

SECURING WATER FOR FOOD AND RURAL COMMUNITY UNDER CLIMATE CHANGE



INACID

KUMPULAN MAKALAH
SEMINAR NASIONAL
KOMITE NASIONAL INDONESIA-ICID
SEMARANG, 30 NOVEMBER 2013



SANGGAR KRIDA ADITAMA- 0248449933

ISBN 978-602-17954-4-6



9 786021 795446

*Securing Water
for Food and Rural Community
under Climate Change*

Kumpulan Makalah
SEMINAR NASIONAL
KOMITE NASIONAL INDONESIA-ICID
Semarang, 30 November 2013

Diterbitkan oleh
CV. SANGGAR KRIDA ADITAMA
ISBN No. 978-602-17954-4-6
© 2013

**SECURING WATER
FOR FOOD AND RURAL COMMUNITY
UNDER CLIMATE CHANGE**

Kumpulan Makalah
**SEMINAR NASIONAL
KOMITE NASIONAL INDONESIA-ICID**
Semarang, 30 November 2013

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit

ISBN 978-602-17954-4-6



Penerbit dan Percetakan
CV Sanggar Krida Aditama
Jl. Papandayan 33 Tel. 024-8449933 Semarang 50232
Email: admin@sanggarkrida.com
<http://sanggarkrida.com>

Kata Pengantar

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Mahaesa atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayahnya, sehingga *Kumpulan Makalah pada Seminar Nasional Komite Nasional Indonesia-ICID Tahun 2013* yang diselenggarakan di Hotel Patrajasa Semarang, tanggal 30 November 2013 dapat diterbitkan serta terdaftar di Perpustakaan Negara RI dengan nomor ISBN 978-672-17954-4-6.

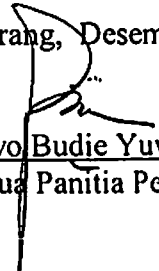
Seminar Nasional KNI ICID 2013 adalah ajang seleksi makalah dari Indonesia yang akan dipresentasikan pada pertemuan ICID 2014 di Gwangju, Korea. Thema dari Seminar Nasional KNI-ICID kali ini adalah "*Securing Water for Food and Rural Community under Climate Change*".

Sebanyak 42 makalah disajikan dalam seminar, dan berdasarkan hasil seleksi Tim Penilai yang terdiri atas A. Hafiedz Gani, Arie S, Rubiyanto, Pranoto, Mestika Djoeachir, Wisnu Suharto, Syafrudin telah ditetapkan 5 makalah dengan predikat terbaik. Kelima makalah tersebut tidak disertakan dalam kumpulan makalah ini dan diajukan untuk seleksi pada Konferensi Internasional ICID 2014 di Gwangju, Korea Selatan. Kelima makalah tersebut adalah:

1. **The Use of Satelite Derived Rainfall Data and Digital Elevation Model for Estimation of Rainfall Over Scantily Gauged Basin**, oleh Revalin Herdianto, Bambang Estijono, Dalrino, Adek Rizaldi, Nilai 83,8
2. **Downscaling Model Iklim sebagai Alat Bantu dalam Assesment Bencana Kekeringan Akibat Perubahan Iklim**, oleh Nadjadji Anwar, Gusfan Halik, Edijatno, Nilai 79,8
3. **Teknologi SDP (SeDrainPond) untuk Mendukung Hasil Produksi Pertanian Akibat Perubahan Iklim Berbasis Pemberdayaan Masyarakat (Studi Kasus di Provinsi Jawa Tengah)**, Oleh Sriyana, Nilai 75
4. **Operation of Citarum Reservoir in Adapting to Climate Change**, oleh Mohammad Amron, Herman idrus, Reni Mayasari, Nilai 74,4
5. **Peran Penting Irigasi dan Drainase dalam Pengelolaan Air Hujan untuk Pertanian sebagai Tindakan Adaptasi Perubahan Iklim pada Pulau Kecil Daerah Kekeringan Indonesia**, oleh Susilawati, Nilai 72,2

Atas terbitnya buku ini, terimakasih kami sampaikan kepada para pemakalah utama yang berpartisipasi acara Seminar Nasional KNI ICID, yaitu Bapak DR. A. Hafiedz Gani, M.Sc selaku Vice President Hon KNI ICID, Prof. DR. Ir. Sigid Supadmo Arief, M.Sc, Kaspono selaku Ketua Federasi P3A Sistem Kedung Ombo, Ir. Suryo Banendro, M.P. selaku Kepala Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura dan kami juga mengucapkan terimakasih kepada 42 pemakalah dari seluruh Indonesia yang telah berperanserta secara aktif.

Semarang, Desember 2013


Prasetyo Budie Yuwono, ME.
Ketua Panitia Pelaksana

DAFTAR ISI

Halaman sampul	i
Halaman belakang sampul.....	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	iv
About ICID.....	x
Sekilas Komite Nasional Indonesia-ICID	xi
Sekilas Komite ICID Provinsi Jawa Tengah	xvii
Perubahan Iklim Dunia Mempengaruhi Hasil Panen Perlu Adanya PIPANISASI Irigasi untuk Meningkatkan Panen Beras Warga Perdesaan .	1
• Subandi, Agus Hasanie, Widyo Pranoko, Rita Mulyati Malik, Dwi Rezekia Sugeng dan Efa Tanggulangan	
• Konsultan Perorangan SDA, BBWS Pompengan Jeneberang, Makassar	
Peranan Bendung Gerak Tempe Solusi Terhadap Perubahan Iklim Dunia Untuk Mengembangkan Irigasi Dan Air Bersih di Desa Sengkang	9
• M. K. Nizam Lembah, Eka Rahendra, Sumardji, M. Andi Irham, Subandi, Anisa Adam Agie	
• Subdit PP Wilayah Barat, Dit Sungai dan Pantai, Ditjen SDA, Jakarta	
Perlu Kewaspadaan Menghadapi Perubahan Iklim Dunia untuk Mendukung Ketahanan Pangan Penduduk Desa Kabupaten Sidrap.....	15
• Syahmusir, Subandi, Agus Hasanie, Siang Bantaeng, Vera Carter dan Dwi Rezekia Sugeng	
• Pemerhati SDA BBWS Pompengan Jeneberang, Makassar	
Ancaman Perubahan Cuaca Dunia Menghambat Panen Raya di Daerah Irigasi Teknis, Kellara Perlu Didukung Pembangunan Bendungan Serbaguna Karalloe.....	22
• Agus Setiawan, Hariyono Utomo, Eka Rahendra, Subandi dan Andika Kuswidyawan	
• Kepala BBWS Pompengan Jeneberang, Makassar	
Model Hidrodinamika dan Transpor Sedimen pada Muara Sungai Musi Palembang, Sumatera Selatan	31
• Achmad Syarifudin, Momon Sodik Imanuddin dan Bistok Simanjuntak	
• Doctoral Candidate of Environmental Sciences, Sriwijaya University, Lecture of Bina Darma University, KNI-ICID South Sumatra	
Saluran Drainase Bawah Permukaan Menggunakan Sekam untuk Pengelolaan Tinggi Muka Air Tanah dan Mengurangi Dampak Perubahan Iklim Pada Lahan Basah	43
• Erry Koriyanti, Robiyanto H. Susanto, Dedi Setiabudidaya, Ngudiantoro, F.X. Suryadi	
• Universitas Sriwijaya	

