

**ANALISIS PENURUNAN KADAR BOD, COD DAN
TSS LIMBAH CAIR DOMESTIK HASIL
PENGOLAHAN DENGAN BIOFILTER ANAEROB
DAN AEROB MENGGUNAKAN MEDIA KERIKIL
BERDASARKAN VARIASI WAKTU TINGGAL**

SKRIPSI

Oleh:

**ALFIAN SATRIYADI SAPUTRA
NIM. 145100900111014**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

**ANALISIS PENURUNAN KADAR BOD, COD DAN
TSS LIMBAH CAIR DOMESTIK HASIL
PENGOLAHAN DENGAN BIOFILTER ANAEROB
DAN AEROB MENGGUNAKAN MEDIA KERIKIL
BERDASARKAN VARIASI WAKTU TINGGAL**

Oleh:

**ALFIAN SATRIYADI SAPUTRA
NIM. 145100900111014**

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : Analisis Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Domestik Hasil Pengolahan dengan Biofilter Anaerob dan Aerob Menggunakan Media Kerikil Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal

Nama : Alfian Satriyadi Saputra

Mahasiswa

NIM : 145100900111014

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Dr.Ir.J.Bambang Rahadi W, MS.
NIP. 19560205 198503 1 003

Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, MS.
NIP. 19530709 198002 1 002

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Domestik Hasil Pengolahan dengan Biofilter Anaerob dan Aerob Menggunakan Media Kerikil Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal

Nama : Alfian Satriyadi Saputra

Mahasiswa

NIM : 145100900111014

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Dr.Ir.J.Bambang Rahadi W, MS.
NIP. 19560205 198503 1 003

Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, MS.
NIP. 19530709 198002 1 002

Dosen Penguji III,

Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosoedarmo, MS.
NIP. 19530112 198003 1 003

Ketua Jurusan,

La Choviya Hawa, STP. MP. Ph.D
NIP. 19780307 200012 2 001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan dengan nama Alfian Satriyadi Saputra pada tanggal 8 Oktober 1996 dan merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Imam Irsyadi dan Ibu Siti Rosidah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Lowokwaru 2 Malang pada tahun 2008, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 18 Malang dengan tahun kelulusan 2011, dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 9 Malang pada tahun kelulusan 2014. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S-1) di Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya pada tahun 2018.

Selama menempuh pendidikan, penulis aktif dalam bidang organisasi dan kepanitiaan mahasiswa diantaranya yaitu Divisi Perlengkapan Inaugurasi TEP 2015, Divisi Keamanan Orientasi Pengenalan Jurusan (OPJ) 2015, Divisi Pendamping Pengenalan Kehidupan Kampus Fakultas Teknologi Pertanian (PKK-FTP) 2015, Divisi DDM Zero Emission Day 2015, Divisi Pendamping Rangkaian Acara Jelajah Almamater Berwawasan Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian (RAJAWALI-FTP) 2016, Divisi Keamanan Kongres IMTLI 2016, Staff Departemen Riset dan Teknologi KMTL FTP UB periode 2017/2018, Asisten Praktikum Klimatologi 2017 dan Asisten Praktikum Teknik Konservasi Lingkungan 2017. Prestasi yang telah diraih penulis yaitu finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) GADJAH MADA COMPETITION 2016.

Karya kecil ini aku persembahkan kepada keluargaku tercinta khususnya kedua Orang Tuaku dan Adikku yang tidak pernah berhenti mendukung dan mendoakan selama ini hingga pada akhirnya aku dapat menyelesaikan studi dengan baik. Tanpa adanya kalian di sisiku mungkin aku tidak akan bisa berjalan sejauh ini. Terimakasih yang tiada henti-hentinya aku ucapkan kepada keluargaku yang menjadi sumber semangatku. Semoga karya kecil ini dapat menjadi salah satu hadiah terindah.

Dalam sebuah perjalanan pasti banyak hal yang akan terjadi
Dalam sebuah perjuangan pasti banyak rintangan yang akan menghampiri
Maka, dalam melewati semua tahapan itu, lakukan aksi terbaikmu tanpa mengenal rasa ragu
Yakinlah pada akhirnya kau akan mendapatkan hal terindah yang tak pernah kau bayangkan sebelumnya

LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfian Satriyadi Saputra
Mahasiswa
NIM : 145100900111014
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jurusan : Keteknikan Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian
Judul Skripsi : Analisis Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Domestik Hasil Pengolahan dengan Biofilter Anaerob dan Aerob Menggunakan Media Kerikil Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal

Menyatakan bahwa,
Skripsi dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut diatas. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Malang, 26 Maret 2018
Pembuat Pernyataan,

Alfian Satriyadi Saputra
NIM. 145100900111014

ALFIAN SATRIYADI SAPUTRA. 145100900111014. Analisis Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Domestik Hasil Pengolahan dengan Biofilter Anaerob dan Aerob Menggunakan Media Kerikil Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal. Skripsi. Pembimbing: Dr. Ir. J. Bambang Rahadi, MS. dan Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, MS.

RINGKASAN

Pertambahan jumlah penduduk yang terjadi dalam setiap tahun tentu juga diiringi dengan pertambahan aktivitas konsumsi masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Seiring meningkatnya aktivitas konsumsi masyarakat maka akan diiringi juga dengan meningkatnya sisa hasil buangan dari aktivitas masyarakat yang dinamakan limbah domestik. Limbah domestik ini perlu penanganan lebih lanjut sebelum dibuang agar tidak mencemari badan sungai. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair domestik adalah metode biofilter anaerob-aerob dengan menggunakan media kerikil.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorik, dimana percobaan dilakukan dalam skala laboratorium. Proses pengolahan air limbah domestik dilakukan menggunakan sistem sirkulasi secara gravitasi. Proses pengolahan air limbah domestik dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap uji pendahuluan dan tahap percobaan. Uji pendahuluan dilakukan sebagai perbandingan atau kontrol terhadap hasil dari percobaan dimana pada uji pendahuluan, proses *running* dilakukan tanpa adanya proses *seeding* (pembibitan bakteri) sedangkan pada tahap percobaan dilakukan proses *running* setelah proses *seeding* (pembibitan bakteri). Proses *seeding* dilakukan selama 2 hari dan dilanjutkan aklimatisasi selama 1 hari, kemudian dilanjutkan dengan proses *running* pada hari ke-4 untuk diamati penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada perlakuan waktu tinggal ke 5, 7, dan 9 jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungan BOD dan COD pada limbah cair domestik hasil pengolahan tanpa dilakukan pembibitan bakteri, sedangkan pada parameter TSS terjadi penurunan dimana peningkatan

kandungan BOD dan COD yang paling kecil serta penurunan TSS yang paling besar terdapat pada waktu tinggal 7 jam dengan besar peningkatan BOD (9,71%), COD (24,54%), dan penurunan TSS (74,19%). Hasil berbeda didapat pada pengolahan dengan pembibitan bakteri dimana secara keseluruhan terjadi penurunan kandungan BOD, COD, dan TSS. Penurunan terbesar terdapat pada pengolahan dengan waktu tinggal 9 jam dimana didapat hasil penurunan BOD (84,51%), COD (85,59%), dan TSS (94,03%).

Kata Kunci: *Biofilter, Limbah Domestik, Waktu Tinggal*

ALFIAN SATRIYADI SAPUTRA. 145100900111014. Analysis The Decline in BOD, COD and TSS Levels Liquid Waste Domestic The Results of Processing With Biofilter Anaerobic and Aerobic Uses The Media Gravel Based on Variations Hydraulic Retention Time. Skripsi. Supervisor: Dr. Ir. J.Bambang Rahadi, MS. and Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, MS.

SUMMARY

Increase the number of people who take place in every year of also accompanied by accretion activity public consumption in daily life. As the activity consumption also will be accompanied by increasing the rest of the out of the activities of the domestic waste. Domestic waste should be further handling before disposed to pollute the river. One method the that can be used in sewage treatment is the method liquid domestic biofilter anaerob and aerob using media gravel.

Research methods that were used is the experimental methods laboratorik, where experiments done in the scale of the laboratory. The process of domestic waste water treatment carried out using circulatory system in gravity. The waste water treatment domestic done in two steps in the preliminary test and experimental. Preliminary tests conducted in comparison or control of the results of the fittest where the introduction, the process of running done without the process of seeding (breeding bacteria) while at the trial was running after the process seeding (breeding bacteria). Seeding process was conducted over 2 days and continued acclimatization for 1 day, then continued with a running on the day ke-4 to observed decline BOD, COD and TSS levels treatment live in time to 5, 7, and 9 hours.

The research results show that been an increase in the womb BOD and COD on waste liquid domestic the results of processing without done a breeding bacteria, while on the parameter TSS a decline in where an increase in the womb BOD and COD the smallest and the decline in the greatest TSS exist at the level of 7 hours remaining with increase BOD

(9,71%), COD (24,54%), and decrease in TSS (74,19%). A different outcome acquired at processing with a breeding bacteria where overall a decline in the womb BOD, COD, and TSS. The largest fall in remaining to exist at the level to 9 hours where obtained the results of a decrease in BOD (84,51%), COD (85,59%), and TSS (94,03%).

Keywords: Biofilter, Domestic Waste, Retention Time

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Domestik Hasil Pengolahan dengan Biofilter Anaerob dan Aerob Menggunakan Media Kerikil Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal” dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. J.Bambang Rahadi, MS. dan Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, MS. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan saran-saran dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosoedarmo, MS. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
3. La Choviya Hawa, STP.MP. Ph.D selaku ketua jurusan Keteknikan Pertanian yang telah memberikan kemudahan dalam pelaksanaan penyusunan skripsi.
4. Bapak dan Ibu orang tua penulis yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan baik moril maupun materil kepada penulis.
5. Aprilia Harera selaku teman seperjuangan skripsi.
6. Donny, Miftakhul, Khafid, Yogo, Bagja, Alija, Naufal, Risyad, Anggit dan Zaky yang telah membantu penulis dalam persiapan alat dan bahan penelitian.
7. Zulvi, Tasya, Tafana, Riska, dan Silvia yang telah membantu penulis selama penelitian berlangsung.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan UB Angkatan 2014 yang selalu memberikan bantuan dan semangat dalam penulisan skripsi ini.
9. Serta pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang juga turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga penyusunan skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua pihak.

Malang, 26 Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
RIWAYAT HIDUP	v
LEMBAR PERUNTUKAN	vi
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR PERSAMAAN	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Hipotesis	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Cair Domestik	5
2.2 Pengolahan Limbah Cair Secara Biologi	7
2.3 Pengolahan Limbah Cair Dengan Proses Biofilter	8
2.4 Media Biofilter	9
2.4.1 Kriteria Pemilihan Media Biofilter	9
2.4.2 Jenis Media Biofilter	9
2.5 Kerikil	10
2.6 Biofilm	11
2.7 Seeding Dan Aklimatisasi	12
2.8 Karakteristik Air Limbah	13
2.8.1 Karakteristik Fisik	13
2.8.2 Sifat Kimia	14
2.8.3 Karakteristik Biologi	16
2.9 Baku Mutu Air Limbah Domestik	17

BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	18
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	19
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan	21
3.3 Metode Penelitian	21
3.4 Variabel Penelitian	22
3.5 Rancangan Percobaan	23
3.6 Tahapan Penelitian	24
3.6.1 Persiapan Alat Dan Bahan	27
3.6.2 Data Perhitungan Dan Kalibrasi Debit Bak Pengolahan	33
3.6.3 Pengambilan Dan Penanganan Limbah Cair Domestik	34
3.6.4 Seeding Dan Aklimatisasi	35
3.6.5 Running	35
3.6.6 Pengambilan Sampel Dan Analisa Akhir Parameter Limbah	36
3.7 Analisa Data	36
3.7.1 Efisiensi Penurunan Konsentrasi BOD, COD Dan TSS	37
3.7.2 Analisa Rancangan Percobaan	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Karakteristik Awal Limbah Cair Domestik MCK Terpadu Tlogomas	39
4.2 Perubahan Kandungan BOD	40
4.3 Perubahan Kandungan COD	44
4.4 Perubahan Kandungan TSS	47
4.5 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Penurunan Kandungan Parameter Uji	50
4.5.1 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Penurunan Kandungan BOD	50
4.5.2 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Penurunan Kandungan COD	52
4.5.3 Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Penurunan Kandungan TSS	54
4.6 Hasil Pengukuran pH Dan Suhu	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58

5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Hal.
Tabel 2.1	Perkiraan Volume Aliran Limbah Cair Dan Beban COD Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Bangunan Dan Pelayanan.....	5
Tabel 2.2	Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri	17
Tabel 3.1	Alat Penelitian.....	19
Tabel 3.2	Bahan Penelitian.....	21
Tabel 3.3	Kombinasi Perlakuan Rancangan Percobaan	23
Tabel 3.4	Rincian Komponen Bak Prototipe Pengolahan Limbah	28
Tabel 3.5	Rincian Besar Debit Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal	33
Tabel 4.1	Karakteristik Awal Limbah Cair Domestik MCK Terpadu Tlogomas	39
Tabel 4.2	Penurunan Kandungan BOD Hasil Pengolahan Dengan Pembibitan Bakteri Pada Setiap Perlakuan.....	51
Tabel 4.3	Penurunan Kandungan COD Hasil Pengolahan Dengan Pembibitan Bakteri Pada Setiap Perlakuan.....	53
Tabel 4.4	Penurunan Kandungan TSS Hasil Pengolahan Dengan Pembibitan Bakteri Pada Setiap Perlakuan.....	56

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Hal.
Gambar 3.1	Lokasi Pengambilan Sampel Limbah Cair Domestik	18
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahapan Penelitian	25
Gambar 3.3	Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah Cair Domestik.....	26
Gambar 3.4	Desain Rangkaian Bak Pengolahan.....	28
Gambar 4.1	Kandungan BOD Dalam Bak Anaerob Tanpa Pembibitan Bakteri Dan Dengan Pembibitan Bakteri.....	41
Gambar 4.2	Kandungan BOD Dalam Bak Aerob Tanpa Pembibitan Bakteri Dan Dengan Pembibitan Bakteri.....	41
Gambar 4.3	Kandungan COD Dalam Bak Anaerob Tanpa Pembibitan Bakteri Dan Dengan Pembibitan Bakteri.....	44
Gambar 4.4	Kandungan COD Dalam Bak Aerob Tanpa Pembibitan Bakteri Dan Dengan Pembibitan Bakteri.....	45
Gambar 4.5	Kandungan TSS Dalam Bak Anaerob Tanpa Pembibitan Bakteri Dan Dengan Pembibitan Bakteri.....	48
Gambar 4.6	Kandungan TSS Dalam Bak Aerob Tanpa Pembibitan Bakteri Dan Dengan Pembibitan Bakteri.....	48

DAFTAR PERSAMAAN

Nomor	Teks	Hal.
Persamaan 3.1	Model Umum RAK (Rancangan Acak Kelompok).....	24
Persamaan 3.2	Efisiensi Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Domestik.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Hal.
Lampiran 1.	Data Perhitungan Debit.....	65
Lampiran 2.	Data Kalibrasi Debit Bak Pengolahan.....	67
Lampiran 3.	Data Hasil Penelitian.....	68
Lampiran 4.	Data Hasil Pengukuran pH dan Suhu.....	70
Lampiran 5.	Data Persentase Perubahan Kandungan Parameter Uji	72
Lampiran 6.	Sertifikat Hasil Pengujian Parameter Penelitian	73
Lampiran 7.	Data Penurunan Kandungan Parameter Uji	83
Lampiran 8.	Hasil Perhitungan Analisis Sidik Ragam (ANOVA) Dengan Menggunakan SPSS	84
Lampiran 9.	Dokumentasi Kegiatan	93

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk yang cukup banyak. Menurut Badan Pusat Statistik (2017), jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2010 adalah sebanyak 237.641.326 jiwa, yang mencakup mereka yang bertempat tinggal di daerah perkotaan sebanyak 118.320.256 jiwa (49,79 persen) dan di daerah perdesaan sebanyak 119.321.070 jiwa (50,21 persen). Salah satu kota yang terdapat di Negara Indonesia yang memiliki jumlah penduduk cukup padat adalah Kota Malang. Kota Malang terletak di Provinsi Jawa Timur. Menurut BPS Kota Malang (2017), jumlah penduduk Kota Malang Tahun 2010 yaitu sebanyak 820.243 jiwa yang tersebar dalam 5 kecamatan dan tentunya saat ini jumlah penduduk Kota Malang jauh lebih meningkat dibanding Tahun 2010. Dengan jumlah penduduk yang cukup banyak tersebut maka tentunya kebutuhan hidup masyarakat juga akan semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk setiap tahunnya. Meningkatnya kebutuhan hidup masyarakat akan diikuti dengan meningkatnya aktivitas konsumsi, baik dari aktivitas konsumsi makanan, air bersih, maupun kebutuhan hidup lainnya.

