ISSN : 2085-4218

Protokol CoopMAC-U Untuk Jaringan Sensor Akustik Bawah Air

Muhammad Syirajuddin S[1,*], Endroyono[1], Wirawan[1]
1 Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
Jl, Raya ITS Keputih, Surabaya 60111
* E-mail : syirajuddin@gmail.com

Abstrak. Implementasi jaringan sensor nirkabel pada bawah air bisa dilakukan dengan menggunakan sistem komunikasi akustik. Sistem komunikasi akustik adalah sistem komunikasi yang gelombang pembawanya berupa gelombang suara. Sistem komunikasi akustik mempunyai tantangan yang unik bila dibandingkan dengan sistem komunikasi radio atau optik di udara, diantaranya adalah kecepatan perambatan gelombang suara yang lambat yang mengakibatkan durasi propagasi menjadi tinggi dan sempitnya lebar pita yang tersedia. Disamping itu, bila sistem komunikasi akustik bawah air dikehendaki untuk jaringan sensor nirkabel yang pada umumnya terdiri atas banyak *node*, maka diperlukan pengaturan penggunaan kanal yang biasanya disebut dengan protokol *Media Access Control* (MAC). Oleh karena itu, untuk mengatasi tantangan jaringan akustik bawah air, diusulkan protokol *Cooperative* MAC *for Underwater* (CoopMAC-U). Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa CoopMAC-U memberikan *throughput* yang lebih bagus dibandingkan dua protokol yang lain, yaitu ALOHA dan MACA-U (*Multiple Access Collision Avoidance for Underwater*).

Kata Kunci: Akustik, Bawah Air, Jaringan, *Media Access Control*, Protokol

1. Pendahuluan

Lebih dari 70% permukaan bumi adalah lautan [1]. Ada banyak hal yang bisa dipelajari, dieksplorasi dan bahkan dieksploitasi dari lautan. Hal ini menginspirasi peneliti untuk memasang jaringan sensor di bawah air untuk berbagai keperluan, seperti monitor kondisi lingkungan, eskplorasi tambang, sistem peringatan dini bencana dan bahkan pengawasan taktis dan pendeteksi ranjau untuk keperluan militer [2]. Untuk memudahkan pemasangan jaringan sensor tersebut diperlukan jaringan sensor yang bekerja secara nirkabel untuk mengirimkan data hasil penginderaan ke pusat data (*sink*).

Pada umumnya, jaringan sensor nirkabel di udara biasa menggunakan gelombang RF (*Radio Frequency*) sebagai gelombang pembawa untuk mengirimkan data. Namun, di lingkungan bawah air, penggunaan gelombang RF sulit untuk diimplementasikan karena tingginya permitivitas dan konduktivitas air laut yang membuat gelombang RF mengalami redaman yang sangat tinggi [3]. Gelombang optik tidak mengalami redaman sebesar gelombang RF namun untuk mengarahkan pancaran gelombang optik yang umumnya mempunyai sudut pancar yang kecil merupakan kesulitan tersendiri. Dari beberapa riset menyebutkan bahwa pada saat ini gelombang akustik adalah pilihan terbaik untuk sistem komunikasi bawah air karena gelombang suara membutuhkan daya yang lebih kecil dibandingkan gelombang RF dan optik untuk menjangkau jarak transmisi yang sama [1][2].