Salah Satu Penyelesaian Banjir Dan Kekeringan untuk Daerah Irigasi Dekat Laut.....	51
<ul style="list-style-type: none"> • Supriya Triwiwana, Pattiwiri, Wilem Minggu, Taufan • HATHI Cabang Sulawesi-Selatan BBWS Pompengan-Jeneberang 	
Peningkatan Peranan Irigasi Dalam Upaya Adaptasi Perubahan Iklim Untuk Mendukung Kedaulatan Pangan di Sumatera Barat.....	59
<ul style="list-style-type: none"> • Dr. Ir. Eri Gas Ekaputra, MS • KNI ICID Sumatera Barat - DI Sumatera Barat 	
Perubahan Cuaca Dunia Mempengaruhi Gagalnya Panen Raya Daerah Irigasi Teknis Bili Bili Kampili Bissua	70
<ul style="list-style-type: none"> • Haeruddin C. Maddi, Feriyanto Pawenrusi, A. Adi Umardani, M. K. Nizam Lembah, Subandi dan Anna Ekawati Rusly • Kasatker PJPA, BBWS Pompengan Jeneberang Sulsel, Makassar 	
Kekeringan Semakin Sering Terjadi Pada Daerah Irigasi di Jawa Tengah	77
<ul style="list-style-type: none"> • Waluyo Hatmoko, R. Wahyudi Triweko dan Iwan K. Hadihardaja • Kandidat Doktor Teknik Sipil di Universitas Katolik Parahyangan, Bandung 	
Potensi Irigasi Pipa untuk Peningkatan Indek Pertanian	84
<ul style="list-style-type: none"> • Dadan Rahmandani, Wildan Herwindo, Subari • Calon Peneliti, Peneliti, Puslitbang SDA Bandung Balai Irigasi, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Badan Litbang PU 	
Underground Stream and Telaga Water Harvesting Strategy in Gunungkidul Regency	99
<ul style="list-style-type: none"> • Rr. Vicky Ariyanti, ST, M.Sc, M.Eng, Noorpratomo Wirawan, ST, Kuji Murtiningrum, ST, M.Tech • Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak, Ditjen SDA 	
Penerapan Hydropower di Kawasan Karst untuk Jaringan Irigasi Air Tanah.	112
<ul style="list-style-type: none"> • Pulung Arya Pranantya, ST. MT, Ahmad Taufiq, ST. MT • Peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum 	
Optimalisasi Pola Tanam Daerah Irigasi Klambu Kanan.	121
<ul style="list-style-type: none"> • Fuad Kurniawan, Indra Bangun, Suseno Darsono dan Pranoto Samto • BBWS Pemali Juana, Pusat Studi Bencana Universitas Diponegoro, Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro 	
Daerah Irigasi Teknis Tommo Berpotensi Menjadi Lumbung Padi Sulbar dengan Mewaspada Perubahan Iklim Dunia	134
<ul style="list-style-type: none"> • M.K. Nizam Lembah, M. Asdin Tholib, Sumardji, M. Taufan, Subandi, dan Rita Mulyati Malik • Subdit PP Wilayah Barat, Dit Sungai dan Pantai, Ditjen SDA, Jakarta 	

Integration Opportunities Between Irrigation Management and Cooperative Farming in Indonesia	141
<ul style="list-style-type: none"> • Nanang Rianto, FX Hermawan Kusumartono • Researcher in Sociology, Water Resource Experimental Station, Research and Development Center for Social Economy and Environment, Research and Development Agency 	
Suplesi Air untuk Budidaya Padi di Lahan Rawa Lebak dengan Sistem Irigasi Curah	158
<ul style="list-style-type: none"> • Edward Saleh, Chandra Irsan dan M. Umar Harun • Dosen Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya 	
Development Instrument of Quantitative Assessment of Irrigation Management Performance	168
<ul style="list-style-type: none"> • Sahid Susanto and Sigid Santosa • Professor at the Faculty of Agricultural Technology, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia 	
Perkiraan Hujan Efektif untuk Kebutuhan Air Irigasi Memanfaatkan Data Hujan Satelit TRMM (TMPA 3b42rt) pada Wilayah Kurang Data Lapangan	178
<ul style="list-style-type: none"> • Irfan Sudono, R. R. E. Vernimmen, Marasi Deon Joubert • Peneliti di Balai Irigasi, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum 	
Water Available of Secure Food	200
<ul style="list-style-type: none"> • Kesya Ratna Rapa • Papua River Basin Organization 	
Pengembangan dan Pengelolaan Irigasi Partisipatif di Provinsi Jawa Tengah	206
<ul style="list-style-type: none"> • Sri Purwanto • Kepala BPSDA Bengawan Solo 	
Model of Water Allocation in Kedung Ombo Dam	217
<ul style="list-style-type: none"> • S. Imam Wahyudi, Henny Pratiwi Adi, Sri Mulyani • Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung Semarang 	
Model Aplikasi HEC-HMS dalam Pengendalian Banjir Sistem DAS Bendung, Kota Palembang (Pengendalian Banjir Sistem DAS Sungai Bendung dengan Aplikasi HEC-HMS dan HEC-RAS)	225
<ul style="list-style-type: none"> • Henggar Risa Destania, Aulia Friska Gresia dan Abdul Muis • BBWSS VIII, Komisi Provincial Profesional KNI-ICID Sumatera Selatan 	
Analisis Ketersediaan Air dan Sedimen di Hulu DAS Jeneberang	240
<ul style="list-style-type: none"> • I. Latifah, M. Y. Purwanto, N. H. Pandjaitan • Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB) 	

Pengamanan Air di Pulau-Pulau Kecil	251
<ul style="list-style-type: none"> • Happy Mulya dan Robert J Kodoatie • Kepala Balai Papua Dit.Jen. Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum, pengajar di Jurusan Teknik Sipil FT Undip 	
Analisis Potensi Pengendalian Muka Air Tanah dengan Menggunakan Sistem Drainase Bawah Tanah dalam Mendukung Peningkatan Indeks Pertanaman di Rawa Pasang Surut	261
<ul style="list-style-type: none"> • Bakri, Momon Sodik Imanudin, Masreah Bernas dan Johanes • Peneliti pada PUR PLSO-Universitas Sriwijaya 	
Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making to Determine Technology of Discharge Report in Provincial-Authoriy Irrigation System	270
<ul style="list-style-type: none"> • Murtiningrum, Noto, Nur Rohmad, Wisnu Wardana, and Sigit Supadmo Arif • Lecturer, Department of Agricultural Engineering, Universitas Gadjah Mada 	
Model Pengelolaan Jaringan Irigasi Pipa pada Lahan Berlereng	280
<ul style="list-style-type: none"> • Dadang Ridwan & Dadan Rahmandani • Staf Balai Irigasi Pusat Litbang Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum 	
Penggunaan Teknologi Informasi Dalam Operasi Irigasi Untuk Mendukung Efisiensi Irigasi	292
<ul style="list-style-type: none"> • Aditya Prihantoko, Susi Hidayah, Marasi Deon Joubert • Calon Peneliti, Peneliti di Balai Irigasi, Puslitbang SDA Kementerian PU 	
Self Supporting Small Pump Irrigations in The Existing Jatiluhur Irrigation System	304
<ul style="list-style-type: none"> • Mochammad Amron • Commissioner of Jasa Tirta Public Corporation 	
Analisis Kelayakan Ekonomi Irigasi Tetes di Desa Temiyang dan Desa Pejarakan	310
<ul style="list-style-type: none"> • Elias Wijaya Panggabean • Peneliti Muda di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi dan Lingkungan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum 	
Partisipasi Masyarakat pada Operasi dan Pemeliharaan Daerah Irigasi	324
<ul style="list-style-type: none"> • Pranu Arisanto, Suripin, Suseno Darsono • Mahasiswa Megister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang, Dosen Megister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang 	

Pengaruh Variasi Konsentrasi Influen dan Hydraulic Loading Rate (HLR) terhadap Penyisihan Parameter BOD dan COD pada Pengolahan Air Limbah Domestik Artificial (Grey Water) Menggunakan Reaktor UASB.....	343
<ul style="list-style-type: none"> • Syafrudin, Sudarno, Iin Novitasari, Purwanto • Teknik Lingkungan, FT Undip, Program Doktor Ilmu Lingkungan Undip 	
Gerakan Irigasi Bersih Sebagai Gerakan Khas Partisipatif Pengelolaan Irigasi	353
<ul style="list-style-type: none"> • Dede Sulaeman, Sigit Supadmo Arif, Bayudono dan Erwin T.N. Sigit • Mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Guru Besar Teknik dan Manajemen Irigasi, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM 	
Aplikasi System of Rice Intensification (SRI) dengan Teknik Irigasi Berselang (Ngenyatin) dalam Peningkatan Produktivitas Padi pada Sistem Irigasi Subak untuk Jaringan Irigasi Air Tanah	362
<ul style="list-style-type: none"> • Sumiyati, Wayan Windia, Wayan Tika dan Ni Nyoman Sulastri • Agricultural Engineering Department, Faculty of Agricultural Technology, Udayana University 	
Pengaruh Hydraulic Loading Rate (HLR) dan Konsentrasi terhadap Penyisihan Parameter BOD, COD, dan Nitrat pada Pengolahan Air Limbah Domestik Campuran (Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB	368
<ul style="list-style-type: none"> • Syafrudin, Sudarno, Ardina Sita Ningrum, • Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro 	
Kebertahanan Kondisi dan Fungsi Daerah Aliran Sungai. Studi Kasus Sub DAS Logawa, Kabupaten Banyumas	382
<ul style="list-style-type: none"> • Irawadi, Sigit Supadmo Arif, Sahid Susanto, Lilik Sutiarmo • Mahasiswa S3, staf Dinas SDA dan Bina Marga Kabupaten Banyumas • Pengajar Pasca Sarjana Fakultas Teknologi Pertanian, UGM 	

PENGARUH HYDRAULIC LOADING RATE (HLR) DAN KONSENTRASI TERHADAP PENYISIHAN PARAMETER BOD, COD DAN NITRAT PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK CAMPURAN (GREY WATER DAN BLACK WATER) MENGGUNAKAN REAKTOR UASB