Seiring meningkatnya aktivitas konsumsi masyarakat maka dari aktivitas tersebut akan dapat menghasilkan hasil buangan yang sudah tidak terpakai lagi yang dinamakan limbah. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan masyarakat sehari-hari tergolong sebagai limbah domestik. Limbah cair domestik atau air limbah rumah tangga merupakan buangan manusia (tinja dan air seni) dan *sullage*, yaitu air limbah yang dihasilkan kamar mandi, pencucian pakaian dan alat-alat dapur serta kegiatan rumah tangga lainnya. Air limbah rumah tangga ini berpotensi sebagai pencemar lingkungan apabila tidak dikelola dengan semestinya (Santoso, 2014). Limbah cair domestik ini sebelum dibuang ke sungai maka sebaiknya harus melewati proses pengolahan terlebih dahulu agar kadar pencemar dalam limbah cair tersebut dapat dikurangi sehingga tidak mencemari sungai.

Menurut Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Malang Tahun 2016 menyebutkan bahwa Limbah domestik mendominasi pencemaran air di Kota Malang. Limbah domestik berkontribusi 60-70 persen dalam pencemaran air dari tahun ke tahun. Perlu adanya upaya lebih lanjut untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair domestik adalah metode biofilter. Biofilter dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang diatas suatu media, yang dapat terbuat dari plastik, kerikil, yang di dalam operasinya dapat tercelup sebagian atau seluruhnya, atau yang hanya dilewati air saja (tidak tercelup sama sekali), dengan membentuk lapisan lendir untuk melekat di atas permukaan media tersebut sehingga membentuk lapisan biofilm (Hadiwidodo.dkk, 2012). Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm atau biofilter tersebut dapat dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah, dan proses anaerobik dilakukan dengan tanpa adanya oksigen dalam reaktor air limbah. Sedangkan proses kombinasi anaerob - aerob adalah merupakan gabungan proses anaerobik dan proses aerobik (Said, 2000). Menurut Said dan Wahjono (1999), efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontaknya maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organiknya (BOD) makin besar. Selain menghilangkan atau mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini dapat juga mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau suspended solids (SS), deterjen (MBAS), ammonium dan posphor.

Sehubungan dengan hal diatas, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis penurunan kadar BOD, COD dan TSS limbah cair domestik dengan menggunakan biofilter media kerikil yang dilakukan pada proses anaerob dan aerob berdasarkan variasi waktu tinggal. Metode ini diharapkan dapat mengurangi kandungan bahan organik didalam limbah cair domestik khususnya pada parameter BOD, COD dan TSS

sehingga lebih aman untuk dibuang ke sungai. Selain itu metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu pengolahannya sangat mudah dan tidak membutuhkan banyak biaya dari segi operasional. Biofilter dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar dan dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik (Filliazati.dkk, 2013).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh metode biofilter anaerob dan aerob menggunakan media kerikil terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS limbah cair domestik?
2. Bagaimana pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS dalam limbah cair domestik?
3. Bagaimana efisiensi penurunan kadar BOD, COD dan TSS limbah cair domestik hasil pengolahan dengan biofilter anaerob dan aerob?

1.3 Hipotesis

Diduga perlakuan sistem anaerob dan aerob pada biofilter menggunakan media kerikil dapat memberikan pengaruh terhadap penurunan BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh metode biofilter anaerob dan aerob menggunakan media kerikil terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS limbah cair domestik.
2. Mengetahui pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS dalam limbah cair domestik.
3. Mengetahui efisiensi penurunan kadar BOD, COD dan TSS limbah cair domestik hasil pengolahan dengan biofilter anaerob dan aerob.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai peningkatan, pengembangan dan penerapan ilmu pengetahuan peneliti tentang pengolahan air limbah domestik dengan metode biofilter yang dibedakan atas proses biologis dan waktu tinggal air limbah.
2. Sebagai pengetahuan bagi masyarakat mengenai pengolahan air limbah domestik dengan metode biofilter anaerob dan aerob, sehingga diharapkan masyarakat dapat lebih sadar mengenai pengolahan air limbah domestik dan dapat mengimplementasikan penelitian ini sebagai salah satu solusi dalam pengolahan air limbah domestik di lingkungan mereka secara nyata.
3. Sebagai salah satu solusi alternatif bagi pemerintah dalam pengolahan air limbah domestik skala rumah tangga, sehingga dapat membantu pemerintah dalam mewujudkan lingkungan tetap lestari, sehat dan nyaman untuk ditinggali oleh masyarakat kedepannya.

1.6 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Air limbah domestik yang akan digunakan tidak dikarakterisasi terlebih dahulu.
2. Air limbah domestik berasal dari kolam penampungan pertama di MCK Terpadu Tlogomas Malang.
3. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium meliputi, proses biologis dengan sistem biofilter anaerob dan aerob menggunakan media kerikil.
4. Tidak melakukan identifikasi terhadap jenis mikroorganismenya yang digunakan.
5. Tidak membahas kontrol mikroorganismenya selama penelitian berlangsung.
6. Hanya membahas parameter yang akan dianalisis yaitu BOD, COD dan TSS.
7. Tidak dilakukan analisis biaya pada penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Domestik

Limbah cair domestik adalah hasil buangan dari perumahan, bangunan perdagangan, perkantoran, dan sarana sejenisnya (Soeparman dan Suparmin. 2002). Menurut Simanjuntak.dkk (2015), air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari kegiatan permukiman, rumah sakit, perkantoran, dan lain-lain. Jumlah air limbah yang dibuang akan selalu bertambah dengan meningkatnya jumlah penduduk dan kegiatannya. Perlu diterapkan sistem penanganan air limbah yang baik dan terpadu, baik itu dalam sistem penyaluran maupun pengolahannya. Sistem pengolahan dan penyaluran air limbah pada umumnya terdiri dan 2 macam yaitu sistem pengolahan *on-site* (setempat) dan sistem pengolahan *off-site* (terpusat). Sistem *on-site* digunakan untuk individu dan komunal, sedangkan *off-site* biasanya untuk skala kota. Gambaran umum tentang karakteristik limbah cair domestik sebelum diolah, setelah diendapkan dan setelah diolah secara biologis konvensional dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Perkiraan Volume Aliran Limbah Cair dan Beban BOD yang Dihasilkan dari Berbagai Jenis Bangunan dan Pelayanan

Jenis Bangunan	Volume Limbah Cair (liter/orang/hari)	Beban BOD (gram/orang/hari)
Daerah perumahan:		
Rumah besar untuk keluarga tunggal	400	100
Rumah tipe tertentu untuk keluarga tunggal	300	80
Rumah untuk keluarga ganda (rumah susun)	240-300	80
Rumah kecil (<i>cottage</i>) (Jika dipasang penggiling sampah, kalikan BOD dengan faktor 1,5)	200	80

Jenis Bangunan	Volume Limbah Cair (liter/orang/hari)	Beban BOD (gram/orang/hari)
Perkemahan dan motel:		
Tempat peristirahatan mewah	400-600	100
Tempat parkir rumah berjalan (<i>mobile home</i>)	200	80
Kemah wisata dan tempat parkir <i>trailer</i>	140	70
Hotel dan motel	200	50
Sekolah:		
Sekolah dengan asrama	300	80
Sekolah siang hari dengan kafetaria	80	30
Sekolah siang hari tanpa kafetaria	60	20
Restoran:		
Tiap pegawai	120	50
Tiap langganan	25-40	20
Tiap makanan yang disajikan	15	15
Terminal transportasi:		
Tiap pegawai	60	25
Tiap penumpang	20	10
Rumah Sakit	600-1200	30
Kantor	60	25
Teater mobil (<i>drive in theatre</i>), per tempat duduk	20	10
Bioskop, per tempat duduk	10-20	10
Pabrik, tidak termasuk limbah cair industri dan kafetaria	60-120	25

Sumber: Hammer (1977).

Menurut Hammer (1977), volume limbah cair dari daerah perumahan bervariasi, dari 200 sampai 400 liter per orang per hari, tergantung pada tipe rumah. Aliran terbesar berasal dari rumah keluarga tunggal yang mempunyai beberapa kamar mandi, mesin cuci otomatis, dan peralatan lain yang

menggunakan air. Angka volume limbah cair sebesar 400 liter/orang/hari biasa digunakan untuk limbah cair rumah tangga yang mencakup limbah cair dari perumahan dan perdagangan, ditambah dengan rembesan air tanah (*infiltration*). Beban BOD yang ditimbulkan pada limbah cair kira-kira 80 gram/orang/hari. Buangan dari dapur rumah tangga yang dialirkan melalui alat penggiling sampah (*grinder*) akan meningkatkan BOD per orang sebesar 30- 50%.

2.2 Pengolahan Limbah Cair Secara Biologi

Pengolahan secara biologi adalah pengolahan yang memanfaatkan mikrobial untuk pembusukan dan untuk menghilangkan koloid dan bahan-bahan organik dari air limbah dengan pemberian oksigen yang cukup untuk mempertahankan kehidupan mikroorganisme dan memelihara kondisi anaerobik. Dalam pengolahan ini sejumlah besar jenis bakteri dan protozoa yang ada pada limbah tertentu menimbulkan satuan-satuan pengolahan dengan pengaturan air limbah yang baik. Adanya sirkulasi dari mikroorganisme yang mengendap, oksigen yang tersedia dan unsur-unsur, kultur biologi yang diinginkan menjadi ada dan disimpan untuk proses zat-zat pengatur (Hammer, 1977).

Demi kesinambungan dan fungsi proses biologi yang baik, mikroorganisme membutuhkan sumber energi dan sumber-sumber karbon untuk pembentukan sel-sel baru, bahan-bahan yang penting juga dalam pembentukan sel antara lain sulfur, potasium, calcium, dan magnesium. Sedangkan dua macam sumber karbon yang umum digunakan untuk pembentukan sel adalah oksigen dan bahan organik. Mikroorganisme dalam pengolahan biologi digunakan untuk mengubah bahan organik. Karbon yang larut dan bersifat koloid menjadi bermacam-macam gas dan membentuk sel baru. Oleh karena mikroorganisme mempunyai berat jenis yang sedikit lebih besar dari padatan tersuspensinya maka dapat diendapkan secara spontan. Nutrien dan substrat organik dan anorganik air limbah kadang-kadang merupakan bahan pembatas bagi sintesa sel dan pertumbuhannya sehingga

penambahan nutrisi ke dalam air limbah diperlukan (Hartanti, 2006).

2.3 Pengolahan Limbah Cair Dengan Proses Biofilter

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang telah diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Proses anaerobik dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen. Biofilter yang baik adalah menggunakan prinsip biofiltrasi yang memiliki struktur menyerupai saringan dan tersusun dari tumpukan media penyangga yang disusun baik secara teratur maupun acak di dalam suatu biofilter. Adapun fungsi dari media penyangga yaitu sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya bakteri yang akan melapisi permukaan media membentuk lapisan massa yang tipis (*biofilm*) (Herlambang dan Marsidi, 2003).

Pengolahan air limbah dengan proses Biofilter anaerob-aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan proses biofilter aerob. Ketika menggunakan proses biofilter anaerob, polutan organik yang ada di dalam air limbah akan terurai menjadi gas karbon dioksida dan metana tanpa menggunakan energi (blower udara), tetapi amoniak dan gas hidrogen sulfida (H_2S) tidak hilang. Oleh karena itu jika hanya menggunakan proses biofilter anaerob saja hanya dapat menurunkan polutan organik (BOD, COD) dan padatan tersuspensi (TSS). Agar supaya hasil air olahan dapat memenuhi baku mutu maka air olahan dari proses biofilter anaerob selanjutnya diproses menggunakan biofilter aerob. Dengan proses biofilter aerob polutan organik yang masih tersisa akan terurai menjadi gas karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O), amoniak akan teroksidasi menjadi nitrit selanjutnya akan menjadi nitrat, sedangkan gas H_2S akan diubah menjadi sulfat. Dengan menggunakan proses biofilter anaerob-aerob maka akan dapat dihasilkan air olahan dengan kualitas yang baik dengan menggunakan konsumsi energi yang lebih rendah (Selintung.dkk, 2016).

2.4 Media Biofilter

2.4.1 Kriteria Pemilihan Media Biofilter

Menurut Said (2002), media biofilter termasuk hal yang penting, karena sebagai tempat tumbuh dan menempel mikroorganisme, untuk mendapatkan unsur-unsur kehidupan yang dibutuhkannya, seperti nutrisi dan oksigen. Dua sifat yang paling penting yang harus ada dari media adalah :

- a. Luas permukaan dari media, karena semakin luas permukaan media maka semakin besar jumlah biomassa per-unit volume.
- b. Persentase ruang kosong, karena semakin besar ruang kosong maka semakin besar kontak biomassa yang menempel pada media pendukung dengan substrat yang ada dalam air buangan.

2.4.2 Jenis Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan anorganik. Media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur (*random packing*), bentuk paparan (*plate*) dan bentuk sarang tawon. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik misalnya batu pecah, kerikil, batu marmer dan batu tembikar. Proses pengolahan dengan biofilter dilakukan pengkondisian limbah terlebih dahulu dimana sampai efluen yang berasal dari proses pengolahan mengalami kondisi tunak (*steady state*) dengan efisiensi penyisihan relatif konstan dengan toleransi 10% (Hadiwidodo.dkk, 2012).

Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula, tetapi volume rongga menjadi lebih kecil. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah (*down flow*) maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang

dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (*short pass*) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis (Said dan Ruliasih, 2005).

Media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC dan lainnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar (Rustanto dan Karnaningroem, 2012).

2.5 Kerikil

Golongan ini terdiri dari pecahan-pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butiran-butiran batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan batu, tetapi kadang-kadang mungkin pula terdiri dari satu macam zat mineral tertentu, misalnya *kwartz* atau *flint*. Butiran-butiran pasir hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama *kwartz*. Butiran-butiran tersebut bisa terdapat dalam satu ukuran saja (*uniformly graded*) atau mencakup seluruh ukuran dari batu besar sampai pasir halus, keadaan ini disebut bahan yang bergradasi baik (*well graded*) (Tanny dan Kristianto, 2010).

Berbagai ukuran kerikil dan batuan telah digunakan dalam biofilter sejak abad ke sembilan belas untuk berbagai penggunaan. Dapat dipakai baik untuk biofilter tercelup ataupun untuk trickling filter. Masih tetap digunakan untuk berbagai keperluan termasuk akuarium, akuakultur dan pengolahan air buangan rumah tangga. Bahan-bahan yang terbuat dari tanah liat banyak tersedia, murah dan relatif mempunyai luas permukaan spesifik tinggi. Batu dan kerikil bersifat inert dan tidak pecah dengan kekuatan mekanikal yang baik, serta bahan tersebut mempunyai sifat kebasahan yang baik (Said dan Ruliasih, 2005).

2.6 Biofilm

Biofilm adalah kumpulan sel mikroorganisme, khususnya bakteri, yang melekat di suatu permukaan dan diselimuti oleh pelekat karbohidrat yang dikeluarkan oleh bakteri. Biofilm terbentuk karena mikroorganisme cenderung menciptakan lingkungan mikro dan relung (*niche*) mereka sendiri. Biofilm memerangkap nutrisi untuk pertumbuhan populasi mikroorganisme dan membantu mencegah lepasnya sel-sel dari permukaan pada sistem yang mengalir. Permukaan sendiri adalah habitat yang penting bagi mikroorganisme karena nutrisi dapat terperangkap pada permukaan sehingga kandungan nutrisinya dapat lebih tinggi daripada di dalam larutan. Konsekuensinya, jumlah dan aktivitas mikroba pada permukaan biasanya lebih tinggi daripada di air. Bukti-bukti menunjukkan bahwa pembentukan biofilm lebih disukai oleh mikroorganisme, dan hampir semua permukaan yang terkena kontak dengan mikroba dapat mendukung pembentukan biofilm. Selain bakteri, mikroorganisme lainnya seperti alga dan khamir (fungi bersel satu) juga dapat membentuk biofilm (Madigan *et al.*, 2006) dalam Yusuf (2012).

Menurut Gunardi (2014), faktor-faktor yang mempengaruhi perlekatan sel-sel bakteri dalam pembentukan biofilm adalah sebagai berikut:

a. Efek substratum (Permukaan)

Perlekatan terjadi lebih baik pada permukaan yang kasar, karena akan menurunkan kekuatan aliran yang dapat melepaskan biofilm, dan permukaan yang kasar mempunyai luas permukaan yang lebih besar. Hal lain adalah mikroorganisme lebih baik melekat pada permukaan yang hidrofobik seperti teflon dan plastik dibandingkan pada gelas atau logam.

b. *Conditioning film.*

Permukaan yang terpapar oleh media cair akan segera ditutupi oleh polimerpolimer dari medium dan menimbulkan modifikasi kimiawi yang akan mempengaruhi pertumbuhan dan perluasan dari perlekatan mikroorganisme pada permukaan

tersebut. Contohnya yang terjadi pada enamel gigi yang dilapisi oleh *proteinaceous film* yang disebut '*acquired pellicle*' dimana sel-sel bakteri akan melekat pada enamel dalam beberapa jam paparan.

c. Hidrodinamik

Semakin cepat aliran cairan yang terjadi maka semakin mempercepat perlekatan sel pada permukaan karena sel-sel akan bertubulensi dan berputar. Hal ini terbatas sampai kecepatan tidak melepaskan perlekatan sel-sel dari permukaan.

d. Karakteristik media cairan

Seperti pH, suhu, jumlah zat gizi, kation dan adanya antimikroba akan mempengaruhi perlekatan.

e. Keadaan permukaan sel bakteri

Permukaan sel yang hidrofobik, adanya fimbriae, flagel, dan polisakarida atau protein pada permukaan sel bakteri akan mempermudah perlekatan, terutama bila terjadi kompetisi dalam suatu kumpulan mikroorganisme.

