

JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh
Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani

JURNAL TEKNIK

Diterbitkan oleh
Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmed Yani

JURNAL TEKNIK

Vol. XI, No.1, 2012

Penanggung Jawab	: Susanto Sambasri, ST., MT.
Pemimpin Usaha	: Ir. Febrianto Adi Nugroho, MM.
Pemimpin Redaksi	: Cucu Wahyudin, Spt., MT.
Ketua Dewan Editor	: Prof. Waspodo Martojo, Ir.
Dewan Redaksi	: Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo Prof. Dr. R. J. Widodo Dr. Ing. Ir. Soepono adi Dwiwanto Dr. TMA. Ari Samadhi, Ir., M.Sc. Sumargo, Ir., M.Sc., Ph.D. Endang Padminingsih, Ir., M.Sc. Dr. Ir. Oviyan Patra, M.Sc.
Editor (Redaksi Pelaksana)	: Pawawoi, ST., MT. Rinto Yusriski ST., MT.
Distribusi dan Kesekretariatan	: Danang Kunjono, Drs.

Harga Langganan per Tahun

Instansi : Rp. 45.000,-
Pribadi : Rp. 40.000,-

Alamat Penyunting dan Tata Usaha

Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Jend. Gatot Subroto (Samping PT PINDAD)
Telp. (022) 7312741 ; Fax. (022) 7309433
E-mail : jurnaltek@gmail.com

No. Rek. Jurnal Teknik FT Unjani : BRI, 1107-01-001355-50-4

Jurnal Teknik – Diterbitkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
Frekuensi terbit Jurnal Teknik dalam satu volume sebanyak 2 nomor per tahun pada setiap
bulan : April dan November. Penerbitan perdana Volume 1 Nomor 1 pada Mei 2002

Pengantar Redaksi

Respon yang semakin tinggi dari civitas akademika Unjani mengiringi penerbitan Jurnal Teknik Volume X No. 2 tahun 2011, yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya naskah yang diterima oleh Dewan Redaksi. Sejumlah naskah tidak dapat diterbitkan pada edisi ini karena masih dalam proses review oleh penyunting ahli dan juga adanya keterbatasan ruang pada terbitan volume X No. 2 tahun 2011.

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan kontributor yang telah mengirimkan naskahnya, dan semoga pemuatan karyanya dalam Jurnal Teknik dapat menjadi pemicu untuk melahirkan karya-karya lain yang lebih bergairah dengan ide-ide *original* dan bermanfaat untuk masyarakat.

Selamat bekerja, dan semoga Allah swt meridhai karya-karya kita.

Bandung,

Dewan Redaksi

JURNAL TEKNIK

Vol. XI, No.1, 2012

DAFTAR ISI

Switch Otomatis Untuk Supplay Listrik Di Rumah Oleh : Susanto Sambasri ¹ , Yudi Ananto	1-21
Analisis Kerusakan Inlet Duct Untuk Turbin Pembangkit Listrik Akibat Retak Las Melintang (<i>transverse Weld Crack</i>) Failure Analysis Report Oleh : Pradoto Ambardi	22-32
Perancangan Alat Pemupukan Jenis Pupuk Kristal Untuk Tanaman Palawija Berbasis Metode Rasional Dengan Memperhatikan Aspek Keergonomian Oleh : Zaenal Muttaqien ¹ , Dody Mahendra ²	33-44
Monitoring Dan Kendali Prototipe Sistem Kelistrikan Rumah Menggunakan <i>Human Machine Interface</i> (hmi) Oleh : Yuda Bakti Zainal	45-53
Pengolahan Limbah Cair Tekstil Menggunakan Proses Elektrokoagulasi Dengan Sel Al - Al Oleh : Bambang Hari P	54-62
Analisis Perbandingan Model Linier Dan Nonlinier Struktur Perkerasan Berdasarkan Pengaruh Variasi Tebal Dan Modulus Oleh : Agus Juhara	63-79
Sistem Traksi Kereta Rel Listrik Dengan Teknologi VVVF Oleh : Taufik Hidayat	80-84
Perancangan Alat Bantu Proses Penyortiran Alumina Ball Pada Mesin Ball Mill Departemen Body Preparation Di PT. XYZ Oleh : Cucu Wahyudin STP., MT., ¹ Ikhsan Maulana ² ,	85-97
Kinerja Filter Pasir Lambat Dalam Menurunkan Fe Dan Mn Lela Mukmilah Yuningsih	98-106

Switch Otomatis Untuk Supplay Listrik Di Rumah

Oleh : Susanto Sambasri¹, Yudi Ananto

Jurusan Teknik Elektro FT. UNJANI
santo.sambasri@gmail.com, susanto@unjani.ac.id

Dengan sering terjadinya pemadaman listrik secara bergantian di perumahan, ini akan berakibat terganggunya segala aktifitas dan penerangan yang berhubungan dengan penggunaan listrik, juga akan berakibat rusaknya alat-alat yang mempergunakan listrik. Dengan menyediakan generator set (*genset*) sebagai *back-up* dalam penyediaan supplay listrik, namun masih mengalami proses pemadaman, karena saat *start-up* *genset* membutuhkan waktu, juga saat koneksinya rentan terjadi kesalahan, maka dibutuhkan suatu sistem yang dapat secara otomatis *men-switch power* dari master ke *back-up*, juga *start-up* *genset* tanpa proses pemadaman listrik.

Berlatar belakang masalah di atas, dilakukan penelitian bagaimana mendesain suatu *switch* (saklar) secara otomatis untuk membangkitkan *genset* dengan bantuan baterai, apabila terjadi pemadaman listrik dari PLN, dengan waktu yang relatif singkat, peralatan listrik di rumah masih tetap bekerja. Sehingga peralatan yang memerlukan listrik begitupun penerangan masih tetap bekerja dan tidak cepat rusak.

Dari hasil penelitian dan perancangan *automatic transfer switch* untuk kelistrikan rumah didapat bahwa sistem ini telah berjalan dengan baik, Sistem perpindahan secara otomatis dari PLN ke *Genset* atau sebaliknya hanya perlu waktu 5 menit dan proses pemadaman listrik hanya 0,3 detik. Fungsi *Automatic Main Failure* (AMF) menghidupkan *genset* secara otomatis ketika *supplay* atau pasokan arus listrik dari PLN terhenti. Dan fungsi *Automatic Transfer Switching* (ATS) *men-switching* pasokan listrik secara otomatis dari *Genset* ke *Supplay* listrik dari PLN dan juga sebaliknya. komponen utama dari sistem ini adalah IC TC 4017 dan IC TC 4060. *Load Sheed* membatasi pemakaian listrik sesuai kemampuan pembangkit.

Kata kunci : *Automatic Tranfer Switch*, Kelistrikan, *Genset*, *Back-up*.

I. Pendahuluan

PT PLN (Persero) selaku produsen energi listrik berusaha mengimbangi kebutuhan tersebut dengan selalu menambah pasokan tenaga listrik, hanya saja PT PLN mengalami keterlambatan dalam membangun pengembangan jaringan listrik dan ketersediaan listrik tidak sebanding dengan peningkatan permintaan. Sehingga pada saat banyak permintaan maka daya yang ada harus di bagi, dan sering terjadi pemadaman listrik secara bergantian, sehingga mereka membeli *genset* untuk *mem-back-up* saat listrik padam, hanya saja dalam proses *recovery*, listrik tetap mengalami proses pemadaman, sehingga hal ini juga masih mengganggu karena saat *start-up* *genset* membutuhkan waktu, juga saat koneksinya rentan terjadi kesalahan. Sehingga dibutuhkan suatu sistem yang dapat secara otomatis *men-switch power* dari master ke *back-up*, juga *start-up* *genset* tanpa proses pemadaman listrik. Untuk itu dibutuhkan suatu alat otomatis yang dapat *men-start* dan mengatur *switching* dari sistem kelistrikan 3 (*Tiga*) sumber yaitu listrik dari PLN, listrik dari *Inverter* dan listrik dari *Genset*.

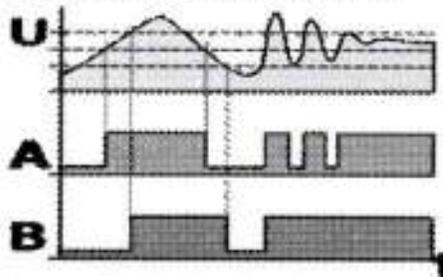
Dengan seringnya pemadaman listrik secara bergantian di perumahan sangat mengganggu. Walaupun *genset* dipergunakan sebagai *back-up*, tapi tetap mengalami proses pemadaman, sehingga hal ini juga masih mengganggu karena saat *start-up genset* membutuhkan waktu untuk *warming-up* dan juga saat koneksinya rentan terjadi kesalahan, maka dibutuhkan sistem yang dapat secara otomatis men-*switch power* dari *master* ke *back-up*, juga *start-up genset* tanpa proses pemadaman listrik.

Rancangan sistem yang dibuat adalah sistem pengontrol *transfer switch* yang bekerja secara elektronik sebagai pemindah beban ke listrik cadangan dan hanya dibuat untuk listrik 1 (*Satu*) fasa. Rancangan sistem ini hanya membahas mengenai *Automatic Transfer Switch* (ATS) dan *Automatic Man Failure* (AMF). Beban komplemen adalah beban resistif dengan total daya 300 watt dari lampu pijar.

II Tinjauan Pustaka

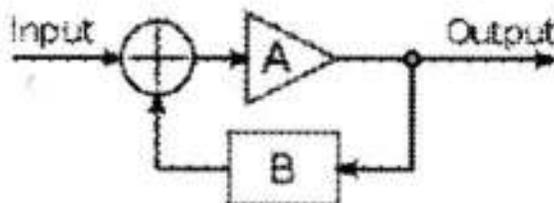
II.1 Nand Gate Schmitt Triger

Nand Gate Schmitt Triger adalah gerbang *logic* dua *inputan* atau lebih yang mana *output*-nya kebalikan dari hasil perkalian *input* hanya saja Schmitt Triger *output*-nya murni pulsa kotak. Nama generik dari sirkuit *threshold* dengan umpan balik positif memiliki *gain loop* > 1 . Rangkaian ini bernama "pemicu" karena *output* mempertahankan nilai sampai masukan perubahan yang cukup untuk memicu perubahan: dalam konfigurasi *non-inverting*, ketika *input* lebih tinggi dari ambang dipilih tertentu, *output* tinggi, ketika *input* bawah ambang batas (lebih rendah) yang berbeda dipilih, *output* rendah; ketika *input* adalah antara dua, *output* tetap nilainya. Tindakan ambang ganda disebut histeresis dan menyiratkan bahwa pemicu Schmitt memiliki memori dan dapat bertindak sebagai sirkuit bistable (*latch*). Schmitt memicu perangkat biasanya digunakan dalam loop terbuka konfigurasi untuk kekebalan kebisingan dan loop tertutup umpan balik negatif konfigurasi untuk menerapkan regulator bistable, segitiga/gelombang persegi generator, dll.



Gambar 2.1 Efek Menggunakan Pemicu Schmitt B Bukan Sebuah Komparator A

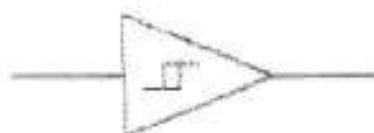
Implementasi



Gambar 2.2 Pemicu Umpan Balik Positif

Schmitt pemacu adalah sistem dengan umpan balik positif ($B < 1$; $BA > 1$), di mana *output* membantu *input*.

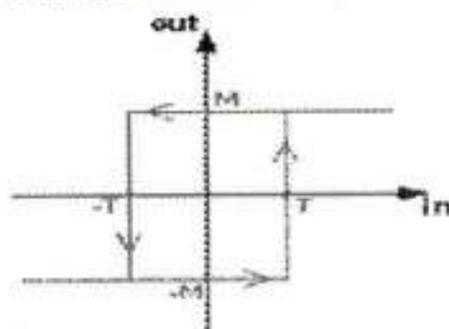
Dua ambang searah berbeda ditugaskan dalam hal ini untuk dua terpisah *loop* terbuka pembanding (tanpa *hysteresis*) membawa sebuah pemacu RS (2-masukan sel memori). Pemicunya adalah *toggled* tinggi ketika tegangan *input* ke atas ambang batas tinggi dan rendah ketika tegangan *input* atas ke bawah ambang batas rendah.



Gambar 2.3 Buffer Schmitt Trigger

Sebuah simbol pemacu Schmitt ditunjukkan dengan non-pembalik histeresis kurva tertanam dalam penyangga.

Simbol untuk pemacu Schmitt dalam diagram rangkaian adalah sebuah segitiga dengan simbol dalam kurva *hysteresis* yang mewakili ideal.



Gambar 2.4 Kurva *Hysteresis* Khas (*Non-Inverting*)
(yang sesuai dengan kurva yang ditunjukkan pada simbol pemacu Schmitt)

Aplikasi

Schmitt pemacu biasanya digunakan dalam *loop* terbuka konfigurasi untuk kekebalan kebisingan dan *loop* tertutup konfigurasi untuk melaksanakan generator fungsi.

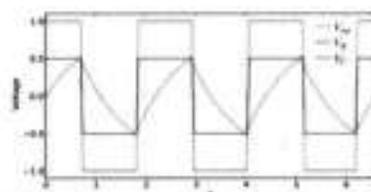
Kekebalan Kebisingan

Salah satu aplikasi pemacu Schmitt adalah untuk meningkatkan kekebalan kebisingan di sirkuit dengan hanya ambang *input* tunggal. Dengan hanya satu ambang batas *input*, bising sinyal *input* dekat ambang yang dapat menyebabkan *output* untuk beralih cepat bolak-balik dari kebisingan saja. Sebuah Pemacu Schmitt sinyal *input* yang bising di dekat salah satu ambang batas dapat menyebabkan hanya satu *switch* di nilai *output*, setelah itu harus bergerak melampaui ambang batas lainnya untuk menyebabkan tombol lain.

Sebagai contoh, di Fairchild Semi Conductor keluarga QSE15x dari *photo sensors* inframerah, yang diperkuat inframerah fotodiode menghasilkan sinyal listrik yang sering -

switch antara nilai absolut dan mutlak terendah nilainya tertinggi. Sinyal ini kemudian Low-pass disaring untuk membentuk sinyal halus yang naik dan turun sesuai dengan jumlah relatif waktu sinyal *switching on* dan *off*. Bahwa *output* disaring melewati ke *input* dari pemacu Schmitt. Efek bersih adalah bahwa *output* dari pemacu Schmitt hanya melewati dari rendah ke tinggi setelah sinyal inframerah yang diterima *photo diode* menggairahkan selama lebih dari beberapa keterlambatan diketahui, dan sekali pemacu Schmitt tinggi, itu hanya bergerak rendah setelah sinyal inframerah berhenti merangsang dioda selama lebih dari penundaan dikenal serupa. Sedangkan *photo diode* rawan beralih palsu karena kebisingan dari lingkungan, menunda ditambahkan oleh pemacu Schmitt *filter* dan memastikan bahwa *output* hanya *switch* bila ada masukan tentu merangsang perangkat.

Sebagaimana dibahas dalam contoh di atas, Fairchild *Semi Conductor* keluarga QSE15x dari *photo sensors* menggunakan pemacu Schmitt internal untuk kekebalan kebisingan. Pemacu Schmitt yang umum di banyak *switching* sirkuit untuk alasan yang sama (misalnya, untuk beralih debouncing).



Gambar 2.5 Output Bentuk Gelombang untuk Komparator Berbasis Osilator Relaksasi

II.2. Genset

Prinsip Dasar

Genset (*Generator Set*) merupakan bagian dari generator. *Genset* merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. *Genset* dapat digunakan sebagai sistem cadangan listrik atau "off-grid" (sumber daya yang tergantung atas kebutuhan pemakai). *Genset* sering digunakan oleh rumah sakit dan industri yang mempercayakan sumber daya yang handal, seperti halnya area pedesaan yang tidak ada akses untuk secara komersial menghasilkan listrik. Generator terpasang satu poros dengan motor diesel, yang biasanya menggunakan generator sinkron (alternator) pada pembangkitan. Generator sinkron terdiri dari dua bagian utama yaitu: sistem medan magnet dan jangkar. Generator ini kapasitasnya besar, medan magnetnya berputar karena terletak pada rotor.



Gambar 2.6 Genset

Konstruksi generator AC adalah sebagai berikut:

a. Rangka stator

Terbuat dari besi tuang, rangka stator merupakan rumah dari bagian-bagian generator yang lain.

b. *Stator*

Memiliki alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat GGL induksi.

c. *Rotor*

Rotor adalah bagian yang berputar, pada bagian ini terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.

d. *Cincin Geser*

Terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.

e. *Generator Penguat*

Generator penguat merupakan generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus.

Pada umumnya generator AC ini dibuat sedemikian rupa, sehingga lilitan tempat terjadinya GGL induksi tidak bergerak, sedangkan kutub-kutub akan menimbulkan medan magnet berputar. Generator itu disebut dengan generator berkutub dalam.

Keuntungan generator kutub dalam bahwa untuk mengambil arus tidak dibutuhkan cincin geser dan sikat arang. Karena lilitan-lilitan tempat terjadinya GGL itu tidak berputar. Generator sinkron sangat cocok untuk mesin-mesin dengan tegangan tinggi dan arus yang besar.

Secara umum kutub magnet generator sinkron dibedakan atas:

1. Kutub magnet dengan bagian kutub yang menonjol (*Salient Pole*). Konstruksi seperti ini digunakan untuk putaran rendah, dengan jumlah kutub yang banyak. Diameter rotornya besar dan berporos pendek.
2. Kutub magnet dengan bagian kutub yang tidak menonjol. Konstruksi seperti ini digunakan untuk putaran tinggi (1500 rpm atau 3000 rpm), dengan jumlah kutub yang sedikit. Kira-kira 2/3 dari seluruh permukaan rotor dibuat alur-alur untuk tempat lilitan penguat. Yang 1/3 bagian lagi merupakan bagian yang utuh, yang berfungsi sebagai inti kutub.

II.3. Transfer Switch

Sebuah *switch transfer* listrik yang menghubungkan sumber tenaga listrik dari sumber utama ke sumber siaga. Switch dapat secara manual atau secara otomatis dioperasikan. Sebuah *Otomatis Transfer Switch* (ATS) sering diinstal di mana generator cadangan terletak, sehingga generator dapat memberikan daya listrik sementara jika terjadi kegagalan pada sumber utama.

Cara Kerja Saklar Pengalihan

Serta men-transfer beban ke generator cadangan, ATS akan memerintahkan generator cadangan untuk memulai start, berdasarkan tegangan dipantau pada pasokan utama. Saklar men-transfer ke generator cadangan dari utilitas listrik, ketika generator menyala dan memberikan power sementara. Saklar transfer bisa secara manual, atau kombinasi dari manual dan otomatis. Transisi saklar mode (lihat di bawah) sebuah *switch transfer* mungkin akan Transisi Terbuka (PL) (tipe biasa), atau Transisi Tertutup (CT).

Sebagai contoh, di sebuah rumah yang dilengkapi dengan generator cadangan dan ATS, ketika terjadi pemadaman listrik utilitas, ATS akan memberitahu generator cadangan untuk memulai start. Setelah ATS melihat bahwa generator siap untuk menyediakan tenaga listrik, maka ATS akan perintahkan sambungan rumah untuk utilitas listrik dan menghubungkan generator untuk panel utama listrik rumah. Generator pasokan listrik ke beban listrik rumah, dan memutus ke utilitas listrik. Isolasi generator dari sistem distribusi yang diperlukan untuk melindungi generator dari kelebihan beban, dan untuk mencegah energization disengaja kabel layanan.

Ketika listrik kembali untuk waktu yang ditetapkan, saklar *transfer* akan mentransfer kembali ke aliran listrik dan generator perintah untuk mematikan, demi satu jumlah tertentu "dingin" waktu tanpa beban pada generator.

Sebuah *switch transfer* dapat diatur untuk memberikan kekuatan untuk hanya sirkuit kritis atau seluruh listrik (sub) panel. Beberapa *transfer switch* memungkinkan untuk menumpahkan beban atau prioritas sirkuit opsional, seperti pemanasan dan pendinginan peralatan. Lebih kompleks darurat *switch gear* digunakan dalam instalasi generator cadangan besar izin pemuatan lunak, yang memungkinkan muatan yang akan lancar ditransfer dari utilitas untuk generator sinkron, dan punggung; instalasi tersebut berguna untuk mengurangi permintaan beban puncak dari utilitas.

II.4 Deskripsi Singkat Panel ATS AMF

1. Panel ATS (*Automatic Transfer Switch*)

Pemakaian Panel ATS pada instalasi dalam gedung dimaksudkan untuk mengantisipasi pada saat PLN gagal dalam mensupplai listrik (mengalami pemadaman), maka dalam hal ini *genset* yang akan menggantikan peranan dari PLN untuk mensupplai sumber daya listrik, disini peranan Panel ATS adalah memindahkan secara otomatis distribusi dari PLN ke *Genset*, sehingga *Genset* tersebut dapat menggantikan peranan dari PLN untuk mensupplai sumber daya listrik pada Gedung/lokasi tersebut. Selanjutnya apabila PLN kembali normal, maka Fungsi ATS secara otomatis memindahkan distribusi daya listrik dari *Genset* ke PLN.

2. PANEL AMF (*Automatic Main Failure*)

Jika kita ingin agar dalam menghidupkan atau mematikan (*On-Off*) *Engine Genset* secara otomatis (tanpa peranan operator), maka Panel AMF yang akan menggantikan peranan operator untuk mengoperasikan *Genset*. Untuk proses perawatan, sebaiknya *Genset* perlu dilakukan pemanasan setiap seminggu sekali selama 10-15 menit untuk sirkulasi pelumas/oli ke seluruh bagian mesin. Dalam hal ini pemakain Panel AMF akan menggantikan peranan Operator untuk melakukan tugas pemanasan *Genset* (*Warming-up*). Dengan dilengkapi sebuah *Timer*, maka *Genset* tersebut dapat di-*setting* untuk melakukan proses pemanasan sendiri secara otomatis tanpa bantuan operator. Kita tinggal men-*setting* pada hari apa, berapa menit dan dalam seminggu ada berapa kali proses *warming-up* dilakukan.

Gabungan antara Panel ATS AMF memberikan solusi yang terpadu untuk mengotomatis-kan dalam menangani masalah kegagalan PLN, PLN akan membebaskan biaya kelebihan pemakaian KVARH pada pelanggan, jika rata-rata faktor dayanya ($\cos \phi$) kurang dari 0.85. Disinilah fungsi dari Pemasangan Panel *Capacitor Bank* yaitu -

Untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) sehingga biaya denda akibat kelebihan pemakaian KVARH dapat diminimalkan/dihilangkan. Selain itu fungsi lain dari pemasangan Panel *Capacitor Bank*:

- a. Menghilangkan Denda/Kelebihan Biaya (kVARh)
- b. Menghindari kelebihan beban transformator/*trafo over load*
- c. Menghindari kenaikan Arus/Suhu pada kabel
- d. Memaksimalkan Pemakaian Daya yang terpasang (kVA)
- e. Menghindari *voltage drop* pada *Line-end*, Meningkatkan kualitas
- f. Sumber daya listrik memelihara peralatan/perangkat elektrik yang terpasang

Synchronizing Panel

Jika pada Gedung terdapat pemakaian dua *Genset* untuk mensupply energi listrik pada satu jalur instalasi, *output* dari kedua *Genset* tersebut terlebih dahulu harus di-sinkronkan (*synchronizing*). Yang akhirnya diharapkan kedua *output Genset* tersebut akan memiliki tahapan rangkaian yang sama dalam *Voltage*, *Phase*, dan *Frequency*-nya

Isolation Transformer - Powercare Series

- Adalah produk yang berfungsi untuk memperbaiki kualitas tegangan pada *Neutral-Ground (Grounding)*.
- Mempunyai kemampuan untuk meredam *Noise (Common Mode Noise maupun Normal Mode Noise)* termasuk juga *Transient* yang timbul dalam sumber daya listrik, dimana hal tersebut adalah salah satu masalah dalam *Power Quality* yang dapat mengganggu dan/merusak sistem kerja operasional peralatan/perangkat listrik yang sensitif terhadap kualitas sumber daya listrik.
- Dalam beberapa penggunaan instalasi, adanya *Isolation Transformer* ini memungkinkan kita untuk membuat *Dedicated Ground System*.

Load Sheet

Load shed adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk memutus beban agar tidak terjadi *over load* pada unit pembangkit, *load shed* di rancang berdasarkan perhitungan kemampuan pembangkit.

Load Shedding adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk melepaskan beban secara otomatis ketika jumlah pasokan daya berkurang.

a. Pelepasan Secara Otomatis

Dilakukan dengan cara mendeteksi frekuensi atau dengan melihat kondisi sumber daya pembangkit yang beroperasi tidak mencukupi kebutuhannya.

b. Pelepasan yang Didasarkan pada Kondisi Frekuensi

Pada saat frekuensi turun pada *level* tertentu, akibat adanya pembangkit yang *trip*, maka dilepaskan beban yang tidak begitu penting (yang tidak menyebabkan operasi pengolahan terganggu, biasanya perumahan). Jika frekuensi masih turun terus, maka beban berikutnya yang dilepaskan, mungkin mengorbankan salah satu pabrik, demikian seterusnya sampai *level* ke empat. *Relay* yang dipakai disini *relay* under frekuensi.

II.5. Inverter

Inverter adalah suatu alat yang mengubah listrik arus searah menjadi listrik arus bolak balik. Ada tiga kategori *inverter*: *grid-tied*, *grid-tied* dengan baterai cadangan, dan *stand-alone*. Kedua jenis *inverter* yang pertama adalah *inverter line-tied*, yang digunakan dengan sistem panel surya *utility-connected*. Jenis yang ketiga adalah *stand-alone* atau *inverter off-grid*, diciptakan untuk berdiri sendiri (tidak bergantung), sistem energi *utility-free* dan cocok untuk instalasi panel surya.

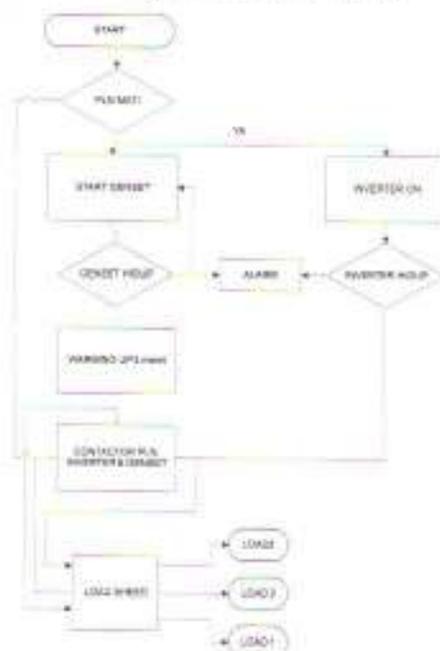
III. Perancangan Sistem Automatic Switching Kelistrikan Di Rumah

Pembuatan alat ini dilakukan dari hasil gabungan antara ide dan teori yang terdapat pada bab sebelumnya dapat diterapkan pada pembuatan alat ini. Selain itu, proses pembuatan sistem dilakukan secara terstruktur, sehingga mempermudah pembuatan untuk mendapatkan hasil yang optimal dan sistem bekerja seperti yang diharapkan. Dalam rancangan ini dapat dibagi dalam beberapa blok dengan masing masing fungsi sebagai berikut.



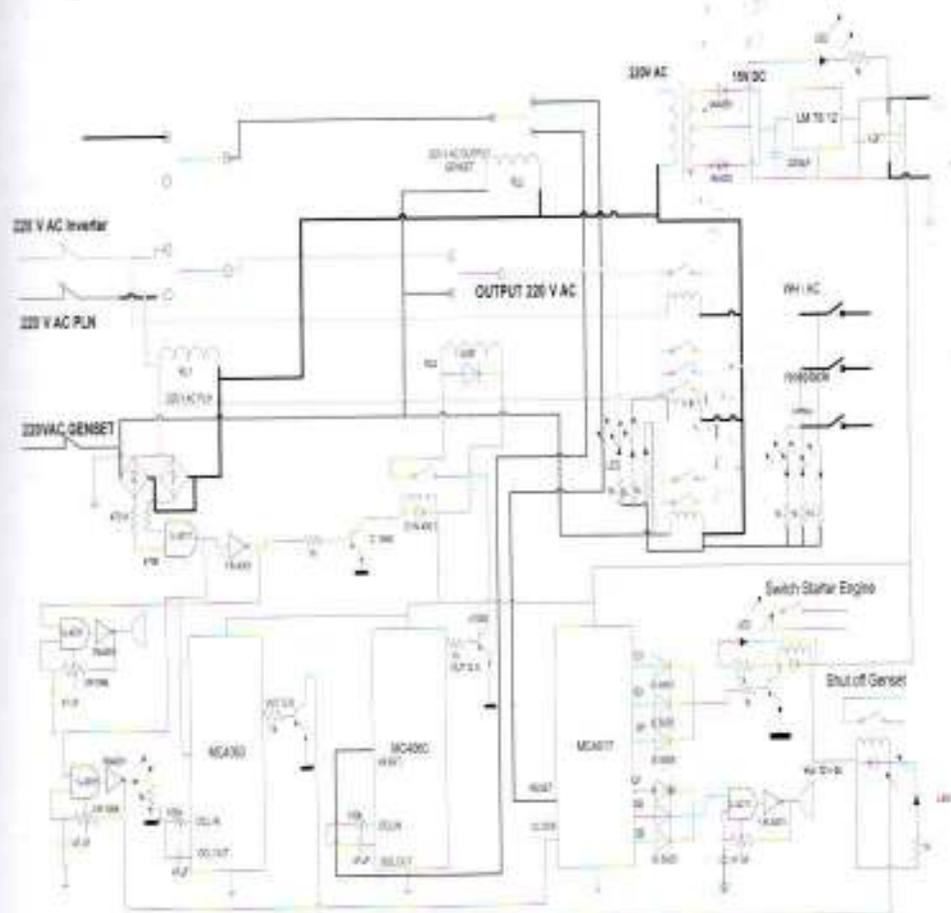
Gambar 3.1 Blok Diagram *Automatic Switching* Kelistrikan Rumah

III.1. Flow Chart *Automatic Switching* Kelistrikan Rumah



Gambar 3.2 Flow Chart *Automatic Switching* Kelistrikan Rumah

III.2. Diagram Rangkaian Lengkap Automatic Switching Kelistrikan Rumah



Gambar 3.3 Rangkaian Kontrol *Central Switching*

III.3. Cara Kerja Sistem

Sistem kelistrikan yang dirancang menggunakan 3 (*Tiga*) sumber listrik, yaitu listrik dari PLN, listrik dari Inverter, listrik dari *Genset*. Secara keseluruhan sistem ini berfungsi untuk mengatur *switching* dari PLN, inverter dan *Genset*. Tujuan dari pemakaian system ini agar tidak terjadi pemadaman walau pun hanya sesaat.

Berikut merupakan cara kerja sistem ini:

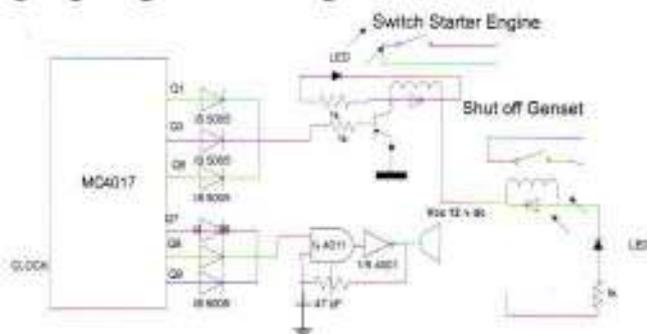
1. Saat listrik yang bersumber dari PLN padam, maka, secara otomatis inverter bekerja dan mem-*back-up* listrik.
2. Sementara dalam waktu yang bersamaan diperintahkan inverter mem-*back-up power* sampai *genset* dalam kondisi siap, juga diperintahkan *starter genset* untuk bekerja selama 3 (*Tiga*) detik, dan jika gagal yang dibuktikan dengan tidak ada *output* tegangan dari *genset*, maka proses *starting* akan diulangi sebanyak 3 (*Tiga*) kali dan kalau masih gagal, maka akan mengaktifkan alarm, jika berhasil maka dilakukan *warming-up* selama 3 (*Tiga*) menit setelah itu *switch* akan berpindah untuk menggantikan posisi inverter ke *genset*, dan inverter diperintahkan untuk kondisi *standby*.

3. Saat listrik dari PLN sudah kembali normal, maka secara sistem kelistrikan otomatis akan berpindah ke PLN dan *genset* dalam keadaan *unload* selama 3 (*Tiga*) menit untuk proses *cooling down* kemudian *genset* baru diperintahkan untuk mati.

III.4. Automatic Main Failure(AMF)

Panel AMF adalah sistem untuk menggantikan peranan operator untuk mengoperasikan *Genset* ketika *supplay* atau pasokan arus listrik dari PLN terhenti. Untuk menghidupkan atau mematikan *EngineGenset* secara otomatis (tanpa peranan operator), Panel AMF akan melakukan tugas pemanasan *Genset* (*Warming-up*). Dengan dilengkapi sebuah *Timer*, maka *Genset* tersebut dapat di-*setting* untuk melakukan proses pemanasan sendiri secara otomatis.

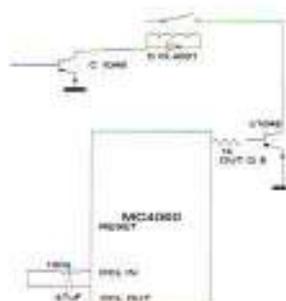
Alat ini merupakan *ring counter* dengan menggunakan IC MC 4017 yang di gerakkan oleh *clock generator* dari IC Nand Gate Schmitt *trigger* MC 4093 yang dapat diatur waktu dan jumlah *starter* yang diinginkan, dimana *clock* di *trigger* oleh *switch relay* yang diaktifkan dari tegangan yang berasal dari listrik PLN, sehingga jika listrik dari PLN padam maka hilangnya tegangan akan langsung mengaktifkan *clock generator* untuk memulai *starter genset*.



Gambar 3.4 Rangkaian Starter Control

III.5. Timer Warming-up

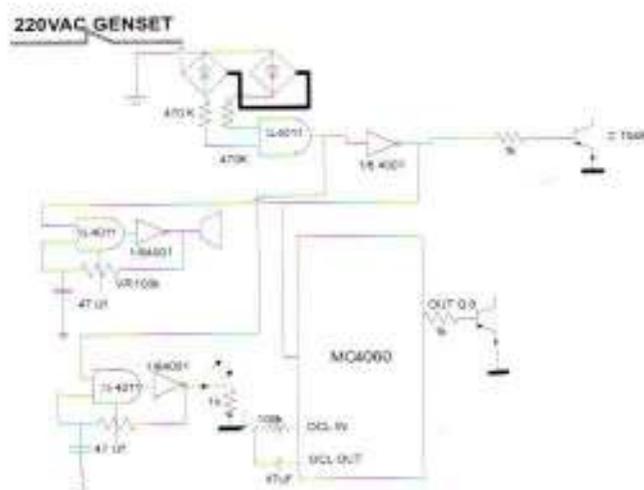
Alat ini berfungsi untuk menunda *transfer switch* sampai *genset* dalam posisi stabil, diharapkan dengan *idle* selama 3 (*Tiga*) menit *genset* sudah dalam keadaan stabil. Alat ini mempergunakan IC *Type Ripple Counter* MC 4060 yang berfungsi untuk men-*delay* *switch contact* untuk *load transfer*, agar temperatur kerja *genset* tercapai, sehingga saat di berikan *load*, maka perangkat ini tidak *drop*, juga membuat *genset* lebih awet.