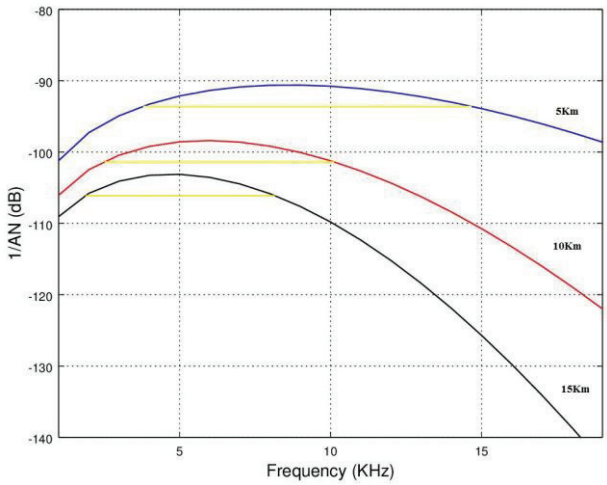
Meski demikian, penggunaan gelombang akustik untuk lingkungan bawah air bukannya tanpa kendala, salah satunya adalah cepat rambat gelombang suara di air yang berbeda-beda tergantung suhu, salinitas dan tekanan atau kedalaman air laut [4]. Di samping itu, cepat rambat gelombang akustik relatif sangat lambat bila dibandingkan dengan cepat rambat gelombang RF atau gelombang optik di udara yang hanya berkisar pada 1500 meter/detik. Hal ini menyebabkan durasi propagasi gelombang akustik menjadi lama. Permasalahan yang lain pada sistem komunikasi akustik bawah air adalah *bandwidth* yang tersedia dan frekuensi optimal yang bisa digunakan berbeda-beda tergantung pada jarak transmisi. Semakin jauh jarak transmisi, semakin sempit *bandwidth* yang tersedia dan semakin rendah pula frekuensi optimalnya. Oleh karena itu, untuk meningkatkan *bandwidth* yang tersedia bisa dilakukan dengan cara membagi jarak transmisi yang jauh menjadi lebih pendek dengan menambahkan *relay* di tengahnya.

ISSN : 2085-4218

Bila sistem komunikasi akustik ini dikehendaki sebagai media komunikasi jaringan sensor nirkabel yang pada umumnya terdiri atas banyak *node*, maka diperlukan metode pengaturan kanal yang disebut dengan protokol *media access control* (MAC) yang dalam referensi model OSI terletak pada lapis kedua (*datalink*). Protokol MAC ini didesain untuk mengatur pemakaian kanal agar tidak terjadi tabrakan data (*collision*) dan dalam desainnya juga mempertimbangkan karakteristik unik dari sistem komunikasi akustik bawah air. Oleh karena itu diusulkan protokol MAC yang diberi nama *Cooperative MAC for Underwater* untuk meningkatkan kinerja pengiriman data pada jaringan sensor nirkabel bawah air.

2. Kanal Akustik Bawah Air

Layaknya gelombang RF dan optik di udara, gelombang akustik bawah air juga mengalami atenuasi atau peredaman. Terdapat dua faktor peredaman gelombang akustik di air, yaitu redaman yang diakibatkan oleh geometri penyebaran gelombang dan redaman yang diakibatkan oleh absorbsi air. Untuk lautan dangkal (kedalaman < 200 m), diasumsikan penyebaran gelombangnya berbentuk tabung atau silinder. Untuk laut dalam, diasumsikan penyebaran gelombangnya berbentuk bola. Sedangkan redaman karena absorbsi terjadi karena perubahan energi suara menjadi energi panas yang diakibatkan oleh viskositas dan perubahan struktur molekul ketika gelombang suara melewati medium air [5][6][7].



Gambar 1. *Signal to Noise Ratio* Pada Kanal Akustik Bawah Air Sebagai Fungsi Frekuensi Pada Jarak Tertentu Dengan Faktor 1/AN.

Atenuasi gelombang akustik bawah air yang naik berbanding lurus dengan frekuensi dan spektrum daya *noise* yang turun dengan naiknya frekuensi menghasilkan *signal to nosie ratio* (SNR) yang berbeda-beda tergantung oleh *band* sinyal. Jika satu mendefinisikan pita sempit pada frekuensi dengan lebar Δf pada *range* frekuensi tertentu, maka SNR pada pita ini bisa dihitung dengan persamaan (1) [5].

$$SNR(d,f) = \frac{S_d(f)}{A(d,f)N(f)} \tag{1}$$

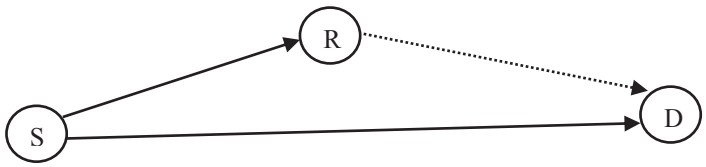
dimana $S_d(f)$ adalah kerapatan spektrum daya sinyal yang ditransmisikan, $A(d,f)$ adalah atenuasi dan $N(f)$ adalah kerapatan spektrum daya *noise*. Bila jarak transmisi ditentukan, maka SNR pita sempit menjadi fungsi frekuensi yang bisa diilustrasikan pada gambar 1.