2.7 Seeding Dan Aklimatisasi

Pengembangbiakan mikroorganisme atau disebut juga *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme. *Seeding* yang dilakukan adalah *seeding* secara alami dengan cara mengalirkan air limbah domestik secara kontinyu ke dalam reaktor biofilter. Penggunaan air limbah domestik dikarenakan air buangan ini kaya akan mikroorganisme dan telah mempunyai sumber karbon yang cukup sehingga pertumbuhan mikroorganisme pada media akan menjadi cepat. Pemberian tambahan karbon dari glukosa hanya diberikan sewaktu-waktu. Saat konsentrasi COD limbah domestik rendah, glukosa tidak diberikan setiap hari (Said, 2005).

Aklimatisasi termasuk dalam penelitian pendahuluan atau dapat dikatakan termasuk langkah awal penelitian pengolahan limbah secara biologis. Tahapan ini dilaksanakan dalam upaya untuk menumbuhkan mikroorganisme yang

berperan penting dalam proses penyisihan materi organik secara biologis. Aklimatisasi dilakukan secara alami, yakni mikroorganisme langsung dibiakkan di dalam reaktor yang telah terisi media kerikil, dengan cara mengalirkan media dengan air limbah secara terus – menerus selama 8 – 14 hari (Zahra dan Purwanti, 2015).

2.8 Karakteristik Air Limbah

Menurut Windari (2013), ada beberapa karakteristik air limbah, yaitu karakteristik fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik tersebut dijelaskan sebagai berikut:

2.8.1 Karakteristik Fisik

Sifat fisik suatu limbah ditentukan berdasarkan jumlah padatan terlarut, tersuspensi dan total padatan, alkalinitas, kekeruhan, warna, salinitas, daya hantar listrik, bau dan temperatur. Sifat fisik ini beberapa diantaranya dapat dikenali secara visual tapi untuk mengetahui secara pasti maka digunakan analisis laboratorium.

a. Padatan

Limbah didalam kandungannya ditemukan zat padat yang secara umum diklasifikasikan kedalam dua golongan besar yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel koloid dan partikel biasa. Jenis partikel dapat dibedakan berdasarkan diameternya. Jenis padatan terlarut maupun tersuspensi dapat bersifat organik maupun sifat inorganik tergantung dari mana sumber limbah.

b. Kekeruhan

Sifat keruh air dapat dilihat dengan mata secara langsung karena ada partikel koloidal yang terdiri dari kwartz, tanah liat, sisa bahan-bahan, protein dan ganggang yang terdapat dalam limbah. Kekeruhan merupakan sifat optis larutan. Sifat keruh membuat hilang nilai estetikanya.

c. Bau

Sifat bau limbah disebabkan karena zat-zat organik yang telah terurai dalam limbah mengeluarkan gas-gas seperti sulfida atau amoniak yang menimbulkan penciuman tidak enak bagi penciuman disebabkan adanya campuran nitrogen, sulfur dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein yang dikandung limbah. Dengan adanya bau ini akan lebih mudah menghindarkan tingkat bahaya yang ditimbulkannya dibandingkan dengan limbah yang tidak menghasilkan bau.

d. Suhu

Suhu berfungsi memperlihatkan aktifitas kimiawi dan biologis. Pada suhu tinggi pengentalan cairan berkurang dan mengurangi sedimentasi. Tingkat zat oksidasi lebih besar pada suhu tinggi dan pembusukan jarang terjadi pada suhu rendah.

e. Warna

Warna dalam air disebabkan adanya ion-ion logam besi dan mangan (secara alami), humus, plankton, tanaman, air dan buangan industri. Warna berkaitan dengan kekeruhan, dan dengan menghilangkan kekeruhan kelihatan warna nyata. Demikian juga warna dapat disebabkan zat-zat terlarut dan zat tersuspensi. Warna menimbulkan pemandangan yang jelek dalam air limbah meskipun warna tidak menimbulkan sifat racun.

2.8.2 Sifat Kimia

Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh BOD, COD, dan logam-logam berat yang terkandung dalam air limbah seperti pada penjelasan dibawah ini:

a. BOD

Pemeriksaan BOD dalam limbah didasarkan atas reaksi oksidasi zat-zat organis dengan oksigen dalam air dimana proses tersebut dapat berlangsung karena ada sejumlah bakteri. Diperhitungkan selama dua hari reaksi lebih dari sebagian reaksi telah tercapai. BOD adalah kebutuhan oksigen bagi

jumlah bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) semua zat-zat organik yang terlarut maupun sebagai tersuspensi dalam air menjadi bahan organik yang lebih sederhana. Nilai ini hanya merupakan jumlah bahan organik yang dikonsumsi bakteri. Penguraian zat-zat organik ini terjadi secara alami. Aktifnya bakteri-bakteri menguraikan bahan-bahan organik bersamaan dengannya habis pula dikonsumsi oksigen.

b. COD

Pengukuran kekuatan limbah dengan COD adalah bentuk lain pengukuran kebutuhan oksigen dalam limbah. Metode ini lebih singkat waktunya dibandingkan dengan analisa BOD. Pengukuran ini menekankan kebutuhan oksigen akan kimia dimana senyawa-senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dipecah secara biokimia. Adanya racun atau logam tertentu dalam limbah pertumbuhan bakteri akan terhalang dan pengukuran BOD menjadi tidak realistis. Untuk mengatasinya lebih tepat menggunakan analisa COD. COD adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganis dan organis sebagaimana pada BOD. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat anorganik.

c. Methan

Gas methan terbentuk akibat penguraian zat-zat organik dalam kondisi anaerob pada air limbah. Gas ini dihasilkan lumpur yang membusuk pada dasar kolam, tidak berdebu, tidak berwarna dan mudah terbakar. Methan juga ditemukan pada rawa-rawa dan sawah.

d. Keasaman air

Keasaman air diukur dengan pH meter. Keasaman ditetapkan berdasarkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Air buangan yang mempunyai pH tinggi atau rendah menjadikan air steril dan sebagai akibatnya membunuh mikroorganisme air yang diperlukan untuk keperluan biota tertentu. Limbah air dengan keasaman tinggi bersumber dari

buangan yang mengandung asam seperti air pembilas pada pabrik pembuatan kawat atau seng.

e. Alkalinitas

Tinggi rendahnya alkalinitas air ditentukan air senyawa karbonat, garam-garam hidrokisda, magnesium dan natrium dalam air. Tingginya kandungan zat tersebut mengakibatkan kesadahan dalam air. Semakin tinggi kesadahan suatu air semakin sulit air berbuih.

f. Lemak dan minyak

Kandungan lemak dan minyak yang terdapat dalam limbah bersumber dari industri yang mengolah bahan baku mengandung minyak bersumber dari proses klasifikasi dan proses perebusan. Limbah ini membuat lapisan pada permukaan air sehingga membentuk selaput.

g. Oksigen terlarut

Keadaan oksigen terlarut berlawanan dengan keadaan BOD. Semakin tinggi BOD semakin rendah oksigen terlarut. Keadaan oksigen terlarut dalam air dapat menunjukkan tanda-tanda kehidupan ikan dan biota dalam perairan. Semakin banyak ganggang dalam air semakin tinggi kandungan oksigennya.

h. Logam-logam berat dan beracun

Logam berat pada umumnya adalah metal-metal seperti copper, selter pada cadmium, air raksa, lead, chromium, iron dan nikel. Metal lain yang juga termasuk metal berat adalah arsen, selenium, cobalt, mangan, dan aluminium. Logam-logam ini dalam konsentrasi tertentu membahayakan bagi manusia.

2.8.3 Karakteristik Biologi

Bahan-bahan organik dalam air terdiri dari berbagai macam senyawaan. Protein adalah salah satu senyawa kimia organik yang membentuk rantai kompleks, mudah terurai menjadi senyawa-senyawa lain seperti asam amino. Bahan

yang mudah larut dalam air akan terurai menjadi enzim dan bakteri tertentu. Bahan ragi akan terfermentasi menghasilkan alkohol. Pati sukar larut dalam air, akan tetapi dapat diubah menjadi gula oleh aktifitas mikrobiologi. Bahan-bahan ini dalam limbah akan diubah oleh mikroorganismenya menjadi senyawa kimia yang sederhana seperti karbon dioksida dan air serta amoniak (Ginting, 2006).

2.9 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Air limbah domestik yang dilepas ke lingkungan khususnya sungai harus memenuhi standar baku mutu air limbah domestik. Baku mutu air limbah domestik adalah batas atau kadar unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah domestik yang akan dilepas ke air permukaan (Sari, 2013). Sesuai dengan lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, maka parameter kunci untuk air limbah domestik tersendiri adalah pH, BOD, COD, TSS, Minyak & Lemak, Amoniak, Total Coliform, dan Debit. Baku mutu air limbah domestik tersendiri dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	Mg/L	30
COD	Mg/L	100
TSS	Mg/L	30
Minyak & Lemak	Mg/L	5
Amoniak	Mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100 mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber: Permen LH dan Kehutanan No 68 Tahun 2016

~ " # \$ % & \$ ' (\$) % * ' fi ! ' ! + , % , \$ ' ' .

~ " # \$ % & \$ ' (\$) % * ' fi ! ' ! + , % , \$ ' ' .

Pengambilan sampel limbah cair domestik dilakukan di MCK Terpadu RT 03 RW 07 Kelurahan Tlogomas, Kota Malang yang terletak pada koordinat 7°55'29.8" Lintang Selatan dan 112°36'02.2" Bujur Timur. Perancangan bak pengolahan dan aktivitas pengolahan limbah cair domestik dengan menggunakan metode biofilter anaerob dan aerob dilakukan di Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Pengujian parameter BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik dilakukan di Perum Jasa Tirta I Jalan Surabaya Kota Malang. Penelitian mengenai penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik hasil pengolahan dengan metode biofilter anaerob dan aerob dilakukan mulai bulan November 2017 – Januari 2018. Peta lokasi pengambilan sampel limbah cair domestik dapat dilihat pada - \$ " . \$ / ~ " .



- \$ " . \$ / ~ " Lokasi Pengambilan Sampel di MCK Terpadu Tlogomas Kota Malang

1.20. ~ +\$%'&\$' '\$1\$'fi!' !+,%, \$'

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian mengenai penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik hasil pengolahan dengan metode biofilter anaerob dan aerob disebutkan seperti di bawah ini:

1.20.2. ~ +\$%'

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

~ \$. !+ ' 1.2.2 Alat Penelitian

1.2.2.1	~ +\$%'	3# !4,5,) \$4,'	6* '74,'
1.	Kerangka Besi	Berbahan besi; Memiliki tinggi = 70 cm	Sebagai kerangka penyangga bak pengolahan
2.	Bak Pengolahan	Berukuran 20x20x30 cm ³ ; Ketebalan = 5 mm; Kapasitas = ±12 liter; Jenis kaca bening	Sebagai wadah percobaan pengolahan limbah cair domestik
3.	Drum Plastik	Tinggi = 85 cm; Diameter atas = 38 cm; Diameter tengah = 44 cm; Kapasitas = ±120 liter	Sebagai wadah penampung awal air limbah cair domestik
4.	Selang Air	Panjang = 13 cm; Diameter dalam = 1,4 cm	Sebagai saluran air limbah dari bak inlet ke bak anaerob.
5.	Aerator	Merk "Aerobator VOSSO V-2008"; Power = 2,5 watt; Air Flow = 2,5 liter/menit; Pressure = > 0.014 Mpa; Memiliki 1 buah lubang suplai udara	Alat untuk penyuplai oksigen dalam bak aerob
6.	Batu Aerator	Diameter = 1,4 cm; Panjang = 2 cm	Tempat keluarnya udara dari aerator untuk menyuplai

No	Nama Alat/Bahan	Spesifikasi	Fungsi
7.	Beaker Glass	Kapasitas = 250 ml	Sebagai wadah sampel saat pengujian, dan untuk mengukur volume MICROBAC
8.	Kran Air	Diameter dalam = 1,4 cm	Sebagai tempat keluar air dari bak pengolahan
9.	Botol Sampel	Kapasitas = 600 ml	Untuk menyimpan sampel yang akan diujikan
10.	Gelas ukur	Berbahan plastik; Kapasitas = 2 liter	Untuk mengukur volume air limbah
11.	Jerigen	Kapasitas = ±25 liter	Sebagai wadah untuk pengambilan limbah cair domestik
12.	Stop Kontak	Kapasitas = 4 lubang	Sebagai penghubung ke sumber listrik
13.	Cool Box	Berbahan Sterofoam	Sebagai tempat untuk pengawetan sampel
14.	Kerikil	Diameter = 2 cm; Berwarna abu-abu	Sebagai media lekat biofilm
15.	Selang Aerasi	Panjang = 1 m; Diameter dalam = 4 mm	Sebagai tempat mengalirnya udara yang dihembuskan oleh pompa udara
16.	Termometer	LCD Non-Kontak IR, Suhu kisaran: -50 - 330 °Celsius (-58 – 626 °Fahrenheit)	Untuk mengukur suhu limbah cair domestik
17.	pH Meter	Pen Type pH Meter (pH-009 (I)A)	Untuk mengukur pH limbah cair domestik

1.2.1.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1.2.1.1.1. Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Fungsi
1.	Limbah cair domestik	Sebagai bahan uji dalam proses pengolahan
2.	MICROBAC	Sebagai starter pembentukan biofilm
3.	Es Batu	Sebagai pengawet sampel dalam cool box
4.	Kertas label	Untuk memberikan label pada setiap perlakuan
5.	Sarung Tangan	Sebagai pelindung tangan
6.	Masker	Sebagai pelindung wajah

1.2.1.1.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorik. Metode eksperimental laboratorik ini merupakan percobaan dalam skala laboratorium yang dilakukan dengan tiga kali pengulangan (*n=3*). Sampel air limbah diambil menggunakan metode pengambilan sampel sesaat (*grab sample*) atau satu kali. Proses pengolahan air limbah domestik yang dilakukan dengan metode biofilter anaerob dan aerob menggunakan sistem sirkulasi secara gravitasi. Proses pengolahan air limbah domestik dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap uji pendahuluan dan tahap percobaan. Uji pendahuluan dilakukan sebagai perbandingan atau kontrol terhadap hasil dari percobaan dimana pada uji pendahuluan, proses *biodegradasi* langsung dilakukan tanpa adanya proses *inokulasi* (pembibitan bakteri) terlebih dahulu. Tahap percobaan dilakukan setelah tahap uji pendahuluan, dimana pada tahap ini proses *biodegradasi* dilakukan setelah proses *inokulasi* (pembibitan bakteri) selama 2 hari.

Pada tahap awal dilakukan pengujian karakteristik awal sampel limbah domestik terlebih dahulu terhadap parameter BOD, COD dan TSS sebelum limbah cair digunakan dalam

proses penelitian. Proses CDDFDE dilakukan untuk menumbuhkan bakteri pengurai limbah selama 2 hari. Setelah selesai proses CDDFDE maka selanjutnya dilakukan proses aklimatisasi selama 1 hari. Setelah proses aklimatisasi selesai, selanjutnya dilanjutkan dengan proses AADDDE untuk melihat bagaimana pengaruh waktu tinggal terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik hasil pengolahan. Waktu tinggal hidrolis (WTH) adalah waktu perjalanan limbah cair di dalam reaktor, atau lamanya proses pengolahan limbah cair tersebut. Semakin lama waktu tinggal, maka penyisihan yang terjadi akan semakin besar (Said, 2008). Menurut Said (2008), waktu tinggal total rata-rata bak biofilter anaerob dan aerob adalah sama yaitu 6 – 8 jam, sehingga berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini, waktu tinggal yang akan digunakan yaitu pada jam ke- 5, 7, dan 9. Pada tahap akhir dilakukan pengambilan sampel untuk selanjutnya diuji dan dianalisa bagaimana efisiensi pengolahan air limbah domestik menggunakan sistem anaerob dan aerob terhadap penurunan kadar BOD, COD dan TSS.

128 9\$,\$. !+fi! ' !+,%,\$'

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas ($\text{EDFDADDFDEA ICAC IED}$)

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi perubahan atau variabel yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat. Pada penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah variasi waktu tinggal. Waktu tinggal divariasikan pada bak anaerob dan bak aerob yaitu 5 jam, 7 jam, dan 9 jam.