Gambar 3.5 Rangkaian Control Warming-up

III.6. Timer Cooling down

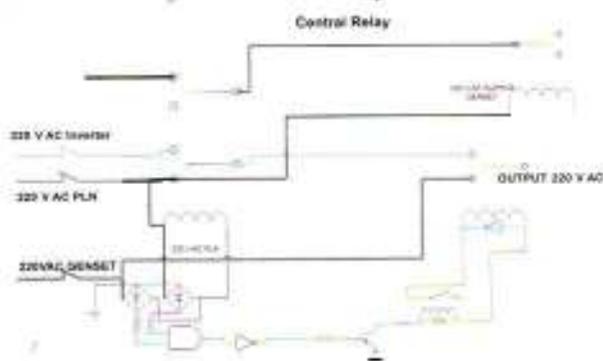
Alat ini mempergunakan IC Type *Ripple Counter* MC 4060 yang berfungsi untuk men-*delay switch contact* saat *load* di lepas, *genset* tetap dalam kondisi hidup beberapa saat agar temperatur tidak mendadak turun dan *genset* masih dilumasi sehingga temperatur turun secara bertahap.



Gambar 3.6 Rangkaian Control Cooling Down

III.7. Panel Switching Contactor

Alat ini terdiri dari *relay-relay* yang dikontrol oleh rangkaian *logi cyang* dihubungkan ke *input* tegangan dan *outputnya* ke kontaktor alat ini berfungsi untuk memindahkan distribusi dari PLN ke inverter lalu ke *Genset*, untuk mensupplay sumber daya listrik pada rumah, begitu juga sebaliknya. Sehingga perpindahan dari PLN ke inverter kemudian ke *genset* atau sebaliknya hanya perlu waktu yang sangat singkat. Kumpulan *relay contactor* ini diperintahkan dari kontrol ATS untuk pindah dari PLN, inverter ke generator. Ketika listrik kembali normal, maka saklar *transfer* akan mentransfer kembali ke aliran listrik PLN.



Gambar 3.7 Rangkaian Control Central Switching

III.8. Load Sheed

Load sheed adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk memutus beban agar tidak terjadi -

overload pada unit pembangkit, *loadsheed* di rancang berdasarkan perhitungan kemampuan pembangkit.

a. *Load Shedding*

Adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk melepaskan beban secara otomatis ketika jumlah pasokan daya berkurang.

b. *Pelepasan secara Otomatis*

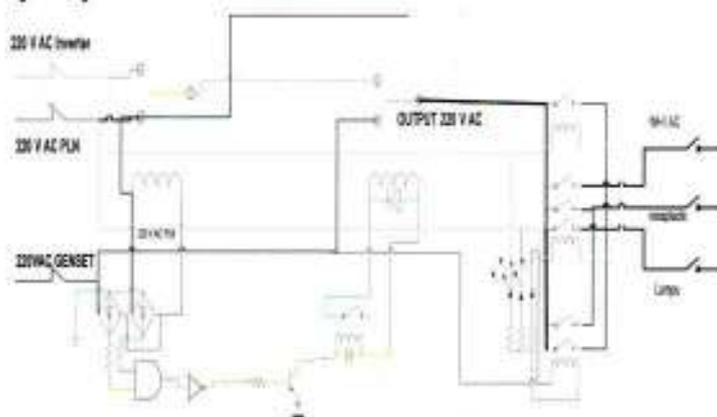
Dilakukan dengan cara mendeteksi frekuensi atau dengan melihat kondisi sumber daya pembangkit yang beroperasi tidak mencukupi kebutuhannya.

c. *Pelepasan yang Didasarkan pada Kondisi Frekuensi*

Pada saat frekuensi turun pada *level* tertentu, akibat adanya pembangkit yang trip maka dilepaskan beban yang tidak begitu penting (yang tidak menyebabkan operasi pengolahan terganggu, biasanya perumahan). Jika frekuensi masih turun terus, maka beban berikutnya yang dilepaskan, menurut tingkat kepentingannya seperti salah satu pabrik, demikian seterusnya sampai *level* keempat.

d. *Pelepasan secara Otomatis*

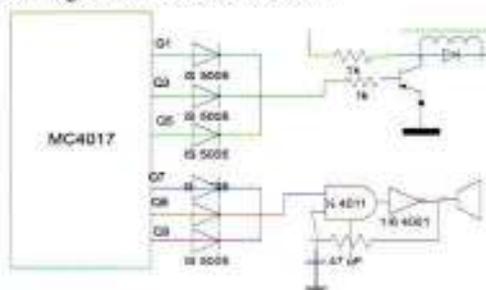
Pada alat yang dirancang ini mempergunakan tipe pelepasan secara otomatis dengan melihat kondisi sumber dan *Relay* yang dipakai disini menggunakan *inputan* dari sumber daya pembangkit yang ada dibandingkan adalah kebutuhan dan kemampuan pemasok.



Gambar 3.8 Rangkaian Control Load Sheed

III.9. Alarm Control and Indicating

Alat ini merupakan media komunikasi antara alat dan manusia, sehingga kita dapat dengan mudah mengetahui kondisi alat tersebut. Rangkaian ini merupakan rangkaian *logic* untuk mengaktifkan alarm juga sebagai indikasi kondisi alat.



Gambar 3.9 Rangkaian Alarm Control & Indicating

III.10. Power Supplay

Power supplay menggunakan trafo dengan inputan 220 V AC dan *output* 15 volt AC setelah di searahkan melalui dioda jembatan lalu *output* di sempurnakan oleh kapasitor dan diturunkan menjadi 12 volt DC dengan menggunakan IC MC 7812, yang dapat dibebani maksimum sebesar 1 A dan cukup untuk menggerakkan alat otomatis *switching power* ini dengan menggunakan catu daya sebesar 12 V DC.



Gambar 3.10 Rangkaian *Control Power Supplay*

IV. Pengujian Dan Analisis

IV.1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan yang dirancang dalam menggunakan 3 (*Tiga*) sumber yaitu listrik dari PLN, Listrik dari Inverter, dan dari *Genset*. Secara keseluruhan sistem yang dibuat ini berfungsi untuk mengatur *switching* dari PLN, Inverter dan *Genset* secara otomatis, kerja sistem ini adalah : saat listrik yang bersumber dari PLN mati, maka secara otomatis inverter bekerja dan *memback-up* listrik, sementara dalam waktu yang bersamaan diperintahkan *startergenset* untuk bekerja selama 3 detik, dan jika gagal yang dibuktikan dengan tidak ada *output* tegangan dari *genset* maka proses *starting* akan diulangi sebanyak 3 kali dan kalau masih gagal maka akan mengaktifkan alarm. Dan jika berhasil maka dilakukan *warming-up* selama 3 menit setelah itu *switchkan* berpindah dari inverter ke *genset*. Saat listrik dari PLN menyala maka secara otomatis akan berpindah ke PLN dan *genset* dalam keadaan *unload* selama 3 menit untuk proses *coolingdown* kemudian *genset* baru diperintahkan untuk mati.

IV.2. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem dan dilakukan pengambilan data dari pengukuran tegangan dan frekuensidan bentuk pulsa pada saat perpindahan dari PLN ke inverter dan ke *genset*.

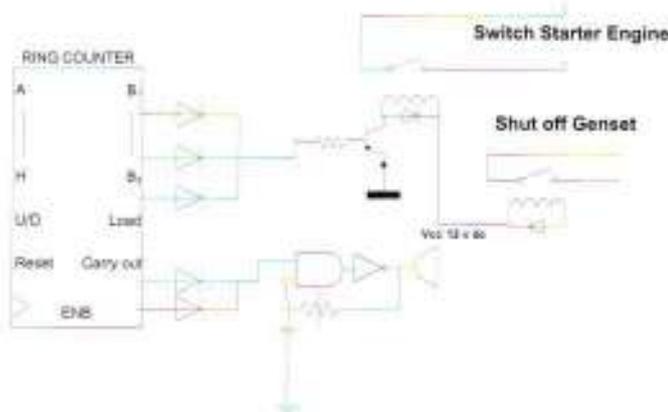
Dimana tingkat ketelitian menyatakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga yang ingin di capai. Sedangkan untuk ketepatan (presisi) menyatakan tingkat kesamaan didalam sekelompok pengukuran atau sejumlah alat.

Setiap pengukuran tidak semua menghasilkan hasil yang sempurna. Hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain:

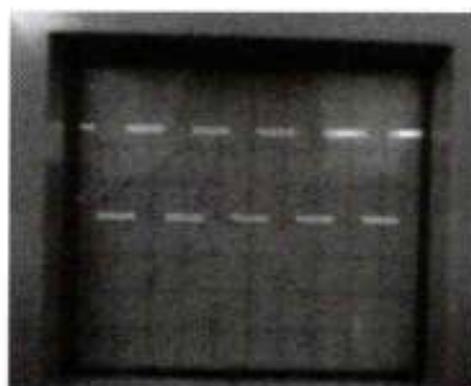
1. Kesalahan yang disebabkan oleh manusia, diantaranya adalah kesalahan pembacaan alat ukur, penyetulan yang tidak tepat dan pemakaian alat yang tidak sesuai.
2. Kesalahan sistematis yang disebabkan oleh kekurangan-kekurangan pada instrumen sendiri, seperti kerusakan, pada bagian yang sangat berpengaruh terhadap peralatan pada saat digunakan.

IV.3. Pengujian Starter Control

Alat ini berfungsi untuk menghidupkan *genset* secara otomatis ketika *supplay* atau pasokan arus listrik dari PLN terhenti. Alat ini intinya adalah *ring ounter* menggunakan IC MC 4017 yang di gerakan oleh *clock* generator dari IC Nand Gate Schmitttrigger MC 4093 yang dapat diatur waktu dan jumlah *starter* yang diinginkan, dimana *clock* tadi di *triger* oleh *switchrelay* yang diaktifkan dari tegangan yang berasal dari listrik PLN, sehingga jika listrik dari PLN padam maka hilangnya tegangan akan langsung mengaktifkan *clock* generator untuk memulai *startergenset*. untuk lebih jelasnya rangkaian *startercontrol* dan hasil pada ocildoskop dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Rangkaian *Starter Control*



Gambar 4.1.1 Hasil Pengujian Alat *Starter Control*

Berikut hasil pengujian alat *Starter Control*:

1. Saat *supplay* dari PLN diputus maka *Starter* langsung bekerja.
2. Saat dilakukkaan simulasi *starter* pertama gagal maka rangkaian melanjutkan dengan *starter* berikutnya sampai 3 kali.
3. Dari hasil pengujian bila 3 kali *starter* tetap gagal alarm *genset failure* aktif.

Analisa:

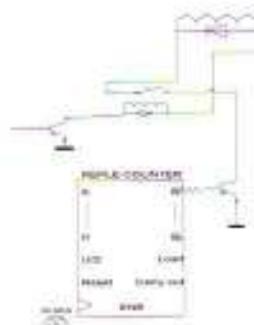
Dari hasil pengujian rangkaian ini dapat di lihat kontrol *starter* dapat berfungsi dengan baik sesuai rancangan yang diinginkan.

IV.4. Pengujian Timer Warming-up

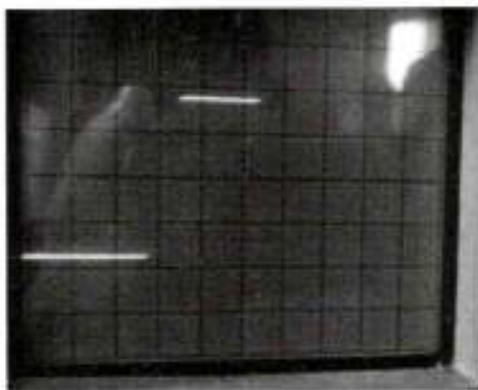
Alat ini mempergunakan IC *Type Ripple Counter MC 4060* yang berfungsi untuk *delay switch contact* untuk *load transfer*, agar temperatur kerja *genset* tercapai, sehingga saat di berikan *load*, maka *genset* tidak *drop*, selain itu juga membuat *genset* lebih awet.

Rangkaian ini aktif saat intruksi *genset running terdetekt* dan memerintahkan untuk *transfer switch* ditunda selama 3 menit untuk memberi kesempatan *genset* mencapai temperatur kerja.

untuk lebih jelasnya rangkain *starter control* dan hasil pada ociloskop dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini



Gambar 4.2 Rangkaian *Control Warming-up*



Gambar 4.2.1. Hasil Pengujian Alat *Timer Warming-up*

Hasil pengujian alat *Timer Warming-up*:

1. Saat *genset running*, rangkaian ini langsung aktif untuk *delay transfer switch* selama 3 menit.
2. Setelah 3 menit, *switch* langsung *transfer* dan *genset* dalam kondisi *load*.

Tabel 4.1 Pengukuran Waktu *Warming-up*

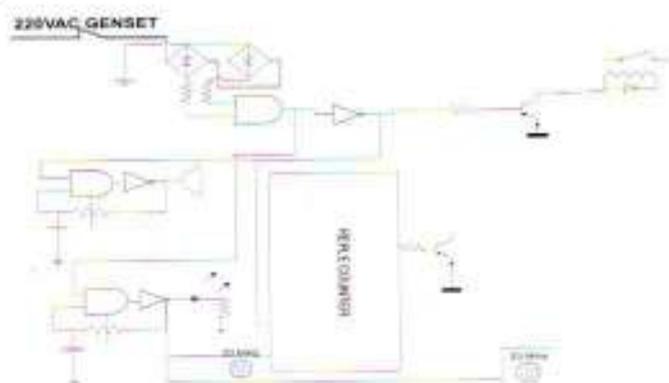
No	Kondisi Genset	Waktu
1	Genset Running	3 menit 2 detik
2	Genset Load	3 menit 2,3 detik

Analisa:

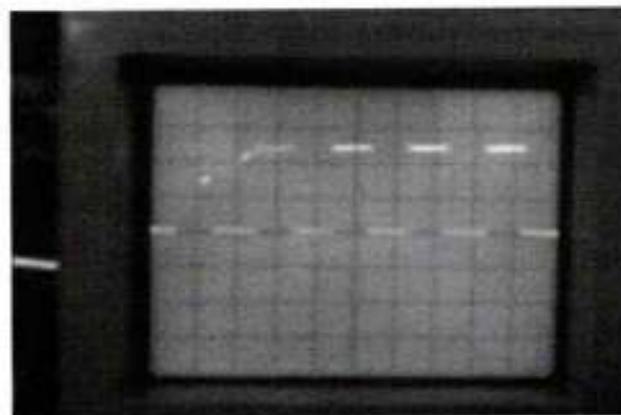
Saat *genset running*, tidak langsung *load*, melainkan melakukan pemanasan terlebih dahulu selama 3 menit 2 detik. Setelah itu pindah ke posisi *Load*

IV.5. Pengujian Timer Cooling Down

Alat ini mempergunakan IC *Type Ripple Counter MC 4060* yang berfungsi untuk *delay switch contact* saat *load* di lepas, *genset* tetap dalam kondisi hidup beberapa saat agar temperatur tidak mendadak turun dan *genset* masih dilumasi sehingga temperatur turun secara bertahap.



Gambar 4.3 Rangkaian *Control Cooling Down*



Gambar 4.3.1. Hasil Pengujian Alat *Timer Cooling Down*

Hasil pengujian alat *Timer Cooling Down*:

1. Saat PLN kembali normal, *transfer switch* langsung pindah ke posisi PLN.
2. *Genset* masih tetap *running* tanpa *load* selama 3 menit 1 detik.

Tabel 4.2 Pengukuran Waktu *Cooling Down*

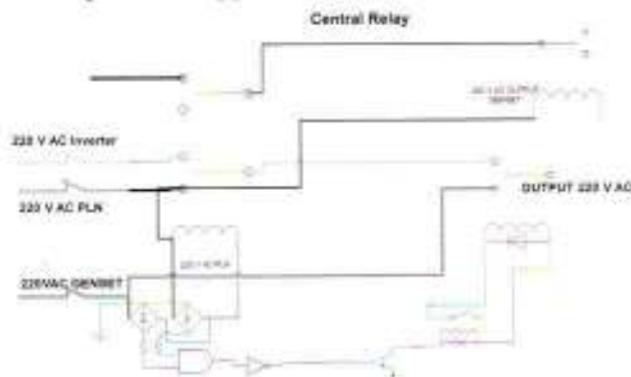
No	Kondisi Genset	Waktu
1	Genset Running	0 menit
2	Genset Unload	3 menit 1 detik

Analisa:

Saat genset unload, genset tidak langsung mati, melainkan melakukan *cooling down* selama 3menit 1 detik.

IV.6. Pengujian Control Switching

Fungsi dari alat ini adalah membuka *supplay* atau pasokan listrik secara otomatis dari PLN lalu menutupkan *supplay* listrik ke Inverter lalu ke *genset* saat terjadi kegagalan *supplay* dari PLN dan juga berperan membuka *supplay* listrik dari *genset* dan menutupkan *supplay* listrik dari PLN secara otomatis pada saat *supplay* listrik dari PLN kembali aktif.



Gambar 4.4 Rangkaian *Control Switching*



Gambar 4.4.1. Hasil Pengujian Alat *Control Switching*

Hasil pengujian alat *Control Switching*:

Tabel 4.3 Pengukuran Tegangan *Output Control Switching*

No	Status	Tegangan Output
1	PLN Hidup	218 V AC 50 Hz
2	Inverter Hidup	221 V AC 51 Hz
3	Genset Hidup	223 V AC 50 Hz

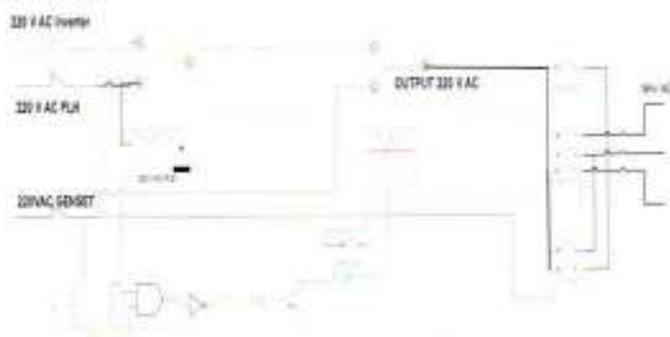
Analisa:

- E. Saat perpindahan dari PLN ke inverter, dan ke genset, tidak terasa kedipan pada lampu.

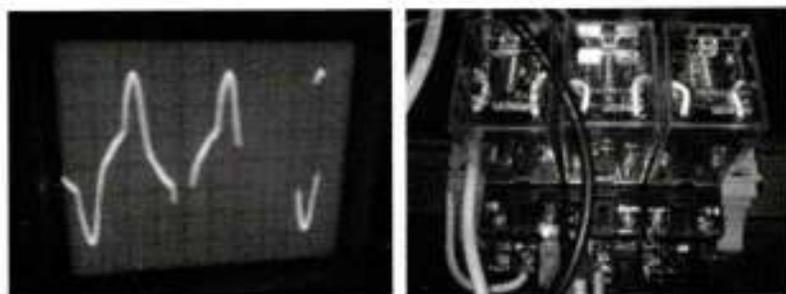
2. Proses transfer hanya kurang dari 0,3 detik yang berubah hanya pada tegangan *output* karena tergantung pada pembangkit yang mensupplay

IV.7. Pengujian Load Sheed

Load Sheed adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk memutus beban agar tidak terjadi *overload* pada unit pembangkit. *Load Sheed* di rancang berdasarkan perhitungan kemampuan pembangkit.



Gambar 4.5 Rangkaian *Load Sheed*



Gambar 4.5.1. Hasil Pengujian Alat *Load Sheed*

Hasil pengujian alat *Load Sheed*:

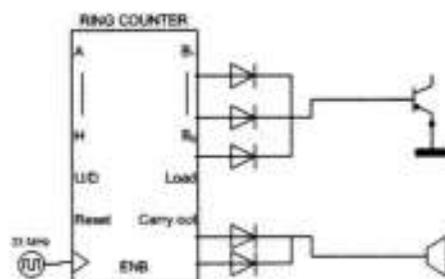
1. Saat listrik dari PLN semua beban dapat di pergunakan.
2. Saat Listrik dari inverter, hanya lampu penerangan saja yang bisa hidup
3. Saat Listrik dari *genset* semua beban dapat dipergunakan

Analisa:

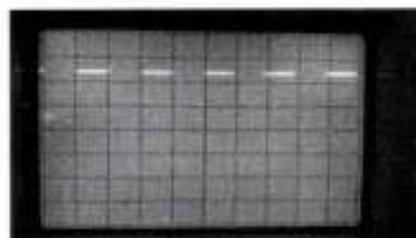
Load Sheed ini bekerja berdasarkan kapasitas pembangkit yang dipergunakan sehingga tidak terjadi *overload* pada pembangkit.

IV.8. Pengujian Alarm Control and Indicating

Alat ini merupakan media komunikasi antara alat dan manusia, sehingga kita dapat dengan mudah mengetahui kondisi alat tersebut. Rangkaian ini merupakan rangkaian *logic* untuk mengaktifkan alarm juga sebagai indikasi kondisi alat.



Gambar 4.6 Rangkaian *Alarm and Indicating*



Gambar 4.6.1. Hasil Pengujian Alat *Alarm Control and Indicating*

Hasil pengujian alat *Alarm Control and Indicating*:

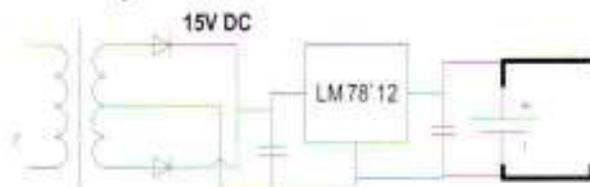
1. Saat listrik dari PLN terputus maka indikasi PLN berubah ke Inverter
2. Saat *starter Genset* bekerja lampu indikasi *Genset start* menyala berkedip
3. Saat *Genset* berhasil hidup, lampu indikasi *start* padam dan berpindah ke indikasi lampu *genset running*.
4. Saat *genset* 3 kali tidak berhasil hidup maka terdengar suara "beep" dan lampu indikasi *genset failure* menyala.

Analisa:

Setelah di amati lampu indikasi ini selain mempermudah melihat sumber listrik mana yang lagi mensupply juga mempermudah untuk mengetahui *genset* bermasalah.

IV.9. Pengujian Power Supplay

Power supplay menggunakan trafo dengan imputan 220 V AC dan *output* 15 volt AC setelah di searahkan melalui dioda jembatan lalu *output* di sempurnakan oleh kapasitor dan diturunkan menjadi 12 volt DC dengan menggunakan IC MC 7812, yang dapat dibebani maksimum sebesar 1 A dan cukup untuk menggerakkan alat otomatis *switchingpower* ini dengan menggunakan catu daya sebesar 12 V DC.



Gambar 4.7 Rangkaian *Power Supplay*

Gambar 4.7.1. Hasil Pengujian Alat *Power Supplay*

Hasil pengujian alat *Power Supplay*:

Tabel 4.4 Pengukuran Tegangan *Input* dan *Output* pada *Power Supplay*

No	Tegangan Input	Tegangan Output
1	11,5 V DC	11,2 V DC
2	13 V DC	12,06 V DC
3	15,05 V DC	12,06 V DC

Analisa:

1. Saat *input power supplay* dibawah 12 V DC, maka tegangan *output* juga dibawah 12 V DC.
2. Saat tegangan *input* lebih dari 13 V DC, maka tegangan *output* tetap stabil pada 12,6 V DC.

IV.10. Metoda Starting Genset Menggunakan Gabungan Panel ATS-AMF

Genset di sini yang digunakan adalah dengan cara metoda proses pemanasan terlebih dahulu. Dan cara kerja rangkaian tersebut adalah:

1. *Dalam Keadaan Normal*
Saat PLN mensuplay arus akan mengalir dari PLN-ke output.
2. *Dalam Keadaan Darurat*
Bila PLN padam, maka, secara otomatis inverter bekerja dan mem-*back-up* listrik dan diperintahkan *starter genset* untuk bekerja selama 3 (*Tiga*) detik, dan jika gagal, maka proses *starting* akan diulangi sebanyak 3 (*Tiga*) kali dan kalau masih gagal, maka akan mengaktifkan alarm, jika berhasil maka dilakukan *warming-up* selama 3 (*Tiga*) menit setelah itu *switch* akan berpindah untuk menggantikan posisi inverter ke *genset*, dan inverter diperintahkan untuk kondisi *standby*.
3. *Apabila PLN "ON" Kembali*
Saat listrik dari PLN sudah kembali normal, maka *switch* otomatis akan berpindah ke PLN dan *genset* dalam keadaan *unload* selama 3 (*Tiga*) menit untuk proses *cooling down* kemudian *genset* baru dimatikan.

Analisa:

1. *Gabungan antara Panel ATS-AMF*
 - a. Memberikan solusi yang terpadu untuk meng-otomatis-kan dalam menangani masalah kegagalan PLN Sehingga tidak dibutuhkan tehniisi listrik/operator
 - b. Dengan panel ATS-AMF begitu PLN mengalami pemadaman, *Engine Genset* langsung *start* secara otomatis, demikian juga sebaliknya apabila PLN kembali berjalan normal, *Engine Genset* secara otomatis akan berhenti/*stop engine*.

2. *Kesuntungan Panel ATS-AMF*

a. Sistem perpindahan secara otomatis dari PLN ke *Genset* atau sebaliknya hanya perlu waktu yang sangat singkat, hanya dengan hitungan detik saja setelah PLN padam, *Genset* langsung *start* dan listrik segera hidup.

3. *Fungsi Automatic Main Failure (AMF)*

AMF berfungsi untuk menghidupkan *genset* secara otomatis ketika *supply* atau pasokan arus listrik dari PLN terhenti.

4. *Fungsi Automatic Transfer Switch (ATS)*

ATS berfungsi untuk membuka *supply* atau pasokan listrik secara otomatis dari *Genset* lalu menutupkan *supply* listrik dari PLN. Dan juga sebaliknya jika listrik dari PLN kembali aktif.

V. Penutup

V.1. Kesimpulan

Dari uraian, perancangan, pembahasan dan analisa sistem otomatis *transfer switching* kelistrikan rumah ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Sistem perpindahan secara otomatis dari PLN ke *Genset* atau sebaliknya hanya perlu waktu 5 menit dan proses pemadaman listrik hanya 0,3 detik.
- Fungsi Automatic Main Failure (AMF) menghidupkan *genset* secara otomatis ketika *supply* atau pasokan arus listrik dari PLN terhenti.
- Fungsi Automatic Transfer Switching(ATS) menswitching pasokan listrik secara otomatis dari *Genset* ke *Supply* listrik dari PLN dan juga sebaliknya.
- Load Sheed* membatasi pemakaian listrik sesuai kemampuan pembangkit.

V.2. Saran

Dari uraian, perancangan, pembahasan dan analisa sistem otomatis *transfer switching* kelistrikan rumah ini maka disarankan:

- Data untuk eksekusi jangan hanya dari pembangkit yang hidup tapi juga dari tegangan dan frekuensi listrik yang berubah.
- Untuk pengontrolan yang lebih rumit dapat menggunakan mikroprosesor.

VI. Daftar Pustaka

- [1] Andrei Makartchouk, Diesel Engine Engineering, 2002
- [2] Fred Halsall, Data Communications, Computer Networks and Open Systems, Fourth Edition, 1996 Addison-Wesley Publishers Ltd.
- [3] L. L. J. Mahon, Diesel Generator Hand Book, 1992
- [4] M. A Laughton, D. F. Warne, Electrical engineer's Reference Book, Sixteenth Edition, Elsevier Science, 2003
- [5] <http://indones5ia.wordpress.com/2011/05/14/kondisi-kelistrikan-indonesia/>
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Inverter_\(electrical\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Inverter_(electrical))
- [7] <http://www.8051projects.net/keil-c-programming-tutorial/>
- [8] <http://www.vbtutor.net/vb2010/index.html>

Analisis Kerusakan *Inlet Duct* Untuk Turbin Pembangkit Listrik Akibat Retak Las Melintang (*transverse Weld Crack*) Failure Analysis Report

Oleh : Pradoto Ambardi

Jurusan Teknik Metalurgi FT. UNJANI

Ringkasan. Pelat casing inlet duct banyak sekali mengalami retak transversal yang memotong logam las sampai ke base-metal. Panjang retakan bervariasi hingga beberapa puluh sentimeter. Kondisi ini tentunya sangat membahayakan bagi konstruksi tersebut.

Hasil pemeriksaan komposisi kimia dan perhitungan nilai karbon ekuivalen ($CE = 0,4$) menunjukkan bahwa material pelat inlet duct memiliki kemampuan las yang baik, sedangkan nilai parameter retak (P_c) adalah 0,383 menunjukkan kerentanan terhadap retakan jika pengelasan dilakukan dalam lingkungan yang banyak mengandung uap air.

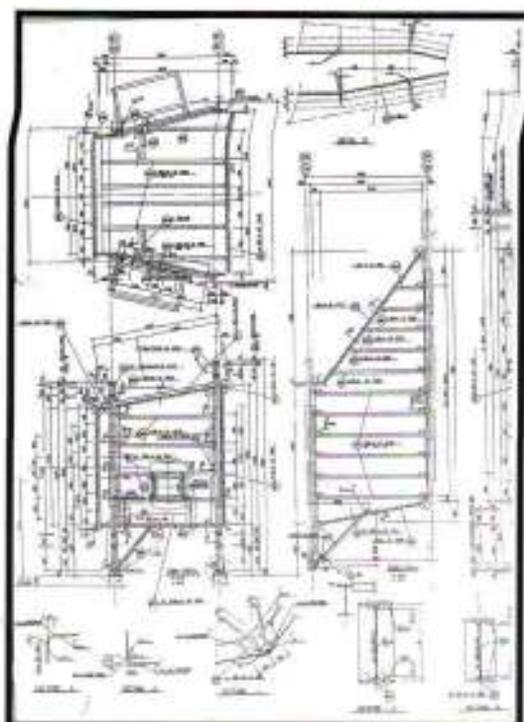
Adanya produk korosi yang didominasi oleh FeO pada dinding bagian dalam pelat inlet duct menunjukkan temperatur pada daerah tersebut sangat tinggi (lebih besar dari 500°C). Tingginya temperatur pada dinding tersebut menyebabkan hidrogen akan lebih cepat berdifusi sehingga dapat memicu terjadinya retakan. Selain itu, kekerasan logam las (222 – 229 VHN) yang lebih tinggi dari base-metal (143,5 VHN), porositas yang terbentuk akibat pengelasan, dan inklusi non-metalik menyebabkan retak transversal akan lebih mudah menjalar.

Kata Kunci : Inlet duct, transverse weld crack, karbon ekuivalen, parameter retak.

L. Pendahuluan

Inlet duct merupakan konstruksi bangunan berupa lorong yang digunakan untuk mengarahkan gas panas hasil pembuangan dari turbin uap ke boiler. Bagian dalam dari *inlet duct* terbuat dari material insulasi panas yang dilapisi *glasswool* dan ditutup dengan pelat baja setebal 6 mm yang berfungsi sebagai casing. Hal ini dimaksudkan agar temperatur fluida tidak mengalami penurunan yang drastis.

Temperatur fluida (uap panas) yang memasuki *inlet duct* sekitar 550°C . Akibat adanya material insulasi panas (*Lapinus wire mesh type 160*), temperatur pada dinding luar pelat *inlet duct* menjadi tidak terlalu tinggi yaitu sekitar 55°C . Gambar teknik konstruksi *inlet* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Potongan gambar teknik Inlet duct

Pelat-pelat *casings inlet duct* disambung dengan menggunakan sistem pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Pada daerah sambungan las banyak sekali dijumpai retakan yang memiliki arah melintang terhadap sumbu logam las (*transverse weld-metal cracking*). Hasil pemeriksaan di lapangan memperlihatkan bahwa temperatur di sekitar retakan meningkat hingga mencapai 80°C .

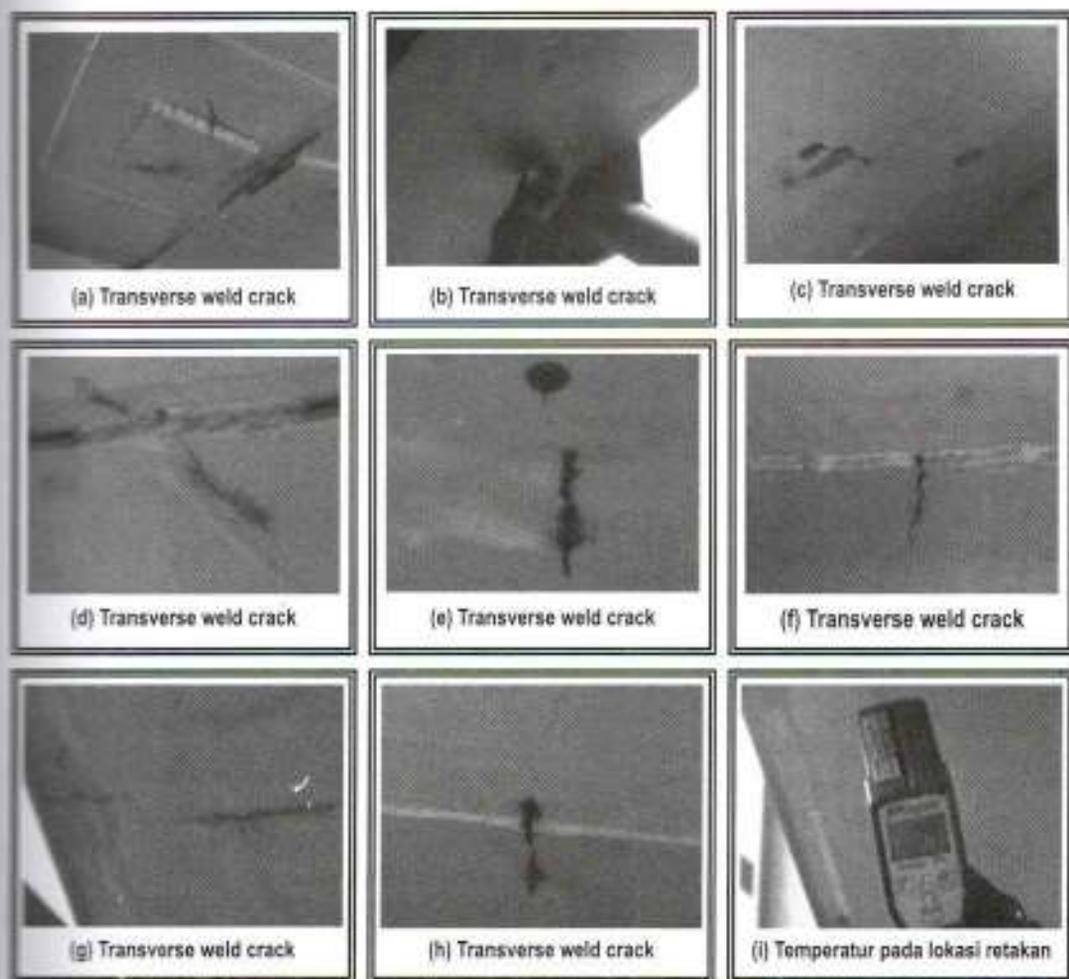
Walaupun pelat *inlet duct* secara praktis tidak menanggung beban apapun kecuali beban beratnya sendiri dan beban alami berupa hembusan angin, tetapi banyaknya retakan pada *inlet duct* yang memotong logam las sampai *base-metal* dengan panjang puluhan sentimeter akan sangat membahayakan keamanan konstruksi tersebut. Untuk menghindari terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab terjadinya retakan, sehingga diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan bagi pemecahan masalah yang dihadapi.

