TUGAS AKHIR (MO184804)

STUDI ANALISIS SELEKSI MATERIAL PADA PIPA *FIRE WATER* DENGAN METODE *ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS* (STUDI KASUS : *REFINERY* BONTANG)

MUSTHAFA MUHAMMAD DREHEM

NRP. 04311640000135

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Raditya Danu Riyanto S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

FINAL PROJECT (MO184804)

ANALYSIS STUDY OF MATERIAL SELECTION ON FIRE WATER PIPELINE WITH ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS METHOD (A CASE STUDY OF REFINERY BONTANG

MUSTHAFA MUHAMMAD DREHEM

REG. 04311640000135

SUPERVISORS :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Raditya Danu Riyanto S.T., M.T

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2020

STUDI ANALISIS SELEKSI MATERIAL PIPA PADA *FIRE WATER* DENGAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) (STUDI KASUS *REFENERY* BONTANG)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUSTHAFA MUHAMMAD DREHEM

NRP. 04311640000135

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D (Pembimbing 1)

   .....

2. Raditya Danu Riyanto S.T, M.T (Pembimbing 2)

   .....

3. Dr. Eng. Shade Rahmawati ST, M.T (Penguji 1)

   .....

4. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D (Penguji 2)

   .....

5. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc (Penguji 3)

   .....

6. Dr. Eng. M. Zikro, ST., M.Sc (Penguji 4)

   .....

Surabaya, Juli 2020

Scanned with CamScanner

STUDI ANALISIS SELEKSI MATERIAL PIPA PADA *FIRE WATER* DENGAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) (STUDI KASUS *REFENERY* BONTANG)

Nama	**:**	**Musthafa Muhammad Drehem**
NRP	**:**	**04311640000135**
Departemen	**:**	**Teknik Kelautan**
Dosen Pembimbing	**:**	**Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D**
		Raditya Danu Riyanto S.T, M.T

ABSTRAK

Dalam kurun tahun 2015 – 2019, pipa *fire water* di PT.B.menggunakan material *carbon steel* mengalami kebocoran sebanyak 28 kali kebocoran dan 4 kali teridentifikasi korosi, oleh karena itu perlu untuk diketahui alternatif untuk mengganti material *fire water* sebelumnya. Penelitian ini dilakukan perbandingan material sebelumnya yaitu *carbon steel* dengan tipe ASTM A53, ASTM A106, API 5L grade B yang dibandingkan dengan *Fibreglass Reinforced Polymer/Epoxy* dan *High Density Polyethylene/PE 100* dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) dan dibantu dengan *software expert choice* 11 dan *pyhton with visual studio code*. Sebelum menggunakan metode AHP, dilakukan penentuan kriteria alternatif serta pembentukan alternatif material. Dari hasil penelitian yang dilakukan, dengan *expert choice* diperoleh material yang terpilih adalah *high density polyethylene* dengan pembobotan kriteria tertinggi pada *maintainability* sebesar 0.593 dan alternatif material HDPE sebesar 0.430 dengan nilai inconsistency sebesar 0.04. Sedangkan dengan *python with visual studio code* kriteria tertinggi pada maintainability sebesar 0,5932 dan alternatif material HDPE sebesar 0,4075 dengan nilai inconsistency 0,04.

Kata Kunci : *Analytical hierarchy process*, alternatif material, *expert choice*, *pyhton with visual studio code*, kriteria, *fire water*

ANALYSIS STUDY OF MATERIAL SELECTION ON FIRE WATER PIPELINE WITH ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS METHOD (A CASE STUDY OF REFINERY BONTANG

Name	**:**	**Musthafa Muhammad Drehem**
NRP	**:**	**04311640000135**
Departement	**:**	**Teknik Kelautan**
Supervisor	**:**	**Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D**
		Raditya Danu Riyanto S.T, M.T

ABSTRACT

In the years 2015 – 2019, the Pipe fire water at PT. B. Using carbon steel material leak 28 times leakage and 4 times unidentified corrosion, therefore it is necessary to know the alternative to replace the previous fire water material. This research carried out the comparison of the previous material carbon steel with ASTM A53 type, ASTM A106, API 5l Grade B compared with fiberglass Reinforced Polymer/Epoxy and High-Density Polyethylene/PE 100 using Analytical Hierarchy Process (AHP) and assisted by Expert Choice 11 and Python with Visual Studio Code. Before using the AHP method, the determination of alternative criteria and the formation of material alternatives. From the results of the research conducted, with the expert choice acquired material selected is high-density polyethylene with a weighted top criterion of the maintainability of 0593 and alternative HDPE material of 0430 with an inconsistency value of 0.04. Whereas with Python with Visual Studio Code criterion the highest on maintainability of 0.5932 and alternative material of HDPE of 0.4075 with the value of inconsistency 0.04.

Keywords: Analytical hierarchy process, material alternatives, expert choice, criteria, fire water

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya.

Tugas Akhir ini berjudul ”*Studi Analisis Seleksi Material pada Pipa Fire Water Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus Refenery Bontang)”.* Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini secara khusus akan membahas bagaimana membuat sesuatu *decision making* dalam menyeleksi dan memilih material untuk pipa *fire water* dengan metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yaitu *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Adanya Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca mengenai AHP.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini masih banyak sekali kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran guna meningkatkan kemampuan menyusun laporan yang lebih baik lagi ke depannya. Penulis juga berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan juga penulis pada khusus nya

Surabaya, 2020

Musthafa Muhammad Drehem

UCAPAN TERIMA KASIH

Penullis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian Tugas Akhir dan penulisan laporan ini karena bimbingan, dukungan, serta kebaikan dari seluruh pihak yang ikut andil dalam pengerjaan dan penulisan laporan Tugas Akhir ini. Tanpa bimbingan dan dukungan pihak-pihak tersebut, penulis hampir dipastikan akan mengalami banyak hambatan dalam pengerjaan dan penulisan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada

1. Allah SWT. karena berkat rahmat dan ridha-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Muhammad S. Drehem dan Maryam Laila M. Selaku kedua orang tua penulis yang selalu mendukung baik berupa doa, motivasi, dan segala dukungan lainnya.
3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D dan Raditya Danu Riyanto S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan Ilmu dan sangat menginspirasi selama kuliah di Teknik Kelautan ITS.
4. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang selalu membimbing dalam kehidupan perkuliahan.
5. Teman-teman Gerbong Squad yang setiap hari memberi semangat dan selalu menyenangkan sehingga penulis bersemangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Rumah Kepemimpinan dan teman-teman Heroboyo 9 yang telah memberikan energi positif sehingga penulis bersemangat mengerjakan tugas akhir.
7. Teman-teman Adhiwamastya P56 L34 yang selalu memberikan motivasi selama mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Alumni angkatan 9 SMA Al-Hikmah Surabaya, khususnya yang berkuliah di ITS yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
9. Teman-teman KM ITS yang penulis kenal yang telah memberikan banyak dukungan untuk penulis.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR vi

UCAPAN TERIMA KASIH vii

DAFTAR ISI viii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xi

BAB I 1

PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan 3

1.4 Manfaat 3

1.5 Batasan Masalah 4

1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II 5

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5

2.1 Tinjauan Pustaka 5

2.2 Dasar Teori 6

2.2.1 Sistem *Fire Water* di PT B 6

2.2.2 Fiber Reinforced Polymer/Plastic (FRP) 9

2.2.3 High Density Polyethylene 13

2.2.4 Spesifikasi Material Pipa *Fire Water* PT B 13

2.2.5 Ameron Bondstrand Series 2412 14

2.2.6 Rucika Black Series 15

2.2.7 *Requirement Strength* Pipa 16

2.2.8 AHP (*Analytical Hierearchy Process*) 20

BAB 3 29

METODOLOGI PENELITIAN 29

3.1 Diagram Alir 29

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian 30

BAB IV 33

ANALISA DAN PEMBAHASAN.....33

4.1 Kriteria Penilaian 33

4.2 Alternatif Pemilihan Material 33

4.2.1 Perhitungan *Formula* pada Alternatif Material FRP.....37

4.2.2 Perhitungan *Formula* pada Alternatif Material FRP.....44

4.3 Analisa Pemilihan Alternatif 48

4.3.1 *Analytical Hierarchy Process* (AHP) 49

3.3.2 Expert Choice 52

4.3.3 *AHP Python with Visual Studio Code*.....60

4.4 Analisa Pembobotan Akhir.....64

BAB V.....66

KESIMPULAN DAN SARAN 67

5.1 Kesimpulan.....67

5.2 Saran 68

DAFTAR PUSTAKA.....69

BIODATA PENULIS.....100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir 29
Gambar 4. 1 Alternatif Carbon Steel 34
Gambar 4. 2 Alternatif fiber reinforce polymer 35
Gambar 4. 3 Alternatif fiber reinforce polymer 36
Gambar 4. 4 Susunan Hirarki AHP 49
Gambar 4. 5 Hasil Synthesize expert choice 57
Gambar 4. 6 grafik sensitivitas kriteria cost 58
Gambar 4. 7 grafik sensitivitas kriteria maintainability 59
Gambar 4. 8 grafik sensitivitas kriteria teknik 59
Gambar 4. 9 grafik sensivitas kriteria keseluruhan 60
Gambar 4. 10 codes AHP criteria 61
Gambar 4. 11 report codes AHP criteria 61
Gambar 4. 12 codes sub-criteria AHP 62
Gambar 4. 13 report codes sub-criteria AHP 62
Gambar 4. 14 codes alternative AHP 63
Gambar 4. 15 report codes alternative AHP 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data material pipa fire water PT.B 14
Tabel 2. 2 Produk data Ameron Bondstrand series 2412 15
Tabel 2. 3 Produk data Rucika Black Series 15
Tabel 2. 4 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan 23
Tabel 2. 5 Contoh matriks perbandingan berpasangan 24
Tabel 2. 6 Random index 27
Tabel 4. 1 Sifat fisik material carbon steel 35
Tabel 4. 2 Sifat mekanik dan sifat fisik material FRP ameron bondstrand 2412 .. 36
Tabel 4. 3 Sifat mekanik dan sifat fisik material HDPE rucika black series 37
Tabel 4. 4 hasil perhitungan Design Internal Pressure FRP 39
Tabel 4. 5 perhitungan Hoop Tensile Stress FRP 40
Tabel 4. 6 Perhitungan Design Velocity Fluid FRP 41
Tabel 4. 7 perhitungan water hammer pada pompa 33-GM-2 FRP 43
Tabel 4. 8 perhitungan pengecekan water hammer pada saat 21°C dan 93˚ FRP 43
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan Design Internal Pressure HDPE 44
Tabel 4. 10 Perhitungan Hoop Tensile Stress HDPE 45
Tabel 4. 11 Perhitungan Design Velocity Fluid HDPE 46
Tabel 4. 12 Perhitungan water hammer pada pompa 33-GM-2 HDPE 48
Tabel 4. 13 Perhitungan water hammer pada saat 21°C dan 93˚C HDPE 48
Tabel 4. 14 Skala prioritas Saaty untuk antar kriteria 50
Tabel 4. 15 Skala prioritas Saaty untuk antar sub-kriteria 50
Tabel 4. 16 Prioritas antar alternatif 51
Tabel 4. 17 Pairwise matrix kriteria dari seluruh kuesioner 52
Tabel 4. 18 Pairwise matrix kriteria cost dari seluruh kuesioner 53
Tabel 4. 19 pairwise matrix kriteria maintainability dari seluruh kuesioner 53
Tabel 4. 20 pairwise matrix kriteria teknik dari seluruh kuesioner 53
Tabel 4. 21 pairwise matrix alternatif material (biaya pemeliharaan) 54
Tabel 4. 22 pairwise matrix alternatif material (biaya investasi) 54
Tabel 4. 23 pairwise matrix alternatif material (joint) 54
Tabel 4. 24 pairwise matrix alternatif material (repair) 55

Tabel 4. 25 pairwise matrix alternatif material (strength) 55
Tabel 4. 26 pairwise matrix alternatif material (modulus young) 55
Tabel 4. 27 pairwise matrix alternatif material (lifetime) 56
Tabel 4. 28 pairwise matrix alternatif material (fatigue) 56
Tabel 4. 29 pairwise matrix alternatif material (thermal conductivity) 56
Tabel 4. 30 pairwise matrix alternatif material (corrosivity) 57
Tabel 4. 31 Hasil Pemilihan Alternatif dari Python 64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem *Fire Water plant* di suatu perusahaan merupakan salah satu unit yang tidak diharapkan untuk beroprasi. Hal ini dikarenakan system ini merupakan sistem support ketika terjadi kebakaran. Dalam hal ini, sistem *Fire Water* harus *stand-by* karena jika terjadi kondisi darurat (*emergency)* sewaktu-waktu bisa dihidupkan. Karena prinsipnya *Fire Water* adalah untuk kondisi yang *emergency* dan ketika terjadi kebakaran pada suatu *equipment* membuat peranan dari *fire water* ini sangat kritikal, maka perlu untuk meninjau material pada sistem *fire water*.

Menurut data dari *Fire Water Work Order* PT. B Dalam kurun waktu 2015 sampai 2019 terjadi kebocoran pida pipa *fire water* sebanyak 28 kali dan terjadi korosi pada material sebanyak 4 kali yang dimana pada data ini material pada pipa *fire water* menggunakan material *Carbon Steel* dengan jenis *ASTM A53 Grade B Seamless Galvanized, ASTM A106 Grade B Seamless,* dan *API 5L Grade B SAW.* Menurut *inspection report no. 81/BP33/2018-334* menunjukkan bahwa telah terjadi di 61 *spot* sangat perlu untuk diperbaiki, dan *Inspection report No.82/BP33/2018-334* telah ditemukan 30 *spot* yang terjadi *bad corrosion* dengan *grade C* dan *grade D,* dan masih banyak lagi hal-hal yang terjadi pada pipa *fire water* di *inspection report* lainnya.