2. Variabel Terikat ($\text{EDADDFDEA ICAC IED}$)

Variabel terikat merupakan variabel yang menjadi titik persoalan yang keadaanya tergantung kepada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu konsentrasi BOD, COD, dan TSS.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang mampu dikendalikan untuk mengetahui hubungan variabel bebas dengan variabel terikat tidak terpengaruh oleh faktor luar yang tidak diteliti.

a. Temperatur (suhu)

Suhu air limbah optimum untuk pengolahan sekitar 25°C-35°C

b. pH

Bakteri masih dapat hidup dengan pH berkisar 4-9

~\$. !+ ' ŹŹŹ ; \$' < \$' 7\$' ' fi ! / < 2 . \$ \$' '

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang tersusun atas 1 faktor yaitu waktu tinggal air limbah. Faktor tersebut terdiri dari 3 level yaitu waktu tinggal jam ke-5, 7, dan 9. Masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan, dan diambil sampel pada masing-masing bak pengolahan sehingga terdapat 21 satuan percobaan. Kombinasi perlakuan dari faktor yang digunakan dapat dilihat pada ~\$. !+ ' ŹŹŹ.

~\$. !+ ' ŹŹŹ Kombinasi Perlakuan Rancangan Percobaan

~\$. !+ ' ŹŹŹ	ŹŹŹ\$4,	=+\$' 7\$' '		
		ŹŹŹ	0'	ŹŹŹ
5 Jam	Inlet	D-X1	D-X2	D-X3
	Anaerob	A-Y1	A-Y2	A-Y3
7 Jam	Aerob	A-Z1	A-Z2	A-Z3
	Anaerob	B-Y1	B-Y2	B-Y3
9 Jam	Aerob	B-Z1	B-Z2	B-Z3
	Anaerob	C-Y1	C-Y2	C-Y3
	Aerob	C-Z1	C-Z2	C-Z3

Pengulangan dilakukan dengan maksud antara lain untuk: menduga ragam dari galat percobaan, menduga galat baku (ÇÈÇDFCAFÀ DÁÁ IÁ) dari rata-rata perlakuan, meningkatkan ketepatan percobaan, memperluas presisi kesimpulan percobaan, yaitu melalui pemilihan dan penggunaan satuan-satuan percobaan yang lebih bervariasi (Akhmadi, 2012).

Menurut Sastrosupadi (2000), model umum RAK (Rancangan Acak Kelompok) adalah sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j +$$

$$\epsilon_{ij} \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana:

Y_{ij} = Respon atau nilai pengamatan dari perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

μ = Nilai tengah umum

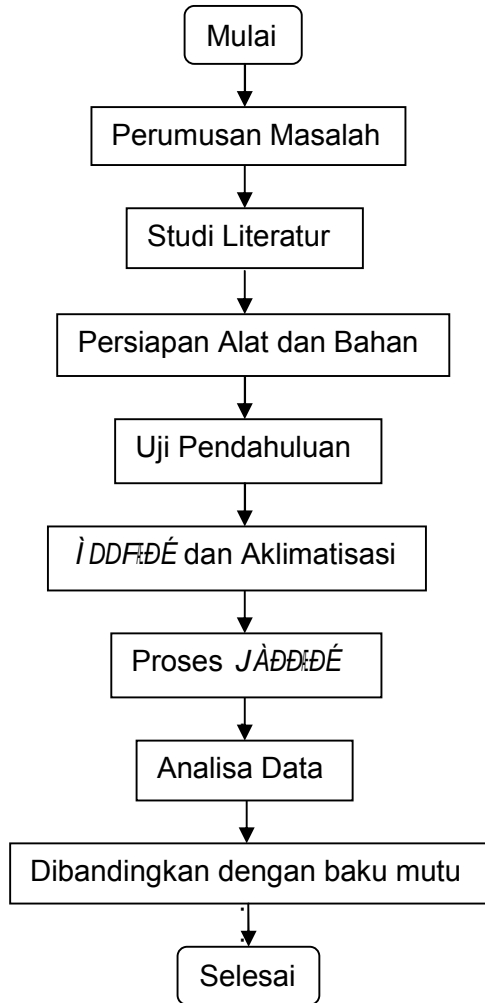
T_i = Pengaruh perlakuan ke-i

β_j = Pengaruh blok ke-j

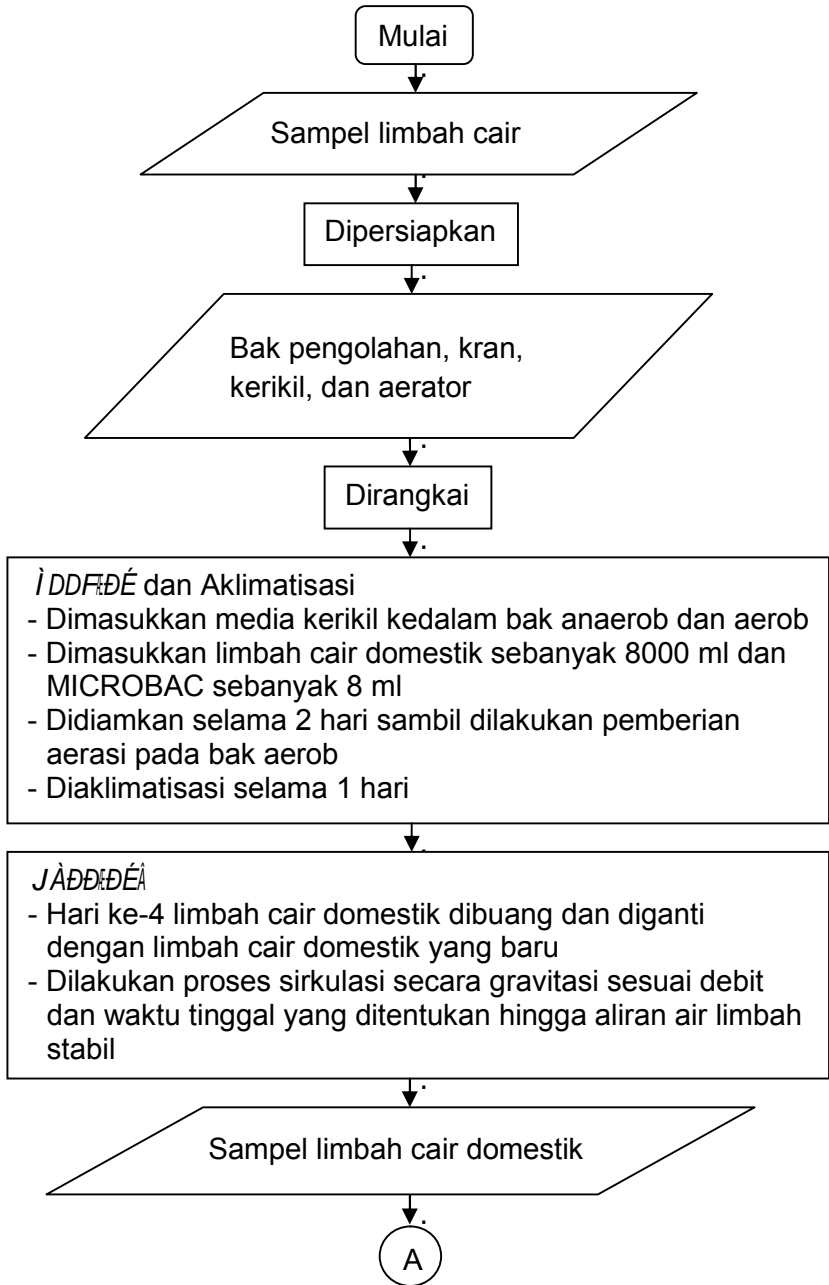
ϵ_{ij} = Pengaruh galat percobaan dari perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

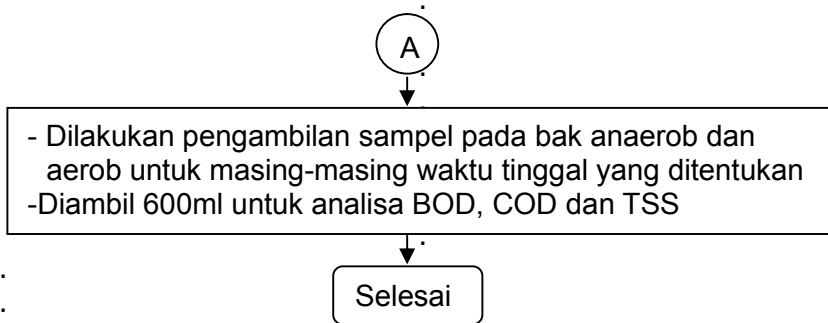
ϵ_{ij} ~ $N(0, \sigma^2)$

Tahapan penelitian mengenai penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik hasil pengolahan dengan metode biofilter anaerob dan aerob diawali dengan perumusan masalah, studi literatur, dan kemudian dilanjutkan dengan pelaksanaan penelitian. Pengolahan limbah cair domestik dengan metode biofilter anaerob dan aerob menggunakan sistem sirkulasi secara gravitasi dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu persiapan alat dan bahan, pengambilan dan penanganan limbah cair domestik, uji pendahuluan, ~~ÇDDFÉÉ~~ dan aklimatisasi dan ~~ÁÀDDÉÉ~~. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada - \$ " . \$/ tZ0 dan untuk diagram alir proses pengolahan limbah cair domestik dapat dilihat pada - \$ " . \$/ tZt.



- \$ " . \$ / 120 Diagram Alir Tahapan Penelitian

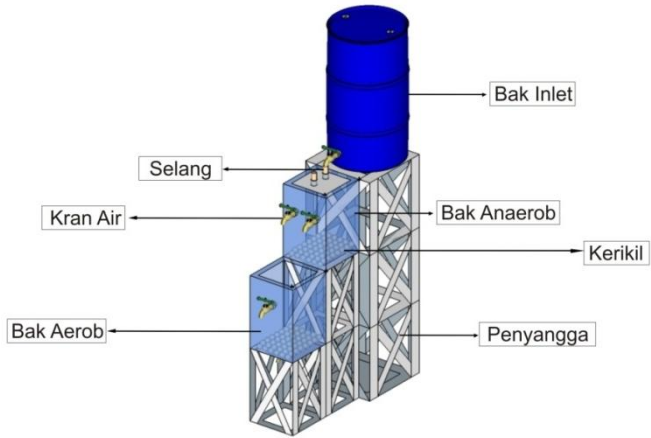




- \$ " . \$/ tzt Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah Cair Domestik


tž>žz'' fi!/4,\$#\$''~+\$%/ '\$'' \$1\$''

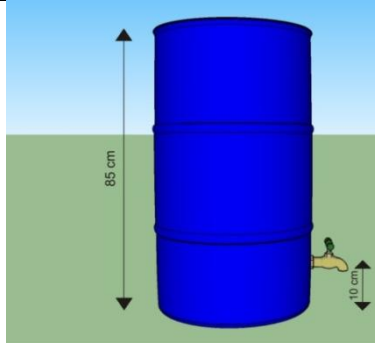
Tahap persiapan alat dan bahan adalah tahap pertama sebelum penelitian dapat dimulai. Drum plastik, bak pengolahan, kerangka, media biofilter, kran air, selang, dan aerator terlebih dahulu dirangkai sebelum dilakukan proses pengolahan. Media biofilter yang digunakan yaitu kerikil dan disusun dengan tinggi 12 cm pada bak anaerob dan aerob. Khusus untuk bak anaerob, kondisi bak diusahakan dalam kondisi tertutup rapat sehingga tidak ada udara luar yang masuk kedalam bak. Drum plastik yang digunakan sebagai bak penampung awal limbah cair domestik memiliki kapasitas ± 120 liter. Ukuran bak pengolahan yang digunakan sebagai bak anaerob dan aerob adalah 20 cm x 20 cm x 30 cm. Desain rangkaian bak pengolahan dapat dilihat pada -\$ " . \$/ tž8. Rincian Komponen Bak Prototype Pengolahan Limbah dapat dilihat pada ~\$. !+ tž8.



- \$ " . \$ / ' 128 ' Desain Rangkaian Bak Pengolahan

~ \$. ! + ' 128 ' Rincian Komponen Bak Prototype Pengolahan Limbah

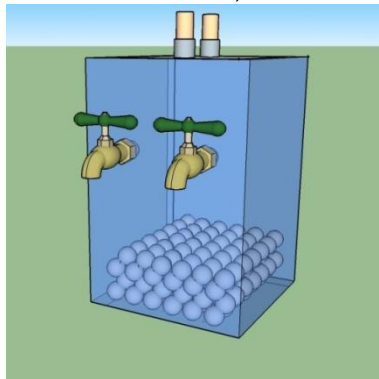
No	Nama Komponen	Gambar	Dimensi
1.	Bak Penampung Awal (Inlet)		Tinggi = 85 cm; Diameter atas = 38 cm; Diameter tengah = 44 cm



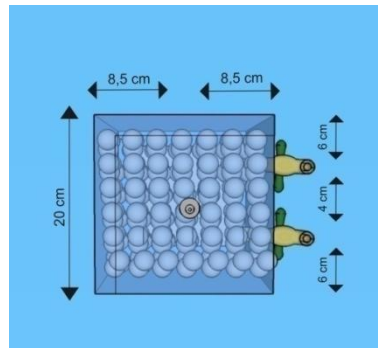
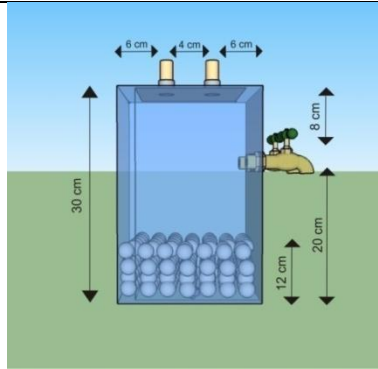
?!%!/.\$'7\$'0'

- Kapasitas ± 120 liter
- Bahan = Plastik
- Terdapat kran air di bagian bawah drum dengan tinggi letak kran air 10 cm dari dasar, memiliki ukuran $\frac{3}{4}$ dim dengan diameter dalam 1,4 cm.

2. Bak Anaerob



20x20x30
cm³



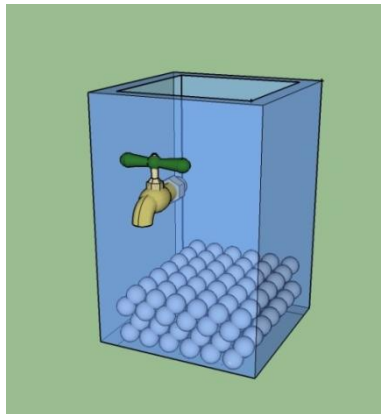
? ! % ! / \$ ' 7 \$ ' 0'

- Kapasitas \pm 12 liter
- Bahan = kaca bening
- Ketebalan kaca = 5 mm
- Terdapat kran air ukuran $\frac{1}{2}$ dim di bagian atas bak berjumlah dua buah dengan tinggi letak kran air 20 cm dari dasar dan diameter dalam kran 1,4 cm
- Terdapat drat dalam berukuran $\frac{3}{4}$ dim dengan diameter dalam 2,5 cm dan plug sebagai tutup dari drat dalam pada bagian dasar bak

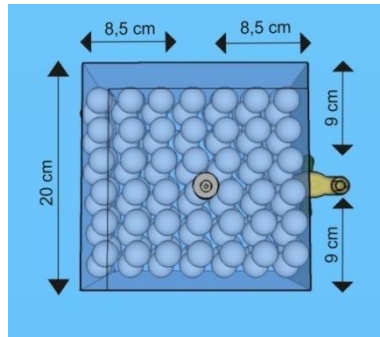
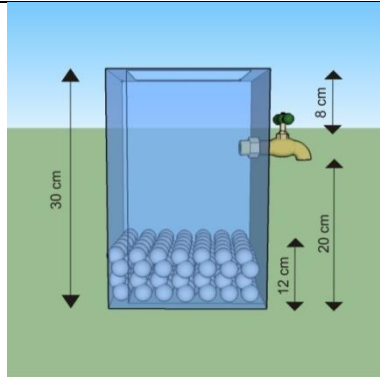
yang berada ditengah-tengah berfungsi sebagai saluran penguras air limbah

- Terdapat drat dalam berukuran $\frac{1}{2}$ dim dengan diameter dalam 2,2 cm yang berjumlah 2 buah pada tutup bak anaerob, dimana 1 buah sebagai jalur masuk limbah cair domestik dari bak inlet, 1 buah lainnya sebagai jalur keluar gas yang ditancapkan dengan selang sepanjang 90 cm dan dihubungkan kedalam botol berisi air

3. Bak Aerob



20x20x30
cm³



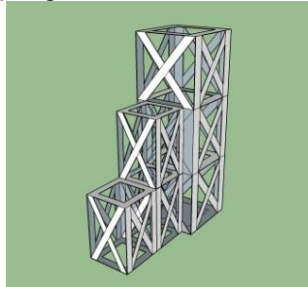
?!%!/ '\$'7\$'0'

- Kapasitas ± 12 liter
- Bahan = kaca
- Ketebalan kaca = 5 mm
- Terdapat kran air ukuran ½ dim di bagian atas bak berjumlah satu buah dengan tinggi letak kran air 20 cm dari dasar dan diameter dalam kran 1,4 cm
- Terdapat drat dalam berukuran ¾ dim dengan diameter dalam 2,5 cm dan plug sebagai tutup dari drat dalam pada bagian dasar bak

fi2'	fi\$ "\$'	- \$ " . \$/'	=) */\$' '
	?2 " #2' !' '		

yang berada ditengah-tengah berfungsi sebagai saluran penguras air limbah

4. Kerangka Besi



Tinggi = 70 cm;
Lebar = 30 cm;
Panjang = 90 cm

? ! % ! / \$ ' 7 \$ ' 0'

- Sebagai kerangka penyangga bak pengolahan limbah cair domestik
- Terbuat dari besi

†ž>ž0' / \$ % \$' fi ! / 1 , % * ' 7 \$ ' ' / \$ ' ' ? \$ + , . / \$ 4 , ' / ! . , % \$)' fi ! ' 7 2 + \$ 1 \$ ' ' .