II. Investigasi Lapangan

Data Lapangan

Hasil pemeriksaan visual di lapangan menunjukkan bahwa *inlet duct* banyak mengalami retak yang disertai korosi di daerah lasan. Secara umum, retakan yang terjadi memotong (melintang) logam las (*transverse weld-metal cracking*).

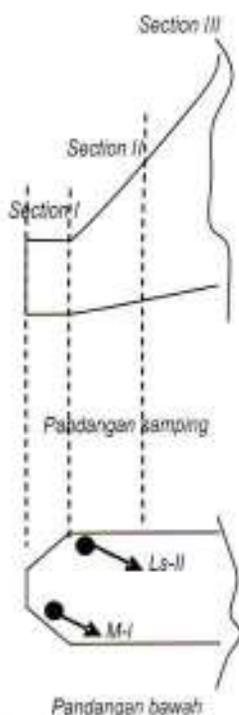
Dinding sisi luar pelat *inlet duct* (*front-face inlet duct*) memiliki temperatur 50°C , tetapi di daerah retakan yang menyebabkan kebocoran (adanya hembusan udara panas yang keluar dari dalam dinding ke atmosfer) temperatur bisa mencapai 80°C . Posisi sebagian retakan yang terjadi di *inlet duct* dapat dilihat pada Gambar 2.



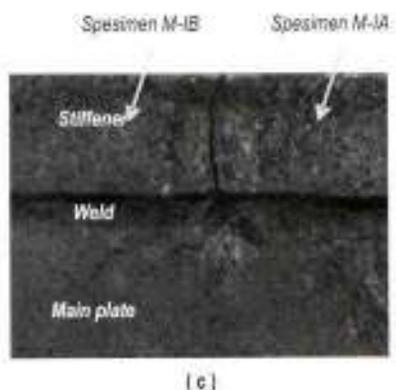
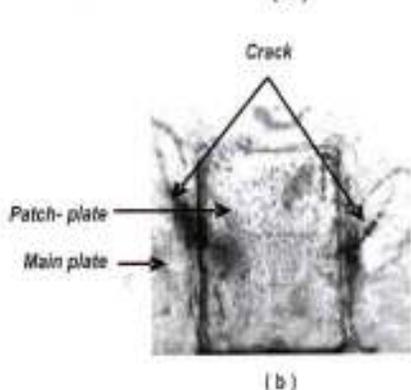
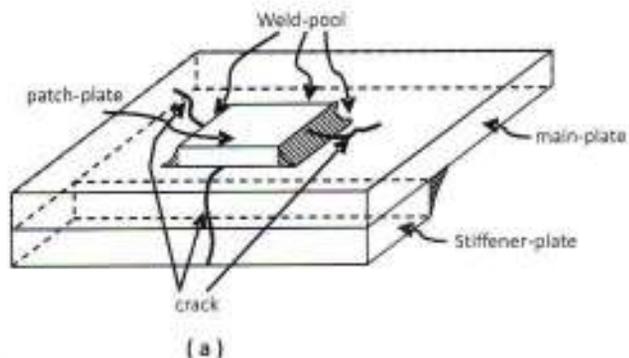
Gambar 2. Retak melintang hasil las dan temperatur di daerah retakan pada inlet duct

Lokasi Pengambilan Sampel

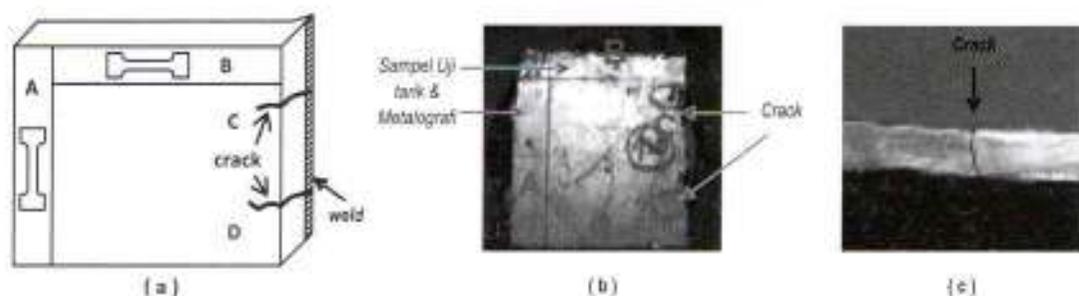
Sampel pertama (M-I) diambil dari pelat bagian tengah *section I inlet duct* (Gambar 2.a), sedangkan sampel kedua (Ls-II) diambil dari pelat sisi kiri *section II* (Gambar 2.b.). Posisi pengambilan spesimen uji dari sampel dicantumkan pada Gambar 3 sampai 5.



Gambar 3. Lokasi pengambilan sampel



Gambar 4. (a) Kondisi sampel M-I ; (b) Retakan pada mainplate-sampel M-I
(c) Permukaan dinding belakang (back-face)sampel M-I.



Gambar 5. (a) Posisi pengambilan spesimen uji tarik pada sampel Ls-II ;
 (b) Kondisi sampel Ls-II ; (c) Retakan pada daerah C

Perhitungan Kondisi Inlet Duct

Hasil wawancara di lapangan memberikan informasi bahwa temperatur permukaan luar pelat inlet duct adalah sekitar 55°C. Untuk mengetahui kebenaran informasi tersebut maka dilakukan perhitungan heat transfer yang terjadi pada inlet duct.

Name of equipment : Inlet Duct

Insulation material : Lapinus Wire Mats Type 160 , Density 70 kg/m³

Simbol yang digunakan dalam perhitungan

Temperatur udara luar ; t_a
 Temperatur operasi fluida ; t_f
 Temperatur permukaan ; t_s
 Temperatur rata-rata ; t_m
 Ketebalan insulasi ; x
 Koefisien radiasi ; C

Temperatur absolute lingkungan ; T_2
 Temperatur absolute operasi fluida ; T_f^*
 Kecepatan angin ; w
 Konduktivitas termal ; k
 Koefisien heat transfer permukaan ; α_s
 Kehilangan panas per meter persegi ; Q

Temperatur absolute permukaan ; T_1

Data :

$t_a = 30^\circ\text{C}$; $t_f = 553^\circ\text{C}$; $T_1 = 55 + 273 = 328 \text{ K}$; $T_2 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$; $C = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}^4$;
 $w = 3,2 \text{ m/det}$; Jika $x = 245 \text{ mm} = 0,245 \text{ m}$; $t_s = 55^\circ\text{C}$

$$t_m = \frac{t_f + t_s}{2} = \frac{553 + 55}{2} = 304^\circ\text{C}$$

Dari lembar data Lapinus wire mats type 160, pada $t_m = 304^\circ\text{C}$, harga $k = 0,095 \text{ W/mK}$:

$$T_f^* = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{T_1 - T_2} = \frac{\left(\frac{328}{100}\right)^4 - \left(\frac{303}{100}\right)^4}{328 - 303} = 1,26 \text{ K}^3$$

Untuk $w \leq 5 \text{ m/det}$:

$$\alpha_s = 6,2 + 4,2 w + C T_f^* = 6,2 + (4,2 \times 3,2) + 0,5 \times 1,26 = 20,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Untuk $w > 5 \text{ m/det}$:

$$\alpha_s = 7,6 w^{0,8} + C T_f^* = 7,6 \times 3,2^{0,8} + 0,5 \times 1,26 = 19,9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = \frac{t_f - t_a}{\frac{x}{k} + \frac{1}{\alpha_s}} = \frac{553 - 30}{\frac{0,245}{0,095} + \frac{1}{20,27}} = 199 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$t_s' = \frac{Q}{\alpha_a} + t_a = \frac{199}{20,27} + 30 = 39,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kondisi :

Nilai mutlak $|t_s' - t_s| < 0,5 \Rightarrow |t_s' - t_s| = |39,82 - 55| = 15,18$

Karena $15,18 > 0,5$ maka diambil $t_s = t_s' = 39,82^\circ\text{C}$

Perhitungan ulang**Data :**

$t_a = 30^\circ\text{C}$; $t_f = 553^\circ\text{C}$; $T_1 = 39,82 + 273 = 312,82 \text{ K}$; $T_2 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$;

$C = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}^4$; $w = 3,2 \text{ m/det}$; Jika $x = 245 \text{ mm} = 0,245 \text{ m}$

Input :

$t_s = 39,82^\circ\text{C}$

$$t_m = \frac{t_f + t_s}{2} = \frac{553 + 39,82}{2} = 296,41^\circ\text{C}$$

Dari lembar data *Lapinus wire mats type 160*, pada $t_m = 296,41^\circ\text{C}$, harga $k = 0,092 \text{ W/mK}$:

$$T_f^* = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{T_1 - T_2} = \frac{\left(\frac{312,82}{100}\right)^4 - \left(\frac{303}{100}\right)^4}{312,82 - 303} = 1,17\text{K}^3$$

Untuk $w \leq 5 \text{ m/det}$:

$\alpha_a = 6,2 + 4,2 w + C T_f^* = 6,2 + (4,2 \times 3,2) + 0,5 \times 1,17 = 20,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Untuk $w > 5 \text{ m/det}$:

$\alpha_a = 7,6 w^{0,8} + C T_f^* = 7,6 \times 3,2^{0,8} + 0,5 \times 1,17 = 19,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$Q = \frac{t_f - t_a}{\frac{x}{k} + \frac{1}{\alpha_a}} = \frac{553 - 30}{\frac{0,245}{0,092} + \frac{1}{20,22}} = 193,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$t_s' = \frac{Q}{\alpha_a} + t_a = \frac{193,7}{20,22} + 30 = 39,58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kondisi :

Nilai mutlak $|t_s' - t_s| < 0,5 \Rightarrow |t_s' - t_s| = |39,58 - 39,82| = 0,238$

Karena $0,238 < 0,5$ maka OK

Jadi ketebalan insulasi yang digunakan, $x = 245 \text{ mm}$

$T_{s(\text{shade})} = 39,58^\circ\text{C}$

$T_{s(\text{sun})} = 39,58 + 13 = 52,59^\circ\text{C}$

III. Pengujian Laboratorium Pemeriksaan Visual Dan Makro

Retakan yang terjadi pada *back-face* sampel M-1 (Gambar 4.c) menyebabkan pelat terbelah dua. Pada permukaan patahan terlihat adanya cacat las berupa kantung gas (*gas pocket*) di *interface* logam las – *base metal* dan porositas di daerah lasan (Gambar 6).



Gambar 6. Permukaan patahan sampel M-1 (*stiffener*) memperlihatkan adanya cacat kantung gas (*gas pocket*)



Gambar 7. Struktur makro spesimen Ls-IIC. Retak transversal yang menyebabkan pelat *inlet duct* terbelah.

Struktur makro spesimen Ls-IIC memperlihatkan adanya retak transversal yang membelah pelat *inlet duct* dan logam las (Gambar 7). Detail distribusi struktur mikro pada specimen tersebut juga memberikan informasi adanya perbedaan struktur mikro logam las, daerah *heat affected zone (HAZ)*, dan *base-metal* serta porositas di daerah logam las dan HAZ.

Pemeriksaan Komposisi Kimia

Pemeriksaan ini meliputi pemeriksaan komposisi kimia pelat *inlet duct* dan logam las (Tabel 1). Dari pemeriksaan tersebut dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan untuk *inlet duct* sesuai dengan ASTM A36.

Tabel 1. Analisa komposisi kimia (%)

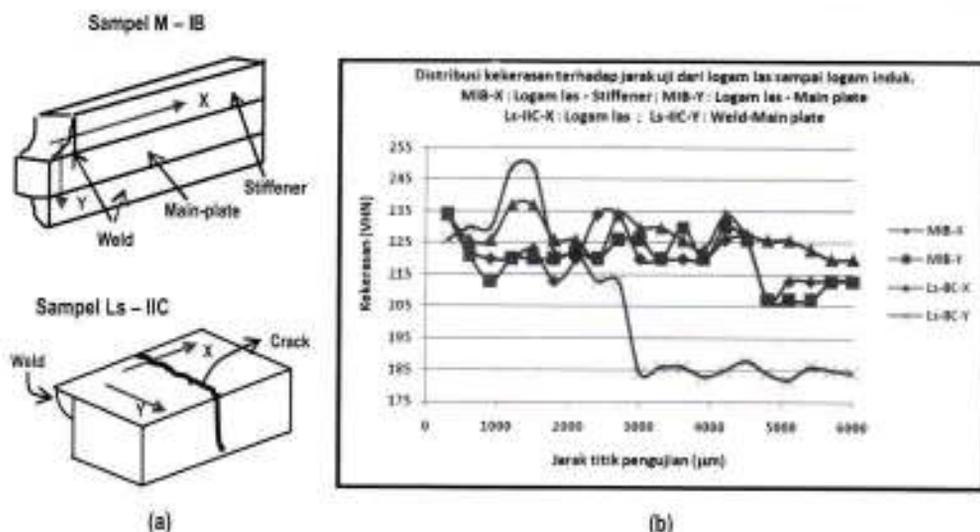
Unsur	Sampel Base Metal	ASTM A-36 Plate	Sampel Weld Metal
C	0.26	0,25 – 0,29	0.33
Si	0.25	0,15 – 0,40	0.34
Mn	0.59	0,85 – 1,2	0.73
P	0.008	0,04 (max)	0.032
S	0.018	0,05 (max)	0.056
Cr	0.04	-	0.02
Ni	0.10	-	0.06
Cu	0.19	0,20	0.06

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan meliputi pengujian kekerasan *main-plate inlet duct* dengan menggunakan metoda *Brinell* (Table 2) dan distribusi kekerasan daerah lasan (Gambar 2, 10) dengan menggunakan metode *micro Vickers*.

Tabel 2. Kekerasan material *inlet duct* (HB)

Spesimen	Pengujian kekerasan ,HB				Rata-rata
	1	2	3	4	
Ls-IIA	137	137	138	139	137,75 (143,5 VHN)
Ls-IIB	132	137	132	138	134,75 (141,8 VHN)



Gambar 8. Kekerasan mikro. (a) Posisi pengujian. (b) Distribusi Kekerasan dari logam las sampai ke HAZ pada spesimen M-IB dan Ls-IIC

Pemeriksaan Metalografi

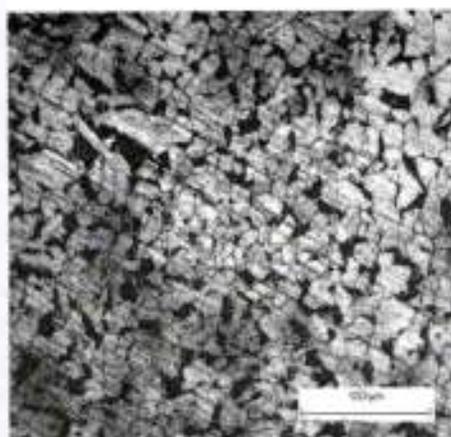
Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses pengelasan, arah pengerolan dan butir pelat *inlet duct*.

A. Struktur mikro sample Ls-II

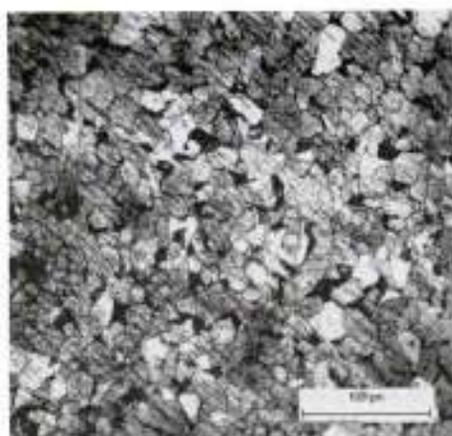
Struktur mikro *base-metal* spesimen Ls-IIA dan Ls-IIB relatif sama (Gambar 9, dan 10.) dengan bentuk butir yang relatif *equiaxial* sehingga sukar untuk memastikan arah pengerolan pada saat pembuatan pelat. Adanya butir yang *equiaxial* tersebut juga dapat mengindikasikan bahwa temperatur di sisi belakang pelat *inlet duct* cukup tinggi, walaupun masih di bawah temperatur rekristalisasi.

	Captured0
Total length, μm	2000.000
Grain size number	7.759
Number of intercepts	92.000
Mean intercept length, μm	21.739
Statistics	
Min grain size	7.759
Max grain size	8.929
Mean grain size	8.344
Std.dev. grain size	0.585
Total length, μm	4000.000
Number of intercepts	230.000
Mean intercept length, μm	18.116
Number of fields	2.000
95% Confidence interval	7.481
Relative accuracy, %	41.295

	Captured0
Total length, μm	2000.000
Grain size number	7.759
Number of intercepts	92.000
Mean intercept length, μm	21.739
Statistics	
Min grain size	7.759
Max grain size	9.189
Mean grain size	8.440
Std.dev. grain size	0.432
Total length, μm	8000.000
Number of intercepts	477.000
Mean intercept length, μm	17.578
Number of fields	4.000
95% Confidence interval	2.866
Relative accuracy, %	15.170



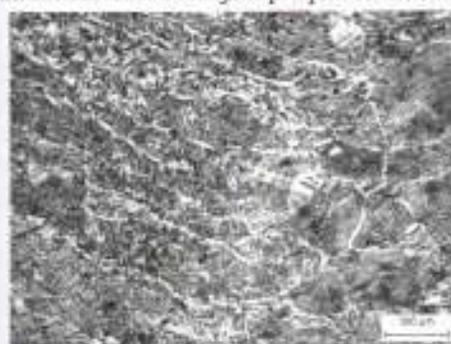
Gambar 9. Struktur mikro Ls-IIA



Gambar 10. Struktur mikro Ls-IIB

B. Struktur mikro sample M-I

Struktur mikro sample M-I didapat dari spesimen M-IB yang diperiksa dari dua sisi yaitu : dari logam las sampai ke *stiffener* dan dari logam las sampai ke *main plate inlet duct*. Pada kedua lokasi tersebut dijumpai porositas di daerah logam las dan HAZ (Gambar 11 dan 12).



Gambar 11. Porositas yang terdapat di daerah logam las-HAZ pada stiffener dari spesimen M-IB



Gambar 12. Porositas yang terdapat di daerah logam las-HAZ pada main plate dari spesimen M-IB

Pemeriksaan Produk Korosi

Produk korosi yang didapat dari *back-face* pelat *inlet duct* diperiksa menggunakan *Energy Dispersive Spectro Analysis (EDS)*.

Tabel 3. Produk korosi pada pelat inlet duct

Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass%	Calion	K
O		24.49						
Mg K	1.253	1.85	0.63	5.26	MgO	3.06	1.19	0.8708
Si K	1.739	2.31	0.51	5.68	SiO ₂	4.93	1.29	1.9074
Ca K	3.690	1.39	0.43	2.41	CaO	1.95	0.54	2.2168
Cr K	5.411	0.28	0.67	0.19	Cr ₂ O ₃	0.41	0.08	0.4484
Fe K	6.398	69.69	0.87	86.46	FeO	89.65	19.58	94.5566
Total		100.00		100.00		100.00	22.67	

Perhitungan Weldability Dan Parameter Retak

A. Weldability

Weldability material inlet duct dihitung dengan menggunakan formula *Carbon Equivalent*,

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$$

Nilai CE = 0,4 merupakan batas atas yang menyatakan kemampuan las suatu material baik tanpa memerlukan *preheating*. Dari hasil perhitungan, karbon ekivalen (CE) untuk material inlet duct adalah sebesar 0,402 sehingga dapat dikatakan bahwa material inlet duct mempunyai sifat mampu las yang baik.

B. Parameter retak

Parameter yang berpengaruh pada peristiwa retakan di daerah hasil lasan adalah parameter retak (Pc). Hasil perhitungan nilai Parameter Retak pada produk lasan inlet duct dengan menggunakan persamaan :

$$Pc = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

adalah sebesar 0,383 sehingga apabila pada saat pengelasan banyak mengandung uap air maka kecenderungan retak akan sangat tinggi.

IV. Analisis Kerusakan

Hasil pengujian komposisi kimia (Tabel 1) memperlihatkan bahwa pelat yang digunakan pada inlet duct sesuai dengan yang disarankan dalam gambar teknik (Gambar 1). Nilai karbon ekivalen (CE) material tersebut (0,402%) mengindikasikan bahwa sifat mampu las material inlet duct cukup baik, tetapi nilai parameter retak (Pc) logam las (0,383%) menunjukkan bahwa produk las memiliki kecenderungan retak yang cukup tinggi jika pada saat pengelasan terdapat uap air.

Retak transversal (*transverse weld-metal crack*) biasanya timbul karena kekuatan logam las lebih tinggi dari pada *base-metal*. Hal ini didukung oleh hasil pengujian kekerasan *base-metal* (143,5 HVN) yang lebih kecil dari kekerasan logam las (222 – 229 VHN) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 8. Keberadaan gas hidrogen yang “terjebak” di daerah las (dapat berasal dari uap air, oli, elektroda las yang tidak kering, dan lain-lain) akan menyebabkan retak tersebut semakin mudah menjalar karena setelah logam las membeku dan berjalannya waktu, hidrogen akan berdifusi untuk berkumpul di suatu tempat pada logam las atau daerah HAZ.

Pemanasan yang terjadi pada inlet duct akan menyebabkan tekanan gas hidrogen meningkat (akibat keterbatasan ruang di daerah lasan). Peningkatan tekanan hidrogen yang sangat tinggi pada akhirnya dapat memutuskan ikatan atom logam. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya retak di daerah HAZ yang kemudian menjalar secara transversal memotong logam las.

Retakan biasanya belum dapat terlihat setelah proses pengelasan selesai, tetapi setelah 48 sampai 72 jam barulah dapat diketahui retakan tersebut muncul di sekitar daerah las (*delay crack*). Penjalaran retakan (*crack propagation*) yang terjadi akan dipermudah dengan adanya porositas, inklusi non-metalik seperti mangan sulfide (MnS) di dalam *base-metal*, inklusi *slag* akibat pengelasan, dan lain-lain.

Keberadaan gas yang terjebak di daerah logam las dapat dibuktikan dengan adanya cacat las berupa kantung gas (Gambar 6) dan porositas (Gambar 11 dan 12). Hal ini mengindikasikan bahwa proses pengelasan *inlet duct* dilakukan pada lingkungan uap air yang cukup banyak.

Hal lain yang menarik adalah adanya produk korosi yang didominasi oleh FeO (Tabel 3) pada bagian dalam pelat *inlet duct*. Kenyataan ini menunjukkan bahwa temperatur pelat bagian dalam *inlet duct* yang mengalami retakan cukup tinggi karena sesuai dengan diagram Ellingham, FeO hanya terbentuk jika temperatur diatas 500°C.

Peningkatan temperatur khususnya di daerah retakan diduga kuat berasal dari adanya kebocoran pada pipa penyalur gas panas dan material insulasi panas, terutama di sekitar bagian yang terdapat tiang penguat dan *stiffener* (karena pelapisan insulasi panas yang sempurna pada daerah tersebut relatif sulit). Hal ini menyebabkan uap panas dapat menembus celah antara tiang penguat dengan material insulasi *glasswool* menuju ke dinding dalam pelat *inlet duct*. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya hembusan udara panas di sekitar retakan.

Pemanasan setempat yang terjadi pada proses pengelasan menyebabkan laju pendinginan tiap titik di daerah lasan akan berbeda-beda sehingga struktur mikro pada daerah HAZ akan bervariasi. Tiap-tiap zona struktur mikro pada daerah HAZ memiliki sifat mekanik yang berbeda. Siklus termal yang terjadi pada proses pengelasan tersebut menimbulkan tegangan sisa di daerah lasan. Semua kondisi tersebut menyebabkan daerah HAZ akan lebih anodik dibandingkan dengan *base-metal* yang tidak terpengaruh panas. Hal ini mengakibatkan HAZ akan lebih mudah terkorosi, yang pada akhirnya menyebabkan daerah tersebut menjadi lemah sehingga retakan akan lebih mudah terjadi di daerah tersebut.

V. Kesimpulan

1. Nilai karbon ekuivalen (CE) material *inlet duct* adalah 0,402% dan nilai parameter retak (Pc) logam las adalah 0,383%.
2. Retak transversal terjadi karena gas (khususnya hidrogen) yang terjebak pada daerah lasan cukup banyak dan kekerasan base-metal (143,5 VHN) lebih rendah dari pada logam las (222 – 229 VHN).
3. Produk korosi terbesar pada bagian dalam pelat *inlet duct* adalah FeO (89,65 %) yang menunjukkan bahwa temperatur pada dinding tersebut sangat tinggi.
4. Adanya hembusan udara panas di sekitar retakan memberikan indikasi adanya kebocoran dari sistem insulasi panas.

Daftar Pustaka

1. Annual Book of ASTM Standards., "*Steel Plate, Sheet, Strip, and Wire, Metallic Coated Products Fences, Part 3*", American Society for Testing and Materials., Philadelphia., PA. 1981,1982.
2. Kenneth Easterling., "*Introduction to Physical Metallurgy of Welding*", Butterworths
3. Robert D. Stout, Ph.D. & W. D'orville Doty, Ph.D. "*Weldability of Steels*", Welding Research Council., 1971
4. Hery Sonawan & Rochim Suratman., "*Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*", Alfabeta., 2003.
5. Harsono Wiryosumarto, Prof. Dr. Ir. & Toshie Okumura. Prof. Dr., "*Teknologi Pengelasan Logam*", Edisi ke-3., Pradnya Paramita., Jakarta., 1985

Perancangan Alat Pemupukan Jenis Pupuk Kristal Untuk Tanaman Palawija Berbasis Metode Rasional Dengan Memperhatikan Aspek Keergonomian

Zaenal Muttaqien¹, Dody Mahendra²

¹ Staf Pengajar Jurusan TI – Univ. Jend. Achmad Yani (UNJANI) Bandung

² Alumnus Jurusan TI – Univ. Jend. Achmad Yani (UNJANI) Bandung

e-mail : zamu_taq@yahoo.com

Abstrak. Industri pertanian merupakan salah satu penopang tata kehidupan masyarakat Indonesia. Dalam realita mayoritas petani di Indonesia masih menggunakan tata kerja dan peralatan tradisional dalam melakukan aktivitas pertanian mereka. Dengan kondisi itulah, para petani banyak mengalami kesulitan dalam mencapai produktivitas yang tinggi dalam hasil pertaniannya. Selain masalah produktivitas, tata cara kerja yang tidak mengikuti kaidah K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) di kalangan para petani telah menyebabkan potensi cedera pada bagian tubuh tertentu. Kegiatan pemupukan tanaman dengan menggunakan pupuk kimia berbentuk kristal seperti : urea, NPK, KCl, dll. pada umumnya masih dilakukan secara manual atau menggunakan peralatan seadanya. Sementara itu posisi badan ketika bekerja adalah membungkuk sehingga hal tersebut akan menimbulkan cedera otot pinggang.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dirancang suatu alat pemupukan jenis pupuk kristal untuk tanaman palawija yang dapat mengurangi potensi cedera otot pinggang. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan metode rasional (Nigel Cross, 2008) dan konsep ergonomi. Variabel perancangan mengacu pada dimensi kualitas produ yaitu : *performance, feature, reliability, conformance, serviceability, durability, aesthetic, perceiveid quality.*

Solusi alternatif yang dihasilkan dalam penelitian ini ada 3 alternatif produk. Ada pun alternatif terpilih adalah alternatif ke 2 dengan nilai 3,706 sebagai solusi yang akan mengakomodasi tujuan perancangan.

Alat pemupukan ini terdiri dari konfigurasi komponen yaitu: Rangka, wadah penampung, tongkat, saluran penghubung, penakar, busa penyangga dan *handle*. Rancangan alat pemupukan ini mempunyai desain seperti tas punggung, dengan total berat produk >2 kg. Mekanisme kerja alat menggunakan gaya gerak manual dengan bantuan gaya gravitasi akan dihasilkan keluaran pupuk dari penakar dengan berat keluaran 10gram-15 gram per sekali jatuh.

Kata kunci : Perancangan, Metode rasional, Pupuk kristal, Ergonomi

1. Pendahuluan

Industri pertanian merupakan sektor penopang ekonomi rakyat Indonesia. Negara Indonesia yang merupakan negara agraris beriklim tropis sangat cocok dalam pengembangan industri pertanian. Dalam kenyataannya, pertanian merupakan tata kehidupan ekonomi rakyat yang secara ekonomi dan budaya tumbuh di kalangan masyarakat banyak (Bakhtiar Hasan, 2006).

Mayoritas petani di Indonesia menggunakan tata kerja dan teknologi yang sangat sederhana yang diperoleh dari nenek moyang secara turun menurun dengan sangat sederhana. Produktivitas hasil tani yang diperoleh sangatlah rendah dibandingkan dengan petani yang menggunakan teknologi lebih maju, apalagi dibandingkan dengan negara-negara maju. Selain produktivitas, ternyata kualitas hasil tani yang dihasilkan kurang baik dan tidak merata.

Peranan pekerja atau buruh pada berbagai industri sangatlah penting untuk kelangsungan usaha, karena tidak dapat dipungkiri bahwa buruh merupakan aset atau sumber daya manusia yang sangat penting dan dibutuhkan. Begitu juga dalam industri pertanian, terkadang buruh tani tidak diperhatikan oleh para petani atau pemilik lahan. Proses pengamatan dilakukan di kelompok tani "Sholva Tani". Sholva Tani diambil dari nama daerah tempat kelompok tani tersebut. Dari survai sementara yang dilakukan banyak buruh tani dengan usia rata-rata 30 – 50 tahun terkena penyakit encok, reumatik dan sakit pada pinggang (wawancara dengan buruh tani). Menurut penelitian Metta Cristinawati (2007) pada pengangkut barang di Jalan Banteng kota Semarang, diperoleh data persentase keluhan otot pinggang.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan persentase keluhan rasa sakit apabila bekerja tidak sesuai dengan prosedur. Dari 18 orang pekerja yang bekerja sesuai prosedur ternyata hanya 27,8 % yang merasa nyeri setelah bekerja. Berbeda dengan pekerja yang bekerja tidak sesuai dengan prosedur, dari 34 orang terdapat 91,8 % yang mengalami keluhan nyeri. Penyakit ini akan timbul terhadap buruh tani karena buruh tani bekerja secara membungkuk dari mulai menanam, memupuk sampai panen untuk tanaman tertentu. Khususnya tanaman palawija seperti tanaman tomat, cabe, kentang, wortel dan lain-lain banyak memerlukan perlakuan khusus pada proses pemupukan dan penyemprotan pestisida.

Proses pemupukan dengan pupuk kimia seperti pupuk urea, Za, KCL, NPK dan lain-lain pada tanaman palawija dilakukan secara manual. Selain itu, kadang-kadang buruh tidak menggunakan sarung tangan dalam bersentuhan langsung dengan pupuk kimia yang notabene berbahaya bagi kesehatan manusia apabila masuk pencernaan atau bersentuhan langsung dengan mata. Dalam proses penggunaan atau penaburan pupuk tidak menggunakan takaran/ukuran dosis pada setiap tanaman, sehingga proses pertumbuhan setiap tanaman terkadang tidak merata, di samping itu juga penggunaan pupuk tidak terkendali (*uncontrollable*). Pemupukan manual itu sendiri adalah proses pemupukan dengan menaburkan pupuk atau memberikan pupuk di sekitar tanaman.

Proses pemupukan kimia pada pertanian moderen sangat penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Dari kuesioner *Nordic body map* keluhan rasa sakit hampir 80% terletak di bagian pinggang atau tulang belakang. Keluhan-keluhan tersebut sangat mengganggu produktivitas pekerja/buruh tani dalam melakukan proses pertanian. Selain itu, apabila buruh tani terkena penyakit atau sedang sakit maka akan merugikan para pemilik lahan atau para petani, karena ketersediaan buruh tani sedikit dibandingkan dengan buruh industri (pabrik). Hal-hal di atas sangatlah memengaruhi komoditas pertanian baik dari harga, kualitas dan kuantitas.

Kondisi di atas merangsang penulis untuk merancang suatu alat pertanian yang membantu para petani dan buruh tani, khususnya dalam meningkatkan kualitas hidup buruh tani dan produktivitas hasil pertanian. Alat ini juga dapat digunakan sebagai komoditas industri yang mempunyai nilai secara ekonomis.

II. Perumusan Masalah

- Bagaimana merancang alat pemupukan tanaman palawija yang sesuai keinginan pengguna dengan kapasitas 3 kg.
- Bagaimana merancang alat pemupukan dengan kemampuan takaran merata pada setiap tanaman.
- Bagaimana merancang alat pemupukan agar pengguna dapat bekerja sambil berdiri.

III. Tujuan Penelitian

- Merancang alat pemupukan yang sesuai keinginan pengguna dengan kapasitas 3 kg.
- Merancang alat pemupukan yang mampu memberikan takaran merata pada setiap tanaman supaya pertumbuhan tanaman merata.
- Merancang alat pemupukan supaya pengguna dapat bekerja sambil berdiri.