Oleh karena itu, diperlukan suatu material yang meninjau pada pipa *fire water* yang sesuai dengan kondisi yang ada di PT B. Dikarenakan saat dilakukannya *maintainance, repair, joint* maka secara ekonomis untuk material *carbon steel ASTM A53 Grade B Seamless Galvanized, ASTM A106 Grade B Seamless,* dan *API 5L Grade B SAW* memerlukan biaya yang relative besar. Maka dari itu, diperlukan suatu material yang memiliki keuntungan yang besar salah satunya adalah *Fiber Reinforced Polymer* atau FRP. FRP

merupakan material komposit yang tersusun atas matriks polimer dan diperkuat dengan *fiber*. FRP sering digunakan pada industri dirgantara, otomotif, *marine*, dan industri konstruksi. Komposit FRP memiliki beberapa kelebihan antara lain resistan terhadap korosi, ringan, memiliki kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, dan mudah untuk dikonstruksi. Agar penelitian ini bisa lebih komprehensif, maka dilakukan perbandingan material berjenis *high density polyethylene* atau HDPE. dikarenakan material ini juga memiliki beberapa kelebihan juga seperti tahan terhadap aliran air bersuhu tinggi yang bertekanan, resistan terhadap korosi, ringan, usia ketahanan mencapai 50 tahun, ,ditambah pula metode penyambungan yang bervariasi, ramah terhadap lingkunganm juga lentur dan tahan di berbagai cuaca. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan metode pengambilan keputusan dengan melakukan perhitungan kekuatan material dan menentukan *requirement* pipa yang sesuai dengan kebutuhan *firewater system* dan akan dilanjutkan dengan seleksi material dengan menggunakan *Analytical Hierarchy Process.* Untuk menghasilkan pemilihan material yang sesuai maka dibuat berdasarkan perbandingan antara materia *carbon steel*, FRP dan HDPE juga *requirement* pada material secara kualitatif dan kuantitatif seperti *cost*, factor resikonya dan konsekuensinya, kelebihan dan kekurangan, kekuatan dan lainnya yang dipilih menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sehingga metode pengambilan keputusan dengan AHP pada pilihan material menjadi sesuai. Metode yang digunakan untuk membuat alternatif pada seleksi material adalah dengan menganalisa jenis material yang akan dibandingkan dan dilakukan pemilihan alternatif terbaik dengan AHP. AHP merupakan teknik yang digunakan untuk mendukung proses pengambilan keputusan dengan tujuan untuk membuat dan menentukan pilihan yang terbaik diantara beberapa alternatif pilihan yang ada. AHP dikembangkan oleh Thomas L. Satty pada tahun 1970-an dan telah mengalami banya pengembangan. Selain dengan AHP, alternatif yang telah ada selanjutnya dipilih dengan bantuan *expert choice*. *Expert Choice* adalah sebuah perangkat lunak yang mendukung *collaborative decision* dan sistem perangkat keras yang memfasilitasi grup pembuatan keputusan yang lebih

efisien, analitis, dan yang dapat dibenarkan. Penelitian ini digunakan untuk menghasilkan suatu keputusan pemilihan material untuk pipa *firewater* di PT. B.

Di PT B saat ini, penggunaan FRP sebagai pipa sudah diaplikasikan pada *cooling water system* sedangkan untuk material HDPE masih belum digunkan. Namun untuk *fire water system* ini hipotesa penulis dalam material FRP dan HDPE ini bisa dikatakan *applicable* di beberapa pompa di PT. B. Oleh karena itu, untuk menjawab hipotesa ini perlu dilaksakan analisis menganai kesesuaian FRP dan HDPE ini sebagai *fire water pipe* di PT. B.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengidentiifikasi kriteria - kriteria pada material sebagai alternatif pipa *fire water* di PT. B?
2. Apa alternatif - alternatif material untuk pipa *firewater* di PT. B berdasarkan kriteria?
3. Bagaimana cara menentukan material yang sesuai kriteria dengan bantuan *expert choice* dan *python with visual studio code?*

1.3 Tujuan

Tujuan dari laporan khusus ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentiifikasi kriteria - kriteria pada material sebagai alternatif pipa *fire water* di PT. B.
2. Menentukan alternatif - alternatif material untuk pipa *firewater* di PT. B.
3. Menentukan material yang sesuai kriteria dengan *expert choice* dan *python with visual studio code.*

1.4 Manfaat

Manfaat masalah pada laporan khusus ini:

1. Dapat diketahui proses pemilihan alternatif jenis material yang sesuai untuk pipa *firewater* di PT. B dan mengidentifikasi kriteria material dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).
2. Dapat diketahui cara penggunaan/aplikasi *analytical hierarchy procces* untuk *material selection* dengan bantuan *software expert choice* dan *python.*

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada laporan khusus ini:

2.2.1 Material yang dibandingkan dibatasi pada material *carbon steel, fiber reinforced polymer,* dan *High Density Polythylene*.

2.2.2 Kriteria pembobotan yang digunakan adalah *cost, joint and repair method (maintainability), strength requirement, thermal conductivity, lifetime,* anti korosi dengan menggunakan AHP.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada laporan khusus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Pada BAB I tentang pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan laporan khusus. Dilanjut BAB II tentang tinjauan pustaka yang berisi pengenalan *fire water pipe* di PT B; pengenalan tentang FRP dan HDPE; pengertian tentang *Design Internal Pressure, Design Fluid Velocity, Tensile Strength, Water Hammer, Fire Performance* beserta perhitungannya; jenis *Repair Method, Joint Method,* dan *Maintainability*. Juga berisi pengertian tentang AHP dan komponen – komponen lainnya. Lalu BAB III tentang Metodologi Penelitian yang berisi metodologi penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan penulisan laporan khusus. Kemudian untuk BAB IV tentang pembahasan yang berisi data dari *product data* material, kemudian menghitung *requirement strength pipe* dalam artian menghitung *Design Internal Pressure, Design Fluid Velocity, Hoop Tensile Strenth, Water Hammer,* dan mencari Fire Endurance yang sesuai dengan material kemudian melakukan analisa perbandingan material dengan AHP dan dibantu oleh *software expert choice*. Terakhir BAB V penutup berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Winarto (2013) dalam tesisnya yang berjudul "Penerapan *Analytical hierarchy process* (AHP) Pada Penentuan Bentuk Organisasi (Studi Kasus Di PT CVS, *Steam And Supply Team*)" menjelaskan mengenai Team *Steam and Supply* di bawah departemen *Facility Operation - Heavy Oil*, PT CVX yang membutuhkan bentuk organisasi baru yang efektif. kemudian dikembangkan 48 alternatif pilihan. Dalam penelitian ini digunakan 4 kriteria penilaian: *Do-ability, Leaner Organization, Flexibility Future Need* dan *Cost Reduction*. Untuk pembobotan kriteria tersebut digunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Dengan *expert judgmen*t, responden yang terdiri dari para *stakeholder* memberikan dua kali penilaian yaitu untuk pembobotan kriteria dan untuk penilaian alternatif pilihan. Perhitungan nilai pembobotan dilakukan dengan menggunakan program *Expert Choice* dengan input rata rata geometrik dari hasil survei. Untuk penilaian alternatif digunakan skala Likert. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk organisasi yang diinginkan adalah SDI team tetap di luar, *Operator Steam Generator* dari *insourcing*, DSC bekerja dalam *duty hour* dan *Steam Station* dibagi 2 area. Sementara kriteria yang sensitif yang dapat mengubah hasil penelitian hanya *Cost Reduction* saat nilai pembobotannya dinaikkan sampai 25%.

Yulia (2015) dalam tugas akhirnya yang berjudul "Proses Pemilihan Vendor di PT FBMI dengan Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* melakukan penelitian dengan menggunakan AHP sebagai metode penyelesaiannya. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah mendapat masukan mengenai pemiihan *supplier* terbaik bagi PT FBMI. Objek penelitian yang dilakukan merupakan 3 vendor *supplier*. Vendor tersebut terdiri dari PT D di 45 Meruya, PT O di Kelapa Gading dan PT N di Cikarang. Kriteria yang digunakan dalam penilaian terdiri dari:

1. Kualitas mobil yang dimiliki tiap vendor yang dilihat dari tahun pembelian.

2. Cepat tanggap yang dilihat dari jam kerja teknis dan unit mobil yang dimiliki.
3. Harga sewa yang diberikan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa vendor terbaik yang dilihat dari 3 kriteria diatas adalah vendor PT D dengan nilai *overall composite weight* sebesar 0,55347.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem *Fire Water* di PT B

PT B sebagai pabrik pengolahan gas bumi harus memenuhi persyaratan keselamatan yang sesuai dengan aturan keselamatan (UU No.1 1970). Salah satu aturannya adalah tentang penyediaan fasilitas sistem air kebakaran. Aturan ini sesuai dengan standar internasional oleh NFPA (National Fire Protection Association Inc.)

Sistem *fire water* merupakan sistem *support* ketika terjadi kebakaran. Meskipun demikian, sistem Fire Water harus tetap *stand-by* dan jika terjadi kondisi darurat (*emergency*) sewaktu-waktu bisa dihidupkan. Jika terjadi kebakaran yang dapat mengakibatkan kerusakan terhadap peralatan/ fasilitas produksi di lingkungan pabrik dapat dicegah dan diminimalisir kerusakan dan kerugian yang diderita.

Karena prinsipnya yang *stand-by*, maka *actual condition* mengenai fasilitas dari sistem *fire water plant* sangat penting untuk diketahui. Hal ini dikarenakan agar memastikan apakah sistem yang bekerja di dalamnya dalam kondisi baik atau tidak. Sistem distribusi air pemadam kebakaran berfungsi mentransfer air pemadam kebakaran dalam jumlah dan tekanan yang memadai untuk digunakan sebagai proteksi fasilitas Kilang dari bahaya kebakaran. Sistem ini terdiri atas *fire water tank*, f*ire water pumps*, dan pipa distribusi. Dan fasilitas pelengkap seperti *water deluge system*, *water curtain system*, dan *water sprinkle system*.

Untuk mempertahankan atau menjaga tekanan air pemadam kebakaran tetap tinggi dan adanya ketersediaan tekanan yang cukup selama beroperasi (24 jam), tekanan disemua sistem distribusi air pemadam harus

dipertahankan. Salah satu alat yang digunakan untuk mempertahankan tekanan adalah sistem control loop, yaitu sistem instrument pressure control yang bisa bekerja pada sistem control otomatis. Tekanan akan tetap dijaga pada 12,5 kg/cm^2.

Pada sistem pompa air pemadam kebakaran, terdapat delapan (8) pompa air pemadam di LNG/LPG PT. B Bontang yang khusus memompakan air tawar dan dua belas (12) pompa pemadam yang didesain untuk memompakan air laut Jenis pompa pemadam yang dipakai adalah pompa horizontal untuk pompa pemadam dengan air tawar dan pompa vertical untuk pompa pemadam yang menggunakan air laut. Tenaga penggerak pompa ada dua, yaitu dengan listrik dan emergency pump yang digerakkan dengan tenaga diesel.

Pada saat kondisi normal dan sistem LNG/LPG di PT B beroperasi dengan normal dan fire water plant sedang tidak digunakan, *fire water pump* yang digunakan dan beroperasi hanya satu buah pompa kecil yang disebut *Jockey pump* yang digunakan untuk mempertahankan tekanan air pemadan agar tetap stabil.

- **Fire Water Tank**

  Fire water berasal dari air yang berasal dari sumur yang telah diproses pada aerator dan filtrasi pada *iron removel unit.* Kemudian, air tersebut akan disimpan pada fire water tank. Terdapat 4 unit tanki penyimpanan. Dua unit berada di area utilitas 1 (33D-1/4) dan dua unit berada di area utilitas 2 (33D-11/12). Dengan spesifikasi konstruksi di bawah ini:

Bentuk	: buka tutup silinder
Diameter	: 20,4 m
Tinggi	: 12,2 m
Kapasitas normal	: 3975 m^2

- **Fire Water Pump**

Berdasarkan penggunaan, ada dua fungsi pompa air api,adalah yaitu :

a. Pompa air kebakaran untuk air tawar

- Pada *Utilities* I, plant 36 memiliki peran untuk menyuplai *fire water* untuk memenuhi kebutuhan *train* A-D, *storage* dan *loading* menggunakan *fire pumps (33GM-1A / 1B / 2).* Air tersebut akan disimpan pada tank 33D-1/4 dengan sistem kontrol 33LIC-1/5. Pada daerah ini, tiga pompa dioperasikan dengan *electric motor* (33GM-1A/1B/2) dan satu pompa dioperasikan dengan *diesel machine*. Sedangkan plant 36 pada utilities II berperan menyuplai fire water pada train E-H menggunakan fire pumps (33GM-11A/11B dan 33GE-15A/15B). Air tersebut akan disimpan pada tank 33D-12/13 dengan sistem kontrol 33LIC-145/146.
- Pada plant 48 memiliki prinsip yang serupa dengan plant 36. *Fire water* berasal dari air sumur yang telah di proses pada *aeration* dan *filtration process.* Pada plant 48 tidak memiliki tanki penyimpanan untuk *fire water.* Sehingga akan langsung diambil dari tanki hasil filtrasi 48D-1. Distribusi air minum sebagai *fire water* menggunakan pompa 48 GM-1A/B yang digerakkan dengan *diesel machine* dan hanya digunakan jika dibutuhkan.
- Pada plant 49 sama dengan plant 48 hanya terletak pada tempat yang berbeda. Distribusi antara plant 48 dan plant 49 juga terhubung. Pada plant 49 memiliki tiga fire pump. Dua pompa digerakkan oleh *electric motor* dan satu digerakkan oleh *diesel machine.*

b. Pompa air kebakaran untuk air garam

Air laut dapat digunakan sebagai alternatif pada fire water. Terdapat dua belas (12) pompa untuk mengaliri air laut dengan rincian dua (2) dioperasikan oleh *electric motor* dan sepuluh dioperasikan oleh *diesel machine.*

2.2.2 Fiber Reinforced Polymer/Plastic (FRP)

Fiber Reinforced Polymer/Plastic atau FRP merupakan material komposit yang terbuat dari matriks polimer dan diperkuat dengan *fiber*. *Fiber* yang sering digunakan antara lain *glass*, karbon, atau aramid, meskipun *fiber* lainnya seperti kertas, kayu atau asbes juga dapat terkadang digunakan. Polimer yang digunakan biasanya *epoxy*, *vinylester*, atau *polyester thermosetting plastic*, dan resin *phenol formaldehyde* juga masih digunakan. FRP biasa digunakan pada industri dirgantara, otomotif, *marine*, dan industri konstruksi.

FRP merupakan komposit plastik yang secara khusus menggunakan material *fiber* (tidak dicampur dengan polimer) untuk menambah kekuatannya secara mekanik dan elastisitas plastik. Material asli plastik tanpa penguatan dari *fiber* dikenal sebagai matriks. Matriks tersebut tangguh tetapi plastik relatif lemah sehingga diperkuat oleh filamen penguat yang lebih kuat dan kaku ataue *fiber*. Tingkat kekuatan dan elastisitas FRP bergantung pada sifat mekanis *fiber* dan matriks, volume relatif terhadap satu sama lain, dan panjang *fiber* serta orientasi dalam matriks.