Dari gambar 1 bisa diketahui bahwa lebar pita dan frekuensi optimal bisa berbeda tergantung pada jarak transmisi. Semakin jauh jarak transmisi maka lebar pita yang tersedia akan semakin sempit dan frekuensi optimal juga semakin rendah. Dengan demikian, untuk meningkatkan kapasitas kanal bisa dengan membagi jarak transmisi menjadi lebih pendek dengan menambahkan *node* di tengahnya yang berfungsi sebagai *relay*. Dengan berkurangnya jarak transmisi diharapkan lebar pita yang tersedia menjadi lebih lebar.

ISSN : 2085-4218

3. Sistem Komunikasi Kooperatif

Sistem komunikasi kooperatif adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan bantuan dari *node* lain untuk mentransmisikan data. Seperti diilustrasikan pada gambar 2, *node* D (*destination*) menerima sinyal yang sama dua kali, sinyal yang pertama diterima langsung dari *node* S (*source*) dan sinyal yang kedua adalah sinyal yang ditransmisikan ulang oleh *node* R (*relay*) [9]. *Node* R tidak harus berupa *relay* yang disiapkan untuk bertugas khusus sebagai *relay* (*dedicated* relay) namun bisa saja *node* lain yang sedang tidak melakukan transmisi.

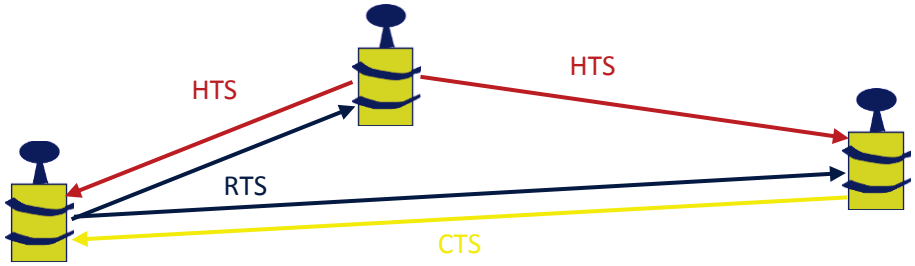


Gambar 2. Ilustrasi Sistem Komunikasi Kooperatif Satu Relay

Terdapat dua skema *relay* yang utama, yaitu *Amplify and Forward* (AF) dan *Decode and Forward* (DF). Relay AF bekerja dengan cara menguatkan sinyal yang diterima kemudian langsung ditransmisikan kembali ke tujuan. Sedangkan untuk relay DF bekerja dengan cara melakukan demodulasi dan *decode* terlebih dahulu kemudian dilakukan *encode* dan dimodulasi lagi baru kemudian ditransmisikan lagi ke tujuan.

4. Protokol CoopMAC-U

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa *relay* pada jaringan kooperatif tidak selalu harus berupa *dedicated relay*, namun *node* manapun di jaringan yang letaknya berdekatan bisa menjadi *relay* untuk mentransmisikan data ke tujuan. Bila dalam satu jaringan terdatap banyak *node,* maka perlu pemilihan *node* yang berpotensi menjadi *relay* terbaik atau biasa disebut dengan proses *relay selection*. Pemilihan *relay* dilakukan berdasarkan *signal to noise ratio* (SNR) tiap *link* antar *node* yang didapat dengan cara mendengarkan tiap transmisi *node* tetangga. Data SNR ini kemudian dicatat dalam tabel *cooptable* untuk kemudian dilakukan pemilihan *node* yang memberikan SNR paling bagus. Pada proses pemilihan relay ini, sistem komunikasi kooperatif belum bisa digunakan sampai *node* tahu tetangga yang berpotensi menjadi *relay node*.