IV. Metode Penelitian



(Gambar 1. Metode Perancangan)



(Gambar 2. Metode Pengembangan)



(Gambar 3. *Embodiment design*)

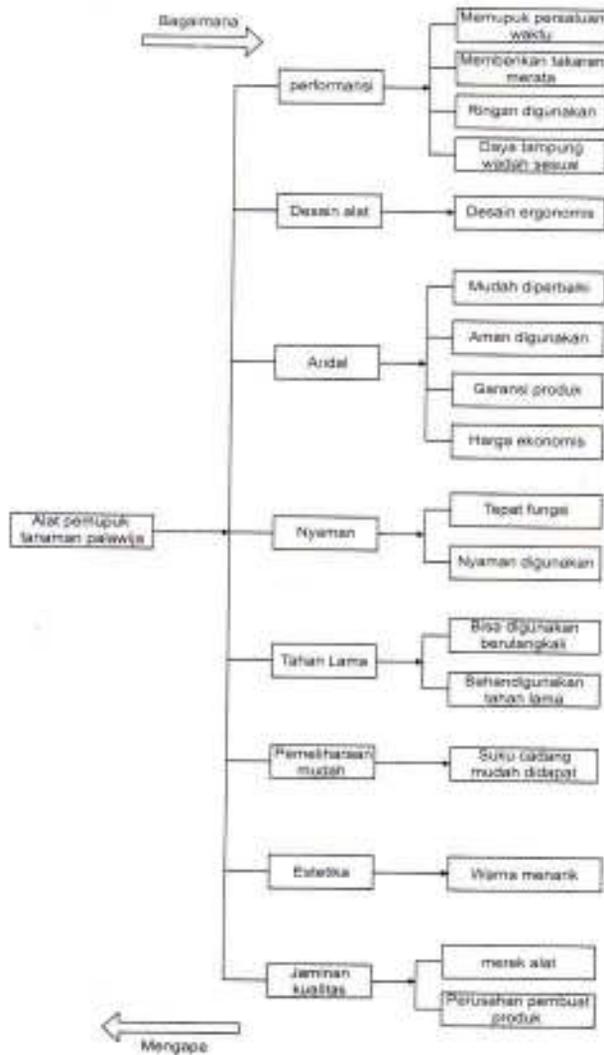
V. Pembahasan

Dalam perancangan alat pemupukan tanaman palawija ini beberapa tahapan perancangan yang dilakukan adalah :

V.1 Menentukan atribut kebutuhan dengan mengembangkan atribut produk yang diambil dari dimensi kualitas produk

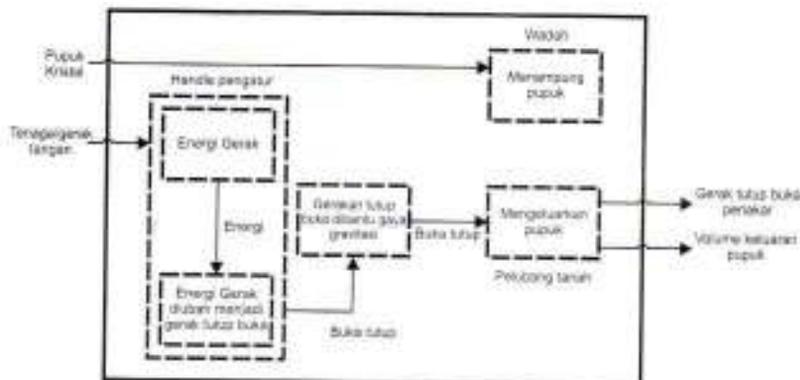
- a. *Performance* yang diterjemahkan menjadi kinerja alat
- b. *Feature* yang berupa desain alat
- c. *Reliable* yang berupa keandalan alat
- d. *Conformance* yang berupa kenyamanan alat saat penggunaan
- e. *Durability* yaitu ketahanan alat
- f. *Serviceability* berupa kemudahan dalam pemeliharaan
- g. *Aesthetic* berupa estetika atau nilai seni
- h. *Perceived quality* berupa jaminan kualitas alat

V.2 Membuat tujuan perancangan yang digambarkan dalam pohon tujuan



(Gambar 4. Diagram pohon tujuan perancangan)

V.3 Penetapan Spesifikasi Fungsi



(Gambar 5. Fungsi alat penutupkan tanaman palawija)

V.4 Penetapan Spesifikasi Performansi

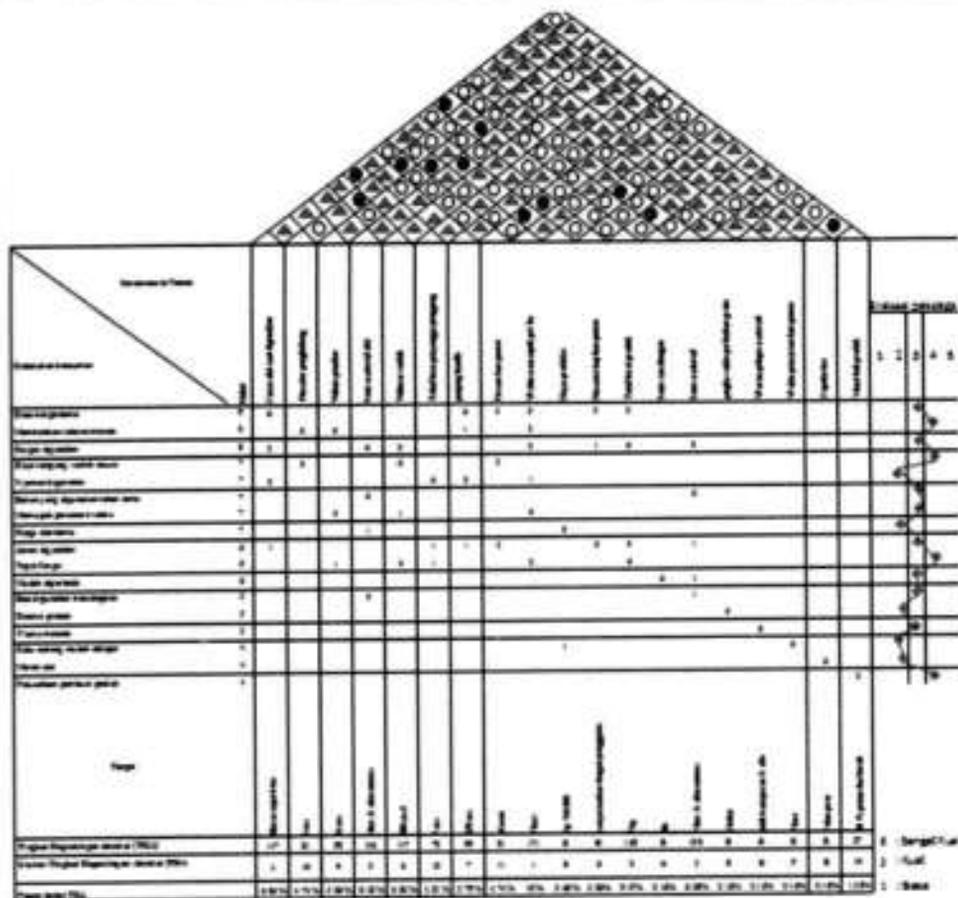
Tahapan ini merupakan penetapan kebutuhan performansi alat pemupukan tanaman palawija yang diterjemahkan ke dalam suatu keadaan yang bisa diukur.

Tabel 2. Kebutuhan performansi alat pemupukan tanaman palawija

No	Atribut performansi	Kebutuhan performansi
1	Memupuk persatuan waktu	Pemupukan untuk 1ha lahan 2 hari (8 jam/hari)
2	Memberikan takaran merata	Keluaran pupuk/1 kali keluar 10 gr -15 gr
3	Ringan digunakan	Total berat alat >2 kg
4	Daya tampung wadah sesuai	Daya tampung maks 3 kg
5	Bentuk ergonomis	Tidak menimbulkan lelah berlebih
6	Mudah diperbaiki	Jumlah proses perawatan 3-5
7	Aman digunakan	Tidak terdapat komponen tajam
8	Garansi produk	Waktu garansi diberikan 6 bulan sejak pembelian
9	Harga ekonomis	Total biaya produksi Rp 500.000 - Rp 1.000.000
10	Tepat fungsi	Hanya bisa digunakan untuk tanaman palawija
11	Nyaman digunakan	Tali pembungkus dan busa penahan ketebalan 2 cm
12	Bisa digunakan berulang kali	Bisa digunakan <100 kali pemakaian
13	Bahan yang digunakan tahan lama	Plastik fiber dan alumunium
14	Suku cadang mudah didapat	Waktu pencarian 1-2 hari
15	Warna menarik	Warna putih transparan dan abu alumunium
16	Merek alat	Maksimal 5 karakter
17	Perusahaan pembuat produk	Berbadan hukum CV/PT

V.5 Penentuan karakteristik Teknik

Penentuan karakteristik teknik dari alat pemupukan tanaman palawija ini menggunakan metode QFD (*Quality Function Deployment*)



(Gambar 6. Rumah Kualitas)

V.6 Penggenerasian Alternatif

Dari matriks rumah kualitas pada penentuan karakteristik teknik alat pemupukan tanaman palawija didapat alternatif alat sebagai berikut:



(Gambar 7. solusi alternatif 1)



(Gambar 7. solusi alternatif 2)



(Gambar 7. solusi alternatif 3)

V.7 Evaluasi Alternatif

Proses penentuan desain merupakan proses lanjutan dari proses perancangan desain. Pada tahap ini, dilakukan penilaian antara alat pemupukan tanaman palawija alternatif 1, alternative 2 dan alternatif. Penilaian ini didasarkan pada atribut-atribut yang diinginkan konsumen mengenai sebuah alat pemupukan tanaman palawija yang nantinya akan dibobotkan dengan ketentuan sebagai berikut :

$$S_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} W_i \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan : r_{ij} : Nilai alternatif j untuk atribut i

W_j : Bobot untuk alternatif i

N : Jumlah kriteria

S_j : Total nilai untuk alternatif j

Nilai 1 : Perancang menyatakan sangat buruk

Nilai 2 : Perancang menyatakan buruk

Nilai 3 : Perancang menyatakan cukup baik

Nilai 4 : Perancang menyatakan baik

Nilai 5 : Perancang menyatakan sangat baik

Adapun hasil penilaian yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Evaluasi alternatif rancangan

No	Atribut	Kepentingan relatif	Keterangan	Bobot (%)	Solusi 1		Solusi 2		Solusi 3	
					Keadaan	Nilai	Keadaan	Nilai	Keadaan	Nilai
1	Bentuk ergonomis	9	Mengurangi kelelahan saat melakukan proses	0.085	Cukup	3	Baik	4	Baik	4
2	Memberikan takaran merata	9	Takaran untuk setiap tanaman	0.085	Baik	4	Baik	4	Cukup	3
3	Ringan digunakan	8	Beban alat saat digunakan	0.075	Cukup	3	Baik	4	Baik	4
4	Daya tampung wadah sesuai	7	Sesuai rekomendasi beban yang direkomendasikan	0.066	Baik	4	Baik	4	Baik	4
5	Nyaman digunakan	7	Mudah mengoperasikan	0.066	Cukup	3	Baik	4	Baik	4
6	Bahan yang digunakan tahan lama	7	Kekuatan material	0.066	Baik	4	Cukup	3	Cukup	3
7	Memupuk persatuan waktu	7	Kebutuhan waktu untuk memupuk	0.066	Baik	4	Baik	4	Cukup	3
8	Harga ekonomis	7	Terjangkau	0.066	Baik	4	Cukup	3	Cukup	3
9	Aman digunakan	6	Tidak ada potensi cedera akibat pemakaian alat	0.057	Kurang Baik	2	Baik	4	Baik	4

10	Tepat fungsi	6	Fungsi memupuk palawija	0.057	Baik	4	Baik	4	Cukup	3
11	Mudah diperbaiki	6	Bongkar pasang komponen	0.057	Baik	4	Cukup	3	Baik	4
12	Bisa digunakan berulang kali	5	Kekuatan material alat	0.047	Baik	4	Baik	4	Baik	4
13	Garansi produk	5	Perbaikan gratis/penggantian komponen rusak	0.047	Kurang Baik	2	Cukup	3	Cukup	3
14	Warna menarik	5	Kecerahan dan kenyamanan mata saat melihat	0.047	Baik	4	Baik	4	Baik	4
15	Suku cadang mudah didapat	4	Ketersediaan part di toko terdekat	0.038	Baik	4	Cukup	3	Baik	4
16	Merek alat	4	Mudah diingat	0.038	Baik	4	Baik	4	Baik	4
17	Perusahaan pembuat produk	4	Hasil produk yang diproduksi	0.038	Baik	4	Baik	4	Baik	4
Total		106		1		3.588		3.706		3.647

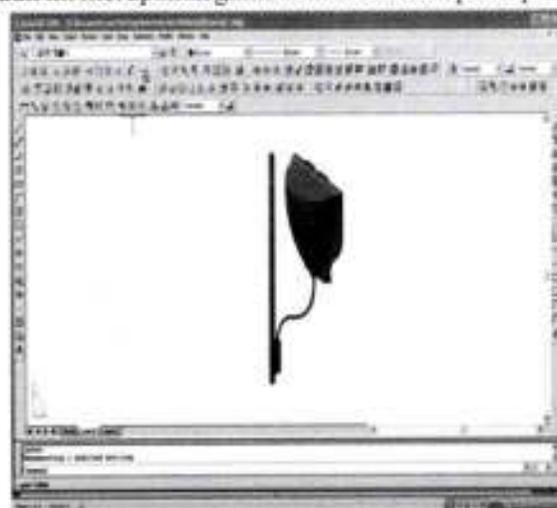
Berdasarkan hasil perbandingan yang diperoleh dari proses perancangan desain dan proses penentuan desain maka perancang memutuskan untuk melanjutkan perancangan alat pemupukan tanaman palawija **alternatif 2**.

V.8 Pengembangan Detail

Dari alternatif solusi yang dipilih maka dikembangkan menjadi detail rancangan pada tahap *embodiment* desain. Pada *embodiment* alat pemupukan tanaman palawija ini, ada beberapa proses diantaranya :

a. Rancangan Arsitektur Produk

Arsitektur produk ini merupakan gambaran sketsa alat pemupukan tanaman palawija.



(Gambar 10. Sketsa alat pemupukan tanaman palawija)

b. Rancangan Konfigurasi Alat

Konfigurasi alat pemupukan tanaman palawija ini ditunjukkan pada tabel di bawah ini:
Tabel 4. Konfigurasi Alat Pemupukan

No	Fungsi	Komponen penyusun
1	Membawa alat	Rangka bodi : rangka sandaran penampung pupuk, komponen pengait, tali pembawa rangka dan wadah
2	Menampung pupuk	Wadah pupuk dan penutup
3	Menghubungkan antar komponen	Sambungan ullir, baut, mur, ring
4	Membuka tutup penakar	Tombol kontrol, pegas (per), As penghubung antara tombol dengan pegas, <i>handle</i> plastik
5	Mengarahkan pupuk pada tanaman	Gravitasi, Silinder panjang, baut dan mur
6	Melubangi tanah	Logam kerucut
7	Memasukan pupuk	Gravitasi, pintu masuk pupuk, pembuka penakar yang dikendalikan oleh tombol pegas pada <i>handle</i> silinde

c. Parametrik Rancangan Alat

Dalam menentukan dimensi alat pemupukan tanaman palawija ini perancangan menggunakan dimensi antropometri dari pekerja pertanian pada objek yang diteliti, selain itu digunakan perhitungan dimensi alat menurut kapasitas alat sesuai dengan yang ditetapkan sebelumnya yaitu: kapasitas wadah penampung adalah 3 kg, kemudian total keluaran pupuk adalah 10 - 15 gram. Maka dimensi alat pemupukan tanaman palawija adalah:

Tabel 5. Dimensi komponen alat pemupukan tanaman palawija

No	Nama Komponen	Dimensi komponen berdasarkan data antropometri
1	Tongkat	P : 90 cm D: 3 cm
2	Handle	P: 6,12 cm D: 3,06 cm
3	Rangka penyangga	P :32 cm L :22 cm
4	Wadah penampung	D: 20 cm T: 30 cm
5	Saluran penghubung	D : 2,5 cm P : 90 cm

VI. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

- a. Kebutuhan dan keinginan konsumen disusun berdasarkan 8 dimensi kualitas produk menurut Groover (2001). Dari 8 dimensi itu dikembangkan menjadi 17 atribut kebutuhan konsumen dan diterjemahkan menjadi 19 karakteristik teknik.
- b. Total berat produk 2 kg
- c. Kapasitas tampung dari wadah alat pemupukan ini adalah 3 kg, dengan kapasitas takaran persekali keluaran adalah 10 - 15 gram. Waktu memupuk tanaman palawija untuk 1 hektar lahan pertanian adalah 2 hari dengan jumlah jam kerja 8 jam perhari.
- d. Desain alat pemupukan tanaman palawija dibuat supaya pekerja bekerja sambil berdiri, maka desain rangka dan wadah tampung dibuat seperti tas gendong.

VII. Saran

Adapun saran yang bisa penulis ungkapkan dalam penelitian ini adalah:

- a. Pastikan wadah penampung, saluran penghubung dan penakar dalam keadaan kering sebelum digunakan.
- b. Hasil Penelitian ini hanya sampai pada tahap perencanaan, maka sebaiknya ada penelitian lanjut untuk mengaktualisasikan alat pemupukan tanaman palawija.
- c. Untuk mempermudah penggunaan alat sebaiknya digunakan tenaga mesin dalam melakukan tutup buka penakar.

Daftar Pustaka

- Badan Litbang Pertanian, 2008, *Pemupukan Padi Lahan Sawah*.
- Bakhtiar Hasan, 2006 *Pengantar Teknik Industri*, Graha Ilmu Yogyakarta.
- Chaffin, Don B, Anderson, Gunnar B.J., 1991, *Occupational Biomechanics* 2nd Edition, Jhon Wiley and Sons Inc, New York.
- Eko Nurmianto, 2003, *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*, Edisi Pertama, Prima Printing Surabaya.
- Fredi Rangkuti, 2007, *Riset Pemasaran*, Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Gregorius H, Sri W, Sritomo Wignjosoebroto, Arif Rahman, 2008, *Perancangan Alat Penanam Benih Palawija Yang Berbasis Ergonomis*, <www.its.ac.id/.../2864-m_sritomo-ie-Paper> diakses Januari 2010.
- Iftikar Satalaksana, Anggawisastra, Tjakraatmaja, 1979, *Teknik Tata Cara Kerja*, Jurusan Teknik Industri, ITB Bandung.
- Julius Panero, 2003, *Dimensi Manusia dan Ruang Interior*, Erlangga Surabaya.
- Karl T.Ulrich, Steven D. Eppinger, 2001, *Perancangan dan Pengembangan Produk*, McGraw Hill.
- Konjtaraningrat, 1994, *Metode Penelitian Masyarakat*, Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Lando TM dan Abidin, 1984, *Perancangan dan Pembuatan Alat Tanam Kedelai*, Laporan Hasil Mekanisasi Pertanian, BALLITAN Maros Sulawesi Selatan.
- Lou Cohen., 1995, *How To Make Quality Function Deployment Work For You*, Addison Wisely Publishing company
- Marsudi, Harjono, C. Yusuf, 2008, *Rekayasa Mesin Tanam langsung Benih Padi Pada Lahan Sawah, Perekraya Pada Badan Mekanisasi Alat Pertanian*, <www.Mekanisasi.Litbang.Deptan.go.id>.
- Metta Cristianti, 2007. *Hubungan Karakteristik Individu Dan Frekuensi Angkut Terhadap Nyeri Pinggang Pada Pekerja Pengangkut Beras Gudang Bulog 106 Randugarut I Semarang*, Skripsi Universitas Negeri Semarang.

- Mikell P. Groover, 2001, *Automation, Production System, and Computer Integrated Manufacturing*, Second Edition, Prentice Hall New Jersey.
- Nigel Cross, 2008, *Engineering Design Methods : Strategies For Product Design*, Jhon Wiley and Sons New York.
- Phillip Kotler, Kevin lane, 2007, *Principles of Marketing*, Prentice Hill Inc.
- Pulat, Babur Mustafa, Dafid C Alexander, 1982, *Industrial Ergonomics*, McGraw Hill Inc, India.
- Purba S, Las, 2002, *Regionalisasi Opsi Strategi Peningkatan Produksi Beras*, Makalah Disampaikan Pada Seminar Iptek Padi Pekan Padi Nasional di Sukamandi.
- Prasetyo, 2002, *Budidaya Padi Sawah TOT*, Yogyakarta.
- Rosnani Ginting, 2010, *Perancangan Produk*, Graha Ilmu Yogyakarta.
- Sanders, Mark S, Ernest Mc Cormick, 1992, *Human Factor in Engineering and Design*, Mc Grow Hill Publishing Company New York.
- Stevenson, M.G., 1989, *Principles of Ergonomics*, Center for Safety Science, University of South Wales Australia.
- Syamsul Ma'arif dan Hendri Tanjung, 2003, *Manajemen Operasi*, Edisi 3, Gramedia Pustaka Jakarta.
- WWW.Scribd.com
- WWW.Digilib.unnes.ac.id
- Yusuf Purwanta, Koes Sulistiadji, Joko Pitoyo, 2008, *Desain dan Rekayasa Prototipe Mesin Pembenam Pupuk di Lahan Sawah*, <www.Mekanisasi.Litbang.Deptan.go.id>.

Monitoring Dan Kendali Prototipe Sistem Kelistrikan Rumah Menggunakan Human Machine Interface (hmi)

Yuda Bakti Zainal

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)
Email: yudabz@ymail.com, yudazainal@gmail.com

Abstrak. Pada penelitian ini telah dirancang dan diaplikasikan sebuah sistem aplikasi mikrokontroler dengan menggunakan HMI untuk monitoring dan kendali prototipe sistem kelistrikan rumah. Penggunaan HMI ini dimaksudkan agar didapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang komunikasi antara manusia dengan alat khususnya prototipe sistem kelistrikan rumah.

Sistem yang dirancang ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu sistem mikrokontroler dan sistem komputer sebagai HMI. Bagian sistem mikrokontroler terdiri atas sebuah mikrokontroler Atmega8535 sebagai kontroler utama, IC LM35 sebagai sensor temperatur, sebuah LCD untuk menampilkan nilai temperatur, driver dan relay sebagai output dari sistem ini. Sedangkan pada bagian sistem komputer untuk HMI menggunakan software Visual Basic 6.0 dan konverter USB ke Serial digunakan untuk komunikasi dengan mikrokontroler.

Dari hasil pengujian menunjukkan sistem yang dirancang telah sesuai dengan spesifikasi dan fungsinya. Lampu sebagai beban output berhasil dinyalakan dan dimatikan dari HMI di komputer. Temperatur ruang dan luar rumah pun dapat dimonitor secara realtime dengan *trending*nya.

Kata Kunci : Mikrokontroler, HMI, ATmega8535, konverter USB ke serial, Visual Basic 6.0.

I. Latar Belakang

Kemajuan teknologi saat ini sudah sangat pesat sekali. Integrasi antara hardware dan software sudah sedemikian canggihnya termasuk pemakaiannya yang semakin dipermudah (*user friendly*). Berbagai macam program pembuat *Human Machine Interface (HMI)* banyak dipasarkan yang dapat digunakan dengan berbagai macam hardware seperti PLC dan DCS dan memiliki fitur-fitur yang memudahkan kita dalam mendesain tampilan yang menarik.

Berbagai macam tampilan HMI digunakan untuk mengontrol proses atau peralatan yang ada dilapangan. Agar dapat mengontrol peralatan dilapangan tersebut oleh program HMI yang kita buat diperlukan perantara agar dapat saling terhubung antara program HMI dengan peralatan tersebut. Perantara tersebut adalah sebuah server komputer yang menyediakan sistem komunikasi antara HMI sebagai antar muka dengan peralatan berbasis mikrokontroler yang ada dilapangan.

Penggunaan program aplikasi seperti Visual Basic, Visual C atau Delphi sudah sangat familiar digunakan di kampus atau masyarakat, oleh karena itu penulis akan memanfaatkan -

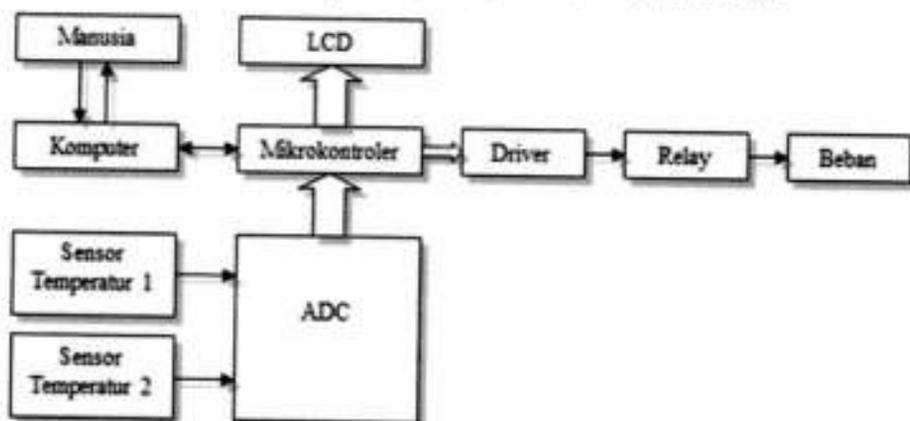
software ini khususnya Visual Basic 6.0 untuk program antarmuka antara komputer dan mikrokontroler sebagai pengendali utamanya [2,8,9,10].

1.2 Tujuan

1. Membuat sistem pengendali listrik rumah berbasis mikrokontroler dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Menghasilkan sistem pengendalian listrik rumah yang dapat menyalakan atau mematikan peralatan listrik dari HMI yang dibuat di komputer.
 - Menghasilkan sistem monitoring peralatan listrik rumah yang dapat memonitor aktifitas kelistrikan dan merekamnya, sehingga dapat ditelusuri kembali aktifitas yang telah terjadi.
 - Sistem juga dapat memonitor suhu didalam ruangan dan diluar rumah dan merekamnya, sistem juga dapat memberikan alarm ketika suhu sudah diatas ambang batas yang diharapkan.
2. Merealisasikan *Human Machine Interface (HMI)* dengan menggunakan program Visual Basic 6.0, termasuk sistem komunikasinya.
3. Mengaplikasikan sistem yang dirancang dalam sebuah prototipe rumah, dengan peralatan listrik yang digunakan adalah lampu.

1.3 Diagram Blok

Diagram blok dari keseluruhan rancangan alat ini adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1. Diagram blok terdiri dari 9 bagian utama, yaitu: Manusia sebagai pengguna, Komputer, Mikrokontroler, ADC, Sensor temperatur, LCD, Driver, Relay dan Beban.



Gambar 1.1 Diagram Blok Sistem

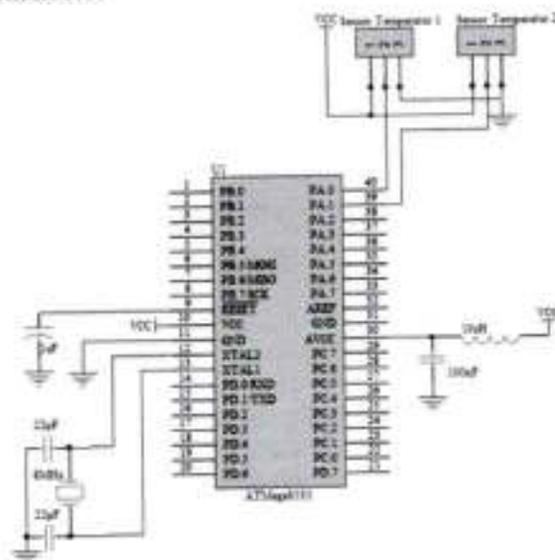
Manusia sebagai pengguna pada diagram blok ini digambarkan memiliki interaksi dua arah dengan komputer sebagai antar muka sistem keseluruhan. Komputer berkomunikasi secara serial dengan mikrokontroler yang berfungsi sebagai kontroler utama. Mikrokontroler memiliki 2 buah input yaitu dari komputer dan dari ADC yang mengkonversikan nilai temperatur dari sensor dan mikrokontroler memiliki 2 blok output yaitu LCD sebagai tampilan nilai temperatur dan driver untuk menggerakkan relay. Relay digunakan untuk mengendalikan beban apakah nyala atau mati.

II. Perancangan Sistem

II.1 Perancangan Hardware

II.1.1 Perancangan Sensor Temperatur

Sensor Temperatur yang digunakan adalah IC LM35. Digunakan 2 buah sensor untuk membaca masing-masing temperatur ruang dan temperatur luar rumah. Output dari sensor tersebut masing-masing dihubungkan dengan pin no 39 dan 40 dari mikrokontroler ATmega8535 sebagai pin input ADC channel 0 dan 1. Gambar rangkaian dari sensor ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Sensor Temperatur

ADC yang digunakan adalah fasilitas yang sudah terdapat pada mikrokontroler ATmega8535. ADC yang dimiliki oleh ATmega8535 memiliki resolusi 10-bit. Sebuah multiplexer 8 channel terhubung antara ADC dengan port A. Untuk mengaktifkan dan mematikan ADC dapat dengan mudah dilakukan dengan software.

Dua buah sensor terhubung dengan pin ADC0 dan ADC2. pin AVCC dihubungkan dengan rangkaian *low pass filter* sebagai pin supply ADC. Tegangan referensi yang digunakan adalah tegangan AVCC yang diatur melalui software [5].

Dari *datasheet* IC LM35 didapatkan karakteristik output dari sensor ini adalah linier dengan kenaikan 10mV/°C. Sedangkan resolusi ADC yang dimiliki oleh ATmega8535 adalah 10 bit, atau memiliki 1024 step konversi. Sehingga didapatkan:

$$1 \text{ bit} = \frac{5V}{1024} = 0.00488 V \dots\dots\dots(2.1)$$

Sehingga untuk setiap kenaikan 1 bit nilai ADC mewakili kenaikan nilai temperatur 0,5 °C, atau dengan kata lain untuk membaca nilai temperatur sebesar 1 °C diperlukan nilai ADC 2 bit. Dengan ini kita bisa mengkonversi nilai bacaan ADC menjadi nilai temperatur dengan bahasa pemrograman BASCOMAVR sebagai berikut:

```

Config Adc = Single . Prescaler = Auto . Reference = Avcc
Start Adc

Do
    Temp1 = Getadc(0)
    Temp2 = Getadc(1)
    
```

```

'Konversi ke degC
Temp1 = Temp1 / 2
Temp2 = Temp2 / 2

'Tampilkan di LCD
Cls
Lcd "Suhu Ruang" : Temp1 : "C"
Lowerline
Lcd "Suhu Luar " : Temp2 : "C"

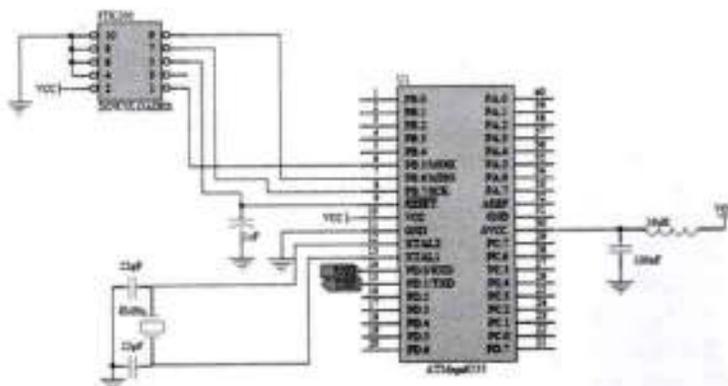
Waitms 500
Loop

```

Untuk mengaktifkan ADC pada BASCOM AVR cukup dengan 2 baris perintah konfigurasi seperti pada cuplikan program diatas. Variabel Temp1 dan Temp2 digunakan untuk menampung hasil pembacaan ADC di channel 0 dan channel 1. Nilai yang didapatkan kemudian dibagi 2 dan hasilnya adalah nilai temperatur yang dibaca oleh sensor. Pada program diatas nilai temperatur tersebut kemudian ditampilkan di LCD.

II.1.2 Perancangan Sistem Mikrokontroler ATmega8535

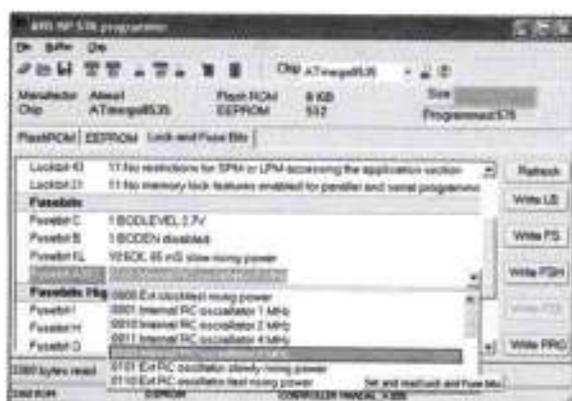
Rangkaian skematik untuk sistem mikrokontroler ATmega8535 dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skematik Sistem Mikrokontroler ATmega8535

Untuk mengaktifkan mikrokontroler ini dibutuhkan sumber tegangan 5 VDC, dimana pin 10 dihubungkan dengan tegangan positif dan pin 11 dengan ground. Sebuah rangkaian kristal 8 MHz dan 2 buah kapasitor 22 pF digunakan sebagai sumber clock untuk mikrokontroler ini, dihubungkan dengan pin no 12 dan 13. Pin reset dihubungkan dengan sebuah kapasitor sebesar 1 uF ke ground. Pin AVCC digunakan sebagai sumber tegangan untuk rangkaian ADC.

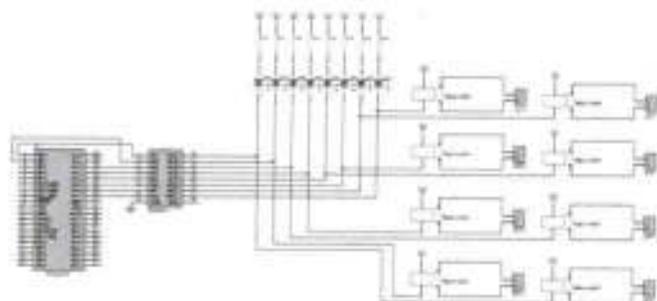
Atmega8535 memiliki fasilitas osilator internal yang secara default di-set pada 1 MHz. Untuk mengatur sumber clock yang diinginkan dilakukan dengan setting *fuse bit*. Setting *fuse bit* dapat dilakukan pada jendela programmer, tab "Lock and Fuse Bits". Tampilan jendela programmer untuk memilih clock ditunjukkan seperti pada Gambar 2.3. Pilihan osilator yang digunakan pada perancangan ini adalah *external crystal*.



Gambar 2.3 Seting Clock Pada Fuse Bits

II.1.3 Perancangan Rangkaian Driver

Rangkaian skematik untuk driver ditunjukkan pada Gambar 2.4. Komponen *driver* yang digunakan adalah sebuah IC ULN-2803 yang memiliki 8 buah rangkaian *driver switching transistor open collector* didalamnya.



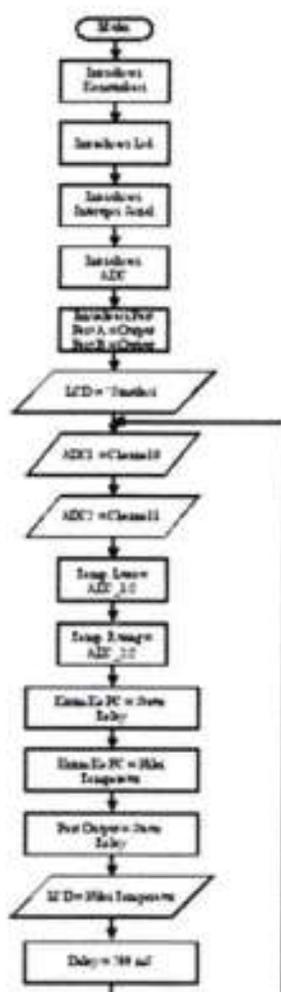
Gambar 2.4 Rangkaian Driver dan Relay Output

II.2 Perancangan Software Mikrokontroler

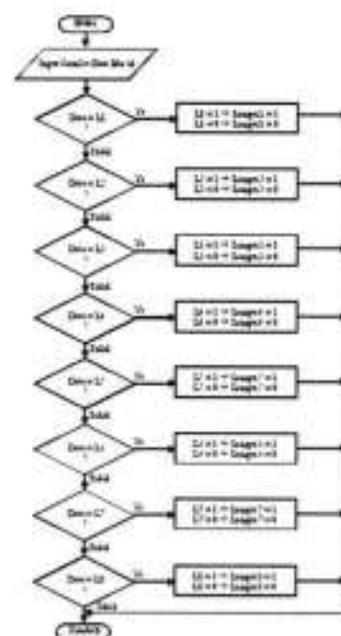
Software yang digunakan adalah BASCOM AVR. Perancangan software dilakukan dengan cara pembuatan algoritma, dari algoritma tersebut kemudian diimplementasikan pada bahasa pemrograman.