Kelebihan yang dimiliki FRP yaitu resistan terhadap korosi; kekuatan tinggi dan ringan; stabil secara dimensi dibawah berbagai tekanan fisik, lingkungan, dan *thermal*; kekuatan dielektrik yang tinggi dan absorpsi uap air yang rendah; dan insulator listrik dan *thermal* yang relatif baik. Sedangkan kekurangan yang dimiliki FRP adalah dapat terdegradasi permukaannya ketika terpapar sinar UV.

- **Resin**

  Matriks atau resin merupakan salah satu komponen utama pada FRP atau komposit. Sistem resin dipilih untuk memberikan sifat kimia, listrik, dan *thermal*. Terdapat dua kelas utama resin yaitu *thermosetting* dan *thermoplastic*. Polimer *thermosetting* biasanya berupa likuid atau padatan yang memiliki titik leleh yang rendah yang dapat dengan mudah dipadukan dengan *fiber* atau *filler* sebelum dilakukan *curing*. *Cross-linked chain* yang dimiliki polimer *thermoset* dapat menjadi

padatan ketika reaksi kimia atau *cure* dengan aplikasi dari katalis dan panas. Reaksi *thermoset* pada umumnya bersifat *irreversible*. Aditif mudah disatukan dengan sistem resin untuk memberikan pigmentasi, *flame retardance*, resistansi terhadap cuaca, dan lain sebagainya. Resin *thermoset* yang paling sering digunakan pada FRP atau komposit adalah *unsaturated polyester*, *vinylester*, dan *epoxy*.

a. Polyester

Polyester merupakan jenis resin yang penanganannya mudah, harganya murah, memiliki dimensi yang stabil, dan keseimbangan antara sifat mekanis, kimia, dan listrik yang baik. Resin ini dapat digunakan untuk memberikan resistansi yang tinggi terhadap asam, alkali lemah, dan pelarut organik. Resin ini tidak direkomendasikan untuk digunakan pada lingkungan dengan alkali kuat dan kondisi suhu yang ekstrem. *Polyester* memiliki sifat tidak jenuh atau *unsaturated* akibat banyaknya ikatan ganda khususnya pada kelompok *ester* yang membuat *tensile strength* polimer ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan resin *vinylester* atau *epoxy*.

Polyester juga dapat berikatan dengan air yang membuat beratnya meningkat saat beberapa hari awal dari manufaktur yang berasal dari penyerapan air yang kemudian bereaksi dengan ikatan ganda pada *backbone* struktur rantai resin, lalu *polyester* akan kehilangan beratnya secara perlahan seiring dengan rusaknya polimer, larut dan keluar dari komposit yang pada akhirnya tergantikan oleh air. Hal ini dapat membuat menurunnya kekuatan material. Meskipun demikian, penggunaan *polyester* pada non struktural seperti *coating* pada *boat hull* masih lebih diinginkan daripada resin *vinylester* karena biayanya yang murah dan memiliki *curing time* yang lebih cepat.

b. Vinylester

Vinylester memiliki resistansi yang baik terhadap air, pelarut organik, dan alkali, tetapi kurang resistan terhadap asam. *Vinylester*

lebih kuat daripada *polyester* dan lebih ulet daripada *epoxy*. Resin *vinylester* didesain lebih spesifik dibandingkan dengan resin *polyester* yang membuat *vinylester* merupakan campuran dari resin *polyester* yang telah diperkuat dengan penambahan resin *epoxy*. *Vinylester* memiliki resistansi yang lebih besar terhadap beban vibrasi karena lebih toleran terhadap *stretching* dibandingkan dengan resin *polyester* yang memberikan *stress cracking* yang lebih rendah sehingga dapat menyerap impak yang lebih besar tanpa mengalami kerusakan.

Ikatan resin *vinylester* mirip dengan resin *polyester* dengan adanya *cross-linking* pada bagian pinggir (*side group*) sepanjang struktur *backbone*-nya. Meskipun resin *vinylester* memiliki kemampuan menyerap air lebih kecil dibandingkan dengan resin *polyester* akibat struktur ikatannya yang lebih rapat pada bagian pinggirnya yang membuat daerah agar molekul air dapat menyerang menjadi lebih kecil, tetapi *vinylester* tetap memiliki derajat penyerapan air yang dapat melemahkan struktur. *Cross-linking* pada bagian rantai *side group* tersebut yang membuat *vinylester* memiliki stabilitas terhadap *thermal* yang sangat baik. *Vinylester* tidak mudah berikatan dengan struktur lainnya yang tidak mirip dengan dirinya (seperti Kevlar dan *fiber* karbon), atau dengan resin *vinylester* yang telah mengalami *curing* atau pengerasan yang dapat membuat pengerjaan perbaikan menjadi sulit seperti delaminasi pada resin *repair* dapat terjadi. *Vinylester* lebih tahan lama dibandingkan dengan *polyester*.

c. Epoxy

Epoxy memiliki sifat adhesi yang baik dan cocok untuk digunakan pada servis suhu tinggi mencapai 500°F. *Epoxy* lebih mahal dibandingkan dengan *polyester* dan memiliki waktu pengerasan yang lebih lama. Struktur *epoxy/fiber* secara umum memiliki *fatigue* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *polyester*. Pada struktur dasar *backbone epoxy* terdapat kelompok aromatik

(struktur cincin terdiri atas enam karbon yang juga dikenal dengan cincin *benzene*) yang membuat kekuatannya meningkat hingga tiga kali lipat dibandingkan dengan resin *vinylester* dan juga membuat *epoxy* stabil terhadap suhu (*thermostability*) serta lebih mudah untuk menyerap impak yang lebih besar dibandingkan dengan resin *vinylester* atau *polyester* tanpa mengalami kegagalan atau kerusakan. *Side group* pada rantai *epoxy* lebih terlindungi dari serangan molekul seperti air akibat adanya *steric hindrance* yang dihasilkan oleh cincin *benzene* yang membuat struktur dapat menjaga *cross-linking*-nya dalam jumlah yang tinggi dan memberikan resistansi terhadap impak serta *thermostability*. Resin *epoxy* juga memiliki resistansi yang tinggi terhadap degradasi lingkungan dan tidak mengalami *blistering* seperti pada *polyester* dan resin *vinylester* ketika dipaparkan pada air.

Sedangkan polimer *thermoplastic* dapat melunak dan menjadi likuid viskos ketika dipanaskan dan mengeras ketika didinginkan. Proses tersebut berlangsung *reversible*. *Polypropylene* dan *polyethylene* adalah resin *thermoplastic* yang paling umum digunakan pada FRP atau komposit. Keduanya memiliki resistansi yang baik terhadap asam dan alkali serta pelarut organik. Proses pembuatannya juga dalam biaya yang rendah.

- **Reinforcement (Fiber)**

Kekuatan pada FRP bergantung pada jenis, jumlah, dan susunan *fiber* penguatnya. *E-glass* merupakan *fiber* yang paling sering digunakan. *E-glass* kuat, memiliki resistansi terhadap panas yang baik, dan memiliki sifat kelistrikan yang baik. Selain tiu, terdapat *fiber* dari karbon (grafit) yang memiliki sifat ringan dengan kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi. FRP dengan *fiber* karbon memiliki fatigue yang baik. Terdapat pula *fiber* aramid atau *aromatic polyamide* yang memberikan kekuatan tinggi dan densitas yang rendah (40% lebih rendah dibandingkan *glass*). *Fiber* alami seperti *Sisal, Hemp,* dan *Flax* telah digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan rendah dan

fiber ini terbatas penggunaannya pada lingkungan yang tidak membutuhkan resistansi terhadap uap air atau kelembapan yang tinggi.

Susunan *fiberglass* (posisi masing-masing helai) menentukan arah dan tingkat kekuatan yang dimiliki FRP. Terdapat tiga dasar susunan yaitu *unidirectiona, bidirectional*, dan *multidirectional*. Susunan *unidirectional* memberikan kekuatan yang paling tinggi pada arah *fiber*. Sedangkan susunan *bidirectional* dilakukan pada dua arah biasanya saling tegak lurus (90° terhadap satu sama lainnya) yang memberikan kekuatan tertinggi pada arah-arah tersebut. Susunan *multidirectional* atau susunan acak memberikan kekuatan yang sama untuk segala arah pada umumnya.

2.2.3 High Density Polyethylene

Nama HDPE diambil dari bahan baku material pembuat pipa yakni *high density polyethylene,* atau polietilena berdensitas tinggi. Material ini merupakan satu diantara varian jenis bahan thermoplastik yang dibedakan berdasarkan daur ulang diantaranya tidak mudah rusak, karena memiliki tingkat kekuatan dan kelenturan yang tinggi. Sementara tingkat keretakan sangat rendah karena ikatan molekul material yang terikat sangat kuat satu dengan lainnya. Dalam pengaplikasiannya material HDPE ini sangat cocok sebagai saluran pipa air bersih bertekanan tinggi. Karena memiliki tingkat fleksibilitas yang sangat baik sebagai thermoplastik sehingga dapat dipasang dimana saja bahkan kontur perbukitan yang tidak merata.

2.2.4 Spesifikasi Material Pipa *Fire Water* PT B

Berdasarkan *General Spesification Material Class* PT B, material yang digunakan untuk mengalirkan *fire water* adalah *piping class* AF2U dengan tekanan 150 Psig.

a. Pipe size ½ – 2:

PIPE THREADED & COUPLED WITH API COUPLINGS, SCHEDULE EXTRA HEAVY, CARBON STEEL, ASTM A53 GRADE B SEAMLESS, HOT DIPPED GALVANIZED.

b. Pipe size 3 – 6:

PIPE SEAMLESS, BEVELED ENDS, STANDARD WEIGHT, CARBON STEEL ASTM A106 GRADE B, RANDOM LENGTH.

c. Pipe size 8-12:

PIPE SEAMLESS, BEVELED ENDS, SCHEDULE 30, CARBON STEEL, ASTM A106 GRADE B, RANDOM LENGTH

d. Pipe size 14-36:

PIPE SUBMERGED ARC WELDING, CARBON STEEL API 5L GRADE B

Yang dimana pada ketiga jenis pipa *class* AF2U ini memiliki *Tensile Strength* dan *Yield Strength* yaitu 415 MPa pada *Tensile Strength* dan 240 MPa pada *Yield Strength.*

Tabel 2. 1 Data material pipa fire water PT.B

Axial tensile Strength	**65 MPa (662 kg/cm²) at 93°C**
Maximum Operating Temperature	**120°C**
Design Safety Factor	**4**
Pressure Rating	**12 bar**
Surge Pressure	**18 bar**

2.2.5 Ameron Bondstrand Series 2412

Jenis FRP yang akan diseleksi kesesuainya pada pipa *fire water* adalah produk data dari *Ameron Bondstrand Series 2412*. Dimana produk ini memiliki formulasi dari jenis resin *epoxy* dan penguatnnya berupa *fiberglass*. Produk ini memiliki sifat mekanik dan sifat fisik yang kuat menurut perhitungan dari produk tersebut.

Tabel 2. 2 Produk data Ameron Bondstrand series 2412

NPS (Inch)	Pipe ID (mm)	Wall Thickness (mm)	Ultimate Collapse Pressure (bar)
2	53,2	2,3	26,4
3	81,8	2,3	7,3
4	105,2	2,3	3,4
6	159,0	2,7	1,8
8	208,8	3,2	1,5
10	262,9	3,9	1,5
12	313,7	4,5	1,4
14	344,4	4,8	1,3
16	393,7	5,5	1,4
18	433,8	6,0	1,4
24	578,6	7,7	1,3
30	750,0	9,7	1,3
36	900,0	11,5	1,2

2.2.6 Rucika Black Series

Jenis HDPE yang akan diseleksi kesesuainya pada pipa fire water adalah produk data dari rucika black series. Dimana produk ini memiliki formulasi dari jenis polyethylene dengan densitas yang tinggi. Produk ini

Tabel 2. 3 Produk data Rucika Black Series

DIAMETER	SDR	PE 100 MAX WORKING PRESSURE (BAR)
20 - 630 (mm)	11	16
50 - 630 (mm)	13.6	12.5
40 - 630 (mm)	17	10
75 - 630 (mm)	21	8
90 - 630 (mm)	26	6.3

memiliki sifat mekanik dan sifat fisik yang kuat menurut perhitungan dari produk tersebut.

2.2.7 *Requirement Strength* Pipa

Untuk memenuhi kesesuaian pada pipa *fire water*, maka perlu untuk diketahui *requirement strength* pada pipa *fire water*.

- ***Design Internal Pressure***

  Merupakan tekanan pipa *internal* yang digunakan dalam penentuan persyaratan ketebalan pada suatu pipa, khususnya pada pipa FRP dan HDPE dengan fluida air. Dimana untuk mengetahui *design internal pressure* maka merujuk pada standar AWWA M45 dan AWWA M55 yang dimana formula *design internal pressure* pada 2 material ini sama, yang berbeda hanyalah HDB (*hydrostatic design* basis) Berikut formula *design internal pressure* menurut standard AWWA M45 dan M55:

  $$Pc \leq \left(\frac{HDB}{FS}\right) \left(\frac{2t}{D}\right) \quad \text{.....(2.1)}$$

  $$D = ID + 2tL + t \quad \text{.....(2.2)}$$

  Dimana pada formulasi ini:

  Pc = *pressure class, psi*

  HDB = *hydrostatic design basis, psi,*

  F S = *minimum design factor, 1.8*

  t = *thickness of pipe wall per ASTM D3567, in.*

  D = *mean pipe diameter, in*

  tL = *thickness of liner (when used), in.*

  ID = *inside diameter, in.*

- ***Hoop Tensile Stress***

  Merupakan beban maksimum sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan pada suatu pipa khususnya pada FRP dan HDPE dengan fluida air dimana untuk mengetahui *hoop tensile stress* maka dilihat dahulu pada *tensile strength* pada suatu produk data tersebut kemudian

dilakukan perhitungan sesuai standar AWWA M45 dan AWWA M55. Diketahui bahwa *hoop tensile strength* pada FRP adalah 220 N/mm² dan HDPE adalah 23 Mpa. Lalu *pressure working piping class* AF2U PT B adalah 150 Psig . Berikut adalah formula *hoop tensile stress* menurut standar dari AWWA M45 dan AWWA M55:

$S = P\frac{(D-t)}{2t}$ …….(2.3)

$D = OD - t$ …….(2.4)

Dimana pada formulasi ini:

S = design hoop stress, psi

D = average *OD*, in.