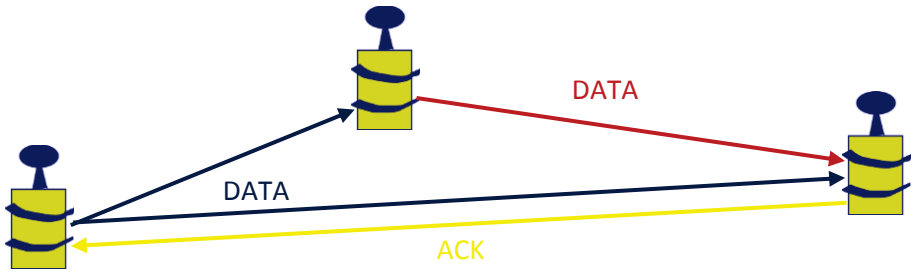
Gambar 3. Pertukaran Paket Kontrol Pada CoopMAC-U

Alur kerja CoopMAC-U seperti diilustrasikan pada gambar 3, dimulai ketika *source node* punya data yang akan dikirimkan, source node akan mengubah *state*-nya dari IDLE menjadi CONTEND dan mengambil waktu acak terntentu untuk menghitung mundur. Setelah hitung mundur waktu acak habis dan kanal masih kosong, *source node* mengirimkan paket RTS (*request to send*). Paket RTS mempunyai fungsi ganda, di samping untuk memberi tahu *destination node* akan ada pengiriman data, juga berfungsi untuk meminta bantuan ke *relay node*. Bila *relay node* bersedia membantu transmisi, *relay node* akan membalas dengan paket HTS (*helper ready to send*). Langkah selanjutnya, bila *destination node* menerima paket HTS, maka *destination node* akan mengirimkan paket CTS (*clear to send*) yang memberitahukan *source node* bahwa data bisa dikirim dengan mode kooperatif. Namun bila *destination node* tidak menerima paket HTS, maka *destination node* mengirimkan CTS dan

ISSN : 2085-4218

memberitahukan *source node* bahwa transmisi data hanya bisa dilakukan dalam mode biasa (bukan kooperatif).

Source node yang menerima balasan paket CTS, akan mengirimkan paket DATA ke *destination node*. Pada saat yang sama, *relay node* juga mendengar transmisi tersebut dan melakukan demodulasi dan *decoding*. Pada fase kedua, *relay node* melakukan *encoding* data dan memodulasinya kemudian mentransmisikan data tersebut ke *destination node.* Setelah *destination node* menerima data dari *relay node*, *destination node* akan mengirimkan paket ACK (*acknowledge*) untuk memberitahukan bahwa paket telah berhasil diterima dengan atau sebaliknya data gagal diterima dengan benar. Pengiriman data ini diilustrasikan pada gambar 4.

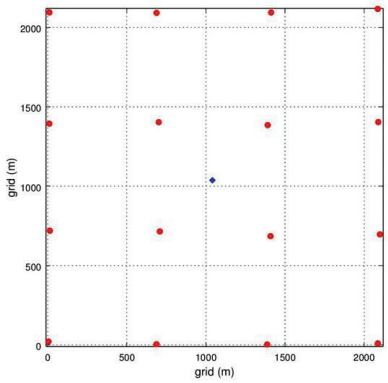


Gambar 4. Pengiriman Paket DATA dan ACK

5. Model Simulasi

5.1 Topologi Jaringan Sensor Nirkabel

Topologi jaringan terdiri atas 16 *node* sensor yang diletakkan membentuk *grid* dengan jarak ±700m dan satu *sink* yang terletak di tengah seperti diilustrasikan pada gambar 5 berikut ini. Diasumsikan bahwa jaringannya berupa *fully connected network*, dengan kata lain transmisi dari satu *node* bisa menjangkau setiap *node* pada jaringan.