II.2.1 Algoritma Software

Dibawah ini ditampilkan diagram alir untuk pemrograman mikrokontroler ATmega8535. Pada Gambar 2.5 ditampilkan diagram alir program utama dan Gambar 2.6 menampilkan diagram alir rutin interupsi serial.



Gambar 2.5 Diagram Alir Program Utama Mikrokontroler



Gambar 2.6 Diagram Alir Rutin Interupsi Serial

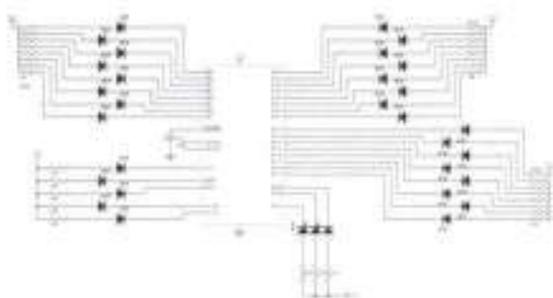
III. Pengujian Sistem

III.1 Pengujian Port dan Sistem Minimum ATmega8535

ATmega8535 diberikan sumber clock internal sebesar 8 MHz, sumber clock ini diatur dengan fuse menggunakan programmer. Tegangan supply yang diberikan adalah 5 Vdc. Gambar rangkaian untuk menguji sistem minimum ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Pengujian port dilakukan dengan cara menghubungkan seluruh port dengan LED. Untuk dijadikan port output, harus dideklarasikan terlebih dahulu dengan cara mengisi bit "1" pada masing-masing pin dalam *Data Direction Register* untuk menjadikannya output. Contoh syntax-nya adalah:

```
Sregfile = "m8535.dat"
Ddra = &Hff
Ddrb = &Hff
Ddrc = &Hff
Ddrd = &Hff
```



Gambar3.1 Pengujian Port Atmega8535

Atau dalam BASCOM dapat dideklarasikan lebih mudah, yaitu:

```
Sregfile = "m8535.dat
Config PortA = Output
Config PortB = Output
Config PortC = Output
Config PortD = Output
```

Program untuk menguji rangkaian pada Gambar3.1 adalah sebagai berikut:

```
-----Judul : Pengujian Port
-----SRegfile = "M8535.Dat
SCrystal = 8000000
Config Porta = Output
Config Portb = Output
Config Portc = Output
Config Portd = Output
Ulang:
Porta = &Hff
Portb = &Hff
Portc = &Hff
Portd = &Hff
Wait 1
Porta = 0
Portb = 0
Portc = 0
Portd = 0
Wait 1
Goto Ulang
```

Program diatas akan membuat LED diseluruh port berkedip bersamaan setiap 1 detiksekali. Dalam percobaan ini seluruh port bekerja dengan baik.

Pengukuran dengan multimeter menunjukkan bahwa pada *logic 1* Port memberikan output tegangan (V_{out}) sebesar 4.95 V, dan pada *logic 0* tegangan yang terukur adalah 0.2 V.

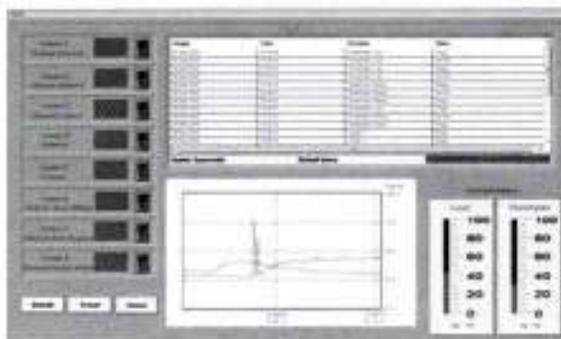
III.2 Pengujian Human Machine Interface (HMI)

Berikut adalah hasil tampilan HMI di komputer ketika dihubungkan dengan sistem -

mikrokontroler. HMI bisa berkomunikasi dengan baik dengan sistem mikrokontroler melalui serial RS 232 [6].



Gambar 3.2 Tampilan Denah Rumah di HMI



Gambar 3.3 Tampilan Informasi Detail di HMI



Gambar 3.4 Tampilan Historical Trend di HMI

4.1 Kesimpulan

Dari data hasilrealisasialat, makadapatdiambilbeberapakesimpulan, yaitu:

1. Sebuahsistempengendalian monitoring kelistrikan rumah telah berhasil direalisasikan dengan tingkat keberhasilan sebesar 100% dari yang telah direncanakan.
2. Sistem mikrokontroler yang dirancang mampu bekerja dengan baik mengontrol 8 buah relay dan membaca 2 buah sensor temperatur serta menampilkan nilainya di LCD, serta secara bersamaan berkomunikasi dengan komputer melalui port serial dengan kecepatan 9600 bps.

3. HMI yang dibuat mampu menampilkan dan merekam aktifitas nyala dan matinya lampu secara *real time*.
4. HMI juga mampu menampilkan dan merekam nilai temperatur ruang dan temperatur luar rumah serta dapat ditampilkan histori datanya pada sebuah *chart trending*, alarm aktif ketika temperatur sudah melebihi batas *setpoint* yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 30°C.
5. Sistem ini berhasil diimplementasikan pada sebuah prototipe rumah yang dilengkapi 8 buah lampu 220 Vac sebagai beban listriknya maksimal sampai 3A.

4.2 Saran

Dari hasil analisis penelitian ini terdapat beberapa hal yang disarankan untuk dikembangkan, diantaranya:

1. Penggunaan sistem loop tertutup agar didapatkan pengendalian temperatur ruang sesuai dengan temperatur yang diinginkan.
2. Perancangan driver yang lebih baik, sehingga driver mampu mengendalikan beban yang lebih besar dan dapat diatur dayanya secara linier sehingga bisa dibuat sebagai *dimmer*.
3. Perancangan sistem dikembangkan sehingga mampu dipasang pada sistem kelistrikan rumah yang sudah ada tanpa merubah terlalu banyak pengkabelan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ompusunggu, Junior. "Aplikasi AVR Mikrokontroler AT90S8535 Sebagai Pengontrol Gerak Pada Kursi Roda". Laporan Proyek Akhir. Program Studi T. Elektronika. Politeknik Negeri Bandung. 2004.
2. Pranajaya, Riki. "Sistem Pengendali 2 Motor Dc Untuk Diaplikasikan Pada Sistem Penggerak Roda Robot Manual Prisma". Laporan Proyek Akhir. Program Studi T. Elektronika. Politeknik Negeri Bandung. 2005.
3. http://www.icsen.com/technotes/html/dde_comm.htm#top
4. <http://www.mselec.com>
5. <http://www.Atmel.com>
6. <http://fredx.web.ugm.ac.id/2009/12/komunikasi-hmi-dan-atmega8535-via-opc-bag1/>
7. www.national.com/ds/LM/LM35.pdf
8. Yuda B.Z, *Monitoring Lampu Lalu Lintas Berbasis PLC*, Journal Epsilon Teknik Elektro UNJANI Vol. 6, No. 3 Desember 2008 dengan No. ISSN : 1693-4989 hal 119-122.
9. Yuda B.Z, *Pengolahan Air Sungai Menjadi Air Bersih Berbasis PLC*, Journal Epsilon Teknik Elektro UNJANI Vol. 7, No. 1, April 2009 dengan No. ISSN : 1693-4989 hal 1-7.
10. Yuda B.Z, *Pengaturan Level Air Bendungan Menggunakan SCADA*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air, Bandung 2010.

Pengolahan Limbah Cair Tekstil Menggunakan Proses Elektrokoagulasi Dengan Sel Al – Al

Bambang Hari P

Jurusan Teknik Kimia – Universitas Jenderal Achmad Yani
e-mail: bhpujtk@yahoo.co.id

Abstract. Wastewater and its problems will emerge where human being have activity, thrown volume household wastewater can reach more than 60 %. Industrial wastewater around 30 – 40 %, but is always assumption contributor of biggest environmental pollution. Till now many industry not yet doing treating of wastewater to lessen burden of pollutant yielded before thrown to water body. Reason of the core important is operating expenses which is high enough.

Pre-treatment like aeration in pond or basin, adding chemicals to precipitated pollutant especially heavy metal which generate color and dangerous ought to earn to be done by every industry. Because continuity produce and the long time pre-treatment of wastewater causing all industrialist unwilling to operate pre-treatment is mentioned.

Electrocoagulation is not a new technology, but in Indonesia not yet applied in social activities in its applying. This process modestly and easy to applied good ability in coagulation of pollutant, for organic and inorganic materials. In this research using plate of aluminium and iron, and also combination from both.

This research have been done in laboratory of General Achmad Yani, giving result of well enough especially at degradation of content of total suspended solid (TSS), COD, and BOD. Research with 5 Liter capacities, specification of rectifier of current 30 Amp, 24 V. Variation of time 10, 15, 20, 25, and 30 minute and also plate formation variation of anode and cathode; six plate of Al – Al, four plate of Al – Al, and two plate Al – two steel plate.

Reached result of process of electrocoagulation can degrade, TSS = 90.18%; COD= 83.60 %; BOD= 87,35%. the best result of process of electro-coagulation by using six plat Al – Al with duration time 25 minute.

Key word: aeration, electrocoagulation, wastewater, anode, cathode, pollutant,

Abstrak. Limbah cair dan permasalahannya akan muncul dimana manusia beraktivitas, limbah cair rumah tangga volume yang dibuang dapat mencapai 60% lebih. Limbah cair industri sekitar 30 – 40 %, tetapi selalu dianggap penyumbang pencemar lingkungan yang terbesar. Sampai saat ini belum banyak industri yang melakukan pengolahan limbah cair untuk mengurangi beban polutan yang dihasilkan sebelum dibuang ke badan air. Alasan utamanya adalah biaya operasional yang cukup tinggi.

Pengolahan awal seperti aerasi dalam kolam penampung, penambahan sedikit bahan kimia untuk mengendapkan pengotor dan polutan terutama logam berat yang menimbulkan warna dan berbahaya seharusnya dapat dilakukan oleh setiap industri. Tetapi karena kontinuitas produksi dan lamanya pengolahan limbah awal yang menyebabkan para pengusaha enggan mengoperasikan pengolahan awal tadi.

Elektrokoagulasi bukanlah teknologi baru, tetapi di Indonesia belum memasyarakat -

dalam penerapannya. Proses ini sederhana dan mudah diterapkan dengan kemampuan yang baik dalam menggumpalkan berbagai pengotor dan polutan, baik bahan organik maupun anorganik. Dalam penelitian ini akan digunakan plat alumunium dan besi, serta kombinasi dari keduanya.

Penelitian telah dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Universitas Jenderal Achmad Yani, memberikan hasil yang cukup memuaskan terutama pada penurunan kandungan padatan terlarut (TSS), COD, dan BOD. Penelitian dengan kapasitas 5 Liter limbah yang diolah, spesifikasi penyedia arus 30 Ampere dan 24 Volt. Variasi waktu 10, 15, 20, 25, dan 30 menit serta variasi susunan plat anoda dan katoda; enam plat Al - Al, empat plat Al - Al dan dua plat Al - dua plat baja.

Hasil yang dicapai dari proses elektrokoagulasi ini dapat menurunkan:

- padatan terlarut total (TSS) = 76,27 %
- Kekeruhan = 90,18 %
- COD = 83,60 %
- BOD = 87,35 %

Hasil terbaik proses elektrokoagulasi dengan menggunakan enam plat Al - Al dengan lama waktu 25 menit.

Kata Kunci: elektrokoagulasi, limbah cair, anoda, katoda, polutan, aerasi

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Keberadaan industri tekstil pada suatu daerah tentunya akan memberikan keuntungan secara ekonomi pada daerah tersebut, salah satunya adalah adanya penyerapan tenaga kerja dan pemasukan bagi daerah tersebut. Akan tetapi, seiring dengan keuntungan yang didapat tersebut, sebagian besar industri tekstil juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan yaitu berupa limbah cair. Limbah cair tersebut berasal dari proses pencelupan, sehingga limbah yang dibuang ke lingkungan terlihat berwarna. Limbah cair tekstil yang dibuang dapat membahayakan lingkungan jika tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Salah satu kenyataan yang dihadapi oleh masyarakat yang berada dikawasan industri didaerah Cisirung Jalan Muhamad Toha Kabupaten Bandung. Limbah yang dibuang diindikasikan mengandung bahan-bahan kimia dan logam berat beracun (B3), sehingga menurunkan kualitas air sungai. Air sungai merupakan sumber air bagi penduduk para petani terutama yang berdekatan dengan sungai Citarum. Dampaknya adalah menurunnya produksi padi tersebut terjadi karena para petani menggunakan sungai yang sudah tercemar limbah industri tekstil sebagai sumber pengairan pertanian mereka.

Dampak lain yang nyata adalah pendangkalan sungai Citarum menjadi lebih cepat sehingga dapat kita ketahui bersama bila musim hujan tiba selalu terjadi banjir plus berbagai penyakit. Begitu pula jika musim panas mudah sekali kesulitan air dan kekeringan yang berkepanjangan.

Untuk mengatasi permasalahan limbah cair tekstil di atas diperlukan suatu metode pengolahan limbah yang inovasi, murah dan efektif sebelum limbah cair tersebut dibuang ke lingkungan. Metode elektrokoagulasi dapat digunakan untuk mengolah limbah cair tekstil dan memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan koagulasi dengan menggunakan bahan kimia. Elektrokoagulasi bukan merupakan teknologi yang baru, akan tetapi teknologi-

ini belum digunakan secara luas oleh industri disebabkan oleh mahalnya investasi awal untuk membangun instalasi pengolahan tersebut dibandingkan dengan terhadap teknologi pengolahan limbah cair yang lainnya. Berdasarkan uraian di atas, maka salah satu target dari usulan penelitian ini adalah merancang prototype yang dapat diterapkan dengan mudah oleh industri terutama yang menghasilkan limbah dengan kontinuitas dan kapasitas yang tinggi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Mengkaji kemampuan metode elektrokoagulasi terhadap penurunan kadar BOD, COD, dan warna yang dihasilkan karena logam berat dalam limbah cair industri tekstil.
- Menyajikan alternatif teknologi elektrokimia untuk mengolah limbah organik dan anorganik dengan biaya operasi yang terjangkau.

1.3 Rumusan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini akan dibatasi pada masalah:

- Limbah cair yang diambil dari Industri Tekstil
- Variasi waktu kontak terhadap.
- Variasi daya listrik
- Variasi jenis elektroda
- Parameter yang akan diteliti adalah kandungan BOD, COD, dan TSS
- Percobaan menggunakan metode *batch*

Memberikan salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair tekstil dan limbah cair lainnya.

II. Tinjauan Pustaka

Perkembangan industri tekstil dan industri lainnya di Indonesia akan memberikan dampak negatif. Pembangunan industri tekstil tersebut terutama dari limbah cair yang dihasilkan, misalnya dari proses pencelupan, *printing* dan pencucian adalah sumber pencemaran lingkungan apabila air limbahnya dibuang langsung ke selokan atau sungai tanpa diolah terlebih dahulu. Air selokan dan sungai menjadi berwarna dan merubah kualitas air selokan atau air sungai sehingga tidak sesuai peruntukannya. Dampaknya sudah dapat diketahui dan dirasakan langsung oleh penduduk sekitar industri dan sungai yang tercemar, berbagai penyakit mudah menjangkit, produksi pertanian menurun dan lain sebagainya.

II.1 Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil

Maksud dan tujuan pengolahan limbah cair industri tekstil adalah bagaimana menghilangkan atau menurunkan unsur-unsur dan senyawa pencemar dari limbah tekstil untuk mendapatkan *effluent* dari pengolahan yang mempunyai kualitas yang dapat diterima oleh badan air penerima buangan tanpa gangguan fisik, kimia dan biologis.

Ada tiga cara pengolahan air limbah batik berdasarkan karakteristik, yaitu :

- Pengolahan limbah cair secara fisik
Bertujuan untuk menyisahkan atau memisahkan bahan pencemar tersuspensi atau melayang yang berupa padatan dari dalam air limbah. Pengolahan limbah cair secara fisik pada industri batik misalnya penyaringan dan pengendapan. Aerasi adalah proses awal yang selalu dilakukan secara terbuka maupun dengan paksa (injeksi udara). Proses penyaringan dimaksudkan untuk memisahkan padatan tersuspensi atau padatan-

terapung yang relatif besar seperti lilin batik, zat-zat warna, zat-zat kimia yang tidak larut dan kotoran-kotoran pada limbah cair. Proses penyaringan ini dilakukan sebelum limbah tersebut mendapatkan pengolahan lebih lanjut. Sedangkan proses pengendapan ditujukan untuk memisahkan padatan yang dapat mengendap dengan gaya gravitasi.

2. Pengolahan limbah cair secara kimia

Bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (*koloid*), menetralkan limbah cair dengan cara menambahkan bahan kimia tertentu agar terjadi reaksi kimia untuk menyisihkan bahan polutan. Penambahan zat pengendap disertai dengan pengadukan cepat menyebabkan terjadinya penggumpalan, hasil akhir proses pengolahan biasanya merupakan endapan yang kemudian dipisahkan secara fisika. Zat-zat pengendap yang ditambahkan biasanya adalah Kapur, Fero Sulfat, Feri Sulfat, Aluminium Sulfat, Feri Klorida dan sebagainya.

3. Pengolahan limbah cair secara biologi

Pengolahan secara biologi ini memanfaatkan mikroorganisme yang berada di dalam air untuk menguraikan bahan-bahan polutan. Pengolahan limbah cair secara biologi ini dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Pengolahan ini digunakan untuk mengolah air limbah yang *biodegradable*.

II.2 Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinyu dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia, yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana salah satu elektrodanya adalah aluminium ataupun besi. Dalam proses ini akan terjadi proses reaksi reduksi dimana logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutub negatif, sedangkan elektroda positif (Fe) akan teroksidasi menjadi $[Fe(OH)_2]$ yang berfungsi sebagai koagulan.

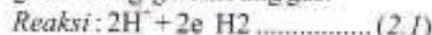
Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu reaksi reduksi oksidasi, sebagai akibat adanya arus listrik (DC). Pada reaksi ini terjadi pergerakan dari ion-ion yaitu ion positif (disebut kation) yang bergerak pada katoda yang bermuatan negatif. Sedangkan ion-ion negatif bergerak menuju anoda yang bermuatan positif yang kemudian ion-ion tersebut dinamakan sebagai anion (bermuatan negatif).

Elektroda dalam proses elektrokoagulasi merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda, sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda. Menurut Johannes (1978) reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

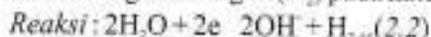
a) Reaksi pada Katoda

Pada katoda akan terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion H^+ dan ion ion logam.

1. Ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



2. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.



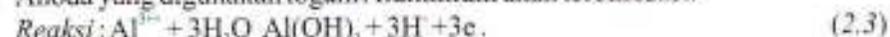
Dari daftar E° (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

3. Jika larutan mengandung ion-ion logam lain, maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.

b) Reaksi pada Anoda

1. Anoda yang digunakan logam Aluminium akan teroksidasi:



2. Ion OH dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2):



3. Anion-anion lain (SO_4^{2-} , SO_3^{2-}) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H_2O) membentuk gas oksigen (O_2) pada anoda:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

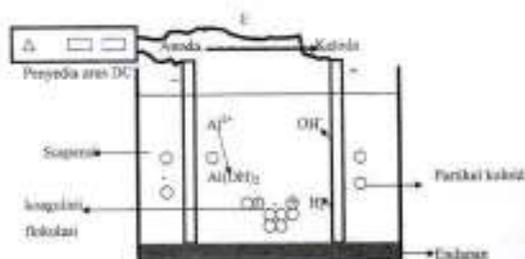
Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit.

Karena dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok terbentuk ternyata mempunyai ukuran yang relatif kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk tadi lama-kelamaan akan bertambah besar ukurannya.

Setelah air mengalami elektrokoagulasi, kemudian dilakukan proses pengendapan, yaitu berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel atau flok yang terbentuk tadi. Kemudian efluen yang dihasilkan akan dianalisis di laboratorium.

Tabel 2.1 Kontaminan yang dapat direduksi melalui proses elektrokoagulasi

Kontaminan yang Direduksi	Persentase yang direduksi
BOD	90 %
TSS (Clay, coal, silika, dll)	99 %
Lemak, minyak, lemak	93 - 99 %
Air dari lumpur aktif	50 - 80 %
Logam-logam Berat	95 - 99 %
Fosfat	93 %
E-coli total	99 %



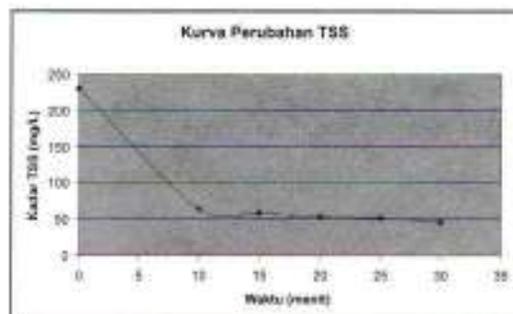
Gambar 2.1 Prinsip proses elektrokoagulasi

Sumber : GlobalSep Corporation

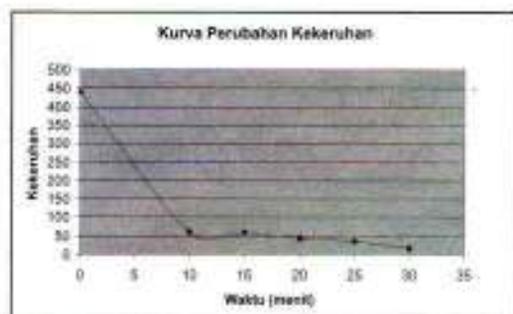
III. Hasil dan Diskusi

Tabel 3.1 Hasil setelah proses elektrokoagulasi kapasitas 5 Liter dengan menggunakan 6 plat Al – Al sebagai anoda dan katoda.

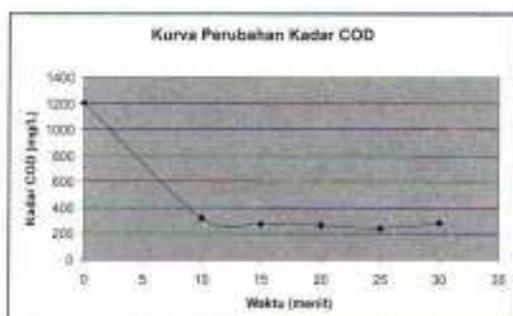
NO	Parameter	Variasi waktu (menit)				
		10	15	20	25	30
1	TSS (mg/L)	64	59	53	36	46
2	Kekeru- han (Cr)	59	60	45	36	16
3	(mg/L)	0,10	0,01	0,04	0,04	0,04
4	COD (mg/L)	320,1	271,5	266,7	244,2	278,6
5	BOD (mg/L)	181,4	153,9	151,2	138,4	157,9
6	pH	9,4	9,8	8,7	8,6	9,8



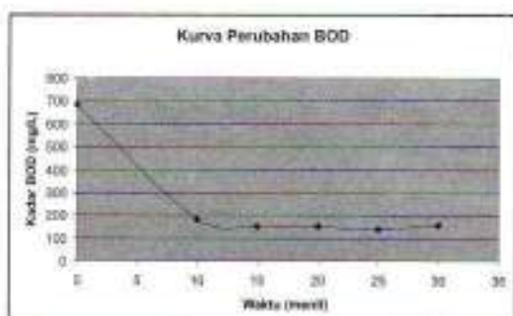
Gambar 3.1 Kurva hubungan antara perubahan kadar TSS terhadap waktu



Gambar 3.2 Kurva hubungan antara penurunan kekeruhan terhadap waktu



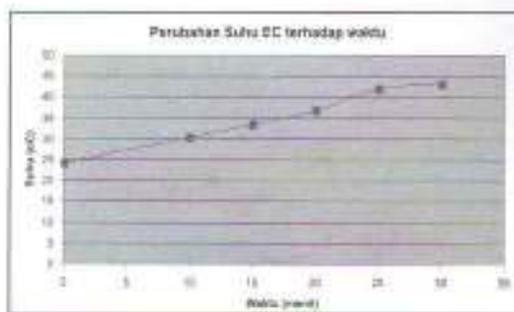
Gambar 3.3 Kurva hubungan antara perubahan kadar COD terhadap waktu



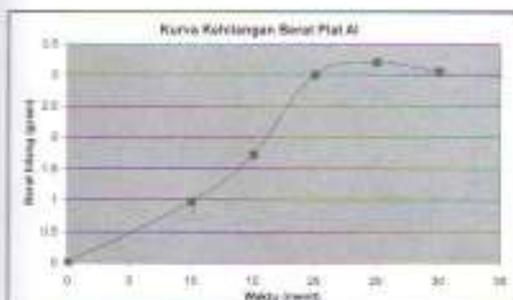
Gambar 3.4 Kurva hubungan antara perubahan kandungan BOD terhadap waktu



Gambar 3.5 Kurva hubungan antara perubahan pH terhadap waktu



Gambar 3.6 Kurva hubungan antara perubahan suhu terhadap waktu EC



Gambar 3.7 Kurva hubungan kehilangan berat plat Al terhadap waktu EC

Tabel 3.2 Perubahan kondisi limbah setelah proses elektrokoagulasi (EC) (Arus : 15 A; pH awal (rata): 10,52; suhu awal (rata): 24,5°C)

No	Waktu EC (menit)	pH	Suhu akhir (°C)	Massa Plat yang Hilang (g)
1	10	10,0	30,4	0,97
2	15	9,15	33,5	1,72
3	20	9,78	36,9	3,00
4	25	9,89	41,9	3,21
5	30	10,20	43,1	3,06

IV. Pembahasan

Hasil analisis setelah melalui proses elektrokoagulasi dengan plat Al – Al 6 (enam) lembar menunjukkan bahwa secara umum memberikan perubahan yang signifikan. Baik kadar TSS, kekeruhan, kadar COD, dan kadar BOD, sedangkan perubahan pH kurang signifikan bahkan pada proses elektrokoagulasi 15 menit dan 30 menit mengalami peningkatan. Pada proses elektrokoagulasi ini terjadi pembentukan endapan dan flok-flok yang terapung (flotation), hal ini sebagai indikasi bahwa ion-ion Al^{3+} mengikat polutan atau pengotor sangat efektif.

Kadar TSS mengalami perubahan yang cukup signifikan dengan penurunan rata-rata sebesar 76,27% dan semakin menurun terhadap waktu pada proses elektrokoagulasi 30 menit mencapai 80%, lihat gambar 4.1 kurva hubungan antara perubahan TSS terhadap waktu.

Kekeruhan atau *turbidity* mengalami perubahan yang lebih signifikan dibandingkan dengan kadar TSS yang rata-ratanya mencapai 90,18% dan semakin menurun terhadap waktu, pada proses elektrokoagulasi selama 30 menit penurunan dapat mencapai 96,36%. Gambar dalam bentuk grafik pada gambar 4.2.

Kadar COD (chemical oxygen demand) mengalami penurunan rata-rata mencapai 77,03%, dan penurunan tertinggi pada proses elektrokoagulasi dengan waktu 25 menit dengan penurunan sebesar 79,69%. Dalam bentuk grafik ditampilkan pada gambar 4.3.

Kadar BOD (biochemical oxygen demand) mengalami penurunan rata-rata mencapai 77,23% dan penurunan tertinggi pada proses elektrokoagulasi dengan waktu 25 menit dengan penurunan mencapai angka 79,87%. Dalam bentuk grafik ditunjukkan pada gambar 4.4.

Sedangkan pH tidak mengalami perubahan yang berarti dan ada kecenderungan stagnan pada penggunaan enam plat Al-Al, hal ini dimungkinkan karena ion Al^{2+} dapat menimbulkan suasana basa dalam limbah. Jadi dapat diprediksikan bahwa untuk limbah cair yang bersifat asam pengolahan dengan menggunakan elektrokoagulasi dapat menaikkan pH dengan efektif sampai dengan rentang pH yang dibolehkan oleh peraturan pemerintah sekitar pH 6–9.

Proses elektrokoagulasi melepaskan energi berupa panas atau perubahan suhu dalam limbah, semakin lama waktu proses EC terjadi peningkatan suhu

Terdapat kelemahan atau kekurangan dari proses elektrokoagulasi dengan limbah cair yang diolah dari industri tekstil, yaitu kadar bau belum dapat dikurangi walaupun secara visual dan analisis kimia kadar polutan dapat diturunkan.

Dari hasil percobaan dengan skala lab. kapasitas 5 (lima) Liter dan menggunakan penyedia arus (rectifier) dengan spesifikasi 30 A dan 24 Volt, kami mendapat kelemahan atau kekurangannya, diantaranya:

1. bau (bau busuk) belum dapat diturunkan atau dihilangkan
2. tegangan terhadap arus selalu berubah setiap waktu. (tabel perubahan tegangan terhadap arus pada lampiran 4).
3. terjadi peningkatan suhu terhadap lamanya waktu elektrokoagulasi, akibat dari berfluktuasinya tegangan terhadap arus.

V. Kesimpulan

Proses elektrokoagulasi dengan menggunakan plat Aluminium skala laboratorium dengan volume tangki 5 liter, sampel limbah yang dijadikan objek penelitian berasal dari industri tekstil. Memberikan hasil yang baik untuk pengolahan tahap awal dari rangkaian instalasi pengolah limbah dengan kualifikasi standar. Perubahan atau penurunan kadar polutan yang indikasinya ditunjukkan oleh parameter kadar TSS, kekeruhan, kadar COD, dan kadar BOD memberikan hasil dengan penurunan diatas 75%, dengan penurunan yang paling baik pada kekeruhan atau *turbidity* yang rata-rata (variasi waktu) mencapai 90,18% untuk penggunaan 6 (enam) plat Al-Al.

Sedangkan perubahan pH dari keadaan awal dan setelah proses elektrokoagulasi tidak -

mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan sebesar 4,7 % pada proses elektrokoagulasi dengan waktu 10 menit. Setelah itu mengalami kenaikan lagi walaupun tidak melebihi keadaan awalnya. Proses elektrokoagulasi pada limbah tekstil ini belum dapat mengurangi bau.

Daftar Pustaka

1. Beagles.Abe.,Dr., **Electrocoagulation (EC)**– Science and Applications
2. Binnie., Chris., Kimber Martin., Smethurst. G., **Basic Water Treatment.**, Third edition., Royal Society of Chemistry., London 2002
3. Eckenfelder., W., Wesley., **Industrial Water Pollution Control.**, Third Edition., Mc Graw Hill International Edition., Environmental Engineering Series., 2000
4. Metcalf & Eddy., **Wastewater Engineering Treatment and Reuse.**, Fourth Edition., New York., 2004
5. Prabowo, Bambang H., Wahyudi., Soleh., Hendriyana., **Prototipe Perangkat Pengolah Limbah Elektroplating dan Recovery Logam Berharga.** Laporan Hibah Bersaing Dikti., 2008
6. Sunardi., **Pengaruh Tegangan Listrik dan Kecepatan Alir Terhadap Hasil Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam Pb, Cd dan TSS Menggunakan Alat Elektrokoagulasi.** Makalah Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir., Yogyakarta Nopember 2007., ISSN 1978-0176.
7. Wikipedia., **Electrocoagulation.**, <http://en.wikipe dia. org/electrocoagulation>
8. Zaroual.Z., Azzi. M., **Contribution to The Study Of Electrocoagulation Mechanism In Basic Textile Effluent.** Journal of Hazardous Materials., http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TG.....

Analisis Perbandingan Model Linier Dan Nonlinier Struktur Perkerasan Berdasarkan Pengaruh Variasi Tebal Dan Modulus

Agus Juhara

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Analisis perbandingan model linier dan nonlinier dilakukan untuk mengetahui dampak terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada struktur perkerasan lentur akibat pengaruh peningkatan tebal lapis perkerasan (h) dan nilai modulus (E) material perkerasan.

Dari hasil analisis sensitivitas respon struktur perkerasan dengan model nonlinier, bahwa peningkatan modulus lapis perkerasan tidak menunjukkan adanya sensitivitas regangan tarik horizontal (ϵ_x) maupun regangan tekan vertikal (ϵ_z). Hal ini terjadi karena pada model nonlinier peningkatan modulus sangat dipengaruhi oleh peningkatan beban yang bekerja serta adanya pengaruh konstanta K_1 dan K_2 dari masing-masing lapis pondasi dan tanah dasar. Dimana konstanta K_1 dan K_2 adalah sifat fisik material

Kata Kunci : Elastik linier, elastik nonlinier, konstanta nonlinier K_1 dan K_2

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan metoda analisis perkerasan lentur serta pertumbuhan lalu lintas yang sangat pesat, maka dipandang perlu untuk mencari alternatif struktur perkerasan yang ekonomis. Dari hal tersebut perlu mengetahui perilaku perubahan tebal dan modulus resiliens masing – masing lapis perkerasan dengan mengambil dua model struktur perkerasan yaitu variasi model perilaku linier dan nonlinier. Dalam analisis ini akan terjadi interaksi yang kompleks antara sejumlah parameter sehingga akan sulit untuk disimpulkan secara akurat dari gambar respons struktur perkerasan yang ditimbulkan, karena besarnya respon struktur perkerasan tidak hanya dipengaruhi satu parameter, tetapi semua parameter lainnya. Kesimpulan yang didasarkan pada satu parameter bisa tidak valid, jika beberapa parameter lainnya berubah. Pendekatan terbaik adalah dengan memperbaiki semua parameter yang masuk akal untuk menunjukkan pengaruh respon perkerasan yang terjadi.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengevaluasi pengaruh dari perbedaan karakteristik elastik linier dan elastik nonlinier dari lapis perkerasan terhadap respon struktur perkerasan lentur
2. Melakukan analisis sensitivitas dari variasi tebal perkerasan, dan variasi modulus lapisan perkerasan dengan perilaku elastik linier dan elastik nonlinier terhadap respon kritis regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bagian bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) di bagian atas tanah dasar pada struktur perkerasan lentur.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Struktur perkerasan untuk analisis perbandingan sensitifitas linier dan non-linier menggunakan struktur tiga lapis (*three-layer*) dengan perilaku elastik linier
2. Beban roda yang digunakan beban sumbu tunggal roda ganda
3. Analisis struktur perkerasan dengan asumsi bidang kontak antara ban dan permukaan perkerasan berbentuk lingkaran

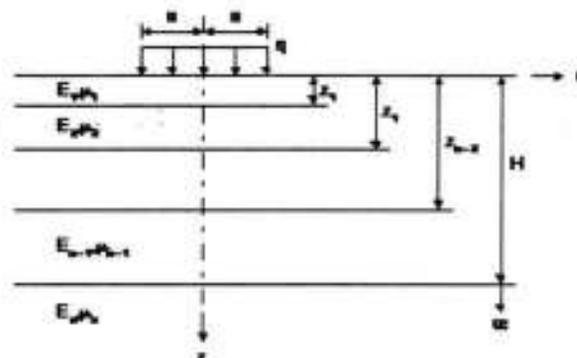
II. Tinjauan Pustaka

II.1 Sistem Multilayer

Persamaan Boussinesq's digunakan sebagai solusi untuk analisis elastik sistem satu lapis. Burmister (1943) pertama kali mengembangkan untuk sistem dua lapis dan kemudian sistem tiga lapis. Satu keuntungan dari teori ini adalah dapat digunakan untuk memperoleh suatu *multilayer system* yang merupakan sebagian besar digunakan dalam analisis struktur perkerasan lentur. Tetapi ada beberapa anggapan-anggapan diperlukan untuk menggunakan teori Burmister:

- Beban diaplikasikan merata diatas permukaan perkerasan dengan tekanan bidang kontak diasumsikan berbentuk lingkaran
- Semua lapisan perkerasan dalam arah horizontal takhingga dan kedalaman subgrade takhingga
- Interface antara dua lapisan adalah *full friction*

Bila dibandingkan respon perkerasan dari teori *multilayer* dari Burmister lebih teliti dibandingkan dengan teorinya Boussinesq's. Gambar 2.1 Menggambarkan sistem *multilayer* dari struktur perkerasan lentur dengan karakteristik material yaitu, modulus elastik (E) dan *Ratio Poisson* (μ).