Syafrudin, Sudarno, Ardina Sita Ningrum

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRACT

In this study using a mixture of domestic waste water. Parameters to be researched is the Biological Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD) and nitrate-nitrogen (NO₃-N). Alternative anaerobic treatment is to use UASB (upflow Anaerobic Sludge Blanket) . This study performed a variation of Hydraulic Loading Rate (HLR) and the influent concentration to obtain the optimum conditions on an UASB reactor laboratory scale for removal BOD₅, COD and NO₃-N in a mixture of domestic waste water (grey water and black water). Pollutant removal efficiency by varying the influent concentration and HLR for BOD₅ was about 57% -76%, for COD was about 59% -69% and NO₃-N was about 75% -98%. The results is the lower influent concentration will decrease removal efficiency that occurred on the parameters of BOD₅, COD and NO₃-N. The maximum removal efficiency on the parameters BOD₅ and COD occurs when HLR low at 0.025 m³/m²/hour or 6.94 x 10⁻⁶ m/s. While the maximum removal efficiency of NO₃-N occurred when HLR high 0.05 m³/m²/hour or 1.4 x10⁻⁵ m/s. Removal for BOD₅ optimum occurs at low concentrations are 419 mg/l with a variation HLR of 0.05 m³/m²/hour or 1.4 x10⁻⁵ m/s, for COD occurred at low concentrations are 878 mg/l with a variation HLR of 0.025 m³/m²/hour or 6.9 x10⁻⁶ m/s, and NO₃-N concentration was occur in the 36 mg/l with a variation HLR of 0.033 m³/m²/hour or 9.2 x10⁻⁶ m/s. The results of treatment using UASB still above the standards that should UASB be used as a secondary treatment to obtain the effluent below quality standart.

Keywords: mixture domestic wastewater, UASB, concentration, Hydraulic Loading Rate (HLR)

PENDAHULUAN

Secara umum air limbah domestik dibagi menjadi 2 jenis yaitu air limbah yang berasal dari kakus atau WC yang biasa disebut dengan black water serta air limbah yang berasal dari air bekas mandi serta cuci yang tidak berasal dari kakus yang dikenal dengan istilah grey water. Air limbah domestik merupakan sumber utama pencemar badan air. Pada daerah perkotaan pencemaran air limbah domestik mencapai 60% (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003). Beberapa wilayah pemukiman penduduk masih menggunakan sarana pembuangan air limbah rumah tangga berupa saluran pipa yang langsung dibuang ke aliran sungai yang menyebabkan air limbah rumah tangga dalam kondisi tercampur. Masuknya air limbah domestik ke lingkungan tanpa diolah akan mengakibatkan menurunnya kualitas air badan penerima seperti sungai. Sehingga perlu adanya pengolahan yang dilakukan untuk menangani black water dan grey water dalam kondisi tercampur. Oleh karena itu, penelitian dilakukan terhadap pengolahan air limbah domestik campuran (*grey water* dan *black water*). Dari uji karakteristik air limbah domestik di perumahan Bukit Semarang Baru dan kelurahan Gabahan kecamatan Semarang Tengah menunjukkan konsentrasi yang melebihi baku mutu yaitu konsentrasi BOD₅, COD dan nitrat.

Salah satu alternatif pengolahan secara anaerob adalah dengan menggunakan UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) merupakan pengolahan secara anaerob yang efektif untuk melakukan pengolahan air limbah domestik. Kandungan influen berupa senyawa organik dan anorganik merupakan substrat yang memengaruhi laju pertumbuhan bakteri. *Hydraulic Loading Rate (HLR)* merupakan faktor penting yang memengaruhi kontak bakteri dengan influen dalam proses pengolahan menggunakan reaktor UASB. Sehingga pada penelitian ini dilakukan variasi *Hydraulic Loading Rate (HLR)* serta konsentrasi influen untuk mendapatkan kondisi optimum reaktor UASB pada skala laboratorium untuk melakukan penyisihan BOD₅, COD dan nitrat pada air limbah domestik campuran (*grey water* dan *black water*)

METODOLOGI

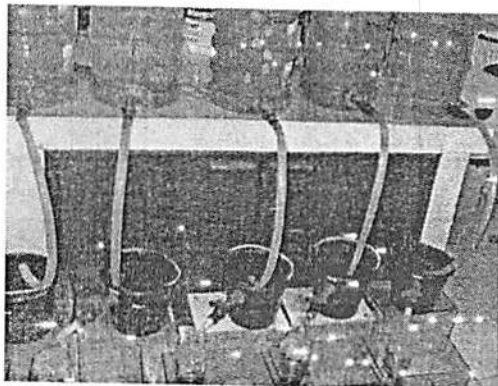
Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium untuk mengetahui efisiensi penyisihan BOD₅, COD dan nitrat menggunakan reaktor UASB. Limbah cair domestik yang digunakan campuran antara grey water dan black water. Karakteristik limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah karakteristik air limbah domestik campuran dari Perumahan Bukit Semarang Baru dan kelurahan pemukiman Gabahan Kecamatan Semarang Tengah.

Tabel 1 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah Domestik Campuran (*Black water dan Grey Water*)

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji BSB	Hasil Uji Gabahan	Baku Mutu
1.	COD	mg/l	865	1673	50 (Perda Jateng 10 tahun 2004)
2.	BOD ₅	mg/l	403	837	100 (Kepmen LH 112 tahun 2003)
3.	TSS	mg/l	834	1350	100 (Kepmen LH 112 tahun 2003)
5.	NO ₃ -N	mg/l	27	45	50 (Perda Jateng 10 tahun 2004)
6.	pH	-	7,68	7,13	6-9 (Kepmen LH 112 tahun 2003)
7.	Suhu	°C	27,05	27,11	-
8.	DO	mg/l	4,61	0,54	-

a. Pembuatan reaktor UASB

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk tabung dengan dimensi diameter 8 cm dan tinggi 25 cm dengan volume lumpur 30% dari volume limbah. Dilengkapi dengan tangki penampung influen yang bervolume 17 liter. Suplai air limbah menggunakan bak penampung. Bak penampung yang digunakan terdiri atas galon sebagai penampung air limbah, pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air limbah (sebagai pipa influen) serta valve untuk mengontrol debit air limbah yang keluar.



Gambar 1 Rangkaian Reaktor UASB

b. Penentuan variasi Hydraulic Loading Rate

Volume reaktor yang digunakan adalah 1 liter dengan variasi waktu tinggal (HRT) 4 jam, 6 jam dan 8 jam. Berdasarkan volume reaktor dan waktu tinggal dapat dihitung HLR. Sehingga didapatkan variasi HLR.

$$HLR1 = (0,001 \text{ m}^3 / 4 \text{ jam}) / 0,005 \text{ m}^2 = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$$

$$HLR2 = (0,001 \text{ m}^3 / 6 \text{ jam}) / 0,005 \text{ m}^2 = 0,033 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$$

$$HLR3 = (0,001 \text{ m}^3 / 8 \text{ jam}) / 0,005 \text{ m}^2 = 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$$

c. Pembuatan Limbah Artificial

Limbah artificial dibuat dengan bahan dasar glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan KNO_3 . Untuk proses aklimatisasi, dilakukan pembuatan 6 konsentrasi artificial yang berbeda, dimana untuk masing-masing variasi konsentrasi dibuat 50% dan 100% dari konsentrasi limbah aslinya. Sedangkan pada tahap running hanya menggunakan variasi konsentrasi 100%.

d. Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi adalah tahap mengkondisikan mikroorganisme agar dapat hidup dan melakukan adaptasi. Lumpur biomassa dibiasakan untuk menerima dan sedikit demi sedikit menguraikan bahan-bahan tersebut pada reaktor kontinyu terlebih dahulu. Dalam aklimatisasi ini dilakukan dalam 2 tahap konsentrasi limbah, yaitu 50% dan 100%.