Air limbah cair domestik yang akan diolah akan dialirkan melewati kran yang terpasang pada bak pengolahan. Kran tersebut diatur debitnya sesuai waktu tinggal yang ditentukan yaitu 5, 7, dan 9 jam. Masing-masing waktu tinggal mempunyai debit yang berbeda. Data hasil perhitungan debit untuk masing-masing waktu tinggal dapat dilihat pada $Q = \frac{V}{t}$. Rincian besarnya debit dalam variasi waktu tinggal yang ditentukan dapat dilihat pada $Q = \frac{V}{t}$.

$Q = \frac{V}{t}$: Rincian Besar Debit Berdasarkan Variasi Waktu Tinggal

Waktu Tinggal (td)	Debit (Q)
5 Jam	26,64 ml/menit
7 Jam	19,02 ml/menit
9 Jam	14,76 ml/menit

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada bak pengolahan untuk waktu tinggal 5 jam, didapat hasil perhitungan debit sebesar 26.64 ml/menit, untuk waktu tinggal 7 jam debit sebesar 19,02 ml/menit, dan untuk waktu tinggal 9 jam debit sebesar 14,76 ml/menit. Data perhitungan debit ini digunakan sebagai acuan untuk mengatur debit pada kran bak pengolahan, dimana debit aktual yang mengalir belum tentu sesuai dengan debit hasil perhitungan, oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan (kalibrasi) debit pada kran bak pengolahan terlebih dahulu. Data kalibrasi debit bak pengolahan dapat dilihat pada $Q_{aktual} = Q_{perhitungan} \cdot k$. Bak pengolahan yang diatur krannya untuk dikalibrasi adalah bak inlet dan bak anaerob, sedangkan untuk bak aerob tidak dilakukan pengaturan kran karena kran hanya digunakan untuk pengambilan sampel limbah cair domestik. Berdasarkan hasil kalibrasi debit didapatkan debit rata-rata yang mengalir untuk drum 1 yang digunakan untuk bak inlet dengan waktu tinggal 5 jam adalah 24 ml – 26,64 ml per menit, untuk drum 2 dengan waktu tinggal 7 jam debit berkisar antara 18 ml – 19,02 ml per menit, untuk drum 3 dengan waktu tinggal 9 jam debit berkisar antara 12,4 ml – 14,76 ml per menit. Pada bak anaerob 1 dengan waktu tinggal 5 jam debit berkisar antara 26 ml – 26,64 ml per menit, untuk bak anaerob 2 dengan waktu tinggal 7 jam debit berkisar antara 19 ml – 19,02 ml per menit, dan untuk bak anaerob 3 dengan waktu tinggal 9 jam debit berkisar antara 14 ml – 14,76 ml per menit.

$$Q_{aktual} = Q_{perhitungan} \cdot k$$

$$k = \frac{Q_{aktual}}{Q_{perhitungan}} = \frac{14,76}{26,64} = 0,554$$

Limbah cair domestik yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari MCK Terpadu RT 03 RW 07 Kelurahan Tlogomas, Kota Malang. Limbah cair domestik diambil pada bak pengendap pertama dengan metode pengambilan sampel sesaat (*ÉÁÇÁÇÇÄÄËDÇ*) atau satu kali pengambilan. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari dan air limbah tersebut langsung digunakan dalam proses penelitian. Air limbah diambil sebanyak 450 liter dan dimasukkan ke dalam jerigen dengan volume jerigen sebesar 25 liter. Limbah cair domestik yang telah

diambil dihomogenkan terlebih dahulu sebelum digunakan pada proses pengolahan dengan cara dilakukan pengadukan pada sampel limbah yang sudah diambil.

1.3.2 Seeding (Said, 2005),

Pengembangbiakan mikroorganisme atau disebut juga *seedling* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme (Said, 2005). *Seedling* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media *biofilm* yang terbuat dari kerikil. *Seedling* dilakukan dengan cara memasukkan MICROBAC ke dalam limbah cair domestik sebanyak 1 ml/liter dari volume air limbah yang diolah (8 ml MICROBAC + 8000 ml limbah cair domestik). Media biofilm yang berupa kerikil disusun secara merata didalam bak anaerob dan aerob dengan tinggi 12 cm. Pada bak aerob dilakukan penambahan oksigen dengan aerasi sedangkan pada bak anaerob tidak dilakukan aerasi. Proses *seedling* dilakukan selama 2 hari dan setelah itu dilakukan proses aklimatisasi selama 1 hari. Setelah proses aklimatisasi telah selesai yang diindikasikan dengan pergantian limbah penampungan dengan limbah air domestik telah mencapai 100 % dan efisiensi penyisihan COD pada saat aklimatisasi relatif stabil, maka pengoperasian secara kontinyu dapat dilakukan (Amri dan Wesen, 2015).

1.3.3 ; * , ' 7

Proses *loading* dilakukan setelah proses *seedling* dan aklimatisasi selesai yaitu dimulai pada hari ke-4. Proses *loading* dilakukan dengan memasukkan limbah cair domestik yang baru ke dalam bak inlet dan dibiarkan tersirkulasi secara gravitasi dengan debit dan waktu tinggal yang ditentukan. Waktu tinggal yang digunakan adalah 5, 7, dan 9 jam sehingga lamanya waktu pengolahan pada masing-masing rangkaian bak pengolahan terdiri dari 10 jam, 14 jam, dan 18 jam. Air limbah dibiarkan mengalir antar bak pengolahan secara gravitasi sesuai debit yang telah diatur hingga aliran limbah pada bak terakhir stabil. Setelah aliran limbah stabil maka aliran limbah tersebut sudah

sesuai dengan waktu tinggal yang ditentukan dan selanjutnya dapat dilakukan pengambilan sampel pada masing-masing bak pengolahan untuk selanjutnya dilakukan pengujian kadar BOD, COD dan TSS dalam air limbah domestik hasil pengolahan.

1. Pengambilan sampel dilakukan setelah aliran limbah cair domestik yang mengalir pada tiap bak pengolahan telah stabil. Saat proses *ADD*, pengambilan sampel dilakukan di masing-masing bak yaitu pada bak anaerob, dan bak aerob pada waktu tinggal yang telah ditentukan. Sampel diambil sebanyak 600 ml pada masing-masing bak pengolahan dan dimasukkan kedalam botol sampel menggunakan gelas ukur sehingga terdapat 2 sampel setiap pengulangan sesuai waktu tinggal yang ditentukan. Sampel yang telah diambil selanjutnya diletakkan ke dalam *KIL* agar sampel tetap dalam kondisi baik untuk selanjutnya dilakukan tahap pengujian. Analisa akhir parameter limbah dilakukan untuk mengetahui besar penurunan kadar BOD, COD dan TSS limbah cair domestik setelah melewati proses pengolahan. Pengujian BOD dilakukan dengan menggunakan metode Winkler (titrasi di laboratorium), pengujian COD dengan metode spektrofotometri, dan pengujian TSS dengan metode gravimetri.

2. Analisis data yang digunakan pada penelitian penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik dengan metode biofilter anaerob dan aerob menggunakan media kerikil ini yaitu dengan menggambarkan atau menjelaskan hasil yang didapat selama aktivitas penelitian dan pengamatan secara langsung. Analisa data juga bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari metode biofilter anaerob dan aerob dalam menurunkan kadar pencemar BOD, COD, dan TSS limbah cair domestik sehingga dapat dilakukan analisa lebih lanjut. Terdapat beberapa tahapan analisa data yang dilakukan yaitu,

perhitungan penurunan kadar BOD, COD dan TSS selama waktu tinggal yang telah ditentukan, perhitungan efisiensi (persentase perubahan kadar) BOD, COD dan TSS, analisa rancangan dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) lalu dibuat sidik ragamnya dan jika hasil sidik ragamnya berpengaruh nyata atau sangat nyata maka dilakukan uji lanjut beda nyata jujur (BNJ), serta perbandingan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik hasil pengolahan dengan baku mutu air limbah domestik menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Efficiency of BOD, COD and TSS reduction in domestic wastewater can be calculated using the following formula:

Efisiensi penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah cair domestik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

dimana:

- a = nilai kandungan BOD, COD dan TSS pada saat sebelum proses pengolahan berlangsung.
- b = nilai kandungan BOD, COD dan TSS pada saat setelah proses pengolahan berlangsung.

Data analysis was conducted using the *One-Way ANOVA* method with a significance level of 5%. The analysis was performed using the *SPSS 20.0* software. The effect of retention time variations on the reduction of BOD, COD and TSS in domestic wastewater can be seen from the results of the F-test. If there is a significant difference in the interaction of the two or in one of the treatments, a *Post Hoc* test (BNJ) will be conducted with a significance level of 5%. The conclusion that can be taken from the table

ANOVA adalah jika p (sig.) kurang dari 0,05 maka hasil yang didapat berpengaruh signifikan (berbeda nyata).

fi' fi' fi' fi' fi'

Zi! "##%&'(\$)&(%' ~ * #+ i(, -#.' /#(\$' /0, ')&(%' † / "'
1' \$2#34 1+050, #)

AA AA BAA CAACA DE AEEEA EA DAEFA DAFGEAE EA DAHAA I EEEHAEA EA
AA AE CGIAEA HA AA BAA CAACA DAEFA AECAEA HA DAA IA IIA IECAIDGA JIA
KAA JL A KLA IEHGABAA IHEFEAA EA DAEFA EECHAEA DA MAHA IA CEAA
JEA NA IEAA I AHA EFNA OEFAA AHA EA EA IEHA HA AA BAA CAACA DE AEEEA EA
DAHAE GA EA IADAA AA EA IEFEDA IA IECAAA DA EA CE EA EA IADAA AA EA
IEFE DA IA IECAAA EA AE AE CGIAEA EA HGCA EA ACEHA AA EGE DA
HA AA BAA CAACA DAA AEEA OEFAA EA EA IEHA DAHAE GA EA IADAA IAFAA
BAA DA EA CE EA EA IADAA IAFAA BAA AEEA OEFAA CGA ABAA EA EFFA DA FA
AE CBGAE FA DE FA EA AEDANA CGANA DA EA EAGEA EA FA EA EFFANA
AA AA BAA CAACA DE AEEEA EA DAEFA EHA BAA DA AA AHA ECEEA AGEA HAHAE FE GE FA
DAFGEAE DAHAA ICEEEA IEFEHABA DE FA EA AEEEDA AE OAHEEA
AE AE EAPAE EA NA OEA EHA DA ICEEEA HEA BAA GE EA AE EA HA AA BAA CAACA
DE AEEEA EA DAEFA EA EA DA EA EA AE EA AE EA DA EA EA EA DAA AA EA EA
AA EA DAHAE GA EA IEFAA AHA EA DA EA IEFGA EA EA IEHA ECHAEA BA
DABGHGAE EA AEFEEABGAA EA EA EA EA EA EA EA DA HA AA BAA CAACA
DE AEEEA EA EEA EHA DAHAE GA EA IEFEHABA NA OEFGA EA
EA EA EA EA EA EA EA HA AA BAA CAACA DE AEEEA EA DAEFA AEA IGA OA
IOONA DA EA IOOA DAHAE GA EA DAA AA EA EA EA EA IA GA HA EA RA EA OE GA
MAEA IA CEAA SA MAHA EA OGAA ABAA IEAA IAHAE FA EEA EEA EA
IEFGA EA EA IANA EGBNA EA EA DA EA AA GA DAHAE GA EA HA FE GE FA EH BA
IEEA NA IA EA EA EA EA EA EA EA HA AA BAA CAACA DE AEEEA EA IIA IECAIDGA
IHEFEAA EA DA IEA DAHAE EA IADAA 1# - '+ Zi! NA

A
1# - '+ Zi! IA EA EA EA EA EA EA EA HA AA BAA IA EA EA EA EA EA EA EA IIA IECAIDGA
IHEFEAA EA

fiOz'	fi#\$# , '&'\$'	"06)'6&#)(~#&4#6'	" '&'#65#6'
TA	OOOA	TKPNEEA	A FUA	IA DA EA EA EA EA EA EA EA AGEA
UA	IOOA	AUNTKA	A FUA	IA DA EA EA EA EA EA EA EA AGEA
AA	IOOA	UTNEAA	A FUA	IA DA EA EA EA EA EA EA EA

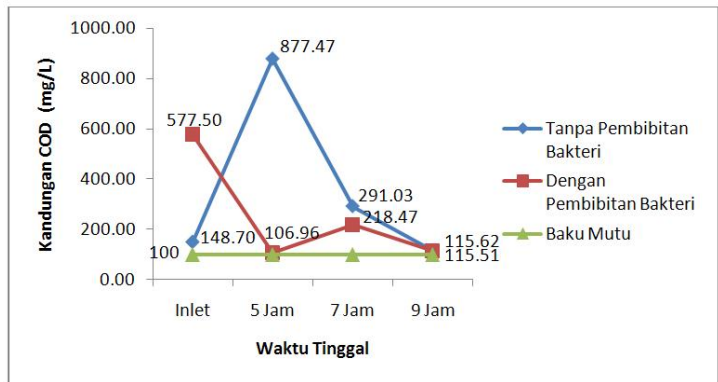
A EA

A

Zi: " fl '\$4 - #.#6' "#63465#6' / 9 / "

AA I AEDGEFAE IOOA AEECAEG IA EEAGGBAE EEEAFEEA GEEGA
 CEAEAAA AAEEA AACEANA EAEEAA EEEDACEAA DAIFA DA IAEA DAQA AAAEA EHIBA
 AAECECFAEIEAEA DAIAEA IGHAA AEEFAHAAA EEEDADAEA HECEAEA CEAEANA
 EAAACEAAWOACEA EAEEANEEENA UKTUXNA OAEAA BAEHA IEEFGQAA EAEDEGEFAE
 IOOA DAIAEA DAHABAEA IADAA 1# , 2(\$#6' :NA SAEAHA IEEEAHAAEA
 AEEGEUEEA EAABCEAA EAEDEGEFAE IOOA ACEAHA IADAA IECHAEGAE
 EAIIAA IEAAAHAEA AAEEECAA ADAHABA EEAEEACA TUUNLKA AFUANA
 EEDAEFEAE EAEDEGEFAE IOOA ACEAHA IADAA IECHAEGAE DEFEAE
 IEAAAHAEA AAEEECAA DAHEGA EEAEEACA PLLNPKA AFUANA OEEACA
 EAEDEGEFAEOOAA IADAA IECHAEGAEAEI IADAEAEFEAE IEAAAHAEA
 AAEEECA IADAA AEDIAA AAEOHECA GEEGA AAEAEFPAAIEFAEAEEGA EAEFFAHA
 DAIAEADAHABAEA IADAA ; # , -#\$ Zi: DAE ; # , -#\$ Zi: NA

A



; # , -#\$ Zi: z I AEDGEFAE IOOADAHA AAOAEAREAECEAA IAEIAOEAAIAIEAE
 OAEEECAADAEAOEFAEIOEA AAIAEAEOEECAAA

A

UUA

A

I ĀDĀĀ ĆĒĒĒĠĀ ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĽĀ QĀĀ Ā ĒĒQĀDĀĀ TKNŪĀĀ Ā FUĀNĀ DĀĒĀ I ĀDĀĀ ĆĒĒĒĠĀ
ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĤĒĀQĀĀ Ā ĒĒQĀDĀĀ TKNŪĽĀ Ā FUĀNĀ MĒĒĀ DĤĤĀ BĀĒĀ DĀĈĀĀ BĀĒĤĤĀ ĒĒĒĒĠĀ ĒĠĀ ĠĒNĀ
Ā ĀĒĒĀ I ĒĈĀĒĠĀ BĀĒĀ ĒĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ I ĀDĀĀ ĀĀĒĀ ĀĒĒĒĠĀ ĠĒĒĒĠĀ
I ĒĈĀĒĠĀ ĒĀ ĒĒĀ DĀĒĀ DĒĒFĀĒ I ĒĀĀĀĒĒĒĀ ĀĀĒĒĒĠĀ DĀDĀ I ĀĒĒĒĀ
BĀĒĤĤĀ DĀĒFĀ I ĀĤĤĀFĀ ĀĀĒĒĀ DĀĒĒĠĀ I ĀDĀĀ ĆĒĒĒĠĀ ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĤĒĀ QĀĀ Ā ĒĒĒĒĠĀ
I ĀDĀĀ ĆĒĒĒĠĀ ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĤĒĀ QĀĀĀ DĀDĀ I ĀĒĒĒĀ ĒĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ DĀĒFĀ
I ĀĤĤĀFĀ ĈĒDĀBNĀ