Gambar 2.1. Sistem *Multilayer* Perkerasan Lentur

II.2 Analisis Elastik Linier

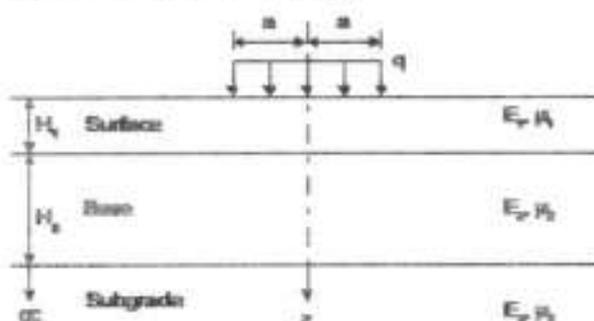
Modulus resilien adalah salah satu variabel sifat material merupakan input yang penting untuk mengevaluasi struktur perkerasan menggunakan konsep-konsep mekanistik. Perincian mengenai modulus resilien disajikan pada persamaan 2.1.

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana σ_d tegangan deviator

Dalam konsep *multilayered elastic system*, material perkerasan diasumsikan elastik linier. Meskipun lapis aspal adalah viscoelastik dan lapisan granular elastik nonlinier dengan karakteristik yang dinyatakan dengan parameter sebagai berikut :

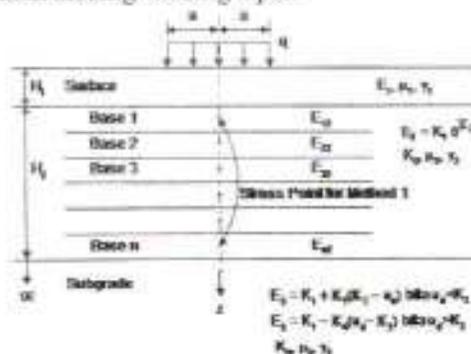
- Besaran tegangan adalah sebanding terhadap regangan dalam setiap material
- Masing lapis adalah homogen dan isotropik



Gambar 2.2. Sistem Analisis Elastik Linier

II.3 Analisis Elastik Nonlinier

Model struktur perkerasan yang di kembangkan dalam analisis elastik nonlinier seperti pada Gambar 2.3 dibawah ini. Dimana lapis pondasi dibagi kedalam beberapa lapis dengan titik tegangan ditengah ketebalan masing-masing lapis.



Gambar 2.3. Sistem Analisis Elastik Nonlinier

Material perkerasan diasumsikan elastik nonlinier dengan karakteristik yang dinyatakan dengan parameter sebagai berikut :

- Besar tegangan adalah tidak berbanding linier terhadap regangan untuk setiap jenis material, dinamakan elastik nonlinier
- Masing-masing lapis perkerasan bersifat homogen dan anisotropik

Analisis elastik nonlinier dimana modulus elastik bervariasi sesuai besarnya tingkat tekanan sehingga untuk penyelesaian masalah nonlinier diperlukan proses iterasi yang merupakan bagian yang sangat penting dalam memperoleh solusi sistem persamaan nonlinier. Kebutuhan proses iterasi sangat menentukan dalam mencapai kekonvergenan analisis.

Metoda analisis iterasi merupakan metoda yang sering digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah nonlinier. Hal ini didukung dengan semakin berkembangnya perangkat penghitung yang mempunyai kemampuan lebih tinggi sehingga dapat memberikan efisiensi dan hasil yang lebih akurat.

II.4 Model $K-\theta$ untuk Material *Unbound Granular*

Telah diketahui bahwa material-material berbutir dan tanah dasar adalah material dengan perilaku nonlinier dengan modulus elastik yang bervariasi sesuai besarnya tingkat tekanan. Modulus elastik yang akan digunakan dalam sistem struktur perkerasan berlapis merupakan modulus resilien yang diperoleh dari uji triaksial.

Modulus resilien dari material berbutir tersebut akan meningkat dengan meningkatnya intensitas tekanan yang terjadi, sedangkan modulus resilien dari tanah-tanah berbutir halus akan berkurang dengan meningkatnya intensitas tekanan.

Hubungan konstitutif suatu hubungan yang sederhana antara modulus resilien dengan *stress invariant* pertama dapat dinyatakan sebagai berikut (Huang, 1993) :

$$E = K_1 \theta^{K_2} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dimana K_1 dan K_2 konstanta menurut percobaan dan adalah tegangan *invariant*, yang berjumlah tiga tegangan normal, σ_1 , σ_2 , dan σ_3 , atau berjumlah tiga tegangan utama, σ_x , σ_y , dan σ_z .

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \dots \dots \dots (2-3)$$

Bila berat volume material masuk sistem *multilayer* akan diperoleh

$$\theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z + yz(1 + 2K_0) \dots \dots \dots (2-4)$$

dimana y adalah berat volume rata-rata, z adalah jarak di bawah permukaan dimana modulusnya akan ditentukan

Rada dan Witczak (1981) mempublikasikan data analisis statistik mengenai modulus resilien untuk beberapa material granular, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.1 (Finn dkk., 1986) bahwa modulus resilien dari agregat *base* dan agregat *subbase* dalam AASHO Road Test dapat digambarkan oleh Persamaan 2.2 dengan K_2 sama dengan 0,6 dan K_1 berkisar dari 3.200 sampai 8.000 psi, bergantung pada kadar kelembaban. Nilai-nilai K_1 dan K_2 diperlihatkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Konstanta Nonlinier K_1 and K_2 untuk material *Granular*

Material Type	No. of data points	K1 (psi)		K2 (psi)	
		Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
Silty sand	8	1.620	78	0,62	0,13
Sand-gravel	37	4.480	4.300	0,53	0,17
Sand-aggregat blend	78	4.350	2.630	0,59	0,13
Crushed stone	115	7.210	7.490	0,45	0,23

Tabel 2.2 Batasan dari K_1 dan K_2 material *Untreated Granular*

Reference	Material	K1 (psi)	K2 (psi)
Hicks (1970)	Partially crushed gravel, crushed rock	1.600 - 5.000	0,57 - 0,73
Hicks and Finn (1970)	Untreated base at San Diego Test Road	2.100 - 5.400	0,61
Allen (1973)	Gravel, crushed stone	1.800 - 8.000	0,32 - 0,70
Kalcheyff and Hicks (1973)	Crushed stone	4.000 - 9.000	0,46 - 0,64
Boyce et al. (1976)	Well-graded crushed lime stone	8000	0,67
Monismith and Withzak (1980)	In service base and subbase material	2.900 - 7.750	0,46 - 0,65

Sumber : Huang, 2004

Tabel 2.3 Beberapa Jenis Material yang Dikembangkan ILLI-PAVE

Some material Properties for Developing ILLI-PAVE Alogarithms

Property	Hot mix asphalt			Crushed Stone base	Subgrade soils			Very Soft
	40°F	70°F	100°F		Stiff	Medium	Soft	
Unit weight (pcf)	145	145	145	135	125	120	115	110
Coefficient of earth pressure at rest	0,37	0,67	0,85	0,6	0,82	0,82	0,82	0,82
Poisson ratio	0,27	0,40	0,46	0,38	0,45	0,45	0,45	0,45
Modulus (103 psi)	1.400	500	100	9.000q0.33	See Figure 3.6			

Sumber : Huang, 2004

II.5 Model Bilinier untuk Material Subgrade

Model bilinier merupakan salah satu dari model modulus resilien yang lazim digunakan untuk subgrade melalui hubungan tekanan modulus-deviator

Modulus dari tanah berbitir halus akan berkurang dengan peningkatan tegangan deviator σ_d dalam pengujian triaxial, $\sigma_1 = \sigma_3$ sehingga tegangan deviator didefinisikan sebagai berikut :

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3 \dots\dots\dots(2-5)$$

Dalam sistem *multilayer*, σ_2 mungkin tidak sama dengan σ_3 sehingga rata-rata dari σ_2 dan σ_3 dianggap sebagai σ_3 . Dengan memperhitungkan berat volume dimasukkan dalam sistem *multilayer* tersebut akan diperoleh persamaan.

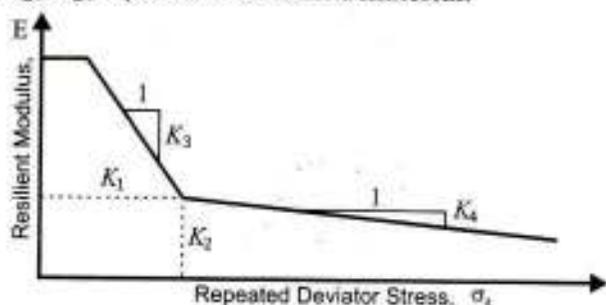
$$\sigma_d = \alpha_1 - 0,5 (\sigma_2 + \sigma_3) + yz (1-K_0) \dots\dots\dots(2-6)$$

Hubungan antara modulus resilien dan tekanan deviator dari tanah-tanah berbutiran halus yang diperoleh dari uji triaxial di laboratorium. Perilaku bilinier dapat dicspresikan sebagai berikut :

$$E = K_1 + K_3 (K_2 - \alpha_d) \text{ bila } \alpha_d < K_2 \dots\dots\dots(2-7)$$

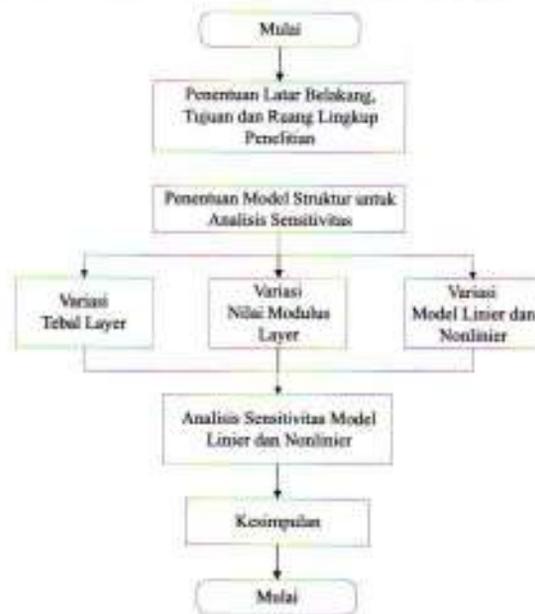
$$E = K_1 + K_4 (\alpha_d - K_2) \text{ bila } \alpha_d > K_2 \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana : K_0, K_1, K_2, K_3, K_4 adalah konstanta material.



Hubungan Modulus dan Tegangan Deviator Tanah Dasar

III. Metodologi



Gambar 3.1. Bagan Alir Metodologi Penelitian

Penelitian dimulai dengan penentuan latar belakang, tujuan penelitian dan ruang lingkup penelitian yang merupakan dasar serta akan menjadi acuan di dalam pelaksanaan penelitian.

Model struktur lapis perkerasan pondasi dan tanah dasar digunakan perilaku linier dan nonlinier. Dalam analisis sensitivitas variasi yang ditinjau adalah variasi tebal lapis perkerasan dan variasi nilai modulus untuk masing-masing kondisi model linier dan nonlinier. Untuk lebih jelas Tabel 3.1 memberikan gambaran asumsi dari struktur perkerasan lentur yang akan di kaji.

Tabel 3.1. Model Analisis Sensitivitas Struktur Perkerasan Lentur

Model	Beban	Susunan Perkerasan	Jenis Perkerasan	Perilaku Bahan Perkerasan	Ketebalan	Modulus
1	Sumbu Tunggal	Lapis 1	Campuran aspal	Linier elastik	Variasi	Variasi
		Lapis 2	Material berbutir	Linier elastik	Variasi	Variasi
		Lapis 3	Tanah dasar	Linier elastik	-	Variasi
2		Lapis 1	Campuran aspal	Linier elastik	Variasi	Variasi
		Lapis 2	Material berbutir	Non-linier elastik	Variasi	Variasi
		Lapis 3	Tanah dasar	Non-linier elastik	-	Variasi

Kegiatan penelitian dilanjutkan dengan melakukan analisis sensitivitas yang berupa nilai regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_y) struktur perkerasan untuk setiap variasi nilai tebal dan variasi modulus lapis perkerasan dari masing - masing model dengan berperilaku linier dan nonlinier. Kemudian melakukan perbandingan dari setiap model struktur perkerasan selanjutnya kegiatan penelitian diakhiri dengan memberikan kesimpulan dan rekomendasi dari hasil analisis yang telah dilakukan pada kegiatan penelitian ini dan kegiatan-kegiatan penelitian yang harus dikembangkan.

IV. Analisis Sensitivitas

A. Analisis Model Linier



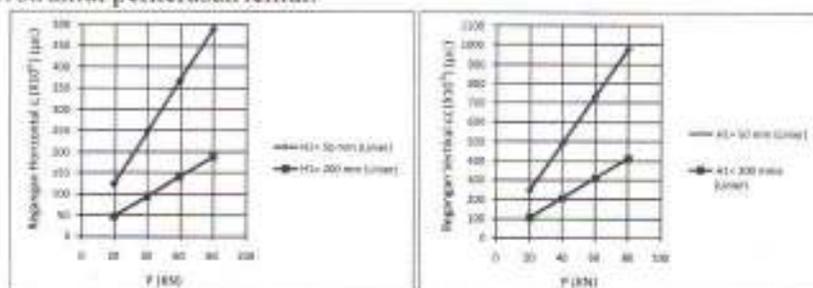
Gambar 4.1. Model Struktur Perkerasan Linier

Analisis sensitivitas linier ini dilakukan untuk mengetahui sensitivitas respon struktur perkerasan lentur dilihat dari besaran regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z). Analisis sensitivitas linier ini didasarkan pada asumsi bahwa semua material lapisan struktur perkerasan berperilaku linier, meskipun lapisan perkerasan yang sebenarnya dilapangan adalah campuran aspal viskoelastik, lapis pondasi dan tanah dasar adalah berperilaku nonlinier.

Analisis sensitivitas ini digunakan struktur perkerasan sistem tiga lapis seperti terlihat pada Gambar 4.1. Untuk menggambarkan respon struktur perkerasan akibat pengaruh dari beberapa faktor perencanaan, dimana variabel yang perlu dipertimbangkan adalah keteban lapisan perkerasan h_1 dan h_2 , modulus bahan lapisan E_1 , E_2 , dan E_3 . Karakteristik material lain yaitu *poisson ratio* untuk masing-masing lapisan 0,35, 0,4 dan 0,45. Jenis beban roda yang digunakan adalah beban roda ganda (*Dual Wheel*) dengan jarak antar roda 34,3 cm, jari-jari bidang kontak 19,1 cm dan tegangan kontak 700 kPa. Besaran respon regangan yang akan digambarkan dalam analisis ini sebagai cerminan dari kriteria keruntuhan *fatigue* yang terjadi dibawah lapis aspal dan *permanent depormation* diatas lapis tanah dasar. Variasi yang di tinjau dalam analisis sensitivitas linier ini adalah sebagai berikut :

a. Variasi Beban (P)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi peningkatan beban (P) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar dari struktur perkerasan lentur.



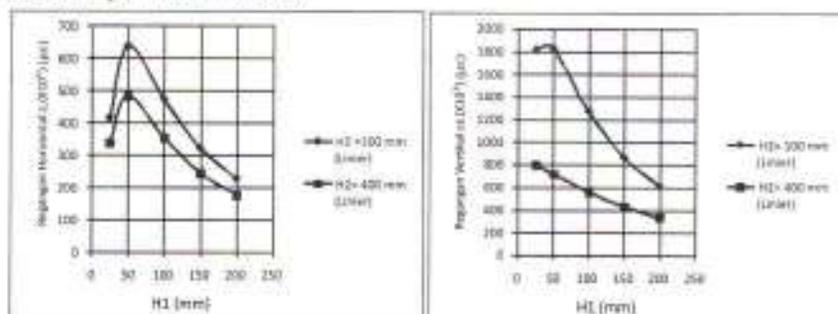
Gambar 4.2. Pengaruh Peningkatan Beban (P) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 menunjukkan besarnya pengaruh variasi beban (P) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada struktur perkerasan, ketika $E_1 = 2000$ MPa, $E_2 = 200$ MPa, $E_3 = 40$ MPa dan $h_1 = 50$ atau 200 cm. Digunakannya dua variasi ketebalan lapis aspal (h_2) yang berbeda, agar diketahui respon struktur perkerasan pada saat h_1 tipis maupun h_1 tebal. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa:

1. Peningkatan beban (P) pengaruhnya signifikan terhadap peningkatan regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika h_1 tipis namun kurang signifikan ketika h_1 besar.
2. Peningkatan beban (P) pengaruhnya signifikan terhadap peningkatan regangan tekan vertikal (ϵ_z) signifikan ketika h_1 tipis namun kurang signifikan ketika h_1 tebal
3. Hubungan antara beban (P) dan regangan tarik horizontal (ϵ_x) maupun regangan tekan vertikal (ϵ_z) adalah linier

b. Variasi Tebal Lapis Aspal

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tebal lapis aspal (h_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar dari struktur perkerasan lentur.



Gambar 4.3. Pengaruh Tebal Lapis Aspal (h_2) Terhadap Respon Perkerasan

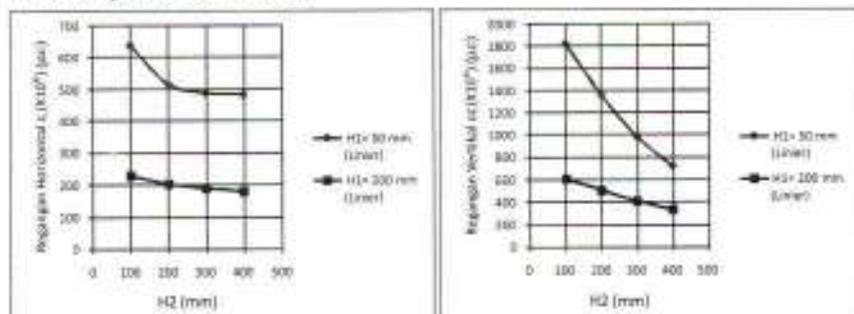
Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 menunjukkan besarnya pengaruh variasi tebal lapis aspal (h_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan, ketika $E_1 = 2000$ MPa, $E_2 = 200$ MPa, $E_3 = 40$ MPa dan $h_1 = 100$ atau 400 cm. Digunakannya dua variasi ketebalan lapis pondasi (h_2) yang berbeda, agar diketahui respon struktur perkerasan pada saat h_1 tipis maupun h_1 tebal. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa:

1. Adanya ketebalan h_2 kritis dimana regangan tarik (ϵ_x) maksimum, kecenderungan yang sama baik pada saat h_2 tipis maupun tebal. Hal ini menunjukkan bahwa untuk meminimalkan kelelahan retak dapat dilakukan dengan menjaga agar lapis aspal setipis mungkin.
2. Demikian juga terjadi pada regangan tekan (ϵ_z), terjadinya ketebalan h_2 kritis pada saat ketebalan h_1 tipis
3. Peningkatan h_2 efektif dalam mengurangi regangan tarik vertikal (ϵ_x) ketika h_1 tipis maupun h_1 tebal

Peningkatan h_2 efektif dalam mengurangi regangan tekan (ϵ_z) ketika h_1 tipis, dan tidak efektif ketika h_1 tebal

c. Variasi Tebal Lapis Pondasi

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tebal lapis pondasi (h_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar dari struktur perkerasan lentur.



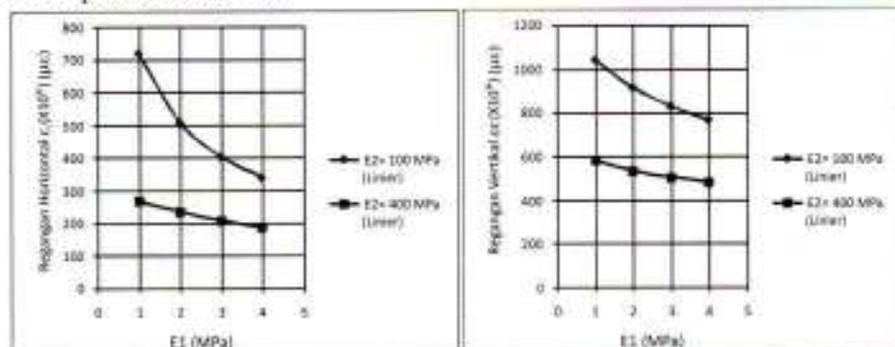
Gambar 4.4. Pengaruh Tebal Lapis Aspal (h_2) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 menunjukkan besarnya pengaruh variasi tebal lapis pondasi (h_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan, ketika $E_1 = 2000$ MPa, $E_2 = 200$ MPa, $E_3 = 40$ MPa dan $h_1 = 100$ atau 400 cm. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan h_2 tidak menyebabkan pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) signifikan baik saat h_1 tipis maupun tebal, kecuali ketika peningkatan h_2 hingga 200 mm untuk h_1 tipis terjadi pengurangan yang signifikan.
2. Peningkatan h_2 efektif dalam mengurangi regangan tekan (ϵ_z) ketika h_1 tipis namun tidak ketika h_1 tebal.

d. Variasi Modulus Lapis Aspal

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi modulus lapis aspal (E_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



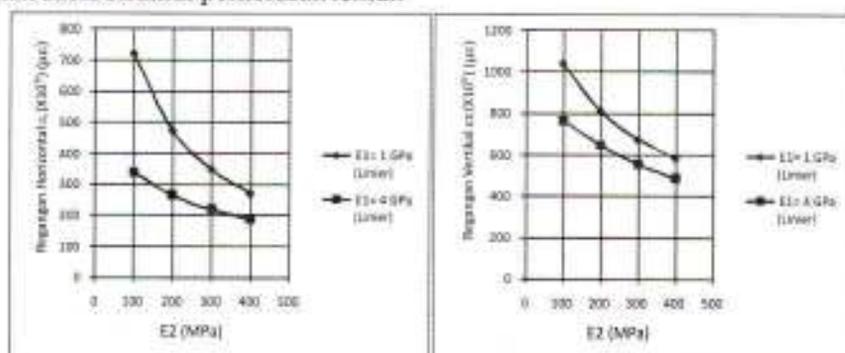
Gambar 4.5. Pengaruh Modulus Lapis Aspal (E_2) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 menunjukkan besarnya pengaruh variasi E_2 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) perkerasan pada saat $E_1 = 40$ MPa, $h_1 = 100$ mm, $h_2 = 300$ dan $E_3 = 100$ MPa atau 400 MPa. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan E_1 besar pengaruhnya dalam mengurangi regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika E_2 kecil dan tidak ketika E_2 besar
2. Peningkatan E_1 besar pengaruhnya dalam mengurangi regangan tekan vertikal (ϵ_c) ketika E_2 kecil dan tidak ketika E_2 besar.

e. Variasi Modulus Lapis Pondasi

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi modulus lapis pondasi (E_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_c) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



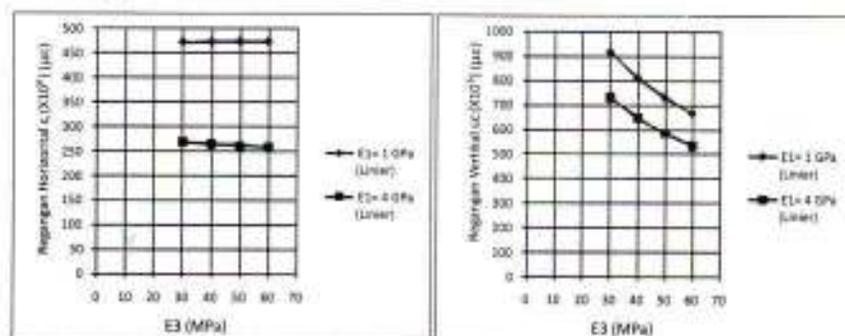
Gambar 4.6. Pengaruh Modulus Lapis Pondasi (E_2) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 menunjukkan besarnya pengaruh variasi E_2 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_c) perkerasan pada saat $E_1 = 40$ MPa, $h_1 = 100$ mm, $h_2 = 300$ dan $E_1 = 1$ GPa atau 4 GPa. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan E_2 besar pengaruhnya dalam mengurangi regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika E_1 kecil dan tidak ketika E_1 besar
2. Peningkatan E_2 besar pengaruhnya dalam mengurangi regangan tekan vertikal (ϵ_c) ketika E_1 kecil maupun E_1 besar

f. Variasi Modulus Tanah Dasar

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi modulus tanah dasar (E_3) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_c) diatas tanah dasar dari struktur perkerasan lentur.



Gambar 4.7. Pengaruh Modulus Tanah Dasar (E_3) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 menunjukkan besarnya pengaruh variasi E_1 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) perkerasan pada saat $E_2 = 200$ MPa, $h_1 = 100$ mm, $h_2 = 300$ dan $E_1 = 1$ GPa atau 4 GPa. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan E_2 tidak mempunyai pengaruh pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) yang signifikan baik ketika E_1 kecil dan ketika E_1 besar.
2. Peningkatan E_2 mempunyai pengaruh yang besar dalam mengurangi regangan tekan vertikal (ϵ_z) baik ketika E_1 kecil maupun ketika E_1 besar

B. Analisis Model Non-linier



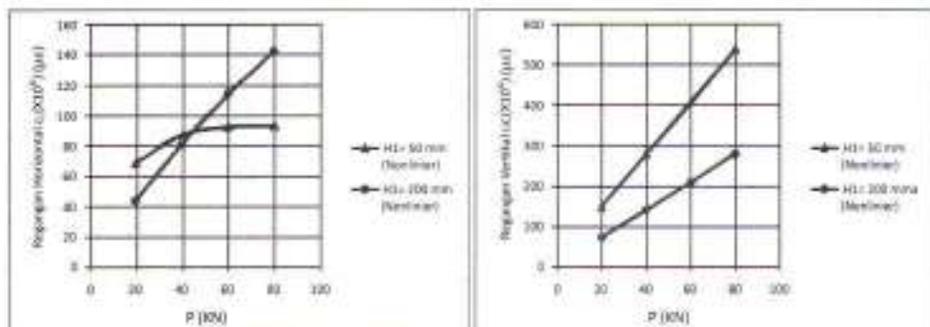
Gambar 4.8. Model Struktur Perkerasan Nonlinier

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui sensitivitas respon kritis struktur perkerasan lentur dilihat dari besaran regangan tarik horizontal (ϵ_x) maupun regangan tekan vertikal (ϵ_z). Analisis sensitivitas nonlinier ini didasarkan pada asumsi bahwa lapis aspal linier meskipun viskoelastik, lapis pondasi dan tanah dasar adalah nonlinier. Analisisnya, tebal lapis pondasi dibuat beberapa sub-lapis, dimana tiap sub-lapis tidak lebih 5 cm dengan titik control tegangan di tengah tebal dari masing-masing sub-lapis.

Analisis sensitivitas ini digunakan sistem struktur tiga lapis dengan karakteristik bahan perkerasan dan Jenis beban roda yang digunakan adalah beban roda ganda (*Dual Wheel*) dengan jarak antar roda 34,3 cm, jari-jari bidang kontak 19,1 cm dan tegangan kontak 700 kPa seperti terlihat pada Gambar 4.8 untuk menggambarkan pengaruh peningkatan tebal dan modulus digambarkan dari nilai regangan tarik (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada struktur perkerasan.. besaran regangan yang akan digambarkan dalam analisis ini sebagai cerminan dari kriteria kerintuhan *fatigue* yang terjadi dibawah lapis aspal dan *permanent deformation* diatas lapis tanah dasar.

a. Variasi Beban (P)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi peningkatan beban (P) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar dari struktur perkerasan lentur.



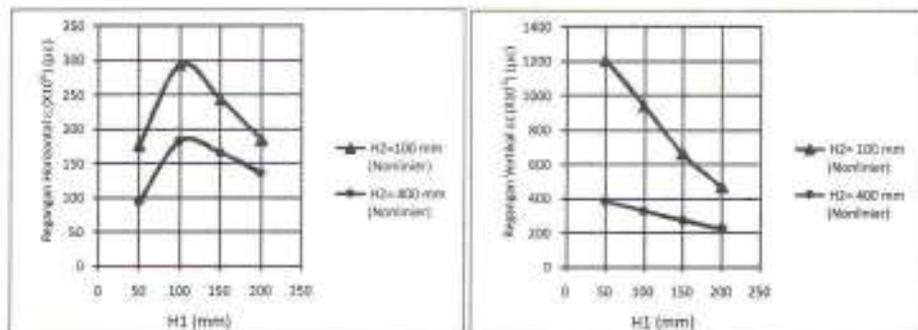
Gambar 4.9. Pengaruh Peningkatan Beban (P) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 menunjukkan besarnya pengaruh variasi beban (P) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan, ketika $E_1 = 2000$ MPa, $E_2 = 200$ MPa, $E_3 = 40$ MPa dan $h_1 = 50$ atau 200 cm. Digunakannya dua variasi ketebalan lapis aspal (h_1) yang berbeda, agar diketahui respon struktur perkerasan pada saat h_1 tipis maupun h_1 tebal. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa:

1. Peningkatan beban (P) pengaruhnya tidak signifikan terhadap pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika h_1 tipis namun signifikan ketika h_1 besar.
2. Peningkatan beban (P) pengaruhnya signifikan terhadap peningkatan regangan tekan vertikal (ϵ_z) yang signifikan ketika h_1 tipis namun kurang signifikan ketika h_1 tebal
3. Efek nonlinier, hubungan antara beban (P) dan regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika h_1 tipis tidak linier sedangkan ketika h_1 tebal hampir linier
4. Hubungan antara beban (P) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) adalah linier

b. Variasi Tebal Lapis Aspal (h_1)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tebal lapis aspal (h_1) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



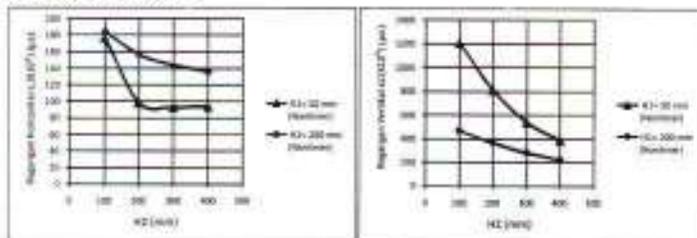
Gambar 4.10. Pengaruh Tebal Lapis Aspal (h_1) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 menunjukkan besarnya pengaruh variasi h_1 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan pada saat $E_1 = 2000$ MPa; $E_2 = 200$ MPa $K_1 = 41369$ kPa, $K_2 = 0,5$; $E_3 = 40$ MPa, $K_3 = 20822$ kPa; dan $h_2 = 100$ atau 400 mm. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa:

1. Pada variasi h_1 , nilai regangan hasil analisis nonlinier mempunyai pola yang sama dengan analisis linier.
2. Ketebalan h_1 , kritis regangan tarik horizontal (ϵ_x) maksimum analisis nonlinier lebih besar dari analisis linier, mempunyai kecenderungan yang sama baik pada saat h_2 tipis maupun tebal. Hal ini menunjukkan bahwa untuk meminimalkan kelelahan retak dapat dilakukan dengan menjaga agar lapis aspal setipis mungkin.
3. Peningkatan h_1 efektif dalam mengurangi regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika h_2 tipis maupun h_2 tebal
4. Peningkatan h_1 efektif dalam mengurangi regangan tekan vertikal (ϵ_z) ketika h_2 tipis, dan tidak efektif ketika h_2 tebal

c. Variasi Tebal Lapis Pondasi (h_2)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tebal lapis pondasi (h_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



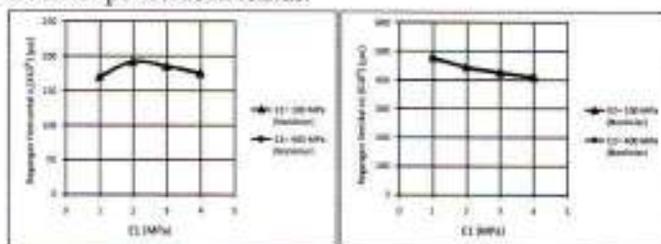
Gambar 4.11. Pengaruh Tebal Lapis Pondasi (h_2) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 menunjukkan besarnya pengaruh variasi h_2 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan pada saat $E_1 = 2000$ MPa; $E_2 = 200$ MPa $K_1 = 41369$ kPa, $K_2 = 0,5$; $E_3 = 40$ MPa, $K_3 = 20822$ kPa; dan $h_1 = 100$ atau 400 cm. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan h_2 tidak menyebabkan pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) yang signifikan baik ketika h_1 tipis maupun tebal, pada saat peningkat h_2 hingga 200 mm untuk h_1 tipis terjadi pengurangan yang signifikan.
2. Peningkatan h_2 efektif dalam mengurangi regangan tekan (ϵ_z) ketika h_1 tipis namun tidak ketika h_1 tebal

d. Variasi Modulus Lapis Aspal (E_1)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi modulus lapis aspal (E_1) terhadap respon regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



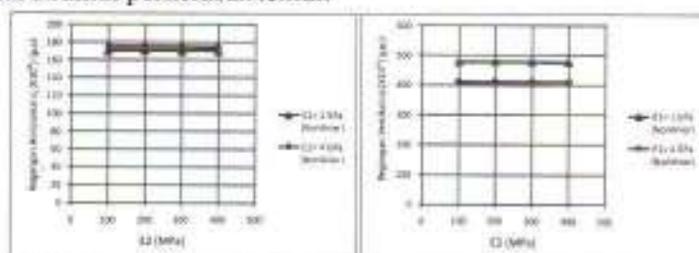
Gambar 4.12. Pengaruh Modulus Lapis Aspal (E_1) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.12 menunjukkan besarnya pengaruh variasi E_1 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan pada saat $h_1 = 100$ mm, $h_2 = 300$, $K_1 = 41369$ kPa, $K_2 = 0,5$; dan $E_1 = 40$ MPa, $K_1 = 20822$ kPa. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan E_1 pengaruhnya kecil dalam mengurangi regangan tarik horizontal (ϵ_x) ketika E_2 kecil maupun ketika E_2 besar
2. Peningkatan E_1 pengaruhnya kecil dalam mengurangi regangan tekan vertikal (ϵ_z) ketika E_2 kecil maupun ketika E_2 besar

e. Variasi Modulus Lapis Pondasi (E_2)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi modulus lapis pondasi (E_2) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



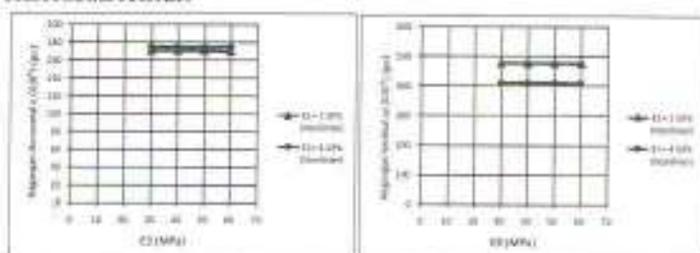
Gambar 4.13. Pengaruh Modulus Pondasi (E_2) Terhadap Respon Perkerasan

Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 menunjukkan besarnya pengaruh variasi E_2 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan pada saat $h_1 = 100$ mm, $h_2 = 300$, $K_1 = 41369$ kPa, $K_2 = 0,5$; dan $E_1 = 40$ MPa, $K_1 = 20822$ kPa. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan E_2 tidak ada pengaruhnya dalam mengurangi regangan tarik horizontal (ϵ_x) kritis ketika E_2 kecil maupun ketika E_2 besar
2. Demikian juga terhadap regangan tekan vertikal (ϵ_z) Peningkatan E_2 pengaruhnya tidak ada baik ketika E_2 kecil maupun ketika E_2 besar

f. Variasi Modulus Tanah Dasar (E_3)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi modulus dasar (E_3) terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar struktur perkerasan lentur.