P = internal pressure, psig

t = minimum wall thickness, in.

- ***Design Velocity Fluid***

Merupakan kecepatan fluida pada suatu pipa yang dimana yang dapat ditentukan berdasarkan flow rate dan luas penampang pipa. Untuk *fire water general specification* PT B mengacu pada standar NFPA 24 tantang maksimum kecepatan fluida adalah 3 m/s. oleh karena itu FRP dan HDPE sangat perlu untuk mempertimbangkan kecepatan fluidanya dengan standar AWWA M45 dan AWWA M55 dengan formulasi sebagai berikut:

Typical Diameters for Pressure Pipe Service

$d = 0{,}321\ [\frac{Q}{(SG)^2}]^{0{,}434}$ ……..…..(2.5)

Conversion of Flow Rate to Fluid Velocity

v = 0,409 (Q/d^2) ……..…...(2.6)

dimana pada formulasi ini:

d = internal pipe diameter, in.

Q = flow rate, gpm

SG = fluid specific gravity, dimensionless (1 for water)

v = fluid velocity, ft/s

- ***Water Hammer***

Adalah lonjakan tekanan atau gelombang yang disebabkan ketika fluida, untuk *fire water* adalah air, bergerak dipaksa untuk berhenti atau mengubah arah secara tiba-tiba atau momentum berubah. Fenomena ini umumnya terjadi ketika katup tiba-tiba menutup di ujung sistem pipa, dan gelombang tekanan merambat di pipa. Gelombang tekanan ini dapat menyebabkan masalah besar, dari kebisingan dan getaran hingga keruntuhan pipa. Pada analisis FRP dan HDPE ini tetap menggunakan formulasi yang ada di AWWA M45 dan AWWA M55 bagian *water hammer*. Berikut formulasi *water hammer*:

$Ps = (a/g)\ (SG/2.3)\ (\Delta v)$ …….(2.7)

$a = 12 / [\ (\rho/g)\ (1/k + d/E\ (t)\ )\ ]^{0,5}$ ……..(2.8)

dimana pada formulasi ini:

Ps = pressure surge deviation normal, psig

a = wave velocity, ft/s

Δv = change in flow velocity, ft/s

ρ = fluid density, lb/ft3

SG = fluid specific gravity, dimensionless

k = bulk modulus of compressibility of liquid, psi (300,000 psi for water)

E = modulus of elasticity of pipe wall, psi

d = pipe ID, in.

t = pipe wall thickness, in.

g = gravitational constant, 32.2 ft/s2

- ***Fire Endurance***

Fire Endurance pada sistem perpipaan adalah kemampuan untuk mempertahankan kekuatan dan integritasnya (yaitu mampu melakukan fungsi yang dimaksudkan) untuk beberapa periode waktu yang telah ditentukan, sementara terkena api yang mencerminkan kondisi yang diantisipasi. Tiga tingkat ketahanan api yang berbeda untuk plastik diberikan. Level-level ini mempertimbangkan tingkat keparahan konsekuensi yang berbeda yang diakibatkan oleh hilangnya integritas sistem untuk berbagai aplikasi dan lokasi. Standar ketahanan api tertinggi (level 1) akan memastikan integritas sistem selama kebakaran hidrokarbon skala penuh dan khususnya berlaku untuk sistem di mana hilangnya integritas dapat menyebabkan aliran cairan yang mudah terbakar dan memperburuk situasi kebakaran. Standar daya tahan api antara (level 2) bermaksud untuk memastikan ketersediaan sistem yang penting untuk pengoperasian kapal yang aman, setelah kebakaran dalam waktu singkat, yang memungkinkan sistem untuk dipulihkan setelah api dipadamkan. Level terendah (level 3) dianggap memberikan ketahanan api yang diperlukan untuk sistem perpipaan yang diisi air agar dapat memadamkan api lokal dengan durasi singkat. Fungsi sistem harus dapat dipulihkan, setelah api dipadamkan.

- ***Joint and Repair Method***

Pada setiap system perpipaan pastinya memiliki metode dalam penyambungan suatu pipa. Untuk material pada pipa FRP memiliki metode joint yaitu *Butt and Strap Joint* dan *Key-lock Joint.* Pada *butt and strap joint* merupakan metode pipa sambungan dengan laminasi. Biasanya terdiri dari beberapa lapis penguatan matt dan/atau roving tenun jenuh dengan resin thermosetting atau agen lainnya, sehingga

mengubah laminasi menjadi bahan yang kuat dan kokoh. Kemudian untuk *Key-lock Joint* sambungan dua jenis material yang sama dengan sistem sambungan seperti soket o-ring yang dirangkai dengan kunci penguat. Kemudian untuk HDPE sendiri memiliki metode joint yaitu *Butt Fusion,* dimana metode ini adalah melelehkan dua ujung suatu material yang ingin disambungkan.kemudian metode lainnya ada mechanical joint yaitu dengan menyambungkan *fittings union and rings* penjepit ke ujung pipa dan metode yang terakhir ada *electro fusion* yaitu menghubungkan elektroda yang ada di *electro fusion* ke *electro fittings* dengan indicator persenyawaan.

2.2.8 AHP (*Analytical Hierearchy Process*)

AHP (*Analytical Hierearchy Process)* adalah metode pengambilan keputusan menggunakan perhitungan objektif terhadap beberapa kriteria (Saaty & Vargas, 2012). AHP didesain untuk menangkap secara rasional persepsi orang yang berhubungan erat dengan permasalahan tertentu melalui prosedur yang didesain untuk sampai pada suatu skala preferensi di antara berbagai set alternatif. Analisis ini ditunjukan untuk membuat suatu model permasalahan yang tidak mempunyai struktur, biasanya ditetapkan untuk memecahkan masalah yang terukur (kuantitatif), masalah yang memerlukan pendapat (judgement) maupun pada situasi yang kompleks atau tidak terkerangka, pada situasi dimana data statistik sangat minim atau tidak ada sama sekali dan hanya bersifat kualitatif yang didasari oleh persepsi, pengalaman ataupun intuisi (Sasongko, et al., 2017). Jumlah responden terhadap analisis ini sangat fleksibel, jika keputusan bersama para responden masuk dalam konstruksi hirarki. AHP merupakan keputusan kelompok (group decision making). Tidak harus banyak jumlahnya, yang terpenting *pairwise comparasion* harus konsisten.

- **Prinsip-prinsip Dasar AHP**

Menurut Saaty (2008), terdapat empat aksioma yang terkandung dalam model AHP:

1. *Reciprocal Comparison*

Pengambilan keputusan harus dapat memuat perbandingan dan menyatakan preferensinya. Prefesensi tersebut harus memenuhi syarat

resiprokal yaitu apabila alternatif pertama lebih disukai daripada alternatif kedua dengan skala x, maka alternatif kedua lebih disukai daripada alternatif pertama dengan skala 1/x.

2. *Homogenity*

Preferensi seseorang harus dapat dinyatakan dalam skala terbatas atau dengan kata lain elemen- elemennya dapat dibandingkan satu sama lainnya. Jika aksioma ini tidak dipenuhi maka elemen-elemen yang dibandingkan tersebut tidak homogen dan harus dibentuk cluster (kelompok elemen) yang baru.

3. Independence

Preferensi dinyatakan dengan mengasumsikan bahwa kriteria tidak dipengaruhi oleh alternatif-alternatif yang ada melainkan oleh objektif keseluruhan. Hal ini berarti perbandingan antara elemen-elemen dalam satu tingkat dipengaruhi atau tergantung oleh elemen-elemen pada tingkat diatasnya.

4. *Expectation*

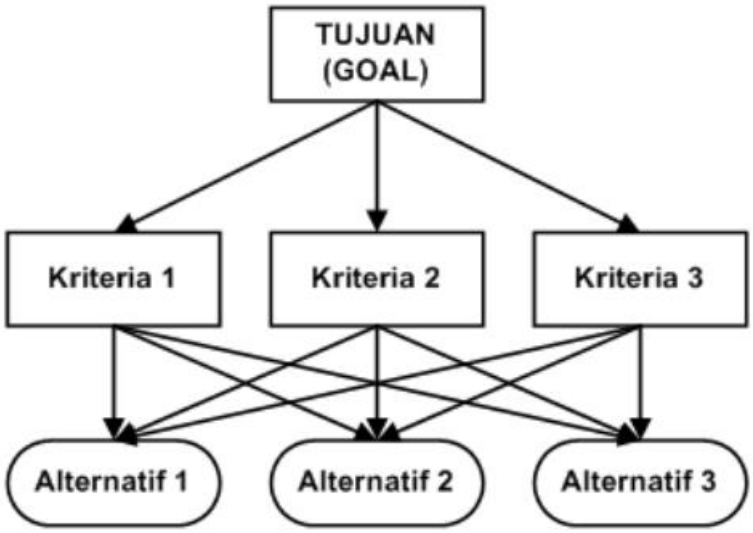
Struktur hirarki diasumsikan lengkap. Apabila asumsi ini tidak dipenuhi maka pengambil keputusan tidak memakai seluruh kriteria atau objectif yang tersedia atau diperlukan sehingga keputusan yang diambil dianggap tidak lengkap.

- **Langkah-Langkah Perhitungan AHP**

Berikut merupakan langkah dalam melakukan perhitungan AHP menurut Saaty (2008).

1. Memodelkan masalah kedalam bentuk hierarki

Pada tahap ini ditetapkan tujuan (*goal)* pengambilan keputusan, alternatif-alternatif untuk mencapai tujuan tersebut, dan kriteria-kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi alternatif. Ketiga hal tersebut disusun kedalam hierarki seperti ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 2. 1 Struktur Hierarki AHP

2. Penentuan prioritas untuk masing-masing elemen dalam hierarki

Tahap selanjutnya adalah menentukan prioritas elemen dalam hierarki. Prioritas merupakan nilai yang menunjukkan level kepentingan dari suatu kriteria atau alternatif. Penentuan prioritas dilakukan dengan cara melakukan perbandingan antar kriteria dan perbandingan antar alternatif terhadap masing-masing kriteria. Perbandingan antar kriteria dimaksudkan untuk mendapatkan bobot untuk masing-masing kriteria. Sementara perbandingan antar alternatif untuk setiap kriteria dimaksudkan untuk melihat seberapa penting suatu pilihan dilihat dari kriteria tertentu.

Prioritas ditentukan berdasarkan *judgement* menggunakan *pairwise comparison* antar kriteria atau alternatif. Perbandingan diimplementasikan menggunakan *saaty preference scales yaitu* skala satu sampai sembilan yang mengikuti prinsip berikut.

Tabel 2. 4 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua Elemen Sama Penting (*Equally Importance)*
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya (*Slightly More Importance)*
5	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen yang lainnya (*Materially More Importance)*
7	Satu elemen jelas lebih penting daripada elemen lainnya (*Significantly More Importance)*
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai - nilai di antara dua nilai pertimbangan - pertimbangan yang berdekatan (*Compromising Values*)

Sumber: (Saaty, 2008)

3. Melakukan sintesis terhadap keseluruhan prioritas dalam hierarki

Pada tahap ini, dilakukan kalkulasi setiap kriteria terhadap masing-masing alternatif. Untuk memilih alternatif tertentu, *decision maker* mempertimbangkan keterpenuhan tiap-tiap kriteria sehingga didapatkan hasil akhir berupa nilai keseluruhan untuk masing-masing alternatif.

4. Membuat matriks berpasangan

Untuk setiap kriteria dan alternatif, kita harus melakukan perbandingan berpasangan (pairwaise comparison) yaitu membandingkan setiap elemen dengan elemen lainnya pada setiap tingkat hirarki secara berpasangan sehingga didapat nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk pendapat kualitatif. Untuk mengkuantifikasikan pendapat kualitatif tersebut digunakan skala penilaian sehingga akan diperoleh nilai pendapat dalam bentuk angka (kuantitatif). Nilai-nilai perbandingan relatif kemudian diolah untuk menentukan peringkat relatif dari seluruh alternatif. Kriteria

kualitatif dan kriteria kuantitatif dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan ranking dan prioritas. Proses yang paling menentukan dalam menentukan bobot elemen dengan menggunakan AHP adalah menentukan besarnya prioritas antar elemen. Karena itu seringkali terjadi pembahasan yang alot antar anggota tim implementasi sistem pengelolaan kinerja mengenai masalah tersebut. Hal ini dikarenakan tiap-tiap anggota tim memiliki persepsi tersendiri mengenai prioritas masing-masing elemen. Dan apabila di dalam sebuah tim terjadi berbeda pendapat dalam pemberian nilai kepentingan relatif antar elemen, maka dapat digunakan rataan geometrik untuk mengabungkan pendapat mereka pada saat memasukan nilai kepentingan tersebut ke dalam matrix. Rumus rataan geometrik adalah sebagai berikut;

Rataan Geometris = $\sqrt[i]{R_1 \times \ldots \times R_i}$

Ket :

R = Jawaban Responden dari Kuesioner

i = Jumlah Responden

Perbandingan dilakukan berdasarkan kebijakan pembuat keputusan dengan menilai tingkat kepentingan satu elemen terhadap elemen lainnya Proses perbandingan berpasangan, dimulai dari level hirarki paling atas yang ditujukan untuk memilih kriteria, misalnya A, kemudian diambil elemen yang akan dibandingkan, misal A1, A2 dan A3. Maka susunan elemen-elemen yang dibandingkan tersebut akan tampak seperti pada gambar matriks di bawah ini :

Tabel 2. 5 Contoh matriks perbandingan berpasangan

	A1	A2	A3
A1	1	½	1/3
A2	2	1	1/4
A3	3	4	1

Untuk menentukan nilai kepentingan relatif antar elemen digunakan skala bilangan dari 1 sampai 9 seperti pada Tabel 2.1, Penilaian

ini dilakukan oleh seorang pembuat keputusan yang ahli dalam bidang persoalan yang sedang dianalisa dan mempunyai kepentingan terhadapnya. Apabila suatu elemen dibandingkan dengan dirinya sendiri maka diberi nilai 1. Jika elemen i dibandingkan dengan elemen j mendapatkan nilai tertentu, maka elemen j dibandingkan dengan elemen i merupakan kebalikannya. Cara mengisinya adalah dengan menganalisa prioritas antara elemen baris dibandingkan dengan elemen kolom. Dalam prakteknya kita hanya perlu menganalisa prioritas elemen yang terdapat dibawah pada garis diagonal (kotak dengan warna dasar putih) yang ditunjukan dengan warna biru atau diatas garis diagonal yang ditunjukan dengan kotak warna hijau.