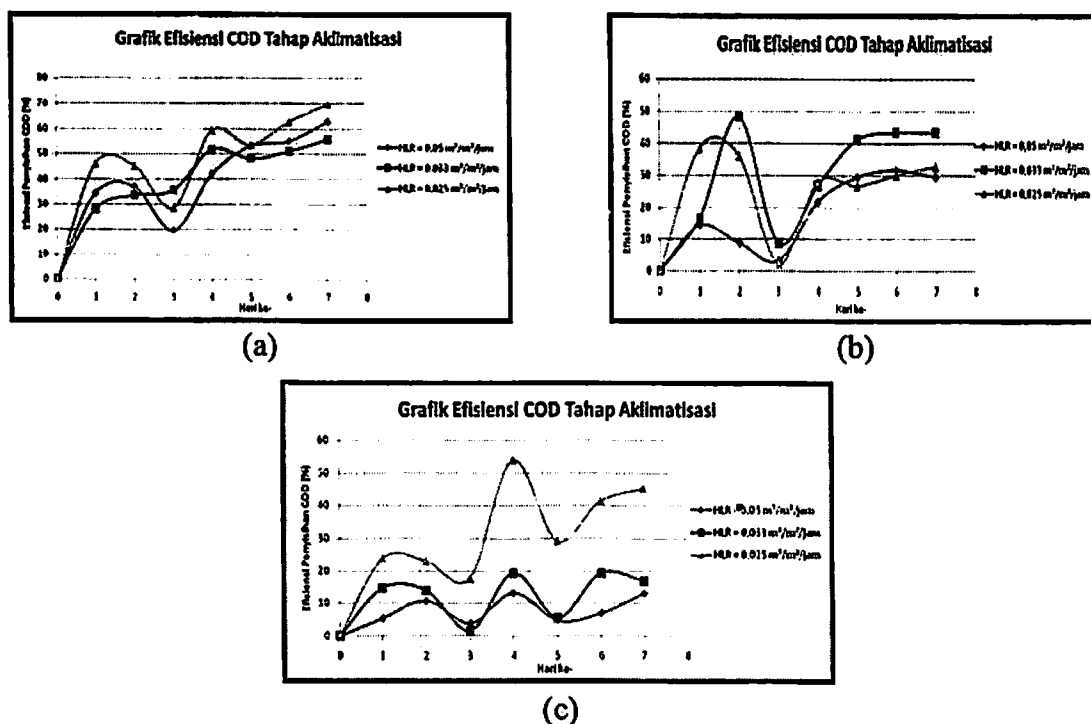
e. Running

Satu siklus running memakan waktu 4-8 jam. Setelah running dilakukan pengambilan sampel. Setiap variasi dilakukan selama 20 hari secara kontinyu. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 6 kali yang dilakukan setiap 3 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Tahap aklimatisasi 50%

Pada tahap aklimatisasi 50% konsentrasi influen untuk konsentrasi rendah sebesar 478 mg/l, konsentrasi sedang sebesar 603 mg/l dan konsentrasi tinggi sebesar 870 mg/l. Setelah mengalami kestabilan yang ditunjukkan dengan konsentrasi COD pada efluen, konsentrasi ditingkatkan menjadi 100%.



Gambar 2 Efisiensi COD Pada Tahap Aklimatisasi 50%

(a) reaktor konsentrasi rendah, (b) reaktor konsentrasi sedang, (c) reaktor konsentrasi tinggi

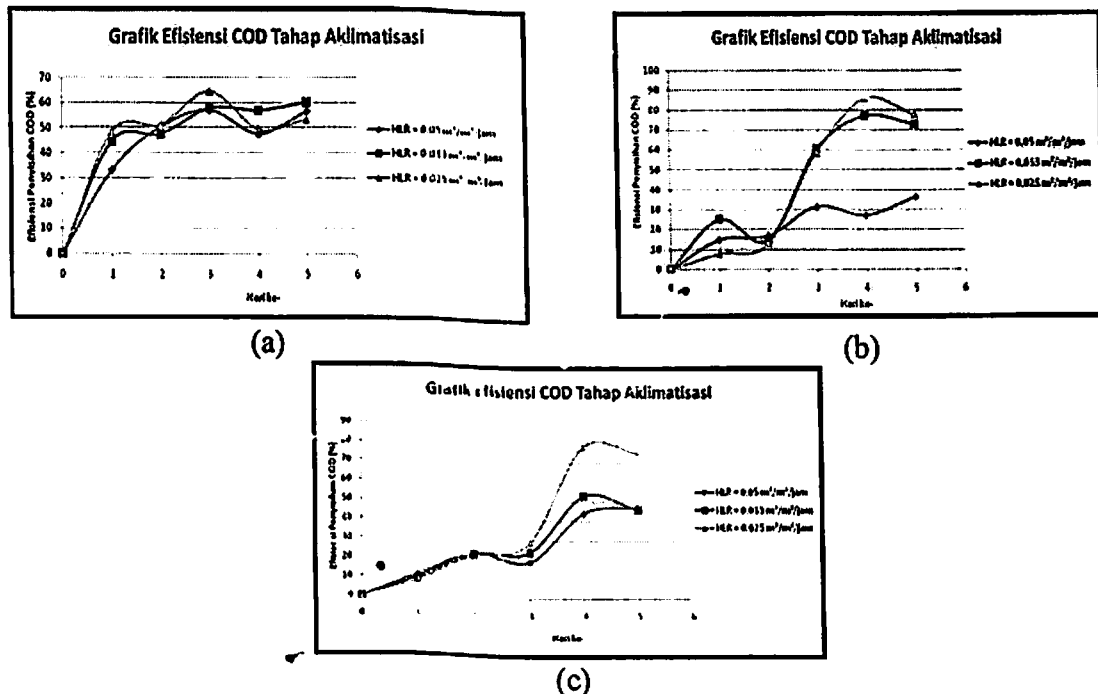
Gambar 2 menunjukkan efisiensi penyisihan COD tahap aklimatisasi $\pm 50\%$. Efisiensi terbesar dari ketiga variasi konsentrasi terjadi pada reaktor konsentrasi rendah dengan efisiensi sebesar 70%. Hal ini terjadi karena pada tahap awal yaitu fase lag merupakan fase dimana bakteri melakukan penyesuaian diri dengan lingkungan. Menurut Tchobanoglous (2003) selama fase lag bakteri menyesuaikan diri terhadap temperatur, salinitas, pH dan lain-lain. Sehingga efisiensi terbesar terjadi pada konsentrasi rendah. Grafik (a) dan (b) menunjukkan adanya penurunan efisiensi pada hari ke-3. Sedangkan

pada grafik (c) penurunan efisiensi ditunjukkan pada hari ke-3 dan 5. Hal tersebut mungkin terjadi karena beberapa faktor antara lain pH. Menurut Gerardi (2003) pH pada proses anaerob pada mulanya akan menurun dengan dihasilkannya volatile acid, namun bakteri pembentuk methane akan mengkonsumsi volatile acid dan menghasilkan alkalinitas, nilai pH akan meningkat dan menjadi stabil. Selain itu mungkin disebabkan kondisi analisis yang dilakukan kurang sesuai karena penurunan efisiensi terjadi pada semua reaktor.

Apabila dilihat dari HLR atau kecepatan aliran pada reaktor didapatkan efisiensi penurunan COD tertinggi pada HLR = 0,025 m/jam. Hal ini berarti kecepatan aliran dalam reaktor memengaruhi kinerja dari bakteri karena semakin rendah HLR (Hydraulic Loading Rate) berarti semakin lama waktu tinggal pada reaktor menyebabkan waktu kontak antara bakteri anaerobik dengan influen yang dialirkan ke dalam reaktor lebih lama. Hasil tersebut serupa dengan penelitian yang dilakukan Nugrahini dkk (2008) yang menyatakan waktu tinggal (HRT) yang cukup lama akan memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerob dengan limbah cair, sehingga proses degradasi atau penguraian terhadap zat organik menjadi lebih baik.

b. Tahap aklimatisasi 100%

Pada aklimatisasi tahap ini konsentrasi influen untuk konsentrasi rendah sebesar 878 mg/l, konsentrasi sedang sebesar 1352 mg/l dan konsentrasi tinggi sebesar 1632 mg/l. Setelah mencapai kestabilan kemudian mulai dilaksanakan running. Hasil efisiensi penyisihan COD dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 3 Efisiensi COD Pada Tahap Aklimatisasi 100%

(a) reaktor konsentrasi rendah, (b) reaktor konsentrasi sedang, (c) reaktor konsentrasi tinggi

Dari gambar 3 dapat dilihat efisiensi penyisihan COD pada aklimatisasi tahap 100%. Dihasilkan efisiensi tertinggi pada konsentrasi sedang dengan efisiensi sebesar 86% pada HLR sebesar 0,025 m³/m² .jam. Pada tahap ini efisiensi terbesar terjadi pada