Gambar 5. Topologi Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air

Parameter yang digunakan pada simulasi ini antara lain : frekuensi = 12 kHz, modulasi BPSK; laju data = 512 *bytes*/detik; ukuran paket = 128 *bytes*/paket; *k* (*spreading factor*) = 1,5; *s* (*shipping*) = 0; *w* (kecepatan angin) = 1 meter/detik; durasi simulasi = 108000 detik.

5.2 Tolok Ukur Kinerja

Simulasi dilakukan dengan membangkitkan trafik paket data yang panjangnya tetap dengan waktu kedatangan antar paket acak terdistribusi eksponensial. Paket data yang dibebankan pada kanal dinormalisasi (*normalized offered load per node*) sesuai dengan rumus pada persamaan (2) berikut :

$$\rho_{node} = \frac{\lambda_{node} \cdot L_{DATA}}{R} \qquad (2)$$

ISSN : 2085-4218

dimana ρ_{node} adalah beban trafik ternormalisasi yang dibangkitkan oleh tiap *node*, λ_{node} adalah laju kedatangan paket pada *datalink layer* dari *network layer* dalam satuan paket/detik, L_{DATA} adalah panjang paket dalam satuan bit dan *R* adalah laju data dalam satuan bit/detik.

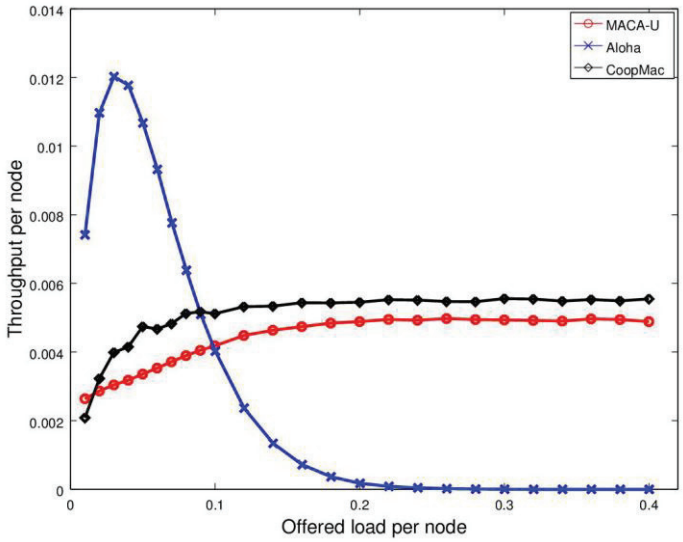
Paket data yang diterima oleh *sink* dihitung untuk mendapatkan nilai rata-rata *throughput* ternormalisasi yang dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$\gamma = \frac{1}{N} \cdot \frac{r \cdot L_{DATA}}{t_{sim} R} \tag{3}$$

dimana γ adalah *throughput* ternormalisasi per *node*, N adalah jumlah *node*, r adalah jumlah paket data yang berhasil diterima dengan benar oleh *sink*, L_{DATA} adalah panjang paket dalam satuan bit, t_{sim} adalah durasi waktu simulasi dan *R* adalah laju data dalam satuan bit/detik.

6. Hasil Simulasi

Simulasi dilakukan dengan tiga protokol MAC yang berbeda, yaitu ALOHA, MACA-U dan CoopMAC-U dengan topologi dan jumlah *node* yang sama. Hasil dari simulasi ditunjukkan oleh grafik pada gambar 6.



Gambar 6. *Throughput* Ternormalisasi Untuk Tiga Protokol yang Berbeda

Bisa diamati bahwa ALOHA memberikan *throughput* puncak yang paling tinggi di banding dua protokol yang lain pada saat beban trafik ternormalisasi yang dibangkitkan oleh tiap *node* di bawah 0,1. Dengan kata lain, ALOHA bagus ketika rata-rata waktu kedatangan antar paket tiap node tidak lebih cepat dari 2,5 detik. Namun saat beban trafik dinaikkan, *throughput* ALOHA semakin turun sampai mendekati nol atau dengan kata lain hampir tidak ada paket data terkirim yang berhasil sampai di tujuan. Hal ini terjadi karena ALOHA tidak mempunyai mekanisme reservasi kanal sehingga setiap kali *node* punya data, saat itu juga *node* langsung mentransmisikan data tersebut yang menyebabkan probabilitas tabrakan sangat tinggi.