ĀĀ ĪĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ I ĀDĀĀ ĀĀĒĀ ĒĒĒĠĀ DĀ I ĀĒĒĀ DĤĤĀ BĀĒĀ I ĀDĀĀ
; # , - # \$ % & ' () * + , - . / : ; < = > ? @ [\] ^ _ ` { | } ~ ¡ ¢ £ ¤ ¥ ¦ § ¨ © ª « ¬ ® ¯ ° ± ² ³ ´ µ ¶ · ¸ ¹ º » ¼ ½ ¾ ¿ À Á Â Ã Ä Å Æ Ç È É Ê Ë Ì Í Î Ï Ñ Ò Ó Ô Õ Ö × Ø Ù Ú Û Ü Ý Þ ß à á â ã ä å æ ç è é ê ë ì í î ï ñ ò ó ô õ ö ÷ ø ù ú û ü ý þ ÿ

ĀĀ ĪĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ BĀĒĤĤĀ I ĒĒFĤĤĀĒĀ DĒĒFĀĒ ĀĒĒĒĠĀ
ĀĒĒĒĠĀ ĒĒĒĠĀ I ĀDĀĀ I ĒĈĀĒĠĀ ĒĀ ĒĒĀ I ĒĀĀĀĒĒĒĀ ĀĀĒĒĒĠĀ QĀĒĀ
DĀĀĀ ĒĒFĀĒĀ DĒĒFĀĒĀ ĀĀĒĠĀ ĠĒĠĀ ĀĈĀĈĀ ĀĀBĀ DE ĀĒĒĒĠĀ ĒĒĒĒĠĀ
ĀĒĒĠĀ ĒĒĒĠĀ ĀĒĒĠĀ I ĒĠĠĀĒĀ ĒĒĒĠĀ VĒNĀ ŪŪĀ Ī ĀBĠĀ ŪKTŪĀ ĠĒĠĀ
ĆĒĒĒĠĀ ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĤĒĀ QĀĀĀ ĀĒĠĀ ĀĒĒĒĠĀ ĀĒĠĀ ĠĒĠĀ DĀĒFĀ
DĀĒĒĒĀ I ĒĒĀ DĀĒĒĠĀ ĒĒĒĒĠĀ ĀĀ Ā FUĀNĀ ĒĒĒĒĠĀ I ĀDĀĀ ĆĒĒĒĠĀ
ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĽĀ QĀĀĀ DĀĒĀ ĤĒĀ QĀĀĀ ĒĠDĀBĀ ĀĒĈĀDĀĀ DĀĀ ĀĀĈĀBĀ ĀĀĠĀ ĠĒĠĀ
QĀDĀĀ I ĒĈĀĒĠĀ ĒĀ ĒĒĀ I ĒĀĀĀĒĒĒĀ ĀĀĒĒĒĠĀ DĀDĀ I ĀĒĀ BĀĒĤĤĀ
ĒĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ ĀĀĀBĀ ĈĀĈĀ DE ĀĒĒĒĠĀ DĀĒFĀ I ĀĤĤĀFĀ ĈĒDĀBĀ DĀĒĒĠĀ
I ĀDĀĀ I ĒĒFĤĤĀĒĀ DĒĒFĀĒ ĆĒĒĒĠĀ ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĽĀ QĀĀĀ DĒĒFĀĒ
ĒĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ ĒĒĒĒĠĀ ĽĽĽĽĠĀ ĽĽĽĽĀ Ā FUĀNĀ ŠĀĒĤĀ I ĒĒFQĀĀĒ
ĒĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ I ĀDĀĀ I ĒĈĀĒĠĀ ĒĀ DĒĒFĀĒ I ĒĀĀĀĒĒĒĀ ĀĀĒĒĒĠĀ QĀĒĀ
DĀĀĀ ĒĒFĀĒĀ DĒĒFĀĒĀ ĀĀĒĠĀ ĠĒĠĀ ĀĈĀĈĀ ĀĀBĀ DE ĀĒĒĒĠĀ ĒĒĒĒĠĀ
ĀĒĒĠĀ ĒĒĒĠĀ ĀĒĒĠĀ I ĒĠĠĀĒĀ ĒĒĒĠĀ VĒNĀ ŪŪĀ Ī ĀBĠĀ ŪKTŪĀ ĒĒĒĠĀ
ĒĒĒĠĀ ĠĠĠĀ ĒĠDĀBĀ ĀĒĈĀDĀĀ DĀĀ ĀĀĈĀBĀ ĀĀĠĀ ĠĒĠĀ DĀĒFĀ
DĀĒĒĒĀ I ĒĒNĀ DĀ ĀĀĀĀ ĒĀĒDĠĒFĀĒ Ī ØØĀ DĀĒFĀ I ĀĤĤĀFĀ ĈĒDĀBĀ DĀĒĒĠĀ
I ĀDĀĀ I ĒĒFĤĤĀĒĀ DĒĒFĀĒ ĆĒĒĒĠĀ ĒĀ ĒFFĀĤĀ ĤĒĀ QĀĀĀ DĀĒĒĠĀ ĒĒĒĒĠĀ
BNŪĀĀ Ā FUĀNĀ

IÉƒĂĈGBÁ IÉĈĂĒĜĂĒÁ ÍÉĠĠĠĠŌĂĈĂĒĂĒĂĒĒĒĂ WÚKTÚXNÁ ĒĒĂĒĒĒĒĒ
HĂĂĂĂĂ ĆĂĒĒĒĒ ĒĂĒĒĒĒ ĨĈĒĒĒĒ ÍÉĒĒĒĒĒĂ ĨĂĒĂĂ ĂĒĒĒĒĒĒĒĂ ĂĒĒĂ
ĒĒĂĒĒĒĒ ĂĒĒĂĈĂ ĆĂĒĂĂ ĒŌĂĒĂĒĒĂ ÍÉĒĒĒĒĒĂĒĂ ĐĂĒĒĂ ĒĒĈĂĒĂĂĂ ŠĂĒĂ ĂĂĂ
ĒĒĒĂĒĂ ĒĒĒĒĂĂ ĨĂĒĂĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂ ĂĂĂ ĐĂĂĒĂĂ ĒŌĂĒĂĒĒĂ ÍÉĠĠĠĠĒĂ
ĒĂĒĠĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĨĂĒĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĨĂĒĂĂĈĂĒĒĒĂĒĂĒĂĒĂ
ŌĂĂĂĐĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ÍÉĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ŠĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ
ĒĒĒĒĂĂ ĐĒĒĂĒĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ ĐĂĒĒĂ ĐĂĒĂĒĒĂĒĂ ĒĒĒĂ ŠĂĒĂĒĂĒĂĒĂ
WÚKTKXNĂ ĐĒĒĂĒĂ ĂĂĒĒĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĐĂĂĂĂ ĐĂĂĂĂ
BĂĒĂĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ ĒĂĐĂĈĂ ŌŌŌĂ ĒĒĂĒĒĂĂ ĐĂĂ ĒĒĒĠĐĂBĂ
ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ ĂĒĒĂĒĂĂĂĂ ÍÉĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĐĂĒĂĂ ŪKNEKĂ ĂĒĒĂ
WĒKNPŪĂ ĂĂ ĨĂĐĂĂĈĂĒĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ
ĨĂĐĂĂ ĆĂĒĒĒĂĒĂ ĒĒĒĂĒĂ ŪĂ ĂĂĒĒĠĂ ĐĒĒĂĒĂ ĂĒĒĂĒĒĂ ĨĈĒĒĒĂ ĒĒĈĂĈĂĂ
ĂĂĒĒĒĂĒĂĒĂ ĒĒĐĂĒĒĂĒĂ ĨĂĐĂĂ ĨĈĒĒĒĂ ĒĒĂĂĒĂĒĂ ĒĒĈĂĈĂĂ ĂĒĒĂĒĂ
ĂĒĒĂĒĂĂĂĂ ÍÉĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ŪĒNAKĂ ĂĒĒĂ ĒĒĈĐĂĒĂĒĂ
ÍÉĂĂĂĂBĂĒĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ ĨŒPŪĂ Ă ĐĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĨĈĒĒĐĂĂĂĒĂ ĨĂ
ĂĂĒĒĠĂ ĐĂĂ ĨŪŪKĂ ĂĒĒĂ ĐĒĒĂĒĂ ÍÉĂĂĂĂBĂĒĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ
ĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĨĂĐĂĂĈĂĒĒĒĂ ĨĈĒĒĐĂĂĂĒĂĂĂĂĂĒĂĒĂĒĂ

Á
Ži<ž8'' fl'65#4.' ~#\$(#)(' >#%&4' 1(655#+' 1'\$.#3#2'
fl'64\$46#6' "#63465#6' / 9 /'

ĂĂ ÍĂĒĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂ ĨŌĂĂĈĂĒĂ ĨĂĐĂĂ ÍÉĈĂĒĒĒĂĒĂĒĂĒĂ ĨĂĂ ÍĂĂĂĂĂĒĂĒĂ
ĂĂĒĒĒĂĒĂ ĂĂĐĂĒĂBĂ ĒĒĂĒĒĂĈĂ ĨŪŪŪKĂ ĂĒĒĂĂĂ ŌĒĒĒĂBĂ ĐĂĒĂĒĒĂĒĂ
ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂĐĒĒĂ
PŪĂ ĒĂĂ ĐĂĂ ĂĂ ŌĂĂĂ ĒĒĈĂĒĂĂ ÍÉĂĒĒĂĒĂĒĂĒĂ ĒĂĒĠĠĠĠĒĂĒĂ ĨŌĂ ĨĂĐĂĂ
HĂĂĂBĂ ĈĂĈĂ ĐĂĒĒĒĂĒĂ BĂĒĂĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ ĐĂĂĒĐĂĒĂĒĂ ĐĒĒĂĒĂ
ĒĂĒĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ ĒĒĂĒĒĂĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ ĒĒBĂĒĒĂĂ ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂ
ĐĒĒĂ
ĒĂĂĂĂĂĒĂ
ĒŌĂĒĂĒĂĒĂ ĐĂĒĂĂĂ ĂĒĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂ ĒĂĒĠĠĠĠĒĂĒĂ ĨŌĂ HĂĂĂBĂ ĈĂĈĂ
ĐĂĒĒĒĂĒĂ ŌĂĒĂĂ ĨĈĒĒĒĂĒĂĒĂ ĨĈĠĂĂBĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ
ĐĂĐĂBĂĒĂĒĂ ĨĂĐĂĂ Ĩ# , 2(\$#6' <ŪĂ

ĂĂ ÍĂĒĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂ ĨŌĂĂ ĂĂĒĂĂ ĨĂĐĂĂ ÍÉĈĂĒĒĒĂĒĂ ĐĒĒĂĒĂ
ÍĂĂĂĂĂĒĂ
ÍÉĒĒĒĂĒĂĒĂĒĂ ĐĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ
ĒŌĂĒĂĒĂĒĂ ÍÉĠĠĠĠĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ
TKŪŪĂĂ ĂĂĒĂ ĐĂĂ ĒĒĒĒĂBĂĐĂ ĨĈĒĒĒĂ ĂĒĒĂĒĒĂ ĂĂĒĂĒĒĂĒĂĒĂĒĂ
ÍÉĠĠĠĠĒĂ
TKŪŪĂĂ ĂĂĒĂĂ ŌĂĐĂĂ ĆĂĒĒĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂĒĂ

IÉEFHĀBĀÉÁ DÉEFĀÉÁ ĀĀÈĀ ĀÉĀÉĈÉĀNĀ ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ
 ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ ÉĒĀÉĒĀĈĀ ÚÚNTĹ a Á ĀÉÉQĀDĀĀ ÚTŪNŪĹĀ ĀFUĀĀ DĀÉĀ
 ÉĒÉĒĀBĀ DĀIĈÉĒÉĒĀ ĀÉĀĀGĀĀ ĀĀĒĀ ĀÉĈÉĀNĀ ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ
 ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ ĀÉĈÉĀĀĀĀBĀ ÉĒĀÉĒĀĈĀ ÚÚNKŪ a Á ĀÉÉQĀDĀĀ TŪÚNŪĀĀ
 ĀFUĀĀNĀ OĀDĀĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ ĤĀ QĀĀĀ ÉĒÉĒĀBĀ DĀĀĒĒĒÉĀ IÉEFHĀBĀÉÁ
 DÉEFĀÉÁ ĀĀĒĀ ĀÉĀÉĈÉĀNĀ ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ
 ÉĒĀÉĒĀĈĀ ĹĀNĒĹ a Á ĀÉÉQĀDĀĀ TŪÚNŪĀĀ ĀFUĀĀ DĀÉĀ ÉĒÉĒĀBĀ DĀIĈÉĒÉĒĀ
 ĀÉĀĀGĀĀ ĀĀĒĀ ĀÉĈÉĀNĀ ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ
 ĀÉĈÉĀĀĀĀBĀ ÉĒĀÉĒĀĈĀ ÚÚNKŪ a Á ĀÉÉQĀDĀĀ ÚĀNŪTĀ ĀFUĀĀNĀ MĀDĀĀ ÉĒĒĀĀ
 ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ ĪĀDĀĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ PĀ QĀĀĀ
 ĀDĀĀĀBĀ ÉĒĀÉĒĀĈĀ ÚTŪNĒ a NĀ ĪĀDĀĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ ĹĀ QĀĀĀ ÉĒĀÉĒĀĈĀ
 ĹŪNŪĀ a DĀÉĀ ĪĀDĀĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ ĤĀ QĀĀĀ ÉĒĀÉĒĀĈĀ ÚPŪNĒ a NĀ MĀÉĀĀ
 DĀĀĀBĀÉĀ DĀĈĀĀ ÉĒĒĀĀ ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ ĪĀDĀĀ
 ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ PĀ QĀĀĀ ĀÉĀĀĀĀ ÉÓĀÉĀÉĒĀ IÉEGĈÉĀÉÁ ĐĀÉFĀ ĤĒĀĀBĀ
 ĀÉĒĀĈĀ DĀĈĀĀ ĪĀDĀĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ ĹĀ QĀĀĀ NĀ ŠĀĀĀĀĀ DĀ ĪĀÉĀ DĀÉĒĀĀĀÉĀÉĀ
 ÉĤĒĀ QĀĀĀBĀ ĀĀÉĒĒĈĀ ĐĀÉFĀ ĀÉÉFĀĀĀĀĀ ÉĒĀĀĒĀÉĀ ĪĀDĀĀ ĀĀĒĀ
 IÉEFHĀBĀÉÁ DÉEFĀÉÁ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ ĹĀ QĀĀĀ ĤĒĀĀBĀ ĀÉĒĀĈĀ DĀĈĀĀ ĪĀDĀĀ
 QĀĀĀBĀ IÉĈĒGĀĀGBĀÉĒDĀĀ ÉĒBĀÉFFĀĀ ÉĒĀĀĀ ĪGĀĀ ĀĀÉĒĒĈĀ GĒĒĒĀ
 ĀÉÉDÉFĈĀDĀĒĀ ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĈĈĀÉĒĀ QĈĀĀ ĀÉEGĈÉĀNĀ ĪĀÉĀPĈĀĒĀĀ
 IÉEGĈÉĀÉÁ ÉĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ BĀĒĀĀ IÉEFHĀBĀÉÁ ĀĀĒĀĀĀÉĈÉĀNĀ ĀĀĒĀ
 ĀÉĈÉĀĀ DĀÉĀ FĀĀĒGEFĀÉÁ ĀĀĒĀ ĀÉĈÉĀĀ PĀ ĀÉĈÉĀĀ DÉEFĀÉÁ ĪÉĀĀĀĀÉĀÉĀ
 ĀĀÉĒĒĈĀ ĪĀDĀĀ ĀĀĒĀÉFPĀĀĒĀÉFĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀ DĀ ĪĀÉĀ DĀĀĀBĀÉĀ ĪĀDĀĀ