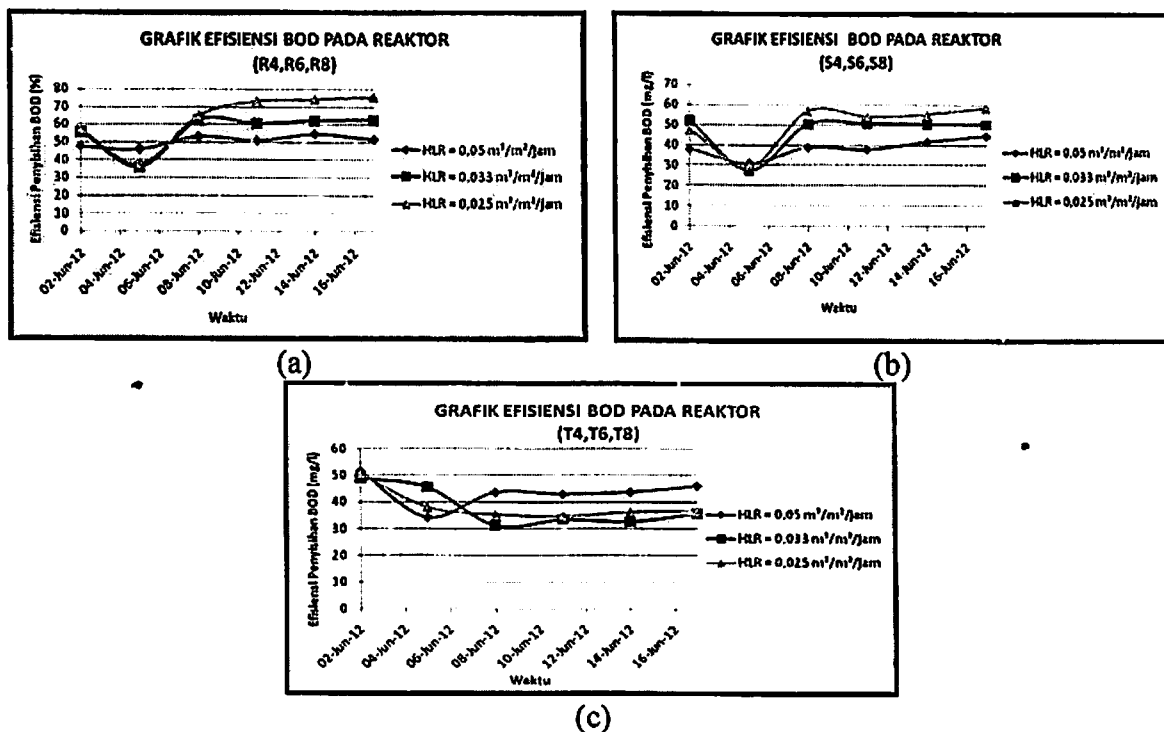
konsentrasi sedang berbeda dengan tahap 50% terjadi pada konsentrasi rendah. Hal tersebut dikarenakan bakteri telah mampu beradaptasi dengan kandungan zat organik yang tinggi pada limbah dan digunakan untuk melakukan perkembangbiakan.

Pada tahap ini kondisi optimum terjadi pada HLR (Hydraulic Loading Rate) sebesar 0,025 m³/m²/jam. Hal ini berarti semakin rendah kecepatan aliran pada reaktor akan semakin meningkatkan kinerja bakteri pada reaktor anaerob tersebut karena semakin rendah HLR menyebabkan waktu tinggal (HRT) yang cukup lama sehingga memberikan kesempatan kontak lebih lama antara bakteri anaerobik dengan influen yang diberikan. Hasil tersebut serupa dengan penelitian yang dilakukan Nugrahini dkk (2008) yang menyatakan waktu tinggal (HRT) yang cukup lama akan memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerob dengan limbah cair, sehingga proses degradasi atau penguraian terhadap zat organik menjadi lebih baik.

c. Running

1) Pengaruh HLR dalam Penyisihan BOD5

Konsentrasi influen BOD5 untuk konsentrasi rendah sebesar 419 mg/l, konsentrasi sedang sebesar 617 mg/l dan konsentrasi tinggi sebesar 847 mg/l. Pengaruh variasi HLR terhadap efisiensi penyisihan BOD5 dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Efisiensi Penyisihan BOD5 terhadap HLR

(a) reaktor konsentrasi rendah , (b) reaktor konsentrasi sedang, (c) reaktor konsentrasi tinggi

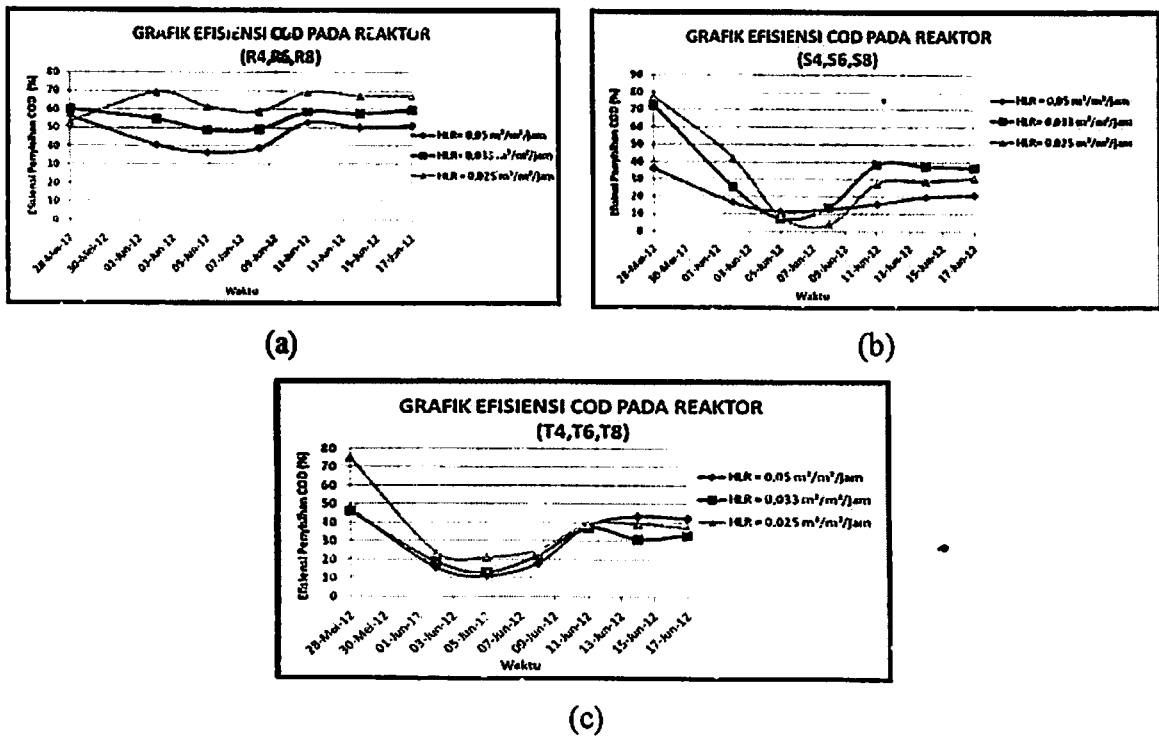
Efisiensi penyisihan BOD5 terbesar terjadi pada HLR (Hydraulic Loading Rate) sebesar 0,025 m³/m²/jam. Hal ini berarti semakin rendah kecepatan pada reaktor menyebabkan waktu tinggal air limbah dalam reaktor semakin lama. Sehingga waktu kontak antara bakteri anaerob dengan air limbah menjadi semakin lama yang menyebabkan hasil pengolahan lebih baik.

Sedangkan untuk konsentrasi tinggi, efisiensi penurunan terbesar terjadi pada HLR sebesar 0,05 m³/m²/jam. Hal ini berarti semakin cepat aliran yang terjadi dalam reaktor menyebabkan adanya pengadukan pada reaktor tersebut. Sehingga air limbah dapat terdistribusi secara merata dalam reaktor yang akan memudahkan kinerja bakteri dalam mendegradasi

air limbah. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Mahmoud (2003) yang menyatakan peningkatan kinerja reaktor UASB dalam mengolah limbah cair disebabkan oleh dua parameter yaitu sistem kecepatan aliran dan pemerataan influen (distribusi influen) pada seluruh penampang reaktor. Kecepatan aliran harus cukup tinggi untuk memberikan kontak yang baik antara substrat dan biomassa.

2) Pengaruh HLR dalam Penyisihan COD

Konsentrasi influen COD untuk konsentrasi rendah sebesar 878 mg/l, konsentrasi sedang sebesar 1352 mg/l dan konsentrasi tinggi sebesar 1632 mg/l. Pengaruh variasi HLR terhadap efisiensi penyisihan COD dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Efisiensi Penyisihan COD terhadap HLR

(a) reaktor konsentrasi rendah , (b) reaktor konsentrasi sedang ,(c) reaktor konsentrasi tinggi