Berbeda dengan ALOHA, protokol MACA-U dan CoopMAC-U mempunyai mekanisme reservasi kanal sehingga bisa meminimalkan terjadinya tabrakan. Saat beban trafik di tiap *node* dinaikkan secara terus menerus, pada beban trafik tertentu, *throughput* tidak lagi bisa naik lebih tinggi lagi. Kondisi ini disebut sebagai kondisi saturasi. Pada MACA-U, kondisi saturasi tercapai ketika beban trafik ternormalisasi yang dibangkitkan 0,18 atau bila dikonversi menjadi rata-rata waktu kedatangan antar paket adalah 1,389 detik. Pada protokol CoopMAC-U, kondisi saturasi tercapai pada saat beban trafik ternormalisasi bernilai 0,12 atau terjadi pada saat rata-rata waktu kedatangan antar paketnya 2,0833 detik.

Throughput saturasi rata-rata pada MACA-U tercapai pada nilai 0,004924069 atau paket data rata-rata tiap *node* yang berhasil sampai di *sink* adalah 0,019696 paket/detik. Sedangkan *Throughput*

ISSN : 2085-4218

saturasi rata-rata pada CoopMAC-U tercapai pada nilai 0,00547409 atau paket data rata-rata tiap *node* yang berhasil sampai di *sink* adalah 0,0218964 paket/detik.

7. Kesimpulan

Dari hasil simulasi di atas, bisa disimpulkan bahwa protokol Aloha hanya bagus ketika rata-rata waktu kedatangan antar paket tiap node tidak lebih cepat dari 2,5 detik. Hal ini berkaitan dengan protokol Aloha yang tidak mempunyai mekanisme reservasi kanal. Protokol MACA-U dan CoopMAC-U, keduanya sama-sama mempunyai mekanisme reservasi kanal namun CoopMAC-U memberikan *throughput* saturasi rata-rata lebih tinggi sebesar 10,047 % dibandingkan dengan *throughput* saturasi rata-rata yang dihasilkan oleh protokol MACA-U.

8. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Hibah Kerja Sama Luar Negeri 2013-2015, (Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi).

9. Daftar Referensi

[1] Guo, Xiaoxing, Michael R. Frater, and Michael J. Ryan. "Design of a propagation-delay-tolerant MAC protocol for underwater acoustic sensor networks." *Oceanic Engineering, IEEE Journal of* 34.2 (2009): 170-180.
[2] Akyildiz, Ian F., Dario Pompili, and Tommaso Melodia. "Underwater acoustic sensor networks: research challenges." *Ad hoc networks* 3.3 (2005): 257-279.
[3] Ulaby, Fawwaz. T. *Fundamentals of Applied Electromagnetics*. s.l. : Prentice Hall, 1995.
[4] Etter, Paul C. *Underwater acoustic modeling and simulation*. CRC Press, 2013.
[5] Stojanovic, Milica, and James Preisig. "Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization." *Communications Magazine, IEEE* 47.1 (2009): 84-89.
[6] Çinar, Tarik, and M. Bülent Örencik. "An underwater acoustic channel model using ray tracing in ns-2." *Wireless Days* (WD), 2009 2nd IFIP. IEEE, 2009.
[7] Harris III, Albert F., and Michele Zorzi. "Modeling the underwater acoustic channel in ns2." Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools. ICST (*Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*), 2007.
[8] Hong, Y-W. Peter, Wan-Jen Huang, and C-C. Jay Kuo. *Cooperative communications and networking: technologies and system design*. Springer Science & Business Media, 2010.