1# - '+' Žz : NĀ

Ā

1# - '+' Žz : ĀĀ OÉEGĈÉĀÉÁ ĪĀÉDGEFĀÉÁ ĪŌŌĀ ŠĀĒĀĀ OÉEFHĀBĀÉÁ OÉÉFĀÉÁ
 OÉĀĀĀĀÉĀÉĀ OĀÉĒĒĈĀ OĀDĀĀ OÉĒĀ ĪĀOÉĈĀĒĒGĀÉĀ

fl# \$# , '&' \$' / 9 /			
fl' \$#%4#6'	6# '\$0 -'	'\$0 -'	6# '\$0 -' Ā' '\$0 -'
PĀMĀĀĀ	ŪĹKNPŪĀ	ŪNĀÉĀ	ŪĹŪNĒPĀ
ĹĀMĀĀĀ	ĀPĀENKĀĀ	ĀĈŪNŪĀĀ	ŪPŪNŪĀĀ
ĤĀMĀĀĀ	ŪŪTŪNŪĀ	ĀŪNŪKĀĀ	ŪĀĈŪNŪĀĀ
	KNĀĹŪĀ	KNŪŪĀĀ	KNĀTŪĀ

"' &' #65#67ĀÉĀFĀDĀÉDĀDĀ ĪĀÉĒĀÉĀ DĀĈĀĀ GŌĀĀ RĒÉOĀĀ ĀÉÉFFĈÉĀÉĀÉĀŌŌŌŌĀĀ
 ĀĀFĀDĀ GHĪH ĪĐ ĪĐ ĀÉĈĀÉDĀĀ ÉDĀÉĀĀĀ RĒFĒĀĀ ĀÉĈĀ ĪĀÉĀÉĀ ĈĀĒĒĒGĀÉĀĀ IÉEGĈÉĀÉÁ
 DĀĈĀĀ ĀĀ ĠĀÉFĀÉĀ ÉĒĈĀDĀĪĀ ĈĀĒĒĒGĀ ÉĀÉFFĀĀĀ RĒFĒĀĀ ĐĀÉFĀ DĀĒĒĒĒĀ BGĈĈĀĀ
 ĀÉĈĀÉDĀĀ ĪĀDĀĀ ÉĤĒĀĀ ĐĀÉFĀ ÉĀĀĀĀ ĀÉÉDĀÉĀÉĀĀ ĀÉĈĀÉDĀĀ ÉDĀÉĀĀ
 ĀÉĈĀÉĀÉĀÉĀĀĀ ĪĀÉĀDĀKNĈĀNĀ

Ā

Ā

ÉÉÉÉHĀBĀ DĀHĀÈGĒĀÉĀ IÉÉFEHĀBĀÉĀ DÉÉFĀÉĀ ĀĀĒĀ ĀÉĀÉÇEĀNĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ
 IÉÉCGĖÉĀÉĀ ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ŁŪNŪŤ a Ā ÁÉÉQĀDĀĀ TŪNŪĽĀ
 ĀFUĀĀ DĀÉĀ ÉÉÉÉHĀBĀ DĀIÇEÉÉÉĀ ĀÉHĀHGĀĀ ĀĀĒĀ ĀÉÇEĀNĀ ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ
 QGĒÉÇĖĀ ĀÉÉFĀHĀĀĀ IÉÉÉFĀĒĀÉĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ÞANTŪ a Ā ÁÉÉQĀDĀĀ ŪNŪĽĀ
 ĀFUĀĀNĀMĀDĀĒÉÉĀHĀÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ IĀDĀĀCEĀÉĒGĀ
 ÉĀÉFFĀHĀÞĀQĀĀĀĀDĀHĀBĀÉÉĀÉÉĀÇĀTANÞĽ aNĀ IĀDĀĀCEĀÉĒGĀÉĀÉFFĀHĀŁĀQĀĀĀ
 ÉÉĀÉÉĀÇĀŁUNTĖ aĀDĀÉĀ IĀDĀĀCEĀÉĒGĀÉĀÉFFĀHĀŁĀQĀĀĀÉÉĀÉÉĀÇĀŪĽNŪĽ aNĀ
 ŠĀĒĀHĀ ÉÉÇÉĀGĒĀ ĀÉÉCGĖÉÉĀÉĀ ĀĀBCEĀĀ IÉÉFĀÇGBĀ ÓĀÇĀÉĀĀ CEĀÉÉGĀ
 ÉĀÉFFĀHĀĀÉÉFBĀĒĀĒĀÉĀÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀDĀÉFĀ
 ĀÉÇĀÉDĀPĀÉDĀĀ DĀĀĀÉĀĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀ DĀÉFĀ IĀHĀÉFĀĀÉÉĀÇĀ
 ÉÉÇQĀDĀĀ IĀDĀĀ CEĀÉÉGĀ ÉĀÉFFĀHĀ ŁĀ QĀĀĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ŁUNTĖ aNĀ YŌĀÉĀÉÉĒĀ
 IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ ÉÉÇĀÉÉĀÇĀ ÉÉDĖĀĀ ĐĀĒÉGĀ IĀDĀĀ CEĀÉÉGĀ
 ÉĀÉFFĀHĀŁĀQĀĀĀĀÉÉĀÉÉĀÇĀŪĽNŪĽ aNĀÉÉĀÉÉĀÇĀĀ IĀDĀĀCEĀÉÉGĀÉĀÉFFĀHĀÞĀ
 QĀĀĀ ĀÉĀĀHĀĒĀĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀDĀÉFĀ IĀHĀÉFĀ
 ÉÉÇĀHĀ ĐĀĒÉGĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ TANÞĽ aNĀ ÓĀÉĀĀ IÉÇÉÉÉĀÉĒĀ IÉÇĖĀĀBĀÉĀ
 ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀDĀĀ IĀÉĀDĀHĀBĀÉĀ IĀDĀĀ **1# , 2(\$#6`<NĀ**
 ĀĀ IĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ ĀCEĀĀ IĀDĀĀ IÉÇĀĒÉGĀÉĀ DÉÉFĀÉĀ
 IÉĀĀĀĒĀÉĀĀĀÉÉÉÇĀĀ ĀDĀHĀBĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ĄUNĀĽĀ ĀFUĀĀNĀ ÓĀDĀĀ IÇEÉÉÉĀ
 IÉÉFEHĀBĀÉĀ DÉÉFĀÉĀ ĀĀĒĀ ĀÉĀÉÇEĀĀ GÉÉGĒĀ CEĀÉÉGĀ ÉĀÉFFĀHĀÞĀ QĀĀNĀ
 ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ŪTNĖŪ a Ā ÁÉÉQĀDĀĀ
 TŁĀ ĀFUĀĀ DĀÉĀ ÉÉÉÉHĀBĀ DĀIÇEÉÉÉĀ ĀÉHĀHGĀĀ ĀĀĒĀ ĀÉÇEĀNĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ
 IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀĀÉÇEĀĀĀĀBĀÉÉĀÉÉĀÇĀÞŪNĀÞ aĀĀÉÉQĀDĀĀ
 ŪNTĀ ĀFUĀĀNĀ ÓĀDĀĀ CEĀÉÉGĀ ÉĀÉFFĀHĀ ŁĀ QĀĀĀ ÉÉÉÉHĀBĀ DĀHĀÈGĒĀÉĀ
 IÉÉFEHĀBĀÉĀ DÉÉFĀÉĀ ĀĀĒĀ ĀÉĀÉÇEĀNĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀ
 ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ŪNÞT aĀ ÁÉÉQĀDĀĀ TKŪĀĀ ĀFUĀĀ DĀÉĀ
 ÉÉÉÉHĀBĀ DĀIÇEÉÉÉĀ ĀÉHĀHGĀĀ ĀĀĒĀ ĀÉÇEĀNĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀ
 ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀĀÉÇEĀĀĀĀBĀÉÉĀÉÉĀÇĀŪNŪŪ aĀĀÉÉQĀDĀĀŪNŪĀ ĀFUĀĀNĀ
 ÓĀDĀĀCEĀÉÉGĀÉĀÉFFĀHĀŁĀQĀĀĀĀÉÉÉHĀBĀDĀHĀÈGĒĀÉĀ IÉÉFEHĀBĀÉĀDÉÉFĀÉĀ
 ĀĀĒĀ ĀÉĀÉÇEĀNĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀ ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ
 ŪĒNTŪ aĀ ÁÉÉQĀDĀĀ TKŪĽĀ ĀFUĀĀ DĀÉĀ ÉÉÉÉHĀBĀ DĀIÇEÉÉÉĀ ĀÉHĀHGĀĀ ĀĀĒĀ
 ĀÉÇEĀNĀÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀĀÉÇEĀĀĀĀBĀÉÉĀÉÉĀÇĀ
 ŪÞNTŪ aĀ ÁÉÉQĀDĀĀ ÞŪĀĀĀ ĀFUĀĀNĀ MĀDĀĀ ÉÉĒĀĀ ÉOĀÉĀÉÉĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀ
 ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀ IĀDĀĀ CEĀÉÉGĀ ÉĀÉFFĀHĀÞĀ QĀĀĀ ĀDĀHĀBĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ
 ĄETNŪT aNĀ IĀDĀĀ CEĀÉÉGĀ ÉĀÉFFĀHĀ ŁĀ QĀĀĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ĄETNKĖ aĀ DĀÉĀ IĀDĀĀ
 CEĀÉÉGĀ ÉĀÉFFĀHĀ ŁĀ QĀĀĀ ÉÉĀÉÉĀÇĀ ĄEUNKA aNĀ JĀÉĀPÇĀĒĀ IÉÉCGĖÉĀÉĀ
 ÉĀÉDGEFĀÉĀ IØØĀBĀĒĀHĀ IÉÉFEHĀBĀÉĀĀĀĒĀĀÉĀÉÇEĀNĀĀĀĒĀĀÉÇEĀĀDĀÉĀ
 FĀĀGEFĀÉĀĀĀĒĀĀÉÇEĀĀÞĀĀÉÇEĀĀDÉÉFĀÉĀ IÉĀĀĀĀĒĀÉĀĀĀÉÉÉÇĀĀ IĀDĀĀ
 ĀĀĒĀÉFÞĀĀÉĀÉFĀCEĀÉÉGĀÉĀÉFFĀHĀDĀĀ IĀÉĀDĀHĀBĀÉĀ IĀDĀĀ **1# - ' + ŽĪŽNĀ**

1# - '+' žiž'ā ōéεγϑεáēá īāēdgefāēá īøā šāēáhā ōéεfehābāēá ōéεfāēá
ōēāāāāēáōāēēēāōāōāōēēāīāōēēāēgāēá

fl# \$# , ' & ' \$ ' 1 ~ ' ~ ' ~			
fl '\$#%4#6'	6# '\$0 -'	'\$0 -'	6# '\$0 - 'á' '\$0 -'
pāmāāā	łłnāūāā	ūnēāā	ūūnūōāā
łāmāāā	ūānpāāā	āmlāā	ūp̄nēūāā
ēāmāāā	ūūntāā	ūnūāā	ūūnłāā
~'~'~'~'	knkptā	knttpā	kntūpā

" ' & '\$#65#67a ēāfādāēdīdāīāēēāēā dāçāāgōā rēēōāā āēēffgēāēāēāōōōōāā
āāfādō għīhīđ ūāēēāēdāā ēdāēāā rēfēāā āēēgīāēāēāçāēāpcāēāā īēēgϑεāēá
dāçāā āā għāēfāēā ēēçbādāīā çāēēgā ēāēffāhāā rēfēāā đāēfā đāēgēā bgçgōā
āēçāēdāā īādāā ēēēāā đāēfā ēāāāā āēēdāēāēāēā āēçāēdāā ēdāēāā
āēçdāēāçēāēāgōāā īēēdāknkpāā
ā

āā šāēáhā āēāhāēāēā ēēāēāēēāēā rvöžrā cīēđ īāā dēēfāēá ēāçāōā
ēdāēāā p a ā dābāēāēāēā āābçēāā dēēfāēá dāhāēgēāēēdāā īēāāāāēāēā
āāēēēçāā īādāā īēēfehābāēā āēāēçēāā āāēāā dādāīāēā qgāhābā
īēēgϑεāēāēāēdgefāēá īøāā đāēfāçēēdēçgefā āēēēfēāēāēāāgēā
ēgçāēfā ēāfēōāēāēā ēēçbādāīā īēēfāçgbā īēçāēgāēnā ēēdāēfēāēā
īādāā īēēfehābāēāāēçēāādāēāfāāgēfāāēāēçēāāyāāēçēāādāđāīāēā
qgāhābā īēēgϑεāēāēāēdgefāēá īøāā đāēfāōhēgēgāēōā wēāēāēā ēgçgēā
dāēā ēādāēā ēāfēōāēāēā ēēçbādāīā īēēfāçgbā īēçāēgāēnā īēēgϑεā
zābçāā dāēāōgçēāēēā wúktpxnā ōāēēēçā đāēfā dāīāēā āēā īēēfāçgbāā
āēēāçēdāā īēēdāēāēāēā īøāā īādāā āāçā hāāāābā āēēffgēāēāēā
āāēōāēēçā ādāhābā ādāēdāā ōāhēçāēēā īādāā ēāēēēāā āāēōāhēçānā yōīēāēēēā
çēāēōāhā đāēfā dāāēçāēāēā dāīāēā dāçāīāāā bāēffāāā p p a āēēēā īgēā
ēōōhgēēēāāēhgāā āēāēēgbāā āāēgā āgēgāā ōēbāēffāāōāēāā dāhābāēā dāçāā
bāēāhā īēēēāēāēā āāēāā ēēhābā ēēēgāāā dēēfāēá hāēēçāēgçā dāāāēāā
īēçēēēāēēēā īēēgϑεāēāēāēdgefāēá īøāā īāhāēfāēāēffāāđāēgā īādāā
çāēēēgā ēāēffāhā āēāōāāā ēāēēēāçā āēunkā a nā šāēáhā āēāā qg fāā dādgēçēfā
dēēfāēá īēēēāēāēāēā đāēfā dāhāēgēāēā ēhēbā ōāādā wúkkpxnā dēēfāēá
çāēēēgā ēāēffāhā łūāā ōāāā ēāā īāāā dēēfāēá ūūāā ōāānā ēōāēēēēāā
īēēfbāhāēfāēá īøāā hāāāābā īēēgçāēāēā qēāēā ēāēfāēā āāēāā đāēēāā
āēēçāīāāāā p p a ā pā āēūāā dēēfāēá īēēfehābāēā āāēōāēēçā āēāēçēāā pā
āēçēāāāēēffgēāēāēāēāēdāāābcāāōdāā

ā
ā
ā

pūā

ā

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

AA AAAAAABACCA DACEEEEA EACEA EAEADA AEEACCA AADAEA
AEBEFDEICACAGADHAAA
IIA IACEIEADACA EACDAA DAFGEGEEACA GACEAEA JACAAAACEA
FACEAGAGCACA DACEEACA CACAEEACA KLLA EAEADEA JACAAAACEA
FACECEACACA CACAEEACA ALMA AACA NLMNA BAAAACEACA
DACEIEADACA AACEACA DAFGEGEEACA GACEAEA JACAAAACEA
FACEECCACACACAEEACA ALMNA NLMNA AACA KLLIA
OIA OACEEA EEEEA EA DAAA DACEIEADACA EACDAA DAFGEGEEACA GACEAEA
JACAAAACEA FACECEACACA CACAEEACA ALMA AACA NLMNA
BAAAACEACA JACAAAACEA FACEECCACACACAEEACA KLLIA AACA
DAAA DACEIEADACA AACEACA DAFGEGEEACA GACEAEA JACAAAACEA
FACEECCACACACAEEACA ALMNA NLMNA AACA KLLIA
OIA OEBEACBEA DACEEACA CACAEEACA KLLA DAAA DACEIEADACA EACDAA
DAFGEGEEACAGACEAEA BAGABAAA IONA OADAAA HACEEAEAEAEA AOA FNA
OPNI QO DAAA HACEEA EEEEA EA OAFNA AACA ROROR OADAAA HACEEA
EECEEA EA QOAFIA
PIA OEBEACBEA EAGABAAA DACEIEADACA AACEACA DAFGEGEEACA GACEAEA
DAAA HACEEA EEEEA EA QOAFNA BAGABAAA EPNA I OASALMSNA EANAQO
SNLMSNA AACA QPNT OASKLLSIAA
A

5.2 Saran

LAAA EACEA AADAEA AEGAAECA DACEEBA AEAAA CAADACEEA
DACEEEEA ACEEA ADAAEAGAAOEA CAACEACA EAGEDAGACEAE EA
IIA MEDAEACA DACEEACA DAAA DAAFAEAAA EACA EACEA EAFABECA
GACEA FECA FACEAEA IAAFACA PUAAACA UADEACACA UIIA REA
KADACA OTIRA EAEEA FECEACA UA EAFACNA AFICEACNA AACA IEAEA
JIEEIAFIA
OIA MEDAEACA UAEEABEA HACEEA EEEEA EA AACEACA ECEAAUEA EACEA EEAACA
EAEAEA AADAEA AEAAA AEAADAEA DABEEA DACEEAEDA DAAEACA EACEA
EAGEDABEECEACACIAA
OIA MEDAEACA HACEEA DAFGEGEEACA GACEAEA SA/EAAASA EACEA EAGEDA
EAFAA AEAAA ALABCACA AADAEA EAGACECA BAJAAA FACBEFAEA DAAA