Gambar 4.14. Pengaruh Modulus Tanah Dasar (E_3) Terhadap Respon Perkerasan

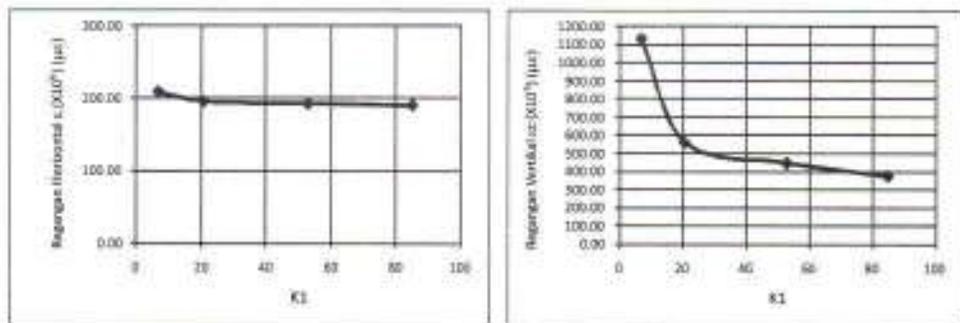
Dari grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.14 menunjukkan besarnya pengaruh variasi E_2 terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan pada saat $h_1 = 100$ mm, $h_2 = 300$, $K_1 = 41369$ kPa, $K_2 = 0,5$; dan $E_1 = 200$ MPa, $K_1 = 20822$ kPa. Grafik diatas memberikan gambaran bahwa :

1. Peningkatan E_2 tidak ada pengaruhnya dalam mengurangi regangan tarik horizontal (ϵ_x) kritis kerika E_2 kecil maupun ketika E_2 besar
2. Demikian juga terhadap regangan tekan vertikal (ϵ_z) Peningkatan E_2 pengaruhnya tidak ada baik ketika E_2 kecil maupun ketika E_2 besar

Pengaruh modulus lapis pondasi dan modulus tanah dasar seperti terlihat pada Gambar 4.12 sampai 4.14 untuk masing-masing variasi tidak menunjukkan adanya sensitifitas respon struktur perkerasan baik terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bawah lapis aspal maupun regangan tekan vertikal (ϵ_z) di atas tanah dasar, karena analisis nonlinier besarnya modulus lapis pondasi maupun modulus tanah dasar dipengaruhi oleh besarnya tegangan dan konstanta (K_1, K_2).

Dimana besarnya tegangan ditentukan oleh besarnya beban kendaraan sedangkan nilai konstanta besarnya tergantung pada sifat fisik bahan perkerasan.. Saling ketergantungan antara tegangan dan konstanta (K_1, K_2). Untuk itu peningkatan karakteristik bahan struktur perkerasan akan berdampak terhadap besarnya respon perkerasan, sedangkan untuk mendapatkan korelasi antara modulus dan konstanta K_1 dan K_2 sangat sulit diperkirakan, dengan demikian untuk memperoleh nilai korelasi harus dilakukan pengujian di laboratorium.

Karena adanya keterbatasan data, maka dalam penelitian ini di buat asumsi variasi K_1 dan K_2 untuk memberikan gambaran pengaruhnya terhadap sensitivitas respon struktur perkerasan lentur.



Gambar 4.15. Sensitivitas Respon Perkerasan Terhadap Variasi K_1 Tanah Dasar

Dari Gambar 4.15 menunjukkan pengaruh K_1 tanah dasar terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) pada perkerasan. Dari gambar diatas memberikan gambaran bahwa peningkatan kekuatan tanah dasar akan meningkatkan modulus lapis pondasi, sehingga akan terjadi pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) dibawah lapis aspal sebesar 1,4%, 18,2 % pengurangan regangan tekan vertikal (ϵ_z) diatas tanah dasar dan pengaruhnya terhadap defleksi permukaan lapis aspal sebesar 20,5%. Peningkatan K_1 tanah dasar berdampak besar terhadap regangan tekan vertikal (ϵ_z) dan lendutan (δ) permukaan terutama dari tanah sangat lunak ke tanah lunak, tetapi dampaknya sangat kecil terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x).

V. Kesimpulan Dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dalam analisis sensitivitas respon kritis regangan tarik horizontal (ϵ_x) di bagian bawah lapis aspal dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) di bagian atas tanah dasar pada struktur perkerasan lentur, akibat pengaruh variasi tebal dan variasi modulus lapisan perkerasan dengan variasi (variasi 1 dan variasi 4), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dari analisis sensitivitas respon struktur perkerasan dengan material berperilaku linier (variasi 1) peningkatan tebal lapis aspal dan modulus lapis pondasi berpengaruh signifikan terhadap pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) struktur perkerasan. Sedangkan peningkatan tebal lapis pondasi dan modulus tanah dasar hanya berpengaruh signifikan terhadap pengurangan regangan tekan vertikal (ϵ_z) lapis perkerasan. sedangkan peningkatan modulus lapis aspal hanya berpengaruh signifikan terhadap pengurangan regangan tarik horizontal (ϵ_x) lapis perkerasan.
2. Dari analisis sensitivitas respon struktur perkerasan dengan material berperilaku nonlinier (variasi 4), diperoleh bahwa peningkatan modulus lapis perkerasan tidak menunjukkan adanya sensitivitas respon struktur perkerasan, baik terhadap regangan tarik horizontal (ϵ_x) maupun regangan tekan vertikal (ϵ_z). Hal ini terjadi karena besarnya beban yang diberikan tetap. Sedangkan pada analisis nonlinier lapis pondasi atau tanah dasar, nilai modulus lapisan tergantung dari besarnya tegangan yang terjadi (*stress dependent*).
3. Respon struktur perkerasan dengan perilaku nonlinier (variasi 4) sangat dipengaruhi oleh konstanta K_1 dan K_2 dari lapis pondasi dan tanah dasar. Sehingga untuk menurunkan regangan tarik horizontal (ϵ_x), dan regangan tekan vertikal (ϵ_z) dapat diperoleh dengan peningkatan konstanta K_1 dan K_2 masing-masing lapisan, dimana konstanta K_1 dan K_2 dipengaruhi sifat fisik material tersebut.

V.2 Saran

Beberapa saran yang terkait dengan penelitian ini, yaitu :

1. Perlu penelitian lanjutan dalam penelitian di laboratorium mengenai karakteristik material lapis pondasi dan tanah dasar agar diperoleh korelasi data antara analisis linier dan analisis non-linier.
2. Perlu penelitian lanjutan mengenai analisis sensitivitas dengan kondisi viscoelastik lapis aspal.
3. Perlu penelitian lanjutan mengenai analisis perilaku linier dan non-linier dengan sistim 4-lapis struktur perkerasan lentur agar diperoleh gambaran lebih jelas respon struktur perkerasan yang terjadi dari kedua model tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Huang, Y.H. (1993). Program KENPAVE User's Manual. University of Kentucky, Lexington KY.

2. Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*, 2nd Ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
3. Yoder, E.J., Witzak, M.W. (1975). *Prinsiples of Pavement Design*, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.
4. Burmister, D. M. (1943). "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways." *Highway Research Record* 23, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 126-144.

Sistem Traksi Kereta Rel Listrik Dengan Teknologi VVVF

Oleh: Taufik Hidayat

Peneliti pada UPT Balai Pengembangan Instrumentasi - LIPI

Abstract. The electrical system of electric railcar with the variable voltage variable frequency (VVVF) technology has been equipped with different devices functioning to change the DC-link voltage from the overhead line in undesired conditions. It also transmits energy powered by the motor due to a braking process not able to be transmitted back to the overhead line, and keeps the DC-link voltage stable during the braking process. The inverter functions to change the DC-link voltage into a source of AC 3 phase whose voltage and frequency can be regulated. The voltage and frequency variables produced are used to power four induction motors. The rotation speed of the motor can be set as desired by regulating the voltage and frequency of the AC source. Another function is to transmit back the force generated by the motor during the braking to the overhead line.

Intisari. Sistem elektrikal KRL dengan teknologi Variable Voltage Variable Frequency (VVVF) telah dilengkapi dengan berbagai perlengkapan yang berfungsi mengubah tegangan DC dari jala-jala dan memfilter arus jala-jala dari kondisi-kondisi yang tidak dikehendaki. Juga menyalurkan energi yang dibangkitkan oleh motor akibat proses pengereman yang tidak dapat disalurkan kembali ke jala-jala, dan menjaga agar tegangan DC-link tetap stabil selama proses pengereman.

Inverter berfungsi mengubah tegangan DC-link menjadi sumber AC tiga fasa yang dapat diatur, baik tegangan maupun frekuensinya. Tegangan dan frekuensi variabel yang dihasilkan, digunakan untuk menggerakkan empat buah motor induksi. Dengan mengatur tegangan dan frekuensi dari sumber AC ini, motor dapat diatur kecepatan putarnya sesuai yang dikehendaki.

Fungsi lainnya adalah menyalurkan kembali daya yang dibangkitkan oleh motor pada saat pengereman ke jala-jala.

Pendahuluan

Persyaratan teknis peralatan listrik KRL modern meliputi:

- (1) Massa yang minimal
- (2) Penggunaan ruang yang minimal
- (3) Toleransi tegangan masukan yang besar
- (4) Kemampuan beban lebih
- (5) Kemampuan operasi dinamik
- (6) Keandalan yang tinggi pada sistem kontrol
- (7) Keandalan sistem yang tinggi
- (8) Operasi ekonomis & perawatan rendah
- (9) Otomatisasi pengoperasian & proteksi
- (10) Daya traksi optimal

Teknologi VVVF yang diterapkan pada KRL Jabodetabek menggunakan motor traksi AC.

Motor AC tiga fasa jenis induksi dengan rotor sangkar solid dan masif, memberikan keuntungan antara lain konstruksinya hampir 100% tertutup, usianya relatif lama dan bebas perawatan. Dimensinya relatif kecil, kemampuan beban lebih tinggi, putaran lebih tinggi, relatif lebih ringan dan efisiensi tinggi. Selain itu, motor AC induksi juga lebih kokoh dan kompak sebab tanpa sikat dan komutator (transfer daya melalui medan putar tiga fasa), tahan guncangan, tekukan dan iklim yang ekstrim.[1]

Kinerja Umum KRL VVVF Jabodetabek

Kinerja umum KRL VVVF Holec-BN yang didesain untuk sistem Jabodetabek dan telah beroperasi sejak tahun 1994 oleh PTKA Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek tercantum pada tabel 1. Sedangkan spesifikasi teknis inverter traksi tertera pada tabel 2.

Tabel 1: Kinerja Umum KRL VVVF Holec-BN

No	Deskripsi	Nilai
1.	Kecepatan maksimum KRL	100 km/jam
2.	Percepatan awal (dari 0 – 30 km/jam)	0.8 m/detik ²
3.	Percepatan pada kecepatan maksimum	0.05 m/detik ²
4.	Deselerasi menggunakan pengereman elektrik (dari 60 – 0 km/jam)	0.8 m/detik ²
5.	Deselerasi menggunakan pengereman darurat	1.0 m/detik ²
6.	Waktu rata-rata antar stasiun (tidak termasuk waktu berhenti)	125 detik
7.	Rata-rata waktu berhenti di stasiun	30 detik
8.	Arus efektif dari jaringan utama 1500 V	693 A

Tabel 2: Spesifikasi Teknis Inverter Traksi KRL Holec-BN

No	Deskripsi	Nilai
1.	Tipe	Voltage Source Inverter (VVVF)
2.	Tegangan input	2.200 – 2.500 VDC
3.	Daya output maksimum	1.4 MW
4.	Tegangan output	0 – 1.950 VAC
5.	Arus output	975 A (maks)
6.	Frekuensi output	0.7 – 150 Hz
7.	Komponen utama	GTO thyristor 4.500 V; 1.500 A

Komposisi KRL VVVF

Komposisi KRL di sini lebih ditekankan pada bagian traksi dan kontrolnya. Satu trainset KRL terdiri atas dua unit motor car (MC) dan dua unit trailer car (TC), yang disusun secara TC-MC-MC-TC.

Setiap MC digerakkan oleh empat buah motor induksi tiga fasa dan dikontrol oleh satu set kontrol inverter.

Peralatan utama yang terdapat pada setiap MC adalah sbb:[2]

- (1) Pantograph
- (2) Braking Resistor
- (3) Motor Induksi tiga fasa (motor traksi)
- (4) High Voltage Switchgear
- (5) Line Filter
- (6) Line Chopper
- (7) Braking Chopper
- (8) Inverter tiga fasa

Pantograph dan braking resistor diletakkan di atap MC, sedangkan peralatan lainnya diletakkan di dalam / di bawah MC.

Pada bagian TC, tidak terdapat instalasi tegangan tinggi maupun traksi. TC dilengkapi dengan kabin masinis dan panel kontrol yang diletakkan di belakang masinis, dan berisi rangkaian kontrol elektronik dan relay untuk mengontrol gerakan KRL.

Gerakan KRL yang dikontrol mencakup: kecepatan, pengereman, door interlocking, motor kompresor, overhead voltage, auxiliary power supply, dan lain-lain.

Pada setiap TC terdapat peralatan sbb:

- (1) Auxiliary Power Supply (APS), terdiri atas:
 - Series Resonance Power Supply (SRPS)
 - Inverter 3 fasa, 380 V, 50 Hz
 - Penyearah 110 VDC
- (2) Switchgear untuk APS
- (3) Control handle dan panel kontrol pada kabin masinis.

Pada salah satu TC terdapat peralatan tambahan berupa kompresor dan motor kompresor serta sistem batere.

Untuk menggerakkan rangkaian KRL, digunakan sumber daya listrik tegangan tinggi 1500 VDC yang diperoleh dari overhead line. Tenaga listrik ini akan menggerakkan empat buah motor traksi tiga fasa yang terdapat pada setiap MC. Pengontrolan gerakan motor dilakukan dengan mengontrol keluaran line chopper dan inverter traksi. Pengontrolan dilakukan melalui rangkaian elektronik berbasis mikroprosesor sehingga mudah dalam pengoperasiannya.

Masinis KRL cukup memberikan masukan berupa torsi untuk menggerakkan KRL. Rangkaian kontroler secara otomatis akan menerjemahkan masukan yang diberikan oleh masinis dan melaksanakannya sesuai dengan kaidah-kaidah yang telah ditentukan sebelumnya (presetting). Rangkaian kontroler juga dilengkapi dengan fasilitas untuk jerk limiter dan sistem anti slip pada saat KRL bergerak, dan jerk limiter serta sistem anti skid pada saat KRL mengalami pengereman, sehingga penumpang tetap merasa nyaman pada saat KRL bergerak maupun saat pengereman.

Komponen elektronik yang dipilih untuk rangkaian kontroler adalah komponen standard, harga murah, konsumsi daya rendah, dan dibangun dalam standard-standard yang berlaku umum.

Pada saat pengereman akan timbul energi yang dihasilkan oleh motor traksi yang digunakan. Energi ini akan ditampung dan dialirkan kembali ke overhead line untuk digunakan oleh sistem yang lain.

Konstruksi Sistem Traksi KRL

Konstruksi sistem traksi high power drive mencakup:[3]

- (1) Line Chopper, terdiri atas:
 - 1 Cooling tank
 - 2 Floating amplifier
 - 2 Kapasitor klipping
- (2) Braking Chopper, terdiri atas:
 - 1 Cooling tank
 - Induktor di/dt
 - Snubber bantu
 - 2 Floating amplifier
 - 1 Kapasitor klipping
- (3) Inverter, terdiri atas:
 - 3 Cooling tank
 - 6 Floating amplifier
 - 6 Kapasitor clipping
- (4) Rak resistor, terdiri atas:
 - Resistor discharge pada line chopper
 - Resistor discharge pada inverter
 - Resistor discharge pada braking chopper
 - Resistor snubber bantu pada line chopper dan inverter.
- (5) Detektor dan Alat Ukur:
 - Detektor shoot through
 - Pengukuran tegangan DC-link
 - Pengukuran tegangan klipping
 - Pengukuran tegangan braking chopper
 - Pengukuran arus motor
 - Pengukuran arus jala-jala
 - Pengukuran arus motor
- (6) Shoot Through, terdiri atas:
 - Thyristor
 - Driver
- (7) Kontrol Elektronik
- (8) Kapasitor DC-link

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di PT Kereta Api Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek dan Balai Yasa KRL di Manggarai Jakarta, ternyata bahwa KRL VVVF Holec-BN termasuk kategori KRL yang tidak andal. Frekuensi gangguan dan kerusakan pada KRL ini termasuk sangat tinggi. Gangguan dan kerusakan tersebut bahkan sudah menyentuh pada pada komponen utama, yaitu gangguan traksi (traction fault). Gangguan-gangguan dan kerusakan-kerusakan pada komponen utama, misalnya pada traction inverter, line-chopper, braking chopper, dan motor traksi. Gangguan dan kerusakan tersebut termasuk kategori fatal. Selain pada komponen utama, gangguan dan kerusakan juga sering terjadi pada komponen-komponen lainnya. Gangguan dan kerusakan ini sebenarnya sudah terjadi sejak-

tahun-tahun awal KRL ini dioperasikan. Berdasarkan data PT LEN Industri sebagai manufaktur/assembly bagian elektrikal/elektronik KRL tersebut, tercatat bahwa rata-rata gangguan dan kerusakan yang terjadi mencapai 60 kali per tahun selama tahun-tahun awal pengoperasian KRL tersebut.

Kategorisasi Penyebab gangguan dan kerusakannya adalah sbb.: [4]

- (1) Kesalahan internal manufaktur: 6%
- (2) Kesalahan pengujian/commissioning/purna jual: 0%
- (3) Kesalahan eksternal manufaktur (kesalahan operator/PTKA akibat kesalahan operasi dan pemeliharaan): 37%
- (4) Kesalahan komponen/desain/perangkat lunak: 53%
- (5) Kesalahan yang tidak jelas penyebabnya: 4%.

Berdasarkan kategori penyebab gangguan dan kerusakan tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa kesalahan akibat komponen/desain/perangkat lunak dan kesalahan akibat operasional dan pemeliharaan mendominasi gangguan dan kerusakan KRL VVVF Holec-BN.

Kesimpulan

Teknologi VVVF yang digunakan pada desain KRL Jabodetabek ini masih relatif baru, terutama teknologi untuk mengatur gerakan motor listrik. Dengan menggunakan teknologi VVVF ini, maka kinerja yang dikehendaki dari sistem KRL dapat diperoleh dengan relatif mudah. Misalnya kinerja yang menyangkut batas kecepatan maksimum, percepatan pada waktu bergerak, perlambatan pada waktu pengereman, dan aspek-aspek lain yang berkaitan dengan faktor keamanan, baik keamanan dari segi penumpang maupun dari segi peralatan.

Dengan demikian, keamanan, keselamatan dan kenyamanan penumpang selama KRL beroperasi dapat dijamin dengan baik. Teknologi VVVF juga memungkinkan penggunaan energi listrik yang efisien dan efektif.

Namun dalam pengoperasian di PTKA Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek, KRL VVVF Holec-BN sering sekali mengalami gangguan dan kerusakan pada komponen-komponen utama yang dapat dikategorikan sebagai fatal. Penyebab utama gangguan dan kerusakan KRL tersebut adalah diakibatkan oleh komponen/desain/perangkat lunak dan kesalahan oleh operator/PTKA dalam pengoperasian dan pemeliharaan.

Daftar Pustaka

1. Kereta Rel Listrik Jabotabek: Electronics Design, PT Len Industri, Bandung, 1991.
2. Technical Training Courses, Hogeschool Rotterdam & Omstreken Polytechnische Faculteit, Kenniscentrum, The Netherlands, May 1990.
3. Electric Train Link in the Region Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi, Electrical Design, Team KRL-LEN, LEN Industries Ltd, Bandung, 1991.
4. Overview Kerusakan KRL Holec-BN, Divisi Elektronika Daya PT LEN Industri, Bandung, 1999.

Perancangan Alat Bantu Proses Penyortiran *Alumina Ball* Pada Mesin *Ball Mill* Departemen *Body Preparation* Di PT. XYZ

Cucu Wahyudin STP., MT., ¹⁾Ikhsan Maulana ²⁾,

(1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri UNJANI, (2) Mahasiswa Jurusan Teknik Industri UNJANI
Email :cucu_wahyudin517@yahoo.co.id

Abstraks. PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur yang memproduksi keramik.

Penelitian ini dilakukan di departemen *body preparation*, tempat terjadinya proses penyortiran *alumina ball*.

Alumina ball adalah sebuah batuan yang digunakan untuk proses penggilingan bahan baku utama di mesin *ball mill*.

Hasil pengamatan di lantai produksi, menunjukkan bahwa kegiatan penyortiran *alumina ball* masih dilakukan secara manual dan merupakan kegiatan yang rutin.

Proses penyortiran *alumina ball* yang umumnya berlangsung lambat menyebabkan berbagai keluhan operator, seperti timbulnya rasa pegal-pegal dan nyeri atau sakit pada bagian punggung, kaki, leher, dan kaki. Kegiatan penyortiran secara manual menghasilkan 2 ton *alumina ball* tersortir per hari, hanya 2% dari yang seharusnya disortir, dengan melibatkan empat orang operator.

Oleh karenanya, perbaikan sistem kerja perlu segera dilakukan, diantaranya dengan merancang alat saringan yang dapat mempermudah, mempercepat dan memperbaiki posisi kerja operator sehingga selama bekerja memiliki rasa nyaman dengan hasil sortiran yang lebih banyak.

Proses perancangan alat saringan pada penelitian ini menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)* yang dikombinasikan dengan pendekatan *engineering design* yang banyak digunakan pada proses perancangan mesin.

Kata Kunci : Perancangan Alat Bantu, Metode *QFD*, Alat Saringan, Mesin *Ball Mill*

I. Pendahuluan

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur pembuatan keramik. Terdapat dua tipe produk yang dibuat di PT XYZ, yaitu jenis keramik *polishing* dan *non-polishing*. Jenis *polishing* adalah jenis keramik yang mengalami tahapan pemolesan dengan mesin *squaring* dan pemberian nano agar mengkilap, sedangkan *non-polishing* adalah jenis keramik yang tidak mengalami tahapan pemolesan. Objek penelitian adalah produk jenis non *polishing*.

Stasiun kerja yang dimiliki PT XYZ dalam memproduksi keramik diantaranya adalah stasiun *Body Preparation*, stasiun silo, stasiun *press*, stasiun *dryer*, stasiun line aplikasi, stasiun kiln dan stasiun *polishing*.

Penelitian dilakukan di stasiun *body preparation* yang merupakan stasiun awal pada proses pembuatan keramik, dan diduga menjadi stasiun yang relative boros dalam penggunaan material, dan tenaga kerja. Stasiun *body preparation* memiliki 4 jenis pekerjaan yaitu :

- Penimbangan bahan baku

- Penghancuran bahan baku
- Pengadukan bahan baku
- Homogenisasi

Salah satu mesin yang penting di stasiun *body preparation* adalah mesin *ball mill*, yaitu suatu mesin yang berfungsi untuk menggiling material serbuk dari timbangan mesin *batching* yang dimasukan melalui *conveyor* dan ditambah air. Proses disini berlangsung sekitar \pm 12 -17 jam. Material lain yang digunakan pada mesin *ball mill* adalah *grinding media* atau *alumina ball* yang berfungsi untuk menghancurkan material awal agar menjadi slip / bubuk.



Gambar 1.1 Mesin Ball Mill

Proses produksi pada mesin *ball mill* yang berkapasitas 60 000 Lt digunakan dua alternatif komposisi *alumina ball*, yaitu menggunakan *alumina ball* yang baru atau menggunakan *alumina ball* hasil sortiran proses sebelumnya.

Proses penyortiran membutuhkan waktu yang lama, karena operator yang ada dalam 1 hari hanya mampu mengumpulkan/menyortir sebanyak 1,2 Ton. Sedangkan jumlah *alumina ball* yang harus disortir sebanyak 18,239 Ton. Dilihat dari kemampuannya, operator hanya mampu mengerjakan 6,57 % per hari.

Saat ini, proses penyortiran dilakukan secara manual dan PT XYZ belum memiliki proses operasi standar penyortiran. Tidak adanya SOP menyebabkan digunakannya *alumina ball* yang baru dalam jumlah berlebih, sehingga meningkatkan biaya produksi.



Gambar 1.2 proses penyortiran oleh operator



Gambar 1.3 tumpukan alumina ball yang belum tersortir

Posisi kerja operator saat melakukan penyortiran bisa dilihat pada gambar 1.2. Tampak, posisi kerja yang dilakukan berpotensi menimbulkan cedera. Ditinjau dari segi faal tubuh manusia, posisi kerja operator jongkok, sehingga adanya beban tekan di area tulang punggung. Alat analisa yang dipakai untuk membuktikan posisi kerja pada aktivitas ini tidak aman adalah dengan menggunakan kuesioner *Nordic body map*. Berdasarkan hasil rekapitulasi dari kuesioner *Nordic Body Map*, bagian tubuh pekerja yang paling banyak mengalami keluhan adalah leher (100%), lengan (100%), punggung (100%), pinggang (100%) dan paha (90%).

Penyortiran alumina ball dilakukan untuk mengurangi penggunaan alumina ball yang baru, sehingga dapat meminimasi biaya proses produksi. Penyortiran yang baik diduga dapat mengurangi penggunaan *alumina ball* baru sebesar 19,54%. Oleh karena itu diperlukan alat bantu untuk memudahkan operator dalam melakukan pekerjaan penyortiran tersebut. Alat bantu ini dirancang berdasarkan kondisi penyortiran saat ini dan keadaan operator dalam melakukan pekerjaan penyortiran.

Alat bantu yang dirancang haruslah memenuhi semua kebutuhan operator maupun proses dalam proses penyortiran. Metode *Quality Function Deployment (QFD)* merupakan metode yang bisa membantu dalam perancangan alat bantu yang diharapkan, karena dalam metode ini dapat menetapkan spesifikasi kebutuhan dan keinginan konsumen, serta mengevaluasi suatu produk/alat dalam memenuhi kebutuhan dan keinginan konsumen (Cohen, 1995:11).

II. DASAR TEORI

II.1 Metode Quality Function Deployment

Quality function deployment (QFD) merupakan suatu metodologi yang digunakan oleh perusahaan untuk mengantisipasi dan menentukan prioritas kebutuhan dan keinginan konsumen serta menghubungkan keinginan konsumen tersebut dalam produk atau jasa disediakan bagi konsumen. Berikut ini di kemukakan definisi *QFD*:

- *QFD* adalah metodologi terstruktur yang digunakan dalam proses perencanaan dan pengembangan produk untuk menetapkan spesifikasi kebutuhan dan keinginan konsumen, serta mengevaluasi secara sistematis kapabilitas suatu produk atau jasa dalam memenuhi kebutuhan dan keinginan konsumen (Cohen 1995).
- *QFD* adalah suatu metodologi untuk menterjemahkan kebutuhan dan keinginan konsumen ke dalam suatu rancangan produk yang memiliki persyaratan teknis karakteristik kualitas tertentu (Mazur, 1994).

Langkah-langkah *Quality Function Deployment* (QFD) dengan menggunakan matriks rumah kualitas adalah sebagai berikut :

- Mengidentifikasi keinginan konsumen kedalam atribut-atribut produk
- Menentukan tingkat kepentingan relative dari atribut-atribut
- Mengevaluasi atribut-atribut dari produk pesaing
- Membuat matriks perlawanan antara atribut produk dengan karakteristik
- Mengidentifikasi hubungan antara karakteristik teknis dan atribut produk
- Mengidentifikasi interaksi yang relevan di antara karakteristik teknis
- Menentukan gambaran target yang ingin dicapai untuk karakteristik teknis

II.2 Rumah Kualitas (*House of Quality*)

House of quality (HOQ) adalah metoda yang mendukung proses identifikasi produk menjadi spesifikasi rancangan. Konsep HOQ intinya bersumber pada sebuah tabel kualitas dan telah berhasil digunakan oleh industri-industri manufaktur seperti industri IC, karet sintetis peralatan kontruksi, peralatan rumah tangga, barang elektronik, dan lain-lain.

HOQ memperlihatkan struktur untuk mendisain dan membentuk suatu siklus, dan bentuknya menyerupai sebuah rumah. Kunci input bagi matriks adalah kebutuhan dan keinginan konsumen, informasi strategi produk dan karakteristik kualitas produk. Informasi lain yang terdapat di HOQ adalah nilai target HOQ yang mengandung beberapa bagian, masing-masing bagian dapat dan harus disesuaikan agar dapat berfungsi dengan baik.



Gambar 2.1 Rumah kualitas atau House Of Quality (HOQ)

Bagian A:

Berisi data atau informasi yang di peroleh dari asal penelitian pasar tentang kebutuhan dan keinginan konsumen.

Bagian B:

Berisi tiga jenis data, yaitu:

- Tingkatan kepentingan kebutuhan dan keinginan konsumen.
- Data tingkat kepuasan konsumen terhadap produk yang dihasilkan oleh perusahaan dan produk pesaing.
- Tujuan strategis untuk produk atau jasa baru yang akan di kembangkan.

Bagian C:

Berisi Persyaratan-persyaratan teknis untuk produk atau jasa baru yang akan dikembangkan.

Data ini diturunkan berdasarkan informasi yang diperoleh mengenai kebutuhan dan keinginan konsumen (Matrik A).

Bagian D:

Berisi penilaian manajemen mengenai kebutuhan hubungan antara elemen-elemen yang terdapat pada bagian persyaratan teknis (Matriks C) terhadap kebutuhan konsumen (Matriks A) yang dipengaruhinya. Kekuatan hubungan ditunjukkan dengan menggunakan simbol tertentu.

Bagian E:

Menunjukkan korelasi antara persyaratan teknis yang satu dengan persyaratan-persyaratan teknis yang lain yang terdapat dalam matriks C. Kolerasi antara kedua persyaratan teknis tersebut ditunjukkan dengan menggunakan simbol-simbol tertentu.

Bagian F:

Berisi Tiga Jenis Data yaitu :

- Urutan tingkat kepentingan (Rengking) persyaratan teknis.
- Informasi hasil pertandingan kinerja persyaratan teknis produk terhadap kinerja produk pesaing.
- Target kinerja persyaratan teknis produk baru yang dikembangkan.

II.3 Engineering Design

Suatu metode atau cara seorang engineer menjelaskan suatu sistem atau menerangkan suatu karakteristik teknik dilihat dari berbagai faktor yang berpengaruh terhadap sistem itu sendiri.

Adapun engineering design ini digunakan pada penelitian ini untuk menjelaskan karakteristik teknik yang sudah didapat dari metode quality function deployment di rubah menjadi data sebagai acuan untuk perancangan detail.

Tabel x.x Engineering Design

No	Karakteristik	Engineering	Dimensi
1			
2			
-			

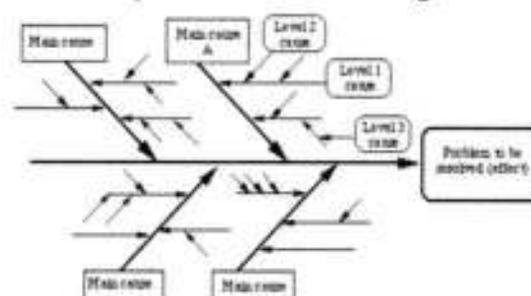
II.4 Diagram Tulang Ikan (Fish Bone)

Diagram *Fishbone* adalah diagram yang berfungsi untuk mengidentifikasi penyebab dari suatu masalah. Karena dari fungsinya tersebut, diagram fishbone sering juga disebut *Cause and Effect diagram*.