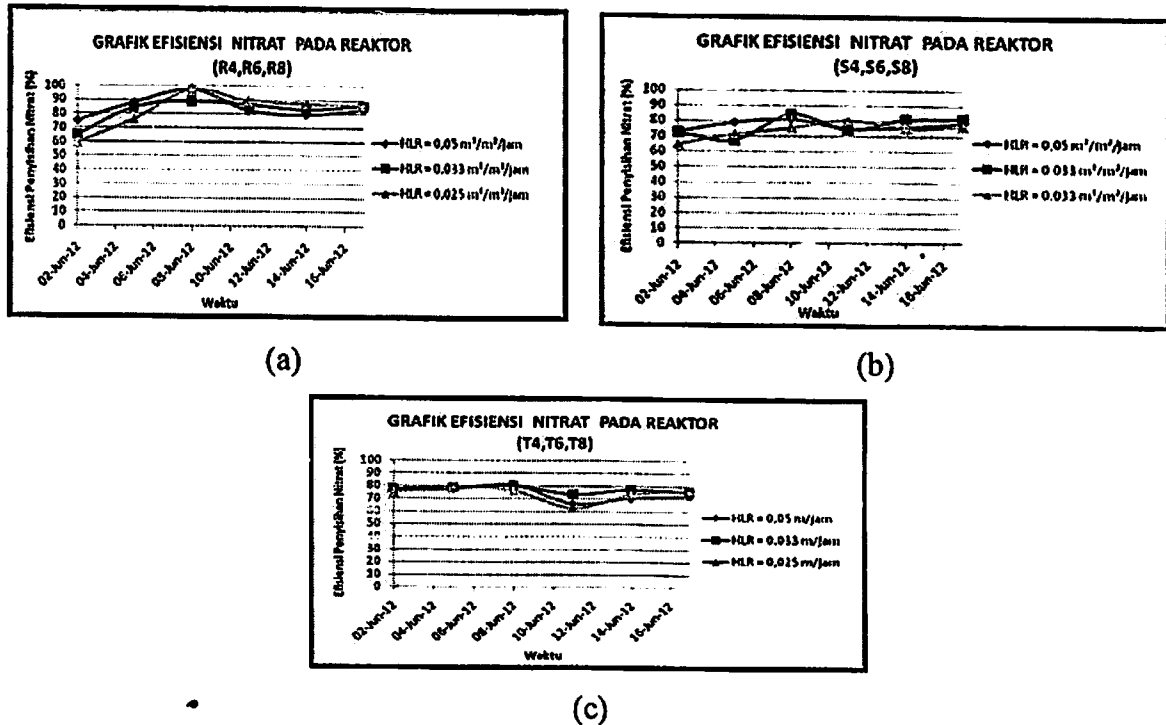
Konsentrasi rendah dan sedang berjalan optimum pada HLR kecil yaitu 0,025 m³/m²/jam. Hal ini berarti semakin rendah HLR pada aliran semakin baik hasil pengolahan yang dihasilkan. HLR dipengaruhi oleh debit, menyebabkan debit semakin lama berarti waktu tinggal limbah di dalam reaktor akan semakin lama. Semakin rendah HLR berarti semakin lama waktu tinggal pada reaktor. Hal ini mungkin disebabkan karena waktu tinggal (HRT) yang cukup lama untuk memberi kesempatan kontak lebih lama antara biomassa dengan substrat, sehingga proses pengolahan menjadi lebih baik.

Sedangkan pada konsentrasi tinggi reaktor berjalan optimum pada HLR tinggi yaitu 0,05 m³/m²/jam. Hal ini berarti semakin tinggi HLR dalam reaktor akan semakin baik

hasil pengolahan. Semakin tinggi HLR berarti semakin singkat waktu tinggal pada reaktor. Hasil tersebut serupa dengan penelitian yang dilakukan Yu et al. (2000) yang menyatakan peningkatan waktu tinggal di atas 6 jam tidak menyebabkan peningkatan efisiensi removal BOD5 dan COD yang signifikan karena waktu tinggal yang lama di atas 6 jam dapat mengakibatkan konsentrasi substrat menjadi rendah pada proses fermentasi.

3. Pengaruh HLR dalam Penyisihan NO₃-N

Konsentrasi influen nitrat pada konsentrasi rendah, sedang dan tinggi masing-masing yaitu 27 mg/l, 36 mg/l dan 45 mg/l. Pengaruh variasi HLR terhadap efisiensi penyisihan NO₃-N dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Efisiensi Penyisihan NO₃-N terhadap Variasi HLR

(a) reaktor konsentrasi rendah, (b) reaktor konsentrasi sedang, (c) reaktor konsentrasi tinggi

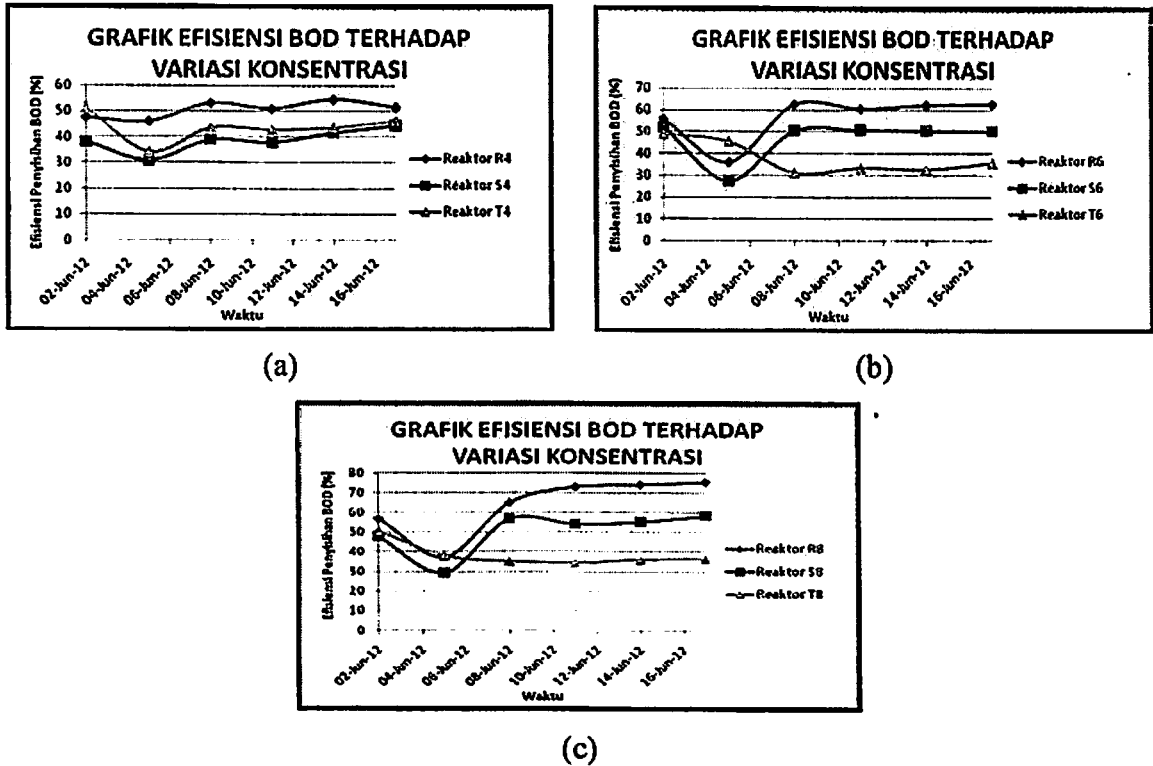
Hasil tersebut menunjukkan variasi HLR berpengaruh terhadap penyisihan NO₃-N. Variasi HLR yang berpengaruh pada penyisihan nitrat mungkin disebabkan kecepatan aliran yang rendah mengakibatkan waktu kontak yang lama antara bakteri denitrifikasi dengan senyawa nitrat. Kemampuan bakteri denitrifikasi dalam mereduksi nitrat ditunjukkan oleh penurunan konsentrasi senyawa nitrat seperti pada penelitian Richardson (2000) yang menyatakan penurunan senyawa nitrat mungkin karena adanya penggunaan nitrat sebagai akseptor elektron alternatif sebagai pengganti oksigen untuk respirasi pada kondisi anoxic. Bakteri denitrifikasi dapat menggunakan nitrat, nitrit, nitrit oksida, atau nitrous oksida sebagai penerima elektron terakhir untuk mendapatkan energi.

Selain itu proses penyisihan NO₃-N cenderung dipengaruhi oleh kondisi pH seperti pada penelitian Woon (2007) yang menyatakan kondisi yang optimum berada pada kisaran pH 6,5 sampai 7,5. Efisiensi akan menurun jika kondisi pH berada di bawah

maupun di atas kisaran tersebut, karena kegiatan atau kemampuan bakteri denitrifikasi berkurang.

5. Pengaruh Konsentrasi dalam Penyisihan BOD5

Menurut Tchobanoglous (2003) hasil tes BOD5 dipergunakan untuk menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk stabilisasi biologi zat organik yang ada. Pengaruh variasi konsentrasi terhadap penyisihan BOD5 terdapat pada gambar 7.