5. Penentuan nilai bobot prioritas

Baik kriteria kualitatif, maupun kriteria kuantitatif, dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan bobot dan proritas. Bobot atau prioritas dihitung dengan manipulasi matriks atau melalui penyelesaian persamaan matematik.

Selanjutnya adalah mencari nilai bobot untuk masing-masing elemen. Caranya adalah dengan melakukan penjumlahan setiap nilai bobot prioritas pada setiap baris tabel dibagi dengan jumlah elemen.

Sehingga diperoleh bobot masing-masing elemen. Sehingga jumlah total bobot semua elemen = 1 (100%) sesuai dengan kaidah pembobotan dimana jumlah total bobot harus bernilai 100. Kaidah pembobotan menyatakan bahwa:

1. Nilai bobot KPI berkisar antara 0 - 1 atau antara 0% - 100% jika kita menggunakan prosentase.

2. Jumlah total bobot semua KPI harus bernilai 1 (100%)

3. Tidak ada bobot yang bernilai negatif (-). Hasil perbandingan berpasangan AHP dalam bobot prioritas yang mencerminkan relatif pentingnya elemen-elemen dalam hirarki. Terdapat tiga jenis bobot

prioritas yaitu: - Local priority weights (LPW), menyatakan relatif pentingnya sebuah elemen dibandingkan dengan induknya (Aplikasi untuk level A, B dan C). - Average priority weights (APW), menyatakan relatif pentingnya sebuah elemen dibandingkan dengan satu set induknya (Aplikasi hanya untuk level B) - Global priority weights (GPW), menyatakan relatif pentingnya sebuah elemen terhadap tujuan keseluruhan (Aplikasi untuk semua level).

6. Pengecekan tingkat konsistensi

Pengecakan tingkat konsistensi dilakukan untuk memastikan bahwa tidak terjadi input yang saling berlainan. Nilai inkonsistensi ini harus berada dibawah 10%. AHP menurut Saaty juga memberikan pertimbangan terhadap pertanyaan mengenai logika konsistensi dari evaluator. Indeks konsistensi (CI) adalah perhitungan matematis untuk setiap perbandingan berpasangan---matrik perbandingan. CI ini menyatakan deviasi konsistensi. Kemudian indeks acak (Random index/RI), sebagai hasil dari respon acak yang mutlak dibagi dengan CI dihasilkan rasio konsistensi (CRs). Semakin tinggi CRs maka semakin rendah konsistensi, demikian juga sebaliknya.

Semua elemen dikelompokkan secara logis dan diperingatkan secara konsisten sesuai dengan suatu kriteria yang logis. Matriks bobot yang diperoleh dari hasil perbandingan secara berpasangan tersebut harus mempunyai hubungan kardinal dan ordinal.Hubungan tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut (Suryadi & Ramdhani, 1998):

- Hubungan kardinal : aij . ajk = aik
- Hubungan ordinal : Ai > Aj, Aj > Ak maka Ai > Ak

a. Hubungan diatas dapat dilihat dari dua hal sebagai berikut : a. Dengan melihat preferensi multiplikatif, misalnya bila anggur lebih enak empat kali dari mangga dan mangga lebih enak dua kali dari pisang maka anggur lebih enak delapan kali dari pisang.

b. Dengan melihat preferensi transitif, misalnya anggur lebih enak dari mangga dan mangga lebih enak dari pisang maka anggur lebih enak dari pisang.

Pada keadaan sebenarnya akan terjadi beberapa penyimpangan dari hubungan tersebut, sehingga matriks tersebut tidak konsisten sempurna. Hal ini terjadi karena ketidakkonsistenan dalam preferensi seseorang. Penghitungan konsistensi logis dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

a. Mengalikan matriks awal dengan nilai bobot proritas bersesuaian. b. Menjumlahkan hasil perkalian per baris. c. Hasil penjumlahan tiap baris dibagi nilai bobot prioritas bersangkutan dan hasilnya dijumlahkan. d. Hasil c dibagi jumlah elemen, akan didapat λ maks.

e. Indeks Konsistensi (CI) = $CI = \frac{\lambda \text{ maks} - n}{n-1}$ ……(2.9)

f. Rasio Konsistensi = CR = $\frac{CI}{RI}$ ……(2.10)

di mana RI adalah indeks random konsistensi, dilihat dari tabel Random Indeks dibawah sesuai dengan ukuran n. Jika rasio konsistensi ≤ 0.1, hasil perhitungan data dapat dibenarkan/konsisten. Daftar RI dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 6 Random index

Ukuran Matriks (n)	Nilai RI
1,2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59

7. Pengambilan keputusan final

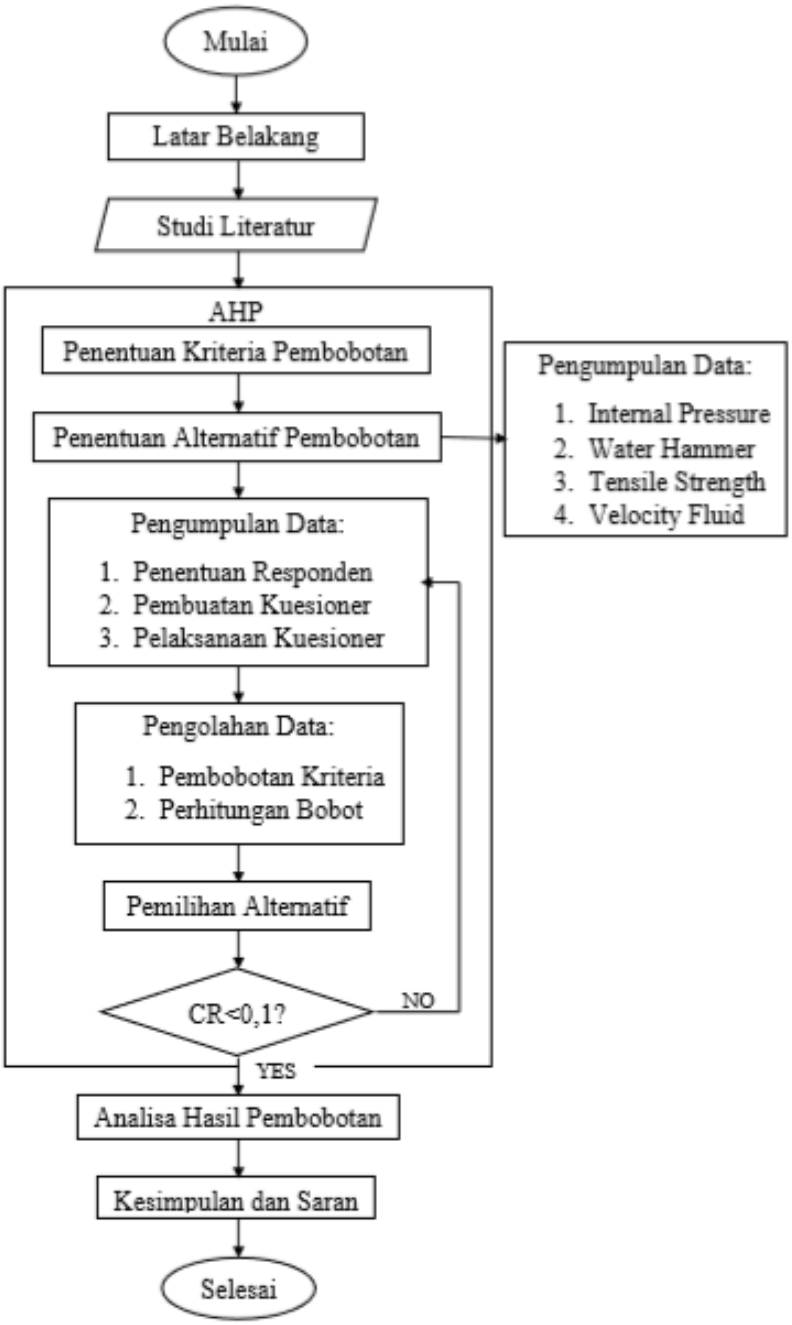
Selanjutnya *decision maker* dapat melakukan pengambilan keputusan jika telah melaksanakan semua proses ini dan dipatkan nilai tingkat inkonsistensi dibawah 10%.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi untuk melakukan penelitian ini. Gambar berikut adalah diagram alir (*flowchart*) dalam pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 3. 1 *Diagram Alir*

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Penjelasan dari diagram alir metodologi penelitian tugas akhir berjudul *Material Selection* pada Pipa *Fire Water* ini adalah sebagai berikut:

a. Latar Belakang

Pada tahap latar belakang ini, penulis melakukan suatu analisis rencana proyek untuk tahun 2020 terkait masalah pipa *firewater* yang ingin diganti oleh PT B. lalu penulis mencari rumusan masalah apa saja yang ingin dibahas dari identifikasi masalah dari pipa tersebut dan menentukan tujuan penelitian ini dengan diskusi Bersama dosen pembimbing. Kemudian dalam tahapan ini juga ditentukan batasan yang dilakukan dalam pemecahan masalah sehingga penelitian dapat lebih terfokuskan.

b. Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur data sebagai bahan – bahan referensi yang digunakan untuk acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literatur ini akan dilakukan dengan mempelajari dan memahami laporan tugas akhir, jurnal, buku – buku yang berkaitan dengan rumusan masalah tugas akhir ini.

c. AHP (*analytical hierarchy process)*

Setelah melihat perencanaan proyek 2020 PT B. selanjutnya membangun susunan hierarki dengan metode AHP. Dengan AHP nanti akan terbentuk alternatif – alternatif material yang cocok untuk pipa *fire water*. Dalam alternatif tersebut akan tersusun kriteria – kriteria material yang sesuai dengan *general specification* PT. B. yang nantinya akan disusun sebagai langkah awal melakukan analisis dengan metode AHP.

d. Penentuan Kriteria AHP

Dalam tahapan ini, akan dilakukan pembentukan kriteria yang dibuat berdasarkan studi literatur dan data literatur yang didapat. Kriteria penilaian adalah kriteria-kriteria yang digunakan sebagai dasar dalam membuat alternatif pilihan dari struktur organisasi perusahaan. Kriteria ini adalah hasil *requirement* yang sesuai dengan *codes* dan *genereal specification* PT. B.

e. Penentuan Alternatif Material

Pembentukan alternatif material diawali dengan menganalisis kekuatan material. Penentuan kekuatan material tersebut didapatkan berdasarkan *standard and codes* dari masing material dan testnya. Selanjutnya mencari kelebihan dan keunggulan, *cost, maintainability* dan lain sebagainya yang menunjang alternative material

f. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melaksanakan 3 tahapan. Tahapan tersebut dimulai dengan penentuan responden. Responden yang dipilih adalah responden yang mengerti akan kebutuhan perusahaan serta yang memiliki kepentingan langsung terhadap perusahaan. Tahap kedua adalah dengan pembuatan kuesioner dengan menggunakan skala *Saaty*. Kuesioner yang dibuat akan disesuaikan dengan kebutuhan pengolahan data untuk pembuatan matriks berpasangan. Tahap terakhir adalah dengan menyebarkan kuesioner yang telah dibuat ke seluruh target responden yang telah ditentukan.

g. Pengolahan Data

Pengolahan data adalah tahap lanjutan dari pengumpulan data. Data yang sebelumnya telah dikumpulkan selanjutnya akan diolah sesuai dengan metode AHP. Untuk lebih sederhana, pengolahan dibagi kedalam dua tahapan yang dimulai dengan melakukan pembobotan kriteria yang telah dibuat sebelumnya. Pembobotan kriteria didapat berdasarkan hasil kuesioner yangtelah dibagikan. Langkah terakhir adalah dengan perhitungan bobot sehingga didapat bobot kepentingan dari tiap alternatif pilihan untuk dimasukkan dalam pemilihan alternatif dengan *software expert choice*.

h. Pemilihan Alternatif

Setelah dilakukan pengumpulan terhadap alternatif pilihan struktur organisasi, selanjutnya dilakukan pemilihan alternatif dengan menggunakan *software expert choice*. Dengan bantuan *software* tersebut diharapkan hasil pemilihan lebih terkalkulasi dengan lebih baik dibanding dengan pemilihan alternatif secara manual. Hasil pemilihan alternatif dengan *expert choice* diharapkan dapat menjadi pilihan yang paling tepat bagi perusahaan.

i. Pengecekan Tingkat Konsistensi

Pada tahap ini dilakukan pengecekan tingkat konsistensi untuk memastikan bahwa nilai ini dibawah 10% yang menunjukkan penerimaan hasil pemilihan alternatif. Jika nilai ini berkisar diatas 10%, maka *judgement* dari responden dinyatakan tidak konsisten dan perlu melakukan pengumpulan data ulang.

j. Analisa Hasil

Pada tahap ini dilakukan analisa untuk menginterpretasikan hasil dari metode AHP dengan bantuan *software expert choice* untuk mengetahui hasil dari pembobotan kriteria dan alternatif dari material pipa yang direncanakan.

k. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran dibuat berdasarkan hasil dari pengolahan data dan pemilihan alternatif pada penelitian ini. Kesimpulan yang dirumuskan digunakan untuk menjawab tujuan penelitian dan saran dibuat berdasarkan usulan bagi PT. B. dalam mempertimbangkan pemilihan material.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kriteria Penilaian

Kriteria penilaian adalah kriteria yang digunakan untuk mengetahui kebutuhan utama dalam pemilihan alternatif jenis material. Kriteria penilaian ini didapatkan berdasar hasil brainstorming dengan menggunakan kriteria pada umumnya atau secara general dimana ditiap perusahaan juga menggunakan spesifikasi yang berbeda-beda namun umum. Berdasarkan hasil brainstorming dengan pembimbing dan melihat *general specification* PT.B, didapatkan beberapa kriteria dalam pembentukan alternatif material sebagai berikut:

1. *Cost* (biaya)

   Pemilihan alternatif material sangat membutuhkan manajemen keuangan. Alternatif yang baik tidak akan maksimal jika memakan biaya yang besar untuk direalisasikan. Biaya dari jenis material mencangkupi biaya investasi dan biaya pemeliharaan.

2. *Maintainability* (Pemeliharaan)

   Adalah kemampuan memelihara suatu sistem yang memiliki kemungkinan suatu sistem pada pipa *firewater* yang ingin disambung atau yang rusak untuk diperbaiki (*joint and repair*), atau dikembalikan pada kondisi kerja penuh dalam suatu periode waktu yang ditentukan. Hal ini sangat diperlukan dalam penentuan alternatif material sebagai jangka panjang.