Tujuan utama dari diagram fishbone adalah :

- untuk menggambarkan secara grafik cara hubungan antara penyampaian akibat dan semua faktor yang berpengaruh pada akibat ini. Fungsi utama dari diagram fishbone ini adalah:
 1. Menentukan akar penyebab dari suatu permasalahan

2. Fokus pada pokok persoalan yang spesifik tanpa usaha untuk mengeluh dan diskusi yang tidak relevan.
3. Mengidentifikasi wilayah dimana ada kekurangan



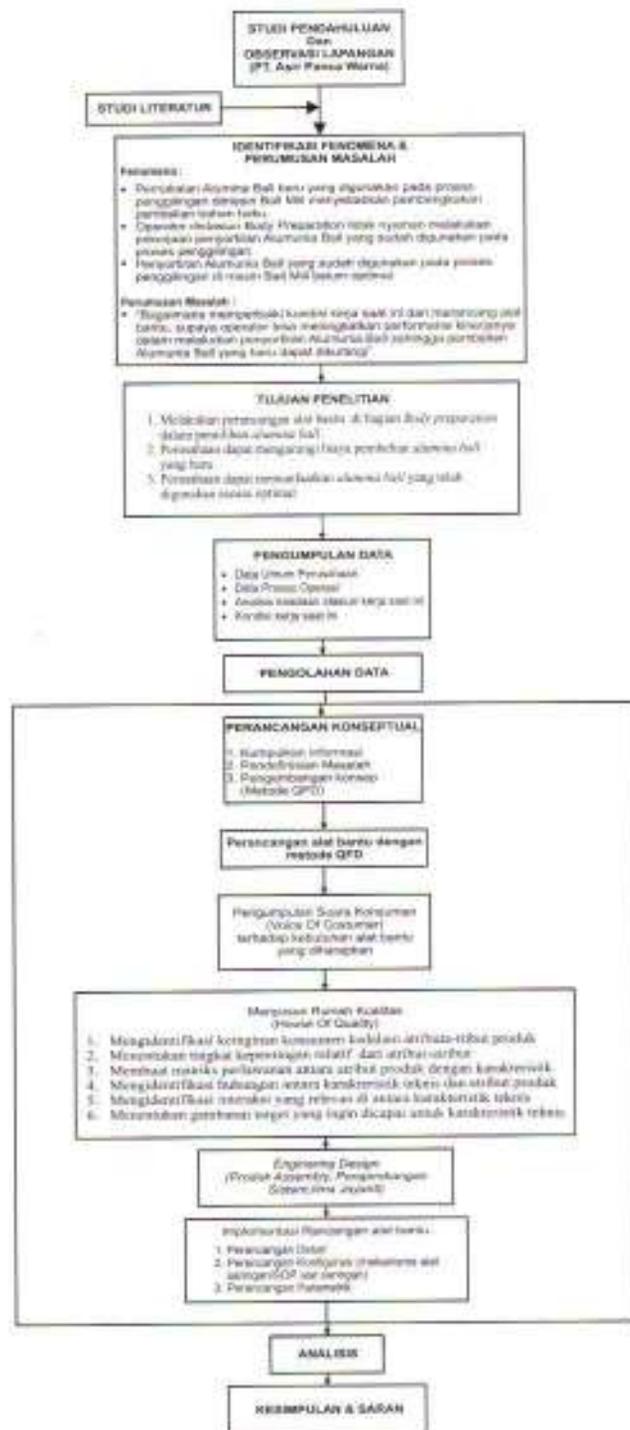
Gambar 2.2 Struktur Umum Diagram Fish Bone

II.5 Kuesioner Nordic Bodymap

Kuisisioner *Nordic* merupakan kuisisioner yang paling sering digunakan untuk mengetahui ketidaknyamanan atau kesakitan pada tubuh. Kuisisioner ini dikembangkan oleh Kuorinka (1987) dan Dickinson (1992). Kuisisioner ini menggunakan gambar tubuh manusia yang sudah dibagi menjadi 9 bagian utama yaitu : Leher, Bahu, Tangan & Pergelangan tangan, Punggung bagian atas, Punggung bagian bawah, Siku, Pantat & Pinggang, Lutut, Tumit & khaki.

Responden yang mengisi kuisisioner diminta untuk memberikan tanda ada tidaknya gangguan pada bagian-bagian tubuh tersebut.

III. Metode Penelitian



IV. Pengolahan Data

Dari hasil wawancara langsung terhadap operator mendapatkan hasil keinginan dan kebutuhan operator maka di interpretasikan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Interpretasi Kebutuhan Konsumen

NO	Kebutuhan
1.	Mempercepat proses penyortiran alumina ball.
2.	Menghilangkan potensi cedera otot pada operator.
3.	Nyaman pada saat digunakan.
4.	Memperbaiki posisi kerja.
5.	Memudahkan dalam pemilihan alumina ball.

Hasil dari interpretasi kebutuhan operator dijadikan data awal untuk pengolahan data, pada tahapan metode qfd dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- mengidentifikasi keinginan konsumen kedalam atribut-atribut produk

NO	Atribut
1.	Kapasitas daya tampung alat penyaringan dalam satu kali proses menyortir sebanyak 0,5 Ton
2.	Material alat penyaringan mampu menahan berat minimal 1 Ton
3.	Adanya penampungan sementara untuk alumina ball tersortir
4.	Bentuk alat penyaringan sesuai karakteristik pengguna
5.	Bentuk dan material aman untuk digunakan
6.	Dimensi kebutuhan berasal dari pengguna
7.	Ukuran alat penyaringan berasal dari dimensi pengguna
8.	Jumlah saringan sesuai dengan diameter alumina ball yang diinginkan

- membuat tingkat kepentingan relative dari atribut-atribut

NO	Atribut	Bobot (%)
1.	Jumlah saringan sesuai dengan diameter alumina ball yang diinginkan	13.51
2.	Adanya penampungan sementara untuk alumina ball tersortir	10.81
3.	Bentuk dan material aman untuk digunakan	10.81
4.	Kapasitas daya tampung alat penyaringan dalam satu kali proses menyortir sebanyak 0,5 Ton	10.81
5.	Ukuran alat penyaringan berasal dari dimensi pengguna	10.81
6.	Material alat penyaringan mampu menahan berat minimal 1 Ton	8.11
7.	Dimensi kebutuhan berasal dari pengguna	8.11
8.	Bentuk alat penyaringan sesuai karakteristik pengguna	5.41

- membuat matriks perlawanan antara atribut produk dengan karakteristik

Setelah gambaran target didapat dilanjutkan dengan menguraikan karakteristik teknik dengan menggunakan *Engineering Design sebelum dilakukannya perancangan detail*

- **Engineering Design**

Tabel 4.2 | Engineering Design

NO	Karakteristik teknik	Engineering	Dimensi
1.	Desain Saringan	Volume ukuran saringan (mesh) diameter lubang disesuaikan dengan diameter minimal alumina ball yang akan disortir bentuk menyesuaikan dengan mesin ball mill	$p \times l \times t$ luas saringan/ (allowance+diameter minimal alumina ball) diameter lubang disesuaikan dengan diameter minimal alumina ball Persegi panjang ($p = 1,5m \quad l = 1m$)
2.	Desain Penampungan	Volume Kapasitas penampung 0,074 ton alumina ball bentuk penampungan disesuaikan dengan dimensi mesin ball mill	$p \times l \times t$ Persegi panjang
3.	Desain Rangka	ukuran disesuaikan dengan jumlah saringan dan kapasitas penampung tinggi rangka disesuaikan dengan dimensi mesin ball mill bentuk rangka disesuaikan dengan bentuk saringan	tinggi = tinggi saringan + tinggi penampung + allowance persegi panjang
4.	Desain Rel Penggerak	Disesuaikan dengan panjang saringan	panjang sama dengan panjang saringan
5.	Desain Handle	Disesuaikan dengan ukuran antropometri gengaman tangan	perhitungan antropometri



Gambar 4.1 Komponen saringan (saringan 1-4)



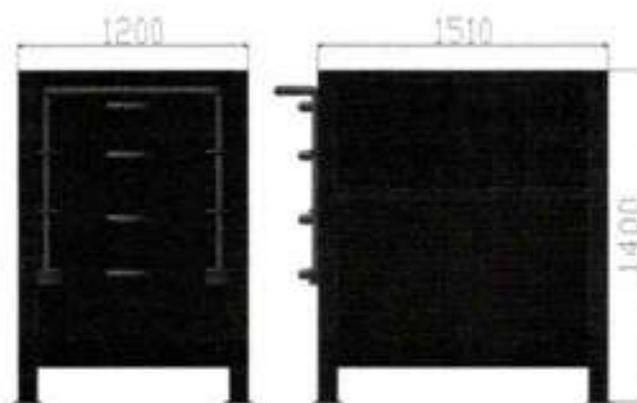
Gambar 4.2 Komponen Rangka



Gambar 4.3 Komponen Handel



Gambar 4.4 Komponen Rel Penggerak



Gambar 4.5 Alat Saringan



Gambar 4.6 Alat Saringan

V. Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Kegiatan penyortiran *alumina ball* yang sudah digunakan secara manual merupakan aktivitas penyortiran yang tidak efektif, karena kemampuan operator untuk menyortir *alumina ball* perhari hanya sebesar 6,57% dari jumlah yang dibutuhkan. Posisi kerja jongkok juga membuat operator banyak mengeluh dengan kegiatan penyortiran. Fenomena ini dibuktikan dengan kuesioner *Nordic body map* yang ditujukan kepada para operator dan hasilnya operator mengalami sakit pada bagian leher (100%), lengan (100%), punggung (100%), pinggang (100%) dan paha (90%). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kegiatan penyortiran saat ini dapat menimbulkan cedera dan pemborosan *alumina ball*.
2. Perbaikan sistem kerja dilakukan dengan cara perancangan alat saringan *alumina ball* pada mesin *ball mill*. Karakteristik rancangan alat saringan *alumina ball*, yaitu :
 - ❖ Mempercepat proses penyortiran alumina ball
 - ❖ Menghilangkan potensi cedera otot pada operator.
 - ❖ Nyaman pada saat digunakan.
 - ❖ Memperbaiki posisi kerja.
 - ❖ Memudahkan dalam pemilihan alumina ball
3. Hasil perancangan alat angkut :
 - Proses penyortiran *alumina ball* lebih cepat dilihat dari perubahan persentase kemampuan menyortir yang awalnya 6,57% menjadi 100%.
 - Menghemat penggunaan *alumina ball* baru sebanyak 19,54%.
 - Memudahkan dalam proses penyortiran
 - Terhindar dari potensi cedera
 - Efisiensi waktu bekerja.

Daftar Pustaka

- Cohen, L., *Quality Function Deployment : How To Make QFD Work For You*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1995
- Cross, N., *Engineering Design Methods : Strategies For Product Design*, John Wiley & Sons (SEA), Singapore, 1994.
- Satalaksana, Ifikar Z., Anggawisastra, Ruhana, Tjakraatmadja, John H. 1979. *Teknik Tata Cara Kerja*. Jurusan Teknik Industri ITB : Bandung.
- Ulrich, Karl T., Eppinger, Steven D. 2001. *Perancangan Dan Pengembangan Produk*. Salemba Teknika : Jakarta.
- Ginting, Rosnani. 2010. *Perancangan Produk*. Graha Ilmu : Yogyakarta.
- Zaenal Muttaqien, Ita Puspitasari, 2003. *Perancangan Produk Mesin Pencampur Adonan Roti Dengan Mempertimbangkan Suara Konsumen*. Jurusan Teknik Industri UNJANI : Bandung.
- Nurmianto, Eko. 1996. *ERGONOMI Konsep Dasar Dan Aplikasinya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.

Kinerja Filter Pasir Lambat Dalam Menurunkan Fe Dan Mn

Lela Mukmilah Yuningsih

Fakultas Sains dan Teknologi – Universitas Muhammadiyah Sukabumi
e-mail: lelathea@yahoo.co.id

Abstrak. Air baku merupakan air yang berasal dari bawah tanah yang dikenal dengan nama artesis. Air tersebut mempunyai kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang cukup tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja filter pasir lambat (*slow sand filter*) dengan menggunakan media pasir aktif dan karbon aktif untuk mengurangi besi dan mangan. Parameter yang akan digunakan untuk mengetahui kinerja dari filter pasir lambat dengan media filter pasir dan karbon aktif ini dibatasi pada penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn). Dari hasil penelitian diperoleh penurunan konsentrasi besi 0.0641 mg/L dengan efisiensi 97.54% dengan media filter pasir aktif, penurunan konsentrasi mangan 0.1112 mg/L dengan efisiensi 78.28% dengan media filter pasir aktif, penurunan konsentrasi besi 0.0145 mg/L dengan efisiensi 99.33% dengan media filter pasir aktif-karbon aktif, penurunan konsentrasi mangan 0.0654 mg/L dengan efisiensi 90.62% dengan media filter pasir aktif-karbon aktif. Kinerja filter dengan media filter pasir aktif-karbon aktif membutuhkan waktu lebih lama yaitu 36 hari dibandingkan dengan media filter pasir yang membutuhkan waktu 28 hari dengan debit 0.0005 L/d. Terdapat perbedaan efisiensi penurunan kadar Fe maupun Mn dari ke-6 debit yang digunakan.

Kata Kunci : Filter pasir lambat, pasir aktif, karbon aktif

I. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan utama bagi manusia dan makhluk hidup lainnya guna kelangsungan hidup. Air diperlukan manusia dalam kehidupan sehari-hari untuk minum, mandi, mencuci dan sebagainya. Oleh karena itu, manusia harus memperhatikan syarat-syarat kualitas air yang boleh digunakan tanpa menimbulkan gejala yang merugikan bagi kesehatan dan lingkungannya. Manusia harus menyadari dan mencari solusi yang terbaik bagaimana caranya menyediakan air yang bersih, dan menjaga air tetap memenuhi baku mutu air bersih sehingga dapat dipergunakan dengan aman.

Kadar maksimum kekeruhan, mangan (Mn), dan besi (Fe) yang terlarut dalam air bersih menurut keputusan Menteri Kesehatan No. 1205/MENKES/Per/X/2004 tidak boleh lebih dari 25 NTU, 0.5 mg/L dan 1.0 mg/L. Kekeruhan, kandungan mangan dan kandungan besi yang terlarut dalam air dapat dikurangi dengan cara filtrasi (penyaringan).

Filtrasi adalah proses pemisahan air dari partikel tersuspensi dan koloid, dapat mengurangi jumlah bakteri dan mengubah komposisi senyawa kimia air yang dibawa, dengan cara melewatkan air yang akan diolah melalui suatu media berpori.

Rapid sand filter merupakan salah satu jenis filter yang dapat dijadikan alat untuk pengolahan terhadap air tanah. Laju filtrasi yang digunakan pada rentang 5 – 7 m³/m²/jam. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi laju filtrasi yaitu pengolahan air umpan dengan koagulasi dan -

sedimentasi sebelum proses filtrasi, ukuran media filter dan *backwashing* media filter. Media filter yang digunakan memiliki diameter efektif antara 0.5 – 2 mm. Tinggi media filter yang dimasukkan ke dalam kolom filtrasi antara 0.60 – 0.75 m.

Slow sand filter adalah bak filter yang menggunakan pasir sebagai media filter dengan diameter efektif antara 0.1 – 0.35 mm. Proses sederhana dengan mengalirkan air berdasarkan gravitasi sangat lambat dan stimultan, air baku secara lambat melewati media pasir porous, air mengalir dari permukaan atas saringan (filter) dan keluar dari bagian bawah, dengan kecepatan filtrasi sebesar 0,1 s/d 0,4 m³/m²/jam (kecepatan rendah). Di Indonesia biasanya yang banyak diterapkan adalah tipe konvensional dengan arah aliran dari atas ke bawah (*downflow*). Filter pasir ini cocok digunakan untuk menyaring air baku yang mempunyai kekeruhan sedang sampai rendah dan konsentrasi oksigen terlarut sedang sampai tinggi.

Materi suspensi dan koloid dari air baku akan bertahan dilapisan teratas filter yang dapat menimbulkan penyumbatan. Hal ini menyebabkan filter harus dibersihkan agar berfungsi seperti kapasitas semula, dan membuang/mengangkat lapisan kotoran penyumbat sedalam satu sampai dua centimeter (Huisman, 1974).

Keuntungan dari filter pasir lambat adalah desain dan operasi yang sederhana, selain itu tidak dibutuhkan penambahan bahan kimia untuk membantu proses penyaringan ini. Pencucian media pasir relatif mudah,serta hasilnya sama dengan saringan pasir konvensional. Kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai ukuran sesuai kebutuhan yang diperlukan.

Kelemahannya, jika kekeruhan air baku naik, terutama waktu hujan, sering terjadi penyumbatan pada filter pasir, sehingga perlu dilakukan pencucian (*backwash*) secara manual dengan cara mengeruk media pasirmya dan dicuci.

Filter pasir lambat pada umumnya tidak membutuhkan proses pengolahan awal (*pretreatment*) berbahan kimia, sehingga sumber air haruslah berkualitas tinggi. Cleasby (1991) memberikan rekomendasi mengenai kualitas sumber air untuk filter pasir lambat yang digunakan tanpa filter kasar (*roughing filter*) yaitu :

1. Kekeruhan (*turbidity*) rendah kurang dari 5 NTU
2. Tidak ada kumpulan alga dan klorofil kurang lebih 0,05 g/l
3. Besi kurang dari 0,3 mg/l dan mangan kurang dari 0,05 mg/l

Berikut desain filter pasir lambat (*slow sand filter*)

Tabel 1 Desain Filter Pasir Lambat

No	Parameter Desain	Keterangan
1	Kecepatan Filtrasi	1 – 8 m ³ /m ² /jam
2	Ukuran Media Penyaring	0.15 – 0.35 mm
3	Area Unggun	< 200 m ²
4	Kedalaman Unggun	60 – 120 cm

Sumber : www.techbrief.com

Filter pasir lambat mempunyai beberapa keterbatasan diantaranya :

1. Membutuhkan luas area yang besar.
2. Membutuhkan media penyaring dalam jumlah besar.

3. Air baku dengan tingkat kekeruhan yang tinggi dapat menyumbat dengan cepat pada pasir yang ada di dalam alat penyaring.

Pasir aktif adalah pasir yang diaktifkan oleh larutan KMnO_4 , yang akan membentuk lapisan MnO_2 . Lapisan MnO_2 inilah yang bertindak sebagai katalis pada proses oksidasi ion Mn(II) . Reaksi yang berlangsung pada saat pengaktifan adalah sebagai berikut :



Pasir aktif merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghilangkan ion besi dan mangan, yang berfungsi sebagai katalis reaksi oksidasi sekaligus sebagai media filter hasil oksidasi. Fe(II) dan Mn(II) yang tidak teroksidasi, dapat diadsorpsi oleh lapisan besi hidroksida dan mangan pada filter dimana dioksidasi menjadi Fe(III) dan Mn(IV) .

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Nama karbon aktif berasal dari material yang mengandung karbon dengan kapasitas adsorpsi besar yang dihasilkan dari sejumlah besar material seperti tempurung kelapa, kayu, merang, sekam atau serbuk gergaji dan batubara.

Kandungan air dalam karbon aktif sangat tinggi akan mengurangi daya serap karbon aktif. Berdasarkan standar perdagangan, kadar air karbon aktif tidak boleh melebihi 5% berat untuk karbon aktif butiran kecil dan 3% untuk karbon aktif serbuk (Endang S, 2002). Karbon aktif yang dihasilkan biasanya berupa granular dan powder (tepung) dengan ukuran dapat disesuaikan dengan permintaan pasar. Karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini memiliki bilangan iod (iodine number) antara 600 – 750 mg/gr dan bilangan methylen biru (methylene blue number) antara 60 – 70 mg/gr, dengan kandungan karbon sebesar 85%, kadar air 3%, pH antara 8 – 10, dan kadar abu sebesar 5%.

Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut, baik di air maupun di udara. Apabila dibiarkan di udara terbuka, maka dengan segera akan menyerap debu halus yang terkandung di udara (polusi). Dalam waktu 40 jam biasanya karbon aktif tersebut menjadi jenuh dan tidak aktif lagi. Oleh karena itu biasanya karbon aktif di kemas dalam kemasan kedap udara. (<http://www.o-fish.com/filter/filterkimia.htm>)

II. Metodologi

Diagram penelitian sebagai berikut :



III. Hasil Dan Pembahasan Hasil Pemeriksaan Air Baku

Berdasarkan pemeriksaan terhadap air baku didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Pendahuluan

No	Parameter Analisis	Satuan	Batas Syarat Air Bersih	Hasil Pemeriksaan (Variasi Debit Ke)					
				1	2	3	4	5	6
				0,0005	0,002	0,003	0,0005	0,002	0,003
1	Besi total	mg/L	1,0	2,61	1,85	2,06	2,15	1,975	2,025
2	Mangan Total	mg/L	0,5	0,512	0,628	0,725	0,697	0,698	0,857

*) KepMenkes No. 1205/MENKES/Per/X/2004, Batas syarat air bersih

Ket. Debit 1-3 media pasir aktif

Debit 4-6 media pasir aktif - karbon aktif

Dari tabel pemeriksaan di atas diperoleh data inlet yang berfluktuasi tiap debit 1 – 6 dengan kandungan besi total (Fe) antara 1,85 mg/L – 2,61 mg/L dan Mn^{2+} antara 0,512 mg/L – 0,857 mg/L., hal ini menunjukkan bahwa air tanah dalam banyak mengandung unsur besi dalam tanah yang membentuk endapan besi (III) oksida, dan besi sulfida yang tereduksi dalam suasana *anaerob* sehingga terlarut dalam air maupun besi (II) karbonat yang mengandung -

cukup CO₂ (Sawyer, 1994) dan senyawa organik yang mengendap dalam tanah dengan melepaskan besi dan mangan ke air pada kondisi *anaerob* (Sawyer, 1994).

Hasil Pemeriksaan Filtrat

Berdasarkan pemeriksaan filtrat terhadap media filter yang berbeda, dimana debit 1 sampai dengan debit 3 menggunakan media pasir aktif sedangkan debit 4 sampai dengan debit 6 menggunakan media pasir aktif dan karbon aktif, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Filtrat Q₁, media pasir aktif

No	Parameter	Satuan	Inlet	Variasi Waktu (Jam)						
				1	5	10	15	20	25	30
1	Besi Total	mg/L	2.61	0.3223	0.1315	0.1088	0.0975	0.0863	0.0752	0.0641
2	Mangan Total	mg/L	0.512	0.2521	0.2222	0.1924	0.1742	0.1621	0.1300	0.1112

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Filtrat Q₂, media pasir aktif

No	Parameter	Satuan	Inlet	Variasi Waktu (Jam)						
				1	5	10	15	20	25	30
1	Besi Total	mg/L	2.06	0.2421	0.2112	0.1856	0.1656	0.1578	0.1245	0.1132
2	Mangan Total	mg/L	0.725	0.5521	0.4534	0.3123	0.2723	0.2212	0.1734	0.1632

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Filtrat Q₃, media pasir aktif

No	Parameter	Satuan	Inlet	Variasi Waktu (Jam)						
				1	5	10	15	20	25	30
1	Besi	mg/L	1.85	0.4421	0.4231	0.3321	0.3211	0.2312	0.1429	0.1201
2	Mangan	mg/L	0.628	0.5524	0.5039	0.4557	0.4077	0.3599	0.2634	0.2234

Tabel 5 Hasil Pemeriksaan Filtrat Q₄, media pasir aktif - karbon aktif

No	Parameter	Satuan	Inlet	Variasi Waktu (Jam)						
				1	5	10	15	20	25	30
1	Besi	mg/L	2.15	0.1443	0.1321	0.0834	0.0643	0.0501	0.0325	0.0145
2	Mangan	mg/L	0.697	0.2311	0.2145	0.1754	0.1211	0.1011	0.0954	0.0654

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Filtrat Q_1 , media pasir aktif - karbon aktif

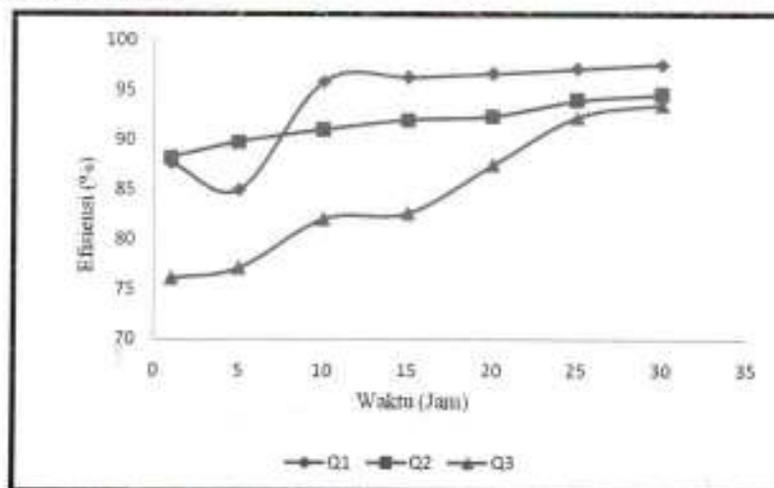
No	Parameter	Satuan	Inlet	Variasi Waktu (Jam)						
				1	5	10	15	20	25	30
1	Besi	mg/L	1.975	0.2311	0.2145	0.1743	0.1571	0.1322	0.1131	0.0976
2	Mangan	mg/L	0.698	0.4211	0.3721	0.2978	0.2121	0.1976	0.1522	0.1176

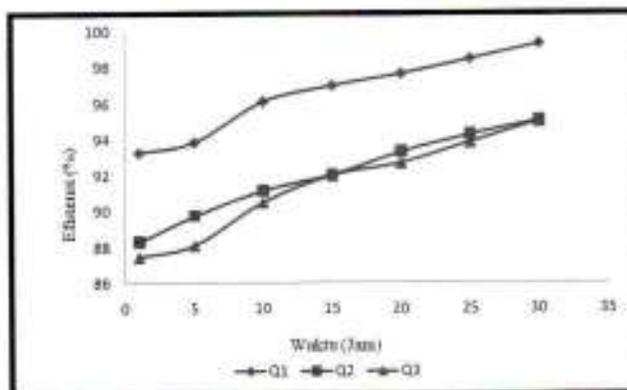
Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Filtrat Q_2 , media pasir aktif - karbon aktif

No	Parameter	Satuan	Inlet	Variasi Waktu (Jam)						
				1	5	10	15	20	25	30
1	Besi	mg/L	2.025	0.2543	0.2411	0.1923	0.1621	0.1478	0.1245	0.1010
2	Mangan	mg/L	0.857	0.4876	0.4123	0.3753	0.2576	0.2147	0.1976	0.1534

Dari semua hasil pemeriksaan filtrat dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi besi dan mangan dengan menggunakan media filter pasir aktif dan pasir aktif-karbon aktif. Pada Q_1 terjadi penurunan yang besar dibandingkan Q_2 dan Q_3 , hal ini karena kecepatan filter melewati media lebih lama. Sedangkan dengan menggunakan media filter pasir aktif-karbon aktif dapat menurunkan konsentrasi besi dan mangan lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan media filter pasir aktif, karena karbon aktif memiliki daya adsorpsi yang bagus dan memiliki ruang pori yang sangat banyak, pori-pori ini dapat menangkap partikel-partikel yang sangat halus.

Kenaikkan efisiensi besi pada tiap debit dengan media pasir aktif dapat dilihat pada gambar 1, sedangkan kenaikkan efisiensi besi dan mangan dengan media pasir aktif-karbon aktif dapat dilihat pada gambar 2

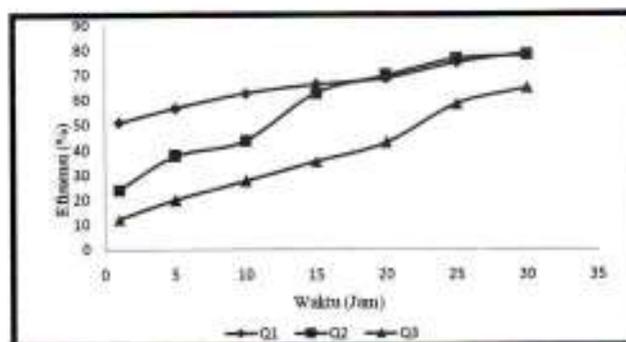
Gambar 1 Efisiensi besi dengan media pasir aktif pada Q_1, Q_2, Q_3



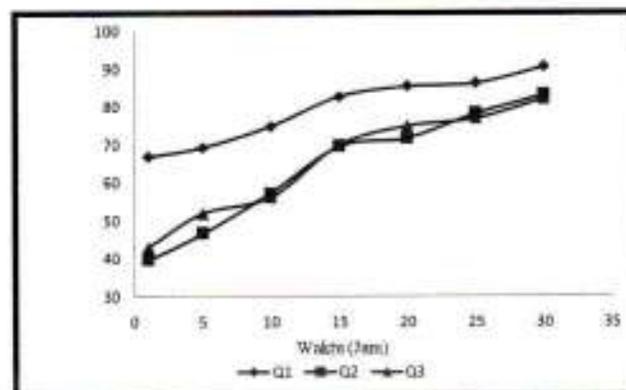
Gambar 2 Efisiensi besi dengan media pasir aktif dan karbon aktif pada Q_1, Q_2, Q_3

Dari hasil semua pengukuran efisiensi besi dan mangan terjadi kenaikan pada media pasir aktif dan karbon aktif antara 82,10 % - 99,33 %, ini menunjukkan media filter pasir aktif dan karbon aktif sangat bagus digunakan dalam filter air minum. Pengaruh karbon aktif sangat dominan pada penelitian ini, berbeda dengan media filter yang menggunakan pasir aktif penurunan efisiensi pada konsentrasinya tapi tidak sebaik menggunakan karbon aktif.

Kenaikkan efisiensi mangan pada tiap debit dengan media pasir aktif dapat dilihat pada gambar 3, sedangkan kenaikan efisiensi besi dan mangan dengan media pasir aktif-karbon aktif dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 3 Efisiensi mangan dengan media pasir aktif pada Q_1, Q_2, Q_3



Gambar 4 Efisiensi mangan dengan media pasir aktif dan karbon aktif pada Q_1, Q_2, Q_3

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penurunan konsentrasi besi 0.0641 mg/L dengan efisiensi 97.54% dengan media filter pasir aktif,
2. Penurunan konsentrasi mangan 0.1112 mg/L dengan efisiensi 78.28% dengan media filter pasir aktif
3. Penurunan konsentrasi besi 0.0145 mg/L dengan efisiensi 99.33% dengan media filter pasir aktif-karbon aktif.
4. Penurunan konsentrasi mangan 0.0654 mg/L dengan efisiensi 90.62% dengan media filter pasir aktif-karbon aktif.
5. Kinerja filter dengan media filter pasir aktif-karbon aktif membutuhkan waktu lebih lama yaitu 36 hari dibandingkan dengan media filter pasir yang membutuhkan waktu 28 hari dengan debit 0.0005 L/d.
6. Terdapat perbedaan efisiensi penurunan kadar Fe maupun Mn dari ke-6 debit yang digunakan

Daftar Pustaka

1. Cleary, Shawn A, *Sustainable Drinking Water Treatment For Small Communities Using Multistage Slow Sand Filter*, Civil engineering, Waterloo, Ontario, Canada, 2005.
2. Cahyana, G. H., *Slow Sand Filter*, Majalah Air Minum Edisi 149, Februari, 2008.
3. Cahyana, G. H., *Adsorpsi Karbon Aktif*, Majalah Air Minum, Februari 2009.
4. Droste, Ronald L ; *Theory And Practice Of Water And Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, Inc, Canada – USA, 1997.
5. Fair, G. M., Gayer, J. C., ; *Water Supply and Wasted Water Diposal*, John D. Wiley & Sons, Inc, Newyork-London-Sydney, 1954.
6. Fair, G. M., Geyer, J. C., Okun, D. A., *Water and Waste Water Engineering, Volume 2; Water Purification and Waste Water Treatment and Disposal*, John D. Wiley & Sons, Inc, New York, 1968.
7. Haryanto Fery, TA/628.164/HAR ; *Saringan Pasir Lambat Tepat Guna Skala Rumah Tangga*, ITB, 2000.
8. Huisman, L. Prof. Dr.Ir., *Slow Sand Filter*, Delft University of Technologi, Netherlands, 1975.
9. Huisman, L. Prof. Dr. Ir., *Rapid Sand Filtration*, Delft University of Technologi, Netherlands, 1974.
10. Logsdon, G.S, Kohne, R, Abel, S and Labonde, S., ; *Slow Sand Filter For Small Water System*, NRC, Canada, 2002.
11. Notodarmojo Suprihanto, *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*, Institut Teknologi Bandung, 2005.
12. Soemirat Slamet J, dr. MPH, PH.D : *Kesehatan Lingkungan* , Gadjah Mada University Press, 1994.
13. Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L., Parkin, Gene F., *Chemistry For Enviromental Engineering*, Fourth Edition, Mc Graw-Hill International Edition, Singapore, 1994.
14. Sarah Siti Ira, TA/628:164/SAR.k/ *Kinerja Filter Pasir Lambat Aktif Pada Pengolahan Air Rembesan Lebak Siliwangi*, FTSP, TL, Oktober 1996.

15. Tan, *Dasar-dasar Kimia Tanah*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta-Indonesia, 1982.
16. Twort, A.C., *Water Supply*, 2nd Edition, London, 1974.
17. U. Suria Wiria, *Pengantar Mikrobiologi Lingkungan, Air dan Sanitasi*, Departemen Teknik Kesehatan, ITB, 1979.
18. World Health Organization ; *Guidelines For Drinking-Water Quality*, Geneva, 1984.

JURNAL TEKNIK PETUNJUK UNTUK PENULIS

Umum. Jurnal Teknik menerima artikel yang orisinal dari berbagai penelitian yang berhubungan dengan ilmu teknik metalurgi dan material, teknik kimia, teknik mesin, teknik industri, teknik sipil, teknik elektro dan teknologi informasi.

Artikel yang diterima hanya yang belum dipublikasikan. Penggunaan ilustrasi atau table yang telah dipublikasikan, merupakan tanggung jawab penulis untuk perizinan dari penerbit. Artikel dapat dikirimkan kepada redaksi:

**Drs. Danang K.
Fakultas Teknik Bandung
Jl. Gatot Subroto (Samping PT. PINDAD)
Bandung 40280**

Tiga eksemplar artikel tercetak dikirim ke redaksi Jurnal teknik yang diketik pada satu sisi halaman kertas A₄ (21,0 cm x 29,7 cm).

Format penulisan artikel mengikuti aturan sebagai berikut:

Batas kiri = 4 cm, batas atas = 4 cm, dengan batas tinggi pengetikan 19 cm dan batas lebar pengetikan 12,5 cm.

Ukuran huruf untuk judul 14 pt (tebal), ukuran huruf penulis 10 pt (tebal) ukuran huruf untuk alamat institusi 10 pt.

Ukuran huruf untuk abstrak dan kata kunci 10 pt, ukuran huruf untuk sub dan isi/teks 11 pt

Tipe huruf dari Microsoft word = Times New Roman

Judul dan penulis diketik dengan bentuk sebagai berikut:

Analisa Kerusakan pada Turbin *Bucket* yang terbuat dari Material *Nickel Based Alloy MAR-M-246*

Leni Juwita¹ & Mabe Siahaan²

¹Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik – Universitas Jenderal Achmad Yani
²LAPAN - Bandung

Panjang maksimum artikel 10 halaman termasuk gambar dan table. Gambar dibuat dalam warna hitam putih dengan kualitas yang bagus.

Abstrak dari tulisan dibuat dalam bentuk bahasa Indonesia. Panjang maksimum dari abstrak adalah 200 kata. Kata kunci (5 – 10 kata) yang mengikuti abstrak ditulis berdasarkan urutan huruf

Daftar Pustaka di tulis dalam artikel mengikuti contoh dibawah ini:

Jurnal

1. Irawan N.M., *Judul tulisan*, Nama Jurnal 2, 10-24(1996)

Buku

2. Irawan, N. M., & Hendra T., *Judul buku*, ed. 3, Penerbit (2000)

Website

3. Nama penulis (jika ada), *Judul tulisan* (jika ada), Organisasi, alamat website, (2 Juni 1999)

Penulis yang artikelnya dimuat mendapat 2 cetak lepas, 1 eksemplar Jurnal Teknik