Gambar 7 Efisiensi Penyisihan BOD5 terhadap Variasi Konsentrasi

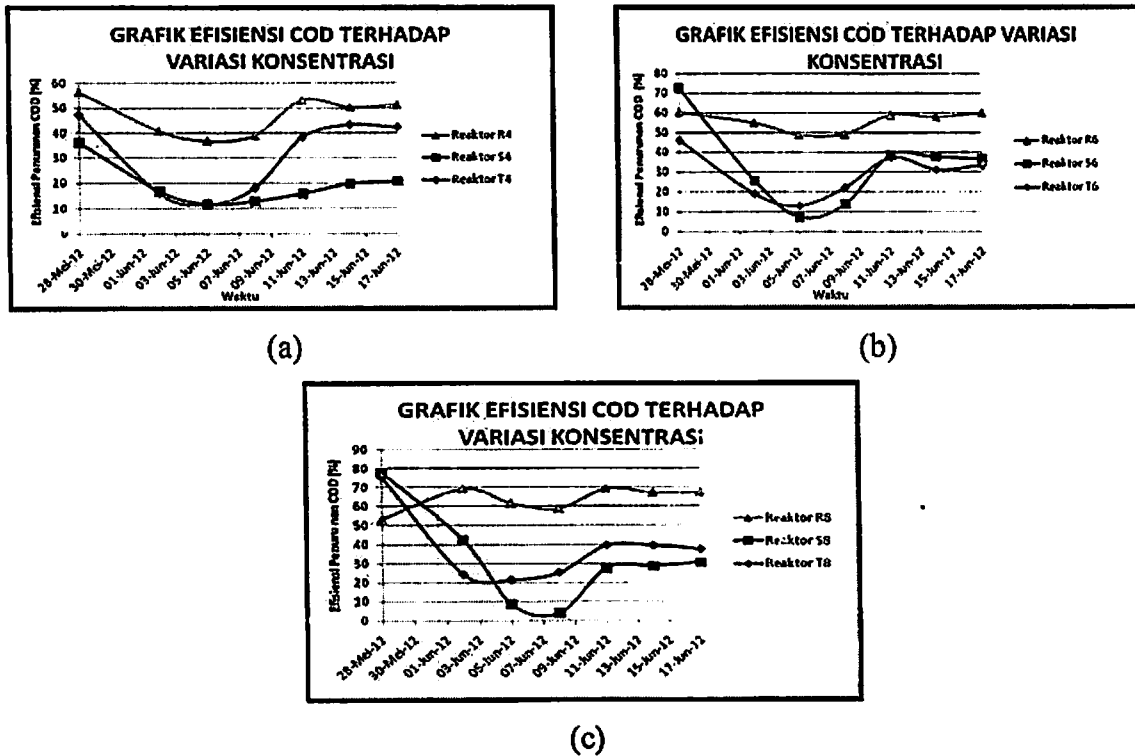
(a) HRT 4 Jam, (b) HRT 6 Jam, (c) HRT 8 jam

Apabila dilihat dari gambar 3.6 reaktor akan berjalan optimum pada konsentrasi BOD5 sebesar 419 mg/l. Hal tersebut mungkin terjadi karena terdapat zat yang menjadi menghambat. Menurut Tchobanoglous (2003) banyak zat %actor yang sulit untuk dioksidasi secara biologi dan zat %actor tertentu dapat menjadi racun bagi mikroorganisme yang digunakan dalam tes BOD5.

Pada konsentrasi rendah memiliki nilai pH berkisar antara 6-7,2 sedangkan pada konsentrasi sedang nilai pH-nya berkisar antara 4,68-6,44. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh pH terhadap efisiensi penurunan BOD5, pada konsentrasi sedang efisiensi penurunan BOD5 cenderung kecil. Proses anaerob terlaksana diantaranya karena bantuan enzim. Enzim adalah protein yang mampu mengkatalis (mempercepat) reaksi. Protein dan enzim di dalamnya sangat peka terhadap pH. Setiap enzim memiliki pH optimum untuk aktivitasnya. Menurut Gerardi (2003) pH menjadi salah satu %actor penting dalam proses pengolahan biologi secara anaerob. Pada umumnya bakteri anaerob, termasuk bakteri pembentuk methane, akan bekerja dengan baik pada nilai pH antara 6,8-7,2.

6. Pengaruh Konsentrasi dalam Penyisihan COD

Nilai COD mencakup kebutuhan oksigen untuk reaksi biokimiawi, karena senyawa yang dapat dirombak oleh mikroorganisme dapat pula mengalami oksidasi lewat reaksi kimiawi. Pengaruh variasi konsentrasi terhadap penyisihan COD terdapat pada gambar 8.



Gambar 8 Penyisihan COD terhadap Variasi Konsentrasi

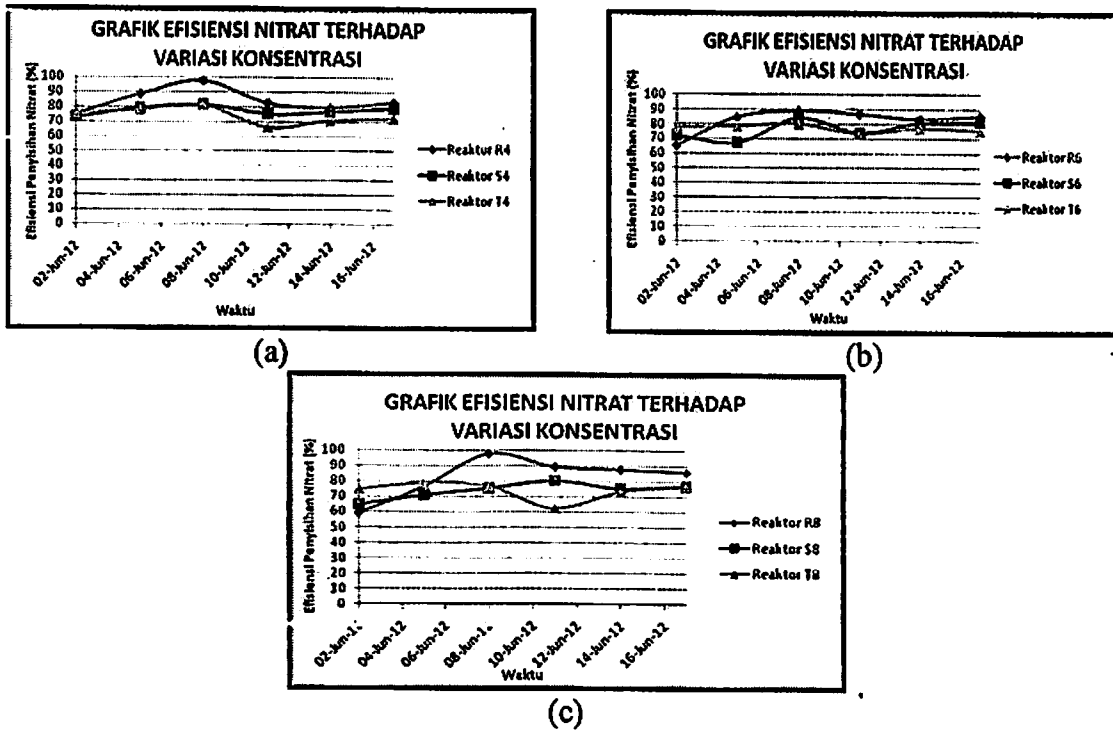
(a) HRT 4 jam, (b) HRT 6 jam, (c) HRT 8 jam

Dari gambar 8 dapat dilihat reaktor akan berjalan optimum pada konsentrasi COD rendah. Hasil tersebut serupa dengan penelitian Sibel Aslan dan Nusret Sekerdag (2008) yang mengatakan bahwa variasi konsentrasi influen COD memengaruhi tingkat penyisihan COD. Pada tingkat pembebanan hidrolik yang sama, efisiensi penyisihan yang dicapai lebih tinggi pada konsentrasi influen yang lebih rendah.

Penyisihan COD bergantung pada banyaknya nutrisi yang tersedia seperti nitrogen. Nitrogen didapatkan dari proses denitrifikasi senyawa nitrat. Jika jumlah COD yang meningkat menyebabkan meningkat pula kebutuhan nutrisi. Hal tersebut seperti yang dijelaskan Tawfik et al. (2009) jika proses denitrifikasi pada reaktor akan meningkatkan COD removal.

7. Pengaruh Konsentrasi dalam Penyisihan NO₃-N

Nitrat (NO₃-N) adalah ion-ion organik yang merupakan bagian penting dalam siklus nitrogen. Konsentrasi influen nitrat pada konsentrasi rendah, sedang dan tinggi masing-masing yaitu 27 mg/l, 36 mg/l dan 45 mg/l. Pengaruh variasi konsentrasi terhadap efisiensi penyisihan NO₃-N terdapat pada gambar 9.

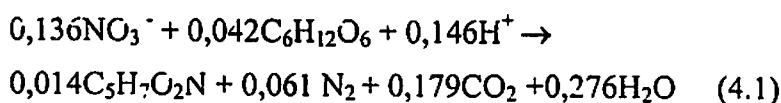


Gambar 9 Efisiensi Penyisihan NO₃-N terhadap Variasi Konsentrasi

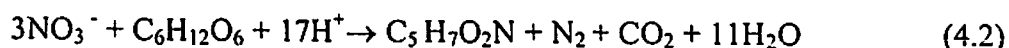
(a) HRT 4 jam, (b) HRT 6 jam, (c) HRT 8 jam

Hal ini menunjukkan bahwa reaktor akan berjalan optimum pada konsentrasi NO₃-N rendah. Menurut Yingyu et al. (2007) salah satu faktor penting dalam proses denitrifikasi adalah NO₃-N karena dimanfaatkan sebagai penerima elektron oleh bakteri, maka laju pertumbuhan bakteri denitrifikasi tergantung pada konsentrasi NO₃-N. Secara alami dalam siklus nitrogen, NO₃-N akan diubah menjadi nitrit selanjutnya nitrit menjadi gas nitrogen, tetapi jika pada suatu lingkungan tertentu kadar NO₃-N dan nitrit terlalu banyak atau melebihi ambang batas normal maka akan mengganggu siklus nitrogen.