3. Teknik

   Kriteria ini merupakan karakteristik seperti kekuatan (*strength*), kekakuan (*modulus young*), *lifetime/fatigue, thermal conductivity* dan juga korosifitas. Kriteria ini juga sangat penting dan juga menunjang kegunaan sebagai parameter pemakaian.

4.2 Alternatif Pemilihan Material

Alternatif pemilihan material dibuat berdasarkan latar belakang yang dimana perusahaan ingin mengganti material pada pipa *firewater* yang awalnya dengan material *carbon steel* dengan tipe ASTM A53 grade B, ASTM A106 grade B dan

API 5L grade B yang rencana akan diganti dengan material berbahan plastik, juga telah dibahas sebelumya pada bab 2 yaitu material HDPE Rucika *Black Series* dan FRP *Ameron Bondstrand 2412 series*. Pada penelitian ini material *carbon steel* juga dibandingkan dengan dua material berbahan plastik ini agar lebih komprehensif dan juga membuktikan apakah material *carbon steel* ini perlu untuk diganti atau tidak. Ketiga material tersebut akan dijadikan bahan pertimbangan oleh beberapa ahli yang ahli pada bidang material yang merupakan *inspection and corrosion engineer* di PT. B Bontang dan ada yang juga berkerja sebagai *inspection and utilities train engineer* di PT B Bontang. Kemudian ada yang bekerja sebagai dosen mata kuliah komposit dan polimer di teknik material ITS dan ada 2 orang yang berkerja sebagai dosen di teknik kelautan ITS. Dari 3 jenis material yang dijelaskan pada bab 2 akan dipilih 1 jenis material yang sesuai karena untuk menentukan layak atau tidak layaknya pipa *firewater* sebagai pengganti material. Dan jika hasilnya masih condong pada material *carbon steel* maka tidak perlu untuk diganti material pipa *firewater*. Berikut ini adalah 3 alternatif yang telah dibuat sesuai dengan kebutuhan perusahaan:

1. Alternatif *Carbon Steel*

   Jenis material yang pertama adalah material *carbon steel* ASTM A53 grade B, ASTM A106 grade B, API 5L grade B. Berikut bentuk alternatif material *carbon steel*:

Gambar 4. 1 Alternatif Carbon Steel

   Pada alternatif material *carbon steel* ini sudah digunakan tetapi material ini akan digunakan sebagai pembanding. Terdapat 3 tipe material sesuai standar yaitu *carbon steel API 5L grade B, ASTM A106 grade B, dan ASTM A53 grade B.* kemudian 3 tipe material ini memiliki sifat mekanik

yang sama yaitu *tensile* strength 415 MPa dan *yield strength* 240 MPa dan material ini memiliki sifat fisik yang sama.

Tabel 4. 1 Sifat fisik material carbon steel

Material	Carbon Steel (API 5L Grade-B: SCH 30)
Thermal Conductivity, k	54 W/m.°C
Specific Heat Capacity, c_p	502.4 J/kg. °C
Density, ρ	7850 kg/m^3
Nominal Diameter, D_n	300.0 mm or 12.00 in
Outer Diameter, D_o	323.8 mm or 12.72 in
Pipe Wall Thickness, t	8.38 mm or 0.330 in
Initial Pipe Wall Temperature, $T_{initial}$	25°C

Kelebihan pada material ini adalah pada saat ini material *carbon steel* ini sudah dan masih diaplikasikan pada *firewater system*. Tetapi karena sering terjadi berbagai masalah maka tipe material akan dijadikan acuan sebagai pembanding 2 jenis material plastik yang akan dinilai.

2. Alternatif *Fiber Reinforced Polymer*

   Jenis material kedua yang akan dibandingkan adalah *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) dari produk *Ameron Bondstrand* seri 2412. Berikut bentuk dari material FRP:

Gambar 4. 2 Alternatif fiber reinforce polymer

Pada alternatif material *fiber reinforced polymer* ini kelebihannya adalah material ini pernah digunakan pada suatu sistem yang berbeda yaitu untuk pipa *cooling water system* atau pipa pendingin dan jarang sekali ada masalah pada pipa yang digunakan pada *cooling water system* ini. Pada data dari *inspection report* PT.B. Bontang dalam kurun waktu tahun 2015

hingga 2019 terjadinya *leak* hanya 5 kali, korosi tidak pernah, dan *crack/rupture* sebanyak 3 kali. Bisa dikatakan bahwa sifat mekanik dan sifat fisik dari material *fiber reinforced polymer* dengan resin *epoxy* ini cukup bagus dan dapat dilihat pada gambar dibawah.

Tabel 4. 2 Sifat mekanik dan sifat fisik material FRP ameron bondstrand 2412

Pipe property	Units	Value
Thermal conductivity	W(m•k)	.33
Thermal expansivity (lineair)	10^{-6} mm/mm/°C	18.0
Flow coefficient	Hazen-Williams	150
Absolute roughness	10^{-6} m	5.3
Density	g/cm³	1.8
Shielding capability*	volts	100[1]
Grounding resistance @1500 volts*	10^{6} ohms	1.0[1]

* Applicable for conductive

Pipe property	Units	21°C	93°C
Bi-axial			
Ultimate hoop stress at weeping	N/mm²	250	—
Circumferential			
Hoop tensile strength	N/mm²	220	—
Hoop tensile modulus	N/mm²	25200	22100
Poisson's ratio axial/ hoop	—	0.65	0.81
Longitudinal			
Axial tensile strength	N/mm²	80	65
Axial tensile modulus	N/mm²	12500	9700
Poisson's ratio hoop/ axial	—	0.40	0.44
Axial bending strength	N/mm²	85	—
Beam			
Apparent elastic modulus	N/mm²	12500	8000
Hydrostatic Design Basis			
Static	N/mm²	—	124*
Cyclic	N/mm²	41.5*	—

* at 65°C

3. Alternatif *High Density Polyethylene* (PE 100)

   Pada jenis material yang ketiga ini *high density polyethylene* (HDPE) ini dari produk *rucika black series* (PE 100). Berikut bentuk dari material HDPE (PE 100):

Gambar 4. 3 Alternatif fiber reinforce polymer

Pada alternatif material *high density polyethylene* ini kelebihannya adalah material ini adalah memiliki densitas atau kerapatan yang sangat tinggi. Di PT B. material ini memang belum digunakan sebagai pipa – pipa lain pada umumnya. Berikut adalah ciri – ciri sifat mekanik dan sifat fisik dari pipa *high density polyethylene rucika black* (PE 100):

Tabel 4. 3 Sifat mekanik dan sifat fisik material HDPE rucika black series

Material Property

Property	Units	PE 100
Density	g/cm^3	> 0.959
Poisons Ratio	-	0.4
Melt Flow Rate		
(190°C/ 2.16 Kg)	g/10 min	< 0.15
(190°C/ 5 Kg)	g/10 min	< 0.5
Tensile Strength		
At Yield	Mpa	23
Elongation at Break	%	> 600
Modulus of Elasticity	Mpa	1000
Softening Point	°C	124
Brittleness Temp	°C	< -100
Coefficient of Linear Expansion	$°C^{-1}$	1.3×10^{-4}
Thermal Conductivity	°C	0.4

4.2.1 Perhitungan *Formula* pada Alternatif Material FRP

Agar dari masing - masing alternatif ini bisa dikatakan sesuai, maka perlu dilakukan perhitungan *requirement* pipa *fire water* yang menunjang di PT. B. Untuk altenatif pipa *fiber reinforced polymer*

A. Design Internal Pressure

Berdasarkan AWWA M45 dengan formula *design internal pressure* dibawah ini *pressure working* telah diketahui melalui general specification *fire water* PT B. dengan pressure working 150 Psig, kemudian *Hydrostatic Design Basis* atau HDB yang diketahui dari produk data Ameron Bondstrand series 2412 adalah sebesar 120 Mpa yang dikonversikan menjadi 17404,5 Psig. Lalu minimum design factor sebesar 1,8 karena untuk menyesuaikan standar dari AWWA M45 dan thickness liner sesuai dengan produk data sebesar 0,5 mm.

$Pc = 150 \leq (HDB\ FS)\ \ (2t\ D)$

D = ID + 2tL + t

Dimana pada formulasi ini:

Pc = pressure class, psi

HDB = hydrostatic design basis, psi,

F S = minimum design factor, 1.8

t = thickness of pipe reinforced wall per ASTM D3567, in.

D = mean pipe diameter, in

tL = thickness of liner (when used), in.

ID = inside diameter, in.

Diketahui:

Pw = 150 Psig (AF2U Piping Class)

HDB = 120 Mpa = 17404,5 Psig (Ameron series 2412)

FS = 1,8 (AWWA M45)

tL = 0,5 mm (Ameron Bondstrand series 2412)

maka didapat hasil pada table sebagai berikut:

Tabel 4. 4 hasil perhitungan Design Internal Pressure FRP

NPS		Pipe ID	t Series 2412	D	Pw	Note	Pc
mm	in	mm	mm	mm	psig		
50	2	53,2	2,3	56,5	150	APPLICABLE	787,2242
80	3	81,8	2,3	85,1	150	APPLICABLE	522,6577
100	4	105,2	2,3	108,5	150	APPLICABLE	409,937
150	6	159	2,7	162,7	150	APPLICABLE	320,9189
200	8	208,8	3,2	213	150	APPLICABLE	290,529
250	10	262,9	3,9	267,8	150	APPLICABLE	281,6262
300	12	313,7	4,5	319,2	150	APPLICABLE	272,6269
350	14	344,4	4,8	350,2	150	APPLICABLE	265,06
400	16	393,7	5,5	400,2	150	APPLICABLE	265,7692
450	18	433,8	6	440,8	150	APPLICABLE	263,226
500	20	482,1	6,6	489,7	150	APPLICABLE	260,6351
600	24	578,6	7,7	587,3	150	APPLICABLE	253,5419
700	28	700	9,1	710,1	150	APPLICABLE	247,8226
750	30	750	9,7	760,7	150	APPLICABLE	246,5911
800	32	800	10,3	811,3	150	APPLICABLE	245,5132
900	36	900	11,5	912,5	150	APPLICABLE	243,716
1000	40	1000	12,8	1013,8	150	APPLICABLE	244,1612

Hasilnya jika dirata-rata Pc adalah 318,915 maka 150 Psig $\leq$ 318,915 Psig. Dari sisi perhitungan design internal pressure maka produk data ini bisa diterima

B. *Hoop Tensile Stress*

Berdasarkan AWWA M45 dengan formula design *hoop tensile stress* dibawah ini pressure working telah diketahui melalui *general specification* fire water PT B. dengan pressure working 150 Psig, kemudian untuk hoop tensile strength sudah diketahui melalui produk data Ameron Bondstrand series 2412 sebesar 220 N/mm²

$S = P\ (D - t)\ 2t$

D = OD - t

dimana pada formula ini:

S = design hoop stress, psi

D = average reinforced OD, in.

P = internal pressure, psig

t = minimum reinforced wall thickness, in.

diketahui:

P = 150 Psig

Hoop Tensile Strength = 220 N/mm²

maka didapat hasil pada table sebagai berikut:

Tabel 4. 5 perhitungan Hoop Tensile Stress FRP

NPS		Pipe ID	t Series 2412	Pipe OD	D	S	NOTE
mm	in	mm	mm	mm	mm	N/mm²	
50	2	53,2	2,3	57,8	55,5	11,961	APPLICABLE
80	3	81,8	2,3	86,4	84,1	18,391	APPLICABLE
100	4	105,2	2,3	109,8	107,5	23,652	APPLICABLE
150	6	159	2,7	164,4	161,7	30,452	APPLICABLE
200	8	208,8	3,2	215,2	212	33,741	APPLICABLE
250	10	262,9	3,9	270,7	266,8	34,858	APPLICABLE
300	12	313,7	4,5	322,7	318,2	36,048	APPLICABLE
350	14	344,4	4,8	354	349,2	37,102	APPLICABLE
400	16	393,7	5,5	404,7	399,2	37,015	APPLICABLE
450	18	433,8	6	445,8	439,8	37,387	APPLICABLE
500	20	482,1	6,6	495,3	488,7	37,772	APPLICABLE
600	24	578,6	7,7	594	586,3	38,857	APPLICABLE
700	28	700	9,1	718,2	709,1	39,777	APPLICABLE
750	30	750	9,7	769,4	759,7	39,982	APPLICABLE
800	32	800	10,3	820,6	810,3	40,164	APPLICABLE
900	36	900	11,5	923	911,5	40,469	APPLICABLE
1000	40	1000	12,8	1025,6	1012,8	40,399	APPLICABLE

Hasilnya sangat sesuai karena hoop tensile stress tiap NPS tidak mencapai hoop tensile strength (220 N/mm²). jadi dari sisi perhitungan formula untuk hoop tensile stress produk ini sangat sesuai.

C. *Design Velocity Fluids*

Menurut AWWA M45 dengan formula design fluid velocity kecepatan maksimum water flow velocity adalah 3 m/s yang sesuai dengan standar general specification fire water PT B. dan juga diketahui flow rate dari masing-masing pompa yang ada di PT B.

d = 0,321 [

Q $(SG)2$

]0,434

v = 0,409 (Q/$d2$)

d = internal pipe diameter, in.

Q = flow rate, gpm

SG = fluid specific gravity, dimensionless (1 for water)

v = fluid velocity, ft/s

Tabel 4. 6 Perhitungan Design Velocity Fluid FRP

no	Pompa	Q	d	v	Note
		gpm	m	m/s	
1	33-GM-2	150	0,071787	0,749999	APPLICABLE
2	33-GM-1A/B	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
3	33-GE-4	4000	0,298482	1,156881	APPLICABLE
4	33-GE-3	1000	0,16354	0,963422	APPLICABLE
5	33-GE-15	1000	0,16354	0,963422	APPLICABLE
6	33-GM-9	132	0,067913	0,73745	APPLICABLE
7	33-GM-10	132	0,067913	0,73745	APPLICABLE
8	33-GE-11	700	0,140086	0,919114	APPLICABLE
9	33-GM-15A / 15B	150	0,071787	0,749999	APPLICABLE
10	33-GE-11A / 11B	4000	0,298482	1,156881	APPLICABLE
11	33-GM-11C	4000	0,298482	1,156881	APPLICABLE
12	33-GM-03A	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
13	33-GM-03B	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
14	33-GE-03C	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
15	33-GE-03D	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
16	33-GE-05A	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
17	33-GE-05B	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
18	33-GE-05C	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
19	33-GE-05D	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
20	33-GE-16A	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
21	33-GE-16B	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
22	33-GE-16C	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
23	33-GE-16D	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE

D. *Water Hammer*

Berdasarkan AWWA M45 dengan formula water hammer dibawah ini densitas air adalah 62,428 lb/ft³ karena telah diketahui melalui standar AWWA M45 dan dengan gravitational constant 32,2 ft/s² dan bulk modulus of compressibility of liquid water sebesar 300.000 psi, kemudian untuk modulus of elasticity of pipe wall nya diketahui dari produk data ameron bondstrand series 2412 adalah 12500 N/mm² saat suhu 21˚C dan 9700 N/mm² saat 93˚C.