F ĀĀĒĀ ĜĒĪŌĒĒĀĀ ĴĀĎĔĈĒĒĀ ĈĀĈĀĒĈĒĀĈĀ ĎĀĈĴĀĴĀĀ ĎĀĀĀ ĀĒĀĀ
ĒĒĴĜĀĎĀĒĀĈĒĀĀĎĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀ
ĴĀĒĎĀĒĒĈĀĈĀ ĤĀĈĒĒĀ ĀĈĒĒĴĒĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀ
ĎĀĈĒĒĒĀĎĀĈĀ ĈĎĒĒĈĒĒĀĒĀ ĎĀĀĀĀ ĜĀĈĀ ĀĈĀĀĪĜĀ ĈĀĀĈĀĀ
ĴĀĴĜĒĒĎĈĀĈĀĤĀĈĒĒĀĎĒĒĒĒĒĒĒĀĈĒĒĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀĒĀ
ĀĀĪĜĀ ĀĒĀĀĀ ĜĀĈĒĒĒĒĀ ĎĀĈĒĒĒĒĀ ĎĀĀĀĀ ĜĀĈĀ ĀĈĀĀĪĜĀ ĴĒĀĎĀ
ĒĀĜĀĈĒĒĈĀĀĈĒĒĈĀĜĀĈĀĴĀĜĀĒĒĴĀĜĀĈĀĈĀĀĒĒĒĀĴĀĎĀĪĴĀĴĀ
ĎĀĈĒĒĒĀĎĀĈĀĪĀ

Ā

AQĀ

Ā

X0ÉI0ÉKÇÁ CEÁ FÆAEÁ /(+ \$" 0 , ~ "LŽ"1/1flflL ! (LŽž%LŽflL , flL ! (0 2fl ' , -L - %+ \$) (ÉÄÖÄÄÄÈIÄAQÄ OÈÄÄÄÄ OCBÄÄÉÄ

Á

XNÉÄÈBÇÇÄ OÄÉCÄ PEÏTÌÄÉÄ FÆGSÉÄ ~ ") flLflL , (/3(10 , flfl 0 flfl(flL L , flL "LŽflL ~ "L , flLž(\$, -L 3"ž+(ÉÄ ÎÈCÏÈÈÍCÌÄIÄ MÉCÏÏÈÄMÈC BÄÄ O ÄYÄÉÄÉÄOÄÄÄÈIÄÉÄ

Á

ÈÄBCÈCBLBLÇÄ ÜÈÇÄYÄICÄEÄÉÇÄ O ÈÇACEÈC ÄÄBÄÈÇÇÄÄÄYÈÇACEÄÈÄÍ ÄCÌÄÇÄŠÄ J ÉÄ BÄÄÉÄ XNÉÄÈÄÈÄÉÇÄ DEÄ FÆGFÉÄ ~ "LŽ"1/fl' flL ~ () ! (L - ("LŽflL ~) / + " + fi / 0 2(Lfl + (, (/3(1\$) ~ Lfl") / 2, 8, ~ ") / 2, flL @ "\$flL - ÉÄÖNÈÉÄNÄCÈÈÈÍCÌÄIÄIÄZÖFPQÄZSRZÓÉÄ

Á

ÈÄÄ ÄÈÄÄÈÄÄÈÄÄÈÄ ÜÇGZTTÇÄ @ fl\$") ~ L - @ fl + \$" > fl\$" , ° " + ' L / 1 / Ž . ÉÄÖLÄÈÄÄ OÖNÈÄÄÈÄBÄHLÉÍÉÄ JÈÈDLÄÄÄÄ

Á

ÈÄÈÄÄÄÄÍÇÄ HÄÄÄÍÈÄÄ FÆGGÉÄ ~ "LŽž%LflflL , fi(\$ / + flL , fl) (, fi%1(\$, 1 - flLž , flfl 0 & "L%)%LžflL , flfl - fl) , ° / \$fl / % + # "L - " - / / (- 4 ° / 5 ~ fl - fl ! (0 2fl ' , 6 fl() , -L - % + \$) (~ 1 . > / / - ÉÄ ÖNÈÉÄNÄÄÄNÄIÇÄÄÈÄDÖFPQÄGGARGFÓÉÄÄ

Á

ÈÄÈÄÄÈÄÍÇÄÄ OÈCÈÉÄ FÆAEÄÄ Ä3"ž\$(3(\$fl + , ~ Lfl") / 2 (ž , 9 /) (B / L \$ fl , ~ 1 % Ž ' (Lž , ' (1\$") , flfl 0 & "L%)%LžflL 6 7 flL @ fl) Lfl , ~ fl - fl ~ () , % flLžflL , -L - % + \$) (, flLž(ÉÄ ÖNKÄÍÄ ÄÄÄCÈÄÄ ÎÈCÏÈÈÍCÌÄIÄDÄNÄÄÄDÈBLÈÈÍCÄÄÄL LKÄÄÄÄÈIÄÉÄÄ

Á

ÈÄÄIÇÄÄÄÈÇÄDÍÄÄÄÇÄÈÈÇÄBÄÉÄHÈÈÈÈÈKÇÄÄÄ FÆGÆÄÄÄ Ä3"ž\$(3(\$fl + , / fl) (LžflL , (/3(1\$") ~ Lfl") / 2, flL ~ ") / 2, flfl 0 & "L%)%LžflL flfl - fl) , 7 °D 6 7 flL ? (\$) / Ž "L , ° / \$fl ! (0 2fl ' , 6 fl() , -L - % + \$) (flfl)" \$ÉÄÖNÈÉÄNÄÜMÜDEÄØDÖSPQÄFGÓRFFGÉÄ

Á

ÈÈÈÄÄÄÜÄÈKÇÄ ÄÄ BÄÉÄYÈÄ ÜÄÈÍCBOÄÄ FÆÆWÉÄ ~) / + " + "L(\$)(3žfl + (, - "LžflL , / (+ \$" 0 , (/3(1\$") , %L\$%ž , ~ "LŽ"1/fl' flL ~ () ! (0 2fl ' , flLž & "LžflL - %Lž ? (\$) flÉÄ ÖNÈÉÄNÄ ÖÈÄÈLNLKÇÄ ÖÈKÄNÈKÄÈÄÄÄØLÄNÄÄGPOÄSARÓÓÉÄ

Á

ÜNÄÄÄCÈÇÄ ÜCÄÄÄ HÈÄ FÆGWÉÄ ~ "L%)%LflL ! (0 2fl ' , 6 fl() , 7 flL 6 7 ~ fl - fl , -L - % + \$) (° fl ' % & "Lžž%LflžflL ° flLfl 0 flL 6 fl\$\$fl(1 4 ° . # ' fl , ~ Lž% + \$(3 / 1 fl5 , "LžflL , / (+ \$" 0

Á

6 / Ł + \$) % † \$ " - @ " \$ f i Ł - É Á H Ä È C I Í Ç Ä Í Ê C I È È Í Ç I Ä I Á J È K È È Ç Á
H È Ä Ä È Ä È K È Ä H È Ä Ä È Ä È K È Ä

Á

Ç È Ä È Ä Í Ä Ç I Ä Ç Ä Š È Ä J Ç Ä Y Ä I Ç Ä È Ä È Ç Ä Ö Ç Ä B Ä È Ä Ê Ä B Ç È C B L B L Ç Ä Ü È Ä F Ä G F È Ä
/ % - (~ " Ł Ž f i) % ' @ f i Ž \$ % ° (Ł Ž Ž f i ° ") ' f i - f i # ~ " Ł . (+ ' f i Ł
~ f i) f i 0 " \$) , 7 C D 6 7 f i Ł ° // ! (Ł - (& " Ł Ž Ž % Ł f i Ž f i Ł
, (/ 3 (1 \$) , / " † f i) f i ~ Ł f i ") / 2 E ~ ") / 2 , 4 / \$ % - (f i f i + % + F
? Ž) / Ł Ž Ž / D f i / \$ f i / f i f i \$ (Ž f i D * f i > f i ° " Ł Ž f i ' 5 È Ä H Ä È C I Í Ç Ä
Í Ê C I È È Í Ç I Ä Í Ä B Ç I L È È K L È L È Ä H È Ä Ä È Ä È K È Ä Á

Á

Ç È È Ä Ì N È Ä È Ä Ü È È Í È È Ç Ä Ö È K Ä N È K Ä È Ä Ê C B N I Á Þ Ä È Ä M È Ä N I Ä È È Ä Ä Y È I N Ú C Ä Ä
D È B L È È Í Ç Ä Ä J Ł È Ä Ä Z Ä Ö Ä N È Ä F Ä G Ä Ä Ö È È I Ä È K Ä Š Ä Ä N Ä Ü N I N Ä Ä Ç È Ä
Ö Ç Ä Ü Ä Ä Ä Þ L Ä È Í Ç Ä È Ä

Á

Ç È C I È Ç Ä È Ç È Ç Ä Þ Ä N B Ç Ä Ä È Ç Ä B Ä È Ä Ö Ä Ä Ä È Ç Ä J È Ä F Ä G Š È Ä A 3 " Ž \$ (G (f i +
~ " Ł f i 0 2 f i ' f i Ł A & H ~ f i - f i , (/ 3 (1 \$) , ~ Ł f i ") / 2 E ~ ") / 2
f i f i 0 ~ " Ł Ž / f i ' f i Ł () ! (0 2 f i ' ~ / L I ? 9 ~ / È Ä Ö È C I Í Ç Ä
Í Ê C I È È Í Ç I Ä Í Ä È Ä Í Ä È N B B Ç È È Ä Á

Á

Y N I Ä È I È L Ç Ä Þ È È È Ä L Ä È Ä B Ä È Ä M Ä È È Ä È È K È L È Ä Ç Ä J Ç È Ä È È Ä F Ä G F È Ä
~ " Ł Ž / f i ' f i Ł () ! (0 2 f i ' ! f i % Ł -) . " Ł Ž f i Ł , (/ 3 (1 \$)
f i Ł f i f i) 2 / Ł ~ Ž \$ (3 I ~) / + (- (Ł Ž / " 0 (Ł f i) ? f i + (/ Ł f i
& f i Ł f i J " 0 " Ł ° " Ž Ł / 1 / Ž (K L = Ç Ä È Í Ç I N I Ä H È I N I N Ä Ä J Ł Í È Ä Ü È È Ç Ä
H N È Ä Ü Ä Ä Ä Ç Ä I I È Ä R Ä R G Ä Ä Ä R Ä R Ž È Ä

Á

H Ä C B Ç Ä J N I Ä Ä D B Ä Ä È Ä B Ä È Ä Ö Ä Ä L È L Ç Ä È È È N Ä Þ È Ç Ä G Z Z Z È Ä ~ f i f i
~ " Ł Ž / f i ' () ! (0 2 f i ' ~ % 0 f i ' ° f i Ł Ž Ž f i / " 0 (f i / 0 ° Ł f i
f i / 0 2 (Ł f i + (, (/ 3 (1 \$) , ~ Ł f i ") / 2 f i Ł ~ ") / 2 È Ä Ö Ä Ä È È Í Ä Ä Ç Ä
Š Ç È È Ö È Ä

Á

H Ä C B Ç Ä J N I Ä Ä D B Ä Ä È È Ä È Ä F Ä È È È È Ä " Ž Ł / 1 / Ž (~ " Ł Ž / f i ' f i Ł () ! (0 2 f i '
" Ł Ž f i Ł ~) / + " + , (/ 3 (1 0 ° ") † " 1 % # È Ä Ö N È È Ä N Ä Ö È Ä È L N L K Ç Ä
Ö È K Ä N È K Ä È Ä D Ö F P Q Ä G Ä G Ä G G W È Ä

Á

H Ä C B Ç Ä J N I Ä Ä D B Ä Ä È È Ä È Ä F Ä È È È È Ä " Ž Ł / 1 / Ž (~ " Ł Ž / f i ' f i Ł ! (0 2 f i ' 6 f i)
= Ł - % + \$) È Ä Ö Ä Ä È È Í Ä Ä Ç Ä Š Ä B Ä È Ä Ç È È K Ä Ä Ç Ä È Ä B Ä È Ä Ç È È È È Ä I Ä È Ä
Ö È Ä È L N L K Ç Ä

Á

HŁĚĪÄĚÄÄÉÁ BÄÉÁ HNIÄĚÄCÉÉÁ FÆÆFÉÁ ~ " 0 2%fiŁŻfiŁ °(ŁJfi O
!(0 2fi' 6fi())ÉÁÖÄÄÄĚĪÄÖÁCEĚĚĚĚÜCĪÄŠNÄNÄMĚBLÄĪĚÉÄÉÁ ' XæÉÁ

Á
HNIÄC ÄÄĚÉÇÄÜĚÇÄHÄĪĚŁÇÄCEÇÄBÄÉÁ ÖÄÄDNBCÉÉÁ FÆGAÉÁ ~ Łfi1(+(+ fi(Ł")Jfi
, (/3(1\$")) & "-(fi fi")(ž(Ł fiŁ , fi\$% ~ #%ŁŽ ĪŁ\$%Ž
~ "ŁŽ/1fi' fiŁ !(0 2fi' 6fi()) -Ł-%+\$() (° fi' %ÉÁ HÄĚC Ī ĪCÉÁ
Ī ĚCĪĚĚ ĪCĪÄ ĪÄHNÄĪÉÄÄKĚĚKÄÖCĚĪÄĐÄ ĪÄÉÄÄ

Á
ÖÄĚÉĐÇÄ ' BBĐÄ BÄÉÁ MĚCĪCÄĚĪŁÇÄ ÖÉÁ HÉÁ FÆGAÉÁ °(ŁJfi%fiŁ ~ +#"ž
P"/\$žŁ(+ fiŁ ~ ") "ŁŁfiŁfiŁfiŁ , fiŁž%ŁfiŁ , fi>fi' ~
~)/. "ž ~ " 0 2fiŁž%ŁfiŁ P"-%Łž fi fi 0 #%+ ~ +%fi\$ =fi=
~ P' = *fi / (- / -fi - (° (0%) ? / Ī : HE : Q / " 0 fi) fiŁžÉÁ ÖNKÄĪÄ
ÄÄÄCÉÉÁ Ī ĚCĪĚĚ ĪCĪÄ ĪÄPC ĪŁĚĚKŁĚŁÉÄHĚÄÄĚÉÄKÉÁ

Á
OCBDÄĚÄĪCÇÄ LÄ YĚÇÄ ÜÄĚNÄÜÄÇÄDÄ ŠÄ CEÇÄ BÄÉÁ HNÄĪĪNĪCÇÄ JÄ XÄ ÄÄ ÜÄ BÉÁ
FÆGÖÉÁ A3"ž\$(G(\$fi+ !% 0 #%) ~ ž\$(3 fi fi 0 & "Ł%)%ŁžfiŁ
?(1fi(, 7 4, (/1/ž(+fi 7R.ž"Ł " 0 fiŁ-5 fiŁ 67
46' " 0 (+fi 7R.ž"Ł " 0 fiŁ-5 ~ fi-fi !(0 2fi' 6fi()) Ī ~
! fi 2Ī ~ Łfi1(\$ž Ī Ł(G"))+(\$fi+ Ī -fi. fiŁfiÉÁ ÖNĚÉÄĪÄMCÄCÄÉÄDÄ ðDPQÄ
GRAÉÁ

Á
OCÉBÄĚCÇÄ YÄÄCÄÄÄ ÖĚCÉÁ FÆGWÉÁ ~ "Ł"Ł\$%fiŁ fi fi -fi) 67 46' " 0 (+fi
7R.ž"Ł " 0 fiŁ-5 ~ fi-fi !(0 2fi' 6fi()) ~% 0 fi' /fiž(\$
/%1\$fiŁ /%1fi(0 fiŁ "ŁžfiŁ & "Łžž%ŁfižfiŁ
/#" Ł\$)/S%fiŁ\$? /Gfi T ; ÉÁ HÄĚC Ī ĪCÉÁ Ī ĚCĪĚĚ ĪCĪÄ ĪÄ HNÄÄĪĚĚÄÄ
ĪĪÄĚÄÄÜĚBÄĚÉÁ

Á
LNĪNäÇÄ ÜĚKÄÄ ÄĐNÉÁ FÆGFÉÁ ~)fi ~ ")fiž%fiŁ () /%Łžfi(/ " 2fižfi(
~ () , fiž% "ŁžfiŁ "žŁ/1/ž(" (R" - , " - "fi Ł\$ /) ÉÁ
HÄĚC Ī ĪCÉÁĚĪCĪNĪÄCĚĚĚĪÄĚCÄŠŁKŁĚÉÄŠŁKŁĚÉÁ

Á
VÄÄÉÄÇÄ ÖÄCĐÄ VÄ BÄÉÁ CENĚÉÄĚĪCÇÄ DINÉKÄ ÜÉÁ FÆGÓÉÁ ~ "Łž/1fi' fiŁ
!(0 2fi' ~% 0 fi' & fižfiŁ "ŁžfiŁ ~) / + + , (/3(1\$")
~ ") / 2 (žÉÄÖNĚÉÄĪÄÖĚÄĚCÄÄDÖHÉÄDØGPOÄWÖRWZÉÁ

Á
Á
ASÄ
Á