

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem *load balancing* menggunakan algoritma PCC, ECMP, dan Nth pada *router* MikroTik dengan dua ISP di PT Cyber Teknologi Putrawan, kesimpulan dirumuskan sesuai dengan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Ketiga algoritma *load balancing* berhasil meningkatkan performa jaringan secara signifikan dibandingkan kondisi *single* ISP. Dari sisi *bandwidth*, peningkatan *throughput* berkisar antara 60–62% untuk Rx dan 68–71% untuk Tx, dengan PCC mencatat nilai terbaik pada kedua parameter. Dari aspek *Quality of Service* (QoS), seluruh nilai *delay*, *jitter*, dan *packet loss* berada dalam kategori Baik hingga Sangat Bagus berdasarkan standar TIPHON. Pada skenario *streaming*, PCC menghasilkan *delay* dan *jitter* terendah (8,57–8,77 ms dan 7,39–7,80 ms) karena mekanisme *connection stickiness*-nya menjaga seluruh paket dalam satu sesi melewati jalur yang sama, sehingga variasi latensi antar-paket dapat diminimalkan. Pada skenario *download*, Nth mencatat *delay* terbaik (0,96–1,00 ms) karena distribusi per-paket secara *round-robin* memperpendek antrian pada masing-masing jalur ISP, sedangkan PCC unggul pada parameter *packet loss* (0,03–0,12%) karena mekanisme *connection stickiness*-nya mencegah risiko TCP *retransmission* akibat pergantian jalur di tengah koneksi.
2. Dari sisi *link utilization*, algoritma PCC menghasilkan distribusi beban paling proporsional terhadap kapasitas kedua ISP dengan *utilization gap* sebesar 24,826%, paling mendekati proporsi ideal 25% (62,5% : 37,5%) serta total pemanfaatan *bandwidth* tertinggi yaitu 76,40 Mbps atau 95,5% dari kapasitas total 80 Mbps. Algoritma Nth menghasilkan total 73,19 Mbps dengan *utilization gap* 25,862% yang juga mendekati proporsi ideal, namun menunjukkan fluktuasi distribusi yang lebih besar antar-interval waktu. Algoritma ECMP menghasilkan distribusi paling tidak proporsional dengan total pemanfaatan terendah (72,02 Mbps) dan *utilization gap* hanya 16,163%, karena mendistribusikan beban

berdasarkan kesamaan *routing cost* tanpa mempertimbangkan perbedaan kapasitas antar-ISP, sehingga ISP Cybertek tidak termanfaatkan secara optimal saat ISP Telkom mencapai saturasi.

3. Dari aspek mekanisme *failover* yang dianalisis menggunakan metode *traceroute*, ECMP mengungguli kedua algoritma lainnya dengan waktu pemulihan tercepat rata-rata 5,33 detik, lonjakan RTO maksimum hanya 16 ms, dan *success rate* 100%. Keunggulan ini disebabkan oleh mekanisme pemantauan jalur yang bersifat aktif terhadap kedua ISP secara simultan, sehingga deteksi kegagalan dan pengalihan jalur berlangsung lebih cepat. PCC memerlukan waktu 10,33 detik dengan lonjakan RTO maksimum 19 ms dan berada di posisi kedua, sedangkan Nth memerlukan 11,67 detik dengan variabilitas RTO tertinggi. Meskipun demikian, ketiga algoritma berhasil mencapai *success rate* 100%, yang berarti seluruh skenario kegagalan ISP berhasil dipulihkan tanpa kegagalan permanen.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran diajukan untuk pengembangan sistem lebih lanjut sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji ketiga algoritma dengan lebih dari dua ISP dan variasi kapasitas yang lebih beragam, guna mengevaluasi skalabilitas serta konsistensi proporsionalitas distribusi *link utilization* pada infrastruktur jaringan yang lebih kompleks.
2. Sebagai arah pengembangan jangka panjang, eksplorasi implementasi *load balancing* berbasis *Software-Defined Networking* (SDN) dapat dijadikan topik penelitian lanjutan, untuk membandingkan distribusi beban yang bersifat dinamis dan adaptif secara *real-time* terhadap pendekatan berbasis MikroTik yang bersifat statis sebagaimana diterapkan dalam penelitian ini.