System	Bandung, 2016
International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)	Digital Signing Using National Identity as a Mobile ID	Lombok, 2016

Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)	Applied Internet of Things (IoT): Car monitoring System Using IBM BlueMix	Lombok, 2016
International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)	Design of Delay Tolerant Network for Remote Areas Using Independent Deletion Mechanism	Yogyakarta, 2016
International Conference on Internet Economics and Psycho-Informatics	Mobile Application for Smart Campus System with iBeacon – uBeacon	Bandung, 2016
International Conference on Internet Economics and Psycho-Informatics	Front-end and Back-end Application Development for uBeacon Smart Campus System	Bandung, 2016
International Conference on Advances on Mathematics and Computer Engineering	Automatic Identification System (AIS) Receiver for Low Earth Orbit (LEO) CubeSat	Yogyakarta, 2016
International Conference on Advances on Mathematics and Computer Engineering	Design of Mobile Survey Application	Yogyakarta, 2016

Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
International Conference on Computational Collective Intelligence (ICCCI)	Driver supervisor system with telegram bot platform," Lecture Notes in Artificial Intelligence	Bristol, 2018
International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)	Design and Implementation of MPLS SDN Controller Application based on OpenDaylight	Rome, 2018
International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)	The Effect of Heterogeneous Traffic Flow on The Transportation System	Bali, 2018
International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)	Multi Agent Protocol for Cooperative Overtaking Assistance System	Bali, 2018
International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)	Movement Monitoring of Goods Transportation Based on Electronic Seal System	Bali, 2018
International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)	Mobile Geocaching Application System: Treasure Hunt using Ibeacon	Bali, 2018

Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
International Conference on Space Weather and Satellite Application 2018	Thermal Validation Testing of an Automatic Identification System (AIS) Receiver for Low Earth Orbit (LEO) CubeSat	Syah Alam, 2108

## VII. PENGHARGAAN

- Tanda Jasa Penghargaan Pengabdian 10 Tahun, 2019