Ps = (a/g) (SG/2.3) (Δv)

a = 12 / [(ρ/g) (1/k + d/E (t))] 0,5

Ps = pressure surge deviation normal, psig

a = wave velocity, ft/s

Δv = change in flow velocity, ft/s

ρ = fluid density, lb/ft3

SG = fluid specific gravity, dimensionless

k = bulk modulus of compressibility of liquid, psi (300,000 psi for water)

E = modulus of elasticity of pipe wall, psi

d = pipe ID, in.

t = pipe wall thickness, in.

g = gravitational constant, 32.2 ft/s2

diketahui:

ρ = 62,428 lb/ft³

g = 32,2 ft/s²

k = 300.000 Psi

E (axial) = 12500 N/mm² ->21°C

= 9700 N/mm² -> 93˚C

Pada perhitungan formula water hammer ini diambil data velocity dari pompa 33 – GM – 2, 33 – GM – 1A/B, 33 – GM – 4, 33 – GM – 15, 33 – GM – 10, 33 – GM – 11, 33 – GM – 15A/15B, 33 – GM – 03A dan 33 – GM – 05A (Tertera pada lampiran). berikut adalah perhitungan tiap pompa:

Tabel 4. 7 perhitungan water hammer pada pompa 33-GM-2 FRP

33-GM-2								
NPS		Pipe ID	t Series 2412	t series 2421	a 21°	a 93°	Ps -> a 21°	Ps -> 93°
mm	in	mm	mm	in	ft/s	ft/s	psig	psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	35,659	33,574
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	32,042	29,764
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	29,782	27,456
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	24,533	22,278
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	20,662	18,594
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	17,250	15,422
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	14,970	13,335
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	13,934	12,393
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	12,299	10,916
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	11,281	10,000
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	10,255	9,081
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	8,724	7,714
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	7,333	6,477
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	6,872	6,067
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	6,465	5,706
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	5,779	5,099
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	5,204	4,590
						total =	15,473	14,027

Kemudian dilakukan pengecekan dengan formula berikut:

Pc $\geq Pw+Ps$ 1,4

Maka didapatkan hasil pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 8 perhitungan pengecekan water hammer pada saat 21°C dan 93°

a 21°	a 93°	Ps -> a 21°	Pc ≥(Pw+Ps)/1,4	Note	Ps -> 93°	Pc ≥(Pw+Ps)/1,4	Note
ft/s	ft/s	psig			psig		
3521,185	3315,331	58,028	148,591	APPLICABLE	54,636	146,168	APPLICABLE
3164,088	2939,094	52,143	144,388	APPLICABLE	48,435	141,740	APPLICABLE
2940,908	2711,216	48,465	141,761	APPLICABLE	44,680	139,057	APPLICABLE
2422,550	2199,926	39,923	135,659	APPLICABLE	36,254	133,039	APPLICABLE
2040,263	1836,114	33,623	131,159	APPLICABLE	30,259	128,756	APPLICABLE
1703,375	1522,892	28,071	127,194	APPLICABLE	25,097	125,069	APPLICABLE
1478,271	1316,766	24,361	124,544	APPLICABLE	21,700	122,643	APPLICABLE
1375,937	1223,776	22,675	123,339	APPLICABLE	20,167	121,548	APPLICABLE
1214,495	1077,880	20,014	121,439	APPLICABLE	17,763	119,831	APPLICABLE
1113,958	987,473	18,358	120,255	APPLICABLE	16,273	118,767	APPLICABLE
1012,653	896,689	16,688	119,063	APPLICABLE	14,777	117,698	APPLICABLE
861,473	761,726	14,197	117,283	APPLICABLE	12,553	116,109	APPLICABLE
724,088	639,543	11,933	115,666	APPLICABLE	10,539	114,671	APPLICABLE
678,549	599,128	11,182	115,130	APPLICABLE	9,873	114,195	APPLICABLE
638,352	563,485	10,520	114,657	APPLICABLE	9,286	113,776	APPLICABLE
570,643	503,510	9,404	113,860	APPLICABLE	8,298	113,070	APPLICABLE
513,852	453,259	8,468	113,192	APPLICABLE	7,470	112,478	APPLICABLE
	total =	**25,180**	**125,128**	**APPLICABLE**	**22,827**	**123,448**	**APPLICABLE**

FRP

4.2.2 Perhitungan *Formula* pada Alternatif Material FRP

Agar dari masing - masing alternatif ini bisa dikatakan sesuai, maka perlu dilakukan perhitungan *requirement* pipa *fire water* yang menunjang di PT. B. Untuk altenatif pipa *high density polyethylene.*

A. *Design Internal Pressure*

Berdasarkan AWWA M55 dengan formula *design internal pressure* dibawah ini pressure working telah diketahui melalui general specification fire water PT B. dengan pressure working 150 Psig, kemudian Hydrostatic Design Basis atau HDB yang diketahui dari produk data Rucika Black Series adalah sebesar 1600 Psig. Lalu minimum design factor sebesar 0,5 karena untuk menyesuaikan standar dari AWWA M55 dan thickness liner sesuai dengan produk data sebesar 0,5 mm

Dimana pada formula ini:

$$PC = \frac{2(HDB)(DF)}{DR - 1}$$

HDB = hydrostatic design basis, psi

PC = pressure class, psig

DF = design factor (dimensionless), 0.5 for water applications

DR = dimension ratio (dimensionless)

maka didapat hasil pada table sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan Design Internal Pressure HDPE

NPS		Pipe ID	t Series 2412	D	Pw	Note	Pc
mm	in	mm	mm	mm	psig		
20,000	0,500	23,200	1,900	26,100	150,000	APPLICABLE	167,956
25,000	0,750	26,800	2,300	30,100	150,000	APPLICABLE	162,115
32,000	1,000	35,000	2,900	38,900	150,000	APPLICABLE	159,450
63,000	2,000	66,000	5,800	72,800	150,000	APPLICABLE	162,238
90,000	3,000	94,800	8,200	104,000	150,000	APPLICABLE	160,391
110,000	4,000	119,900	10,000	130,900	150,000	APPLICABLE	160,000
140,000	5,000	148,700	12,700	162,400	150,000	APPLICABLE	159,623
180,000	6,000	187,900	16,400	205,300	150,000	APPLICABLE	160,391
225,000	8,000	233,200	20,500	254,700	150,000	APPLICABLE	160,391
280,000	10,000	278,900	25,400	305,300	150,000	APPLICABLE	159,623
315,000	12,000	312,800	28,600	342,400	150,000	APPLICABLE	159,777
355,000	14,000	348,400	32,200	381,600	150,000	APPLICABLE	159,603
400,000	16,000	400,000	36,300	437,300	150,000	APPLICABLE	159,692
450,000	18,000	450,000	40,900	491,900	150,000	APPLICABLE	159,961
500,000	20,000	500,000	45,400	546,400	150,000	APPLICABLE	159,789
560,000	22,000	560,000	50,800	611,800	150,000	APPLICABLE	159,623
630,000	24,000	630,000	57,200	688,200	150,000	APPLICABLE	159,777
				total =	150,000	APPLICABLE	160,612

Hasilnya jika dirata-rata Pc adalah 160,612 maka 150 Psig $\leq$ 160,612 Psig. Dari sisi perhitungan *design internal pressure* maka produk data ini bisa diterima.

B. *Hoop Tensile Stress*

Berdasarkan AWWA M45 dengan formula design *hoop tensile stress* dibawah ini pressure working telah diketahui melalui *general specification* fire water PT B. dengan pressure working 150 Psig, kemudian untuk hoop tensile strength sudah diketahui melalui produk data Rucika Black Series sebesar 348 N/mm².

S = $P\ (D{-}t)\ 2t$

D = OD - t

dimana pada formula ini:

S = design hoop stress, psi

D = average reinforced OD, in.

P = internal pressure, psig

t = minimum reinforced wall thickness, in.

diketahui:

P = 150 Psig

Hoop Tensile Strength = 348 N/mm²

maka didapat hasil pada table sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Perhitungan Hoop Tensile Stress HDPE

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	Pipe OD mm	D mm	S N/mm2	NOTE
20	0,5	23,2	1,9	27	25,1	6,314	APPLICABLE
25	0,8	26,8	2,3	31,4	29,1	6,025	APPLICABLE
32	1	35,0	2,9	40,8	37,9	6,241	APPLICABLE
63	2	66,0	5,8	77,6	71,8	5,884	APPLICABLE
90	3	94,8	8,2	111,2	103	5,978	APPLICABLE
110	4	119,9	10,0	139,9	129,9	6,200	APPLICABLE
140	5	148,7	12,7	174,1	161,4	6,055	APPLICABLE
180	6	187,9	16,4	220,7	204,3	5,925	APPLICABLE
225	8	233,2	20,5	274,2	253,7	5,882	APPLICABLE
280	10	278,9	25,4	329,7	304,3	5,678	APPLICABLE
315	12	312,8	28,6	370	341,4	5,656	APPLICABLE
355	14	348,4	32,2	412,8	380,6	5,595	APPLICABLE
400	16	400,0	36,3	472,6	436,3	5,698	APPLICABLE
450	18	450,0	40,9	531,8	490,9	5,689	APPLICABLE
500	20	500,0	45,4	590,8	545,4	5,695	APPLICABLE
560	22	560,0	50,8	661,6	610,8	5,700	APPLICABLE
630	24	630,0	57,2	744,4	687,2	5,695	APPLICABLE

Hasilnya sangat sesuai karena hoop tensile stress tiap NPS tidak mencapai hoop tensile strength (348 N/mm²). jadi dari sisi perhitungan formula untuk hoop tensile stress produk ini sangat sesuai.

C. *Design Velocity Fluids*

Menurut AWWA M55 dengan formula *design fluid velocity* kecepatan maksimum water flow velocity adalah 3 m/s yang sesuai dengan standar general specification fire water PT B dan juga diketahui flow rate dari masing-masing pompa yang ada di PT B.

d = 0,321 [Q (SG)2]0,434

v = 0,409 (Q/d2)

d = internal pipe diameter, in.

Q = flow rate, gpm

SG = fluid specific gravity, dimensionless (1 for water)

v = fluid velocity, ft/s

Tabel 4. 11 Perhitungan Design Velocity Fluid HDPE

no	Pompa	Q	d	v	Note
		gpm	m	m/s	
1	33-GM-2	150	0,071787	0,749999	APPLICABLE
2	33-GM-1A/B	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
3	33-GE-4	4000	0,298482	1,156881	APPLICABLE
4	33-GE-3	1000	0,16354	0,963422	APPLICABLE
5	33-GE-15	1000	0,16354	0,963422	APPLICABLE
6	33-GM-9	132	0,067913	0,73745	APPLICABLE
7	33-GM-10	132	0,067913	0,73745	APPLICABLE
8	33-GE-11	700	0,140086	0,919114	APPLICABLE
9	33-GM-15A / 15B	150	0,071787	0,749999	APPLICABLE
10	33-GE-11A / 11B	4000	0,298482	1,156881	APPLICABLE
11	33-GM-11C	4000	0,298482	1,156881	APPLICABLE
12	33-GM-03A	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
13	33-GM-03B	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
14	33-GE-03C	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
15	33-GE-03D	2000	0,220938	1,055729	APPLICABLE
16	33-GE-05A	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
17	33-GE-05B	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
18	33-GE-05C	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
19	33-GE-05D	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
20	33-GE-16A	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
21	33-GE-16B	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
22	33-GE-16C	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE
23	33-GE-16D	6000	0,355911	1,220485	APPLICABLE

D. *Water Hammer*

Berdasarkan AWWA M45 dengan formula water hammer dibawah ini densitas air adalah 62,428 lb/ft³ karena telah diketahui melalui standar AWWA M45 dan dengan gravitational constant 32,2 ft/s² dan bulk modulus of compressibility of liquid water sebesar 300.000 psi, kemudian untuk modulus of elasticity of pipe wall nya diketahui dari produk data ameron bondstrand series 2412 adalah 12500 N/mm² saat suhu 21˚C dan 9700 N/mm² saat 93˚C.