Menurut Breisha (2010) sumber karbon yang paling umum adalah metanol, etanol dan asam asetat yang telah digunakan untuk denitrifikasi air limbah. Namun pada penelitian ini menggunakan glukosa sebagai sumber karbon dan elektron untuk mendorong proses denitrifikasi. Sedangkan glukosa yang digunakan dalam pembentukan sel dan sel yang dibentuk oleh glukosa secara teoritis dapat dilihat dalam persamaan (4.1).



Menurut persamaan reaksi di atas kebutuhan glukosa yang digunakan untuk pembentukan sel baru adalah sebesar 8,1 g COD dan jumlah sel yang diproduksi dari glukosa adalah sebesar 1,6 g VSS. Sehingga didapatkan cell yield (γ) yaitu sebesar 0,2 g VSS/g COD. Hasil tersebut merupakan perhitungan secara teoritis yang seharusnya terjadi pada pengolahan anaerob. Kebutuhan glukosa untuk proses denitrifikasi dengan konsentrasi nitrat sebesar 27 mg/l secara teoritis dapat dilihat dalam persamaan (4.2).



Dari reaksi di atas dapat diketahui glukosa yang dibutuhkan dalam proses denitrifikasi nitrat dengan konsentrasi 0,12 gr/L sedangkan pada penelitian glukosa yang diberikan sebesar 0,73 gr/L.

3.3 Kondisi HLR dan Konsentrasi Optimum Reaktor UASB dalam Penyisihan BOD₅, COD, dan NO₃-N

Penyisihan BOD₅, COD dan NO₃-N yang optimum dan stabil untuk konsentrasi rendah, konsentrasi sedang dan konsentrasi tinggi terjadi pada HLR (Hydraulic Loading Rate) yang berbeda-beda. Kondisi HLR dan konsentrasi optimum pada pengolahan air limbah domestik campuran menggunakan reaktor UASB dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 2. Kondisi HLR dan Konsentrasi Optimum Reaktor UASB

Parameter	Konsentrasi (mg/l)	HLR (m ³ /m ² /jam)
BOD ₅	419	0,025
	617	0,025
	847	0,050
COD	878	0,025
	1352	0,033
	1632	0,025
NO ₃ -N	27	0,050
	36	0,050
	45	0,033

3.4 Hasil Pengolahan Menggunakan Reaktor UASB

Setelah pengolahan yang dilakukan menggunakan reaktor UASB dapat diketahui konsentrasi parameter kemudian dilakukan perbandingan antara baku mutu dengan konsentrasi efluen menggunakan Kepmen LH No. 112 Tahun 2003 dan Perda Jateng no. 10 tahun 2004. Sehingga diketahui apakah hasil pengolahan telah memenuhi standar baku mutu atau belum. Perbandingan dilakukan pada konsentrasi dengan efisiensi penyisihan maksimum. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. Perbandingan Konsentrasi Efluen dengan Baku Mutu

No.	Variasi Konsentrasi	Parameter	Konsentrasi Efluen (mg/l)	Standar Baku Mutu (mg/l)	Keterangan
1	Rendah	BOD ₅	102	100	Tidak Memenuhi
		COD	270	50	Tidak Memenuhi
		NO ₃ -N	0,64	20	Memenuhi
2	Sedang	BOD ₅	256	100	Tidak Memenuhi
		COD	779	50	Tidak Memenuhi
		NO ₃ -N	5,61	20	Memenuhi
3	Tinggi	BOD ₅	411	100	Tidak Memenuhi
		COD	923	50	Tidak Memenuhi
		NO ₃ -N	8,48	20	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa, 2012

Berdasarkan Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa hasil pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan reaktor UASB belum dapat memenuhi standar baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. 112 Tahun 2003 dan Perda Jateng no.10 tahun 2004 untuk parameter BOD dan COD. Hal tersebut menunjukkan reaktor UASB kurang tepat apabila digunakan sebagai pengolahan primer. Kemungkinan UASB lebih tepat dijadikan sebagai pengolahan sekunder atau pengolahan lanjutan.

KESIMPULAN

1. Efisiensi penyisihan parameter pencemar berdasarkan variasi konsentrasi dan HLR mencapai BOD₅ mencapai 57%-76%, untuk COD mencapai 59%-69% dan NO₃-N mencapai 75%-98%.
2. Pengaruh variasi HLR (*Hydraulic Loading Rate*) serta variasi konsentrasi terhadap penyisihan parameter BOD₅, COD dan NO₃-N adalah:
 - a. Semakin rendah konsentrasi influen maka semakin besar nilai efisiensi penyisihan yang terjadi pada parameter BOD₅, COD dan NO₃-N.
 - b. Efisiensi penyisihan terbesar pada parameter BOD₅ dan COD terjadi ketika HLR rendah yaitu 0,025 m³/m²/jam atau 6,94 x 10⁻⁶ m/s. Sedangkan untuk penyisihan terbesar pada NO₃-N terjadi ketika HLR tinggi yaitu 0,05 m³/m²/jam atau 1,4x10⁻⁵ m/s.
3. Kondisi HLR (*Hydraulic Loading Rate*) serta konsentrasi optimum pada reaktor UASB adalah
 - a. Penyisihan BOD₅ optimum terjadi pada konsentrasi rendah yaitu 419 mg/l dengan variasi HLR sebesar 0,05 m³/m²/jam atau 1,4x10⁻⁵ m/s.
 - b. Penyisihan COD optimum terjadi pada konsentrasi rendah yaitu 878 mg/l dengan variasi HLR sebesar 0,025 m³/m²/jam atau 6,9x10⁻⁶ m/s.
 - c. Penyisihan NO₃-N optimum terjadi pada konsentrasi sedang yaitu 36 mg/l dengan variasi HLR sebesar 0,033 m³/m²/jam atau 9,2x10⁻⁶ m/s.

SARAN-SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan :

1. Efluen yang dihasilkan dari pengolahan belum memenuhi baku mutu air limbah domestik sehingga perlu adanya pengolahan awal sebelum dilakukan pengolahan menggunakan UASB untuk meningkatkan efisiensi dari pengolahan tersebut.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut apabila reaktor UASB dijadikan sebagai pengolahan sekunder pada pengolahan air limbah domestik secara komunal.
3. Perlu adanya flowmeter agar debit yang mengalir ke dalam reaktor lebih mudah untuk dikontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Breisha, Gaber Z., Winter, Josef. 2010. *Bio-removal of nitrogen from wastewaters-A review*. Journal of American Science vol 6 (12).
- Gerardi, Michael H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digester*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Henze, M., Ledin, A., 2002. *Types, characteristics and quantities of classic, combined wastewaters*. In: Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. (Eds.), *Decentralised Sanitation and Reuse* IWA Publishing, UK, pp. 57–72.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112/MENLH/10/2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Kementrian Lingkungan hidup.
- Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H., Lettinga, G. 2004. *Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digester system*. Water Research, (38), 2348–2358.
- M.M. Ghangrekar, U.J. Kahalekar. 2003. *Performance and cost efficiency of two stage anaerobic sewage treatment*. J. Inst. Eng. (India) Environ. Div. 84 16–22.
- Nugrahini dkk. 2008. *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. Lampung: Seminar Nasional Sains dan Teknologi.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10/PERDA/07/2004 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Richardson, DJ. 2000. *Bacterial Respiration: A Flexible Process For A Changing Environment*. *Microbiology*, (146), 551-571.
- Sibel Aslan, Nusret Sekerdag. 2008. *The performance of UASB reactors treating high strength wastewaters*.
- Tawfik, A., El-Gohary, F., Temmik, H. 2010. *Treatment of domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor followed by moving bed biofilm reactor*. *Bioprocess Biosyst Eng.*, (33), 267–276.
- Tchobanoglous, George and Franklin L. Burton. 2003. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. 4th ed. McGraw-Hill Book Co : Amerika.
- Woon B. H. 2007. *Removal of Nitrate Nitrogen in Conventional Wastewater Treatment Plants*. Thesis, Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Yingyu A, Fenglin Y, Hwee CC, Fook SW, Wu Bing. 2007. *The integration of methanogenesis with shortcut nitrification and denitrification in a combined UASB with MBR*. *Bioresource Technology*, (99), 3714–3720.
- Yu, H.Q., Fang, H.H.P., Tay, J.H., 2000. *Effects of Fe²⁺ on sludge granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactors*. *Water Science and Technology*, vol. 41 (12), 199-205.