UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Algoritma Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search untuk Penjadwalan Maintenance: Aplikasi
pada Sistem Membran Ultrafiltration**
Fairuzzaky Ramadhan, Achmad Pratama Rifai, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Sistem membran *ultrafiltration* (UF) industri memerlukan penjadwalan pemeliharaan sistematis untuk menyeimbangkan biaya pembersihan dengan kehilangan produksi di bawah batasan operasional ketat. Praktik penjadwalan reaktif yang berlaku di fasilitas reklamasi air menghasilkan alokasi sumber daya suboptimal dan utilisasi membran tidak efisien. Penelitian ini mengembangkan algoritma *Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search* (MOALNS) untuk optimasi bi-objektif jadwal pembersihan membran, menangani *trade-off* antara minimisasi biaya dan minimisasi kehilangan produksi pada sistem 24 filter sepanjang cakrawala perencanaan 472 slot waktu. Metodologi mengintegrasikan lima operator *destroy* spesifik domain yang menargetkan pola tidak efisien, lima operator *repair* yang memastikan kelayakan operasional, pembelajaran adaptif bobot operator, dan kriteria penerimaan *simulated annealing* multi-objektif. Validasi menggunakan data operasional 31 hari dari fasilitas reklamasi air industri semikonduktor, dengan evaluasi komprehensif pada lima *instance* masalah dibandingkan NSGA-II sebagai algoritma *benchmark*. Hasil menunjukkan superioritas MOALNS dengan peningkatan *hypervolume* 123,5% ($p = 0{,}009$), pengurangan biaya terbaik 61,3% ($p < 0{,}001$), dan keragaman solusi superior ($+7{,}6\%$, $p = 0{,}013$), mencapai signifikansi statistik dengan *large effect size* (Cohen's $d > 0{,}8$). Perbandingan dengan sistem eksisting menunjukkan potensi penghematan biaya rata-rata 73,2% sambil mempertahankan performa produksi. Algoritma mengidentifikasi spektrum solusi *Pareto-optimal* dari strategi minimisasi biaya ($217–450) hingga maksimalisasi produksi (kehilangan 12.000–15.000 ton per horizon), memberikan fleksibilitas pengambilan keputusan untuk berbagai skenario operasional. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa penerapan pertama pendekatan multi-objektif berbasis *trajectory* untuk penjadwalan pemeliharaan preventif membran UF industri, disertai desain operator berpengetahuan domain dan kerangka implementasi praktis yang tervalidasi dengan data nyata.

Kata Kunci: Optimasi Multi-Objektif, *Adaptive Large Neighborhood Search*, Filtrasi Membran, Penjadwalan Pemeliharaan, Optimasi Pareto

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Algoritma Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search untuk Penjadwalan Maintenance: Aplikasi
pada Sistem Membran Ultrafiltration**
Fairuzzaky Ramadhan, Achmad Pratama Rifai, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Industrial ultrafiltration (UF) membrane systems require systematic maintenance scheduling to balance cleaning costs with production losses under strict operational constraints. Prevailing reactive scheduling practices at water reclamation facilities result in suboptimal resource allocation and inefficient membrane utilization. This research develops a Multi-Objective Adaptive Large Neighborhood Search (MOALNS) algorithm for bi-objective membrane cleaning schedule optimization, addressing the trade-off between cost minimization and production loss minimization across 24 filters over a 472-timeslot planning horizon. The methodology integrates five domain-specific destroy operators targeting inefficient patterns, five repair operators ensuring operational feasibility, adaptive operator weight learning, and multi-objective simulated annealing acceptance criteria. Validation employs 31-day operational data from an industrial semiconductor water reclamation facility, with comprehensive experimental evaluation across five problem instances compared against NSGA-II as the benchmark algorithm. Results demonstrate MOALNS superiority with 123.5% hypervolume improvement ($p = 0.009$), 61.3% best cost reduction ($p < 0.001$), and superior solution diversity (+7.6%, $p = 0.013$), achieving statistical significance with large effect sizes (Cohen's $d > 0.8$). Comparison with the existing system reveals an average cost saving potential of 73.2% while maintaining production performance. The algorithm identifies a Pareto-optimal solution spectrum ranging from cost-minimization strategies ($217–450 per horizon) to production-maximization strategies (production loss 12,000–15,000 tons), providing decision-making flexibility for diverse operational scenarios. Key contributions include the first trajectory-based multi-objective approach for preventive maintenance scheduling of industrial UF membranes, domain-informed operator design embedded with membrane-specific degradation knowledge, and a practical implementation framework validated with real industrial data.

***Keywords**: Multi-objective Optimization, Adaptive Large Neighborhood Search, Membrane Filtration, Maintenance Scheduling, Pareto Optimization*