Ps = (a/g) (SG/2.3) (Δv)

a = 12 / [(ρ/g) (1/k + d/E (t))] 0,5

Ps = pressure surge deviation normal, psig

a = wave velocity, ft/s

Δv = change in flow velocity, ft/s

ρ = fluid density, lb/ft3

SG = fluid specific gravity, dimensionless

k = bulk modulus of compressibility of liquid, psi (300,000 psi for water)

E = modulus of elasticity of pipe wall, psi

d = pipe ID, in.

t = pipe wall thickness, in.

g = gravitational constant, 32.2 ft/s2

diketahui:

ρ = 62,428 lb/ft³

g = 32,2 ft/s²

k = 300.000 Psi

E (axial) = 12500 N/mm² ->21°C

= 9700 N/mm² -> 93˚C

Pada perhitungan formula water hammer ini diambil data velocity dari pompa 33 – GM – 2, 33 – GM – 1A/B, 33 – GM – 4, 33 – GM – 15, 33 – GM

– 10, 33 – GM – 11, 33 – GM – 15A/15B, 33 – GM – 03A dan 33 – GM – 05A (Tertera pada lampiran). berikut adalah perhitungan tiap pompa:

Tabel 4. 12 Perhitungan water hammer pada pompa 33-GM-2 HDPE

33-GM-2								
NPS		Pipe ID	t Series 2412	t series 2421	a 21'	a 93'	Ps -> a 21'	Ps -> 93'
mm	in	mm	mm	in	ft/s	ft/s	psig	psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	42,135	40,840
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	40,378	38,806
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	37,089	35,125
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	25,574	23,288
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	19,412	17,425
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	16,104	14,370
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	13,106	11,644
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	10,413	9,222
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	8,432	7,453
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	6,962	6,147
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	6,209	5,480
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	5,554	4,900
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	4,889	4,312
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	4,347	3,833
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	3,918	3,454
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	3,502	3,087
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	3,113	2,744
						total =	14,773	13,655

Kemudian dilakukan pengecekan dengan formula berikut:

Pc $\geq Pw+Ps$ 1,4

Maka didapatkan hasil pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 13 Perhitungan pengecekan water hammer pada saat 21°C dan 93°C HDPE

NPS		Pipe ID	t Series 2412	t series 2421	a 21'	a 93'	Ps -> a 21'	Pc ≥(Pw+Ps)/1,4	Note	Ps -> 93'	Pc ≥(Pw+Ps)/1,4	Note
mm	in	mm	mm	in	ft/s	ft/s	psig			psig		
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	68,566	156,119	NOT APPLICABLE	66,460	154,614	NOT APPLICABLE
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	65,709	154,078	NOT APPLICABLE	63,149	152,249	NOT APPLICABLE
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	60,355	150,253	NOT APPLICABLE	57,160	147,972	APPLICABLE
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	41,618	136,870	APPLICABLE	37,896	134,212	APPLICABLE
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	31,589	129,707	APPLICABLE	28,356	127,397	APPLICABLE
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	26,207	125,862	APPLICABLE	23,385	123,846	APPLICABLE
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	21,328	122,377	APPLICABLE	18,948	120,677	APPLICABLE
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	16,945	119,246	APPLICABLE	15,007	117,862	APPLICABLE
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	13,721	116,943	APPLICABLE	12,129	115,806	APPLICABLE
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	11,329	115,235	APPLICABLE	10,003	114,288	APPLICABLE
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	10,103	114,360	APPLICABLE	8,917	113,512	APPLICABLE
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	9,038	113,598	APPLICABLE	7,974	112,838	APPLICABLE
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	7,956	112,826	APPLICABLE	7,017	112,155	APPLICABLE
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	7,075	112,196	APPLICABLE	6,238	111,599	APPLICABLE
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	6,375	111,697	APPLICABLE	5,620	111,157	APPLICABLE
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	5,699	111,213	APPLICABLE	5,023	110,731	APPLICABLE
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	5,066	110,762	APPLICABLE	4,465	110,332	APPLICABLE
						total =	24,040	124,314	APPLICABLE	22,827	123,015	APPLICABLE

4.3 Analisa Pemilihan Alternatif

Subbab ini akan terbagi dalam dua bagian yaitu proses pengerjaan awal dengan AHP dan dilanjutkan dengan pemilihan alternatif dengan expert choice dengan input hasil pengerjaan AHP.

4.3.1 *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

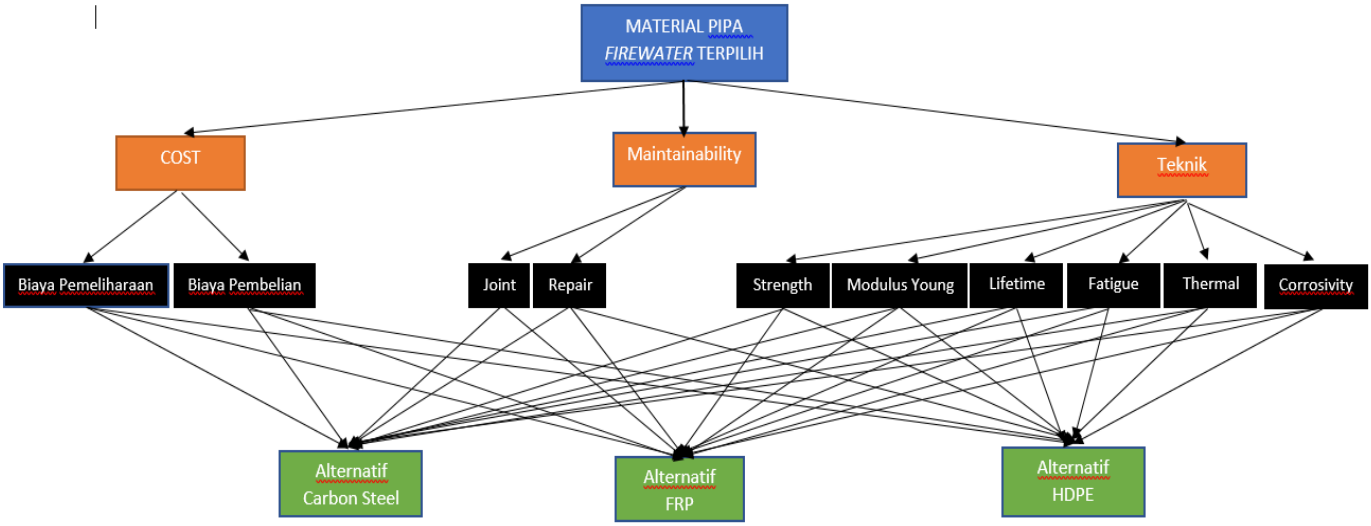
Tahap ini dilakukan melalui 3 proses yaitu identifikasi permasalahan, penyusunan hierarki serta yang terakhir adalah penilaian prioritas yang dilakukan dengan pembagian kuesioner dengan skala Saaty. Berikut ini adalah proses pengerjaannya:

1. Identifikasi Permasalahan

   Permasalahan yang hendak diselesaikan dalam pengerjaan penelitian ini adalah bagaimana menentukan alternatif material yang efektif dari beberapa pilihan yang telah dibentuk. Penyelesaian tersebut dilakukan dengan membuat 3 alternatif pilihan material yang disusun melalui 3 kriteria dan beberapa sub-kriteria

2. Penyusunan Hirarki AHP

   Pada penelitian ini, terdapat 4 lapis hirarki. Hirarki pertama merupakan tujuan yang ingin dicapai. Hirarki kedua berisikan 3 kriteria. Hirarki ketiga yaitu dimana dari susunan 3 kriteria tersebut memiliki sub-kriteria yang akan digunakan dalam penentuan alternatif. Dan yang terakhir terdiri dari 3 alternatif material. Berikut adalah gambar susunan hirarki tersebut:



Gambar 4. 4 Susunan Hirarki AHP

3. Pembobotan Prioritas Kriteria dan Alternatif

Pembobotan prioritas dilakukan dengan membagikan kuesioner skala Saaty kepada 5 orang responden yang sesuai dan berpengaruh terhadap perusahaan dalam pemilihan materual maupun yang memiliki pengalaman dibidang industri material. Kuesioner yang dibagikan terbagi dalam beberapa tabel yang terdiri dari tabel perbandingan prioritas kriteria dan tabel untuk perbandingan prioritas sub-kriteria untuk tiap kriteria. Kemudian ada tabel yang berisi prioritas alternatif untuk tiap kriteria yang diperjelas dengan sub kriteria. Berikut adalah bentuk tabel kuesioner yang dibagikan:

Tabel 4. 14 Skala prioritas Saaty untuk antar kriteria

	Kriteria Kiri Lebih Prioritas								Tingkat Prioritas Sama	Kriteria kanan Lebih Prioritas								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kriteria																		
Cost																		*Maintainability*
Cost																		Teknik
Cost																		Environment Friendlines
Maintainability																		Teknik
Maintainability																		Environment Friendlines
Teknik																		Environment Friendlines

Setiap kriteria yang ada harus dibandingkan berdasar bobot kepentingan yang telah dijelaskan pada bab 2. Namun setelah agar lebih menjelaskan lagi nilai dari kriteria, maka dibagi lagi menjadi sub-kriteria. Berikut salah satu contoh dari 4 kritria tabel dari sub-kriteria:

Tabel 4. 15 Skala prioritas Saaty untuk antar sub-kriteria

	Sub-Kriteria Kiri Lebih Prioritas								Tingkat Prioritas Sama	Sub-Kriteria kanan Lebih Prioritas								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sub-Kriteria *Cost*																		
Biaya Pemeliharaan																		Biaya Pembelian
Biaya Pemeliharaan																		Biaya Investasi
Biaya Pembelian																		Biaya Investasi
Sub-Kriteria Maintainability																		
Joint																		*Repair*

Selanjutnya adalah tabel kepentingan Saaty untuk antar alternatif. Terdapat Beberapa tabel sama yang dibagikan namun perbedaannya terletak pada

hubungannya dengan kriteria sehingga perbandingan alternatif 1 dan alternatif 2 dapat berbeda di tiap tabelnya. Berikut adalah beberapa contoh tabel prioritas antar alternatif material:

Tabel 4. 16 Prioritas antar alternatif

	Alternatif Kiri Lebih Terpilih								Tingkat Prioritas Sama	Alternatif kanan Terpilih								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Penilaian Material Terhadap Biaya Pemeliharaan																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Biaya Pembelian																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Biaya Investasi																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*

4.3.2 Expert Choice

Tahapan ini dilakukan dengan beberapa langkah yang dimulai dari pengisian seluruh hasil kuesioner ke dalam software expert choice 11. Kemudian dialnjutkan dengan Perhitungan bobot kriteria dan perhitungan bobot alternatif Dan diakhiri dengan synthesize hasil yang diinginkan serta didapatkannya grafik sensitivitas. Berikut adalah langkah pengerjaannya yang ditambah dengan gambarnya:

1. Pembentukan Hirarki AHP

   Langkah pengerjaan awal pada expert choice setelah membuka lembar baru adalah dengan membuat hirarki sesuai dengan AHP yang terdiri dari tujuan dilakukannya AHP, kriteria dan alternatif.

2. Pembobotan Kriteria, Alternatif, *Inconsistency*

   Langkah kedua adalah dengan menginputkan hasil kuesioner untuk tiap responden. Pada bagian responden dalam AHP diisi sesuai jumlah pengisi kuesioner sebanyak 5 responden. Responden tersebut adalah 2 orang *Engineer* perusahaan, 3 Dosen Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Kemudian data hasil kuesioner diinputkan pada tiap kriteria yang dilanjutkan dengan alternatif untuk tiap kriteria seluruh responden. Setelah 5 data responden diinputkan maka akan otomatis dilakukan perhitungan secara individu dan gabungan mengenai bobot tiap kriteria dan alternatif di tiap kriteria. Data dari kuesioner tersebut merupakan pembobotan kriteria dan alternatif berdasarkan kriteria. Kemudian diinputkan dalam bentk *pairwise matrix* di *software expert choice.* Berikut matrix pairwise dari pembobotan kriteria dan alternatif:

Tabel 4. 17 Pairwise matrix kriteria dari seluruh kuesioner

Compare the relative importance with respect to: Goal: MATERIAL TERPILIH PIPA FIREWATER

	Cost	Maintainab	Teknik	Environme
Cost		2,93016	2,2974	1,51572
Maintainability			3,10369	2,49146
Teknik				2,16894
Environment Friendlines	Incon: 0,05			

Pada tabel 4.17 *pairwise matrix* tersebut adalah kriteria dari rata – rata seluruh kuesioner. Pada matriks tersebut didapatkan hasil *inconsistency* dibawah 0,1 yaitu sebesar 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa skor perbandingan untuk setiap kriteria adalah konsisten dan dapat untuk dianalisis AHP.

Tabel 4. 18 Pairwise matrix kriteria cost dari seluruh kuesioner

Compare the relative importance with respect to: Cost

	Biaya Peme	Biaya Invest
Biaya Pemeliharaan		1,93318
Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)	Incon: 0,00	

Pada tabel 4.18 *pairwise matrix* tersebut pasti memiliki hasil yang konsisten karena hanya dilakukan 2 sub-kriteria yang dibandingan.

Tabel 4. 19 pairwise matrix kriteria maintainability dari seluruh kuesioner

Compare the relative importance with respect to: Maintainability

	Joint	Repair
Joint		2,09648
Repair	Incon: 0,00	

Pada tabel 4.19 *pairwise matrix* tersebut juga pastinya memiliki hasil yang konsisten karena hanya 2 sub-kriteria yang dibandingkan.

Tabel 4. 20 pairwise matrix kriteria teknik dari seluruh kuesioner

Compare the relative importance with respect to: Teknik

	Strength	Modulus Yo	Lifetime	Fatigue	Thermal Co	Corrosivity
Strength		3,6239	1,24573	1,31951	1,7826	1,27542
Modulus Young			1,38753	1,27945	1,72848	2,05413
Lifetime				1,43097	1,64375	1,08447
Fatigue					2,55085	1,64375
Thermal Conductivity						1,43097
Corrosivity	Incon: 0,03					

Untuk tabel 4.20 *pairwise matrix* tersebut didapatkan hasil *inconsistency* dibawah 0,1 yaitu sebesar 0,03 dengan jumlah kriteria yang dibandingkan ada 6 sub-kriteria. Maka dapat disimpulkan bahwa skor perbandingan untuk setiap sub-kriteria adalah konsisten dan dapat dianalisis AHP.

Tabel 4. 21 pairwise matrix alternatif material (biaya pemeliharaan)

Compare the relative importance with respect to: Cost \ Biaya Pemeliharaan

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,78176	3,84464
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,31951
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Pada tabel *pairwise matrix* diatas merupakan pembobotan material berdasarkan kriteria yang sudah ditentukan dari masing - masing responden. Pada pembobotan yang sudah diisi, *inconsistency* dari sub-kriteria biaya pemeliharaan adalah 0,0 dalam artian pada sub-kriteria ini konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria biaya pemilihan alternatif yang paling sesuai adalah *fiber reinforced polymer.*

Tabel 4. 22 pairwise matrix alternatif material (biaya investasi)

Compare the relative importance with respect to: Cost \ Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,12892	3,27717
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,48411
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Pada tabel diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,0 yang artinya pada sub-kriteria ini sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria biaya investasi dapat diartikan alternatif yang paling sesuai adalah *fiber reinforced polymer*.

Tabel 4. 23 pairwise matrix alternatif material (joint)

Compare the relative importance with respect to: Maintainability \ Joint

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		2,49146	2,55085
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,31951
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,01		

Pada tabel *pairwise matrix* diatas adalah pembobotan material berdasarkan sub-kriteria *joint* yang bobotnya sudah ditentukan oleh seluruh responden. Didapatkan *inconsistency* dari sub-kriteria tersebut adalah 0,01. Yang artinya pada sub-kriteria ini konsisten dan dapat

dianalisis AHP. Pada sub-kriteria ini alternatif yang paling sesuai adalah *fiber reinforeced polymer*.

Tabel 4. 24 pairwise matrix alternatif material (repair)

Compare the relative importance with respect to: Maintainability \ Repair

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,5652	3,5652
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,51572
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Untuk tabel *pairwise matrix* diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,02 yang artinya pada sub-kriteria *repair* sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria ini alternatif material yang paling sesuai adalah *high density polyethylene.*

Tabel 4. 25 pairwise matrix alternatif material (strength)

Compare the relative importance with respect to: Teknik \ Strength

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		2,43346	1,74543
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,55085
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,04		

Pada tabel *pairwise matrix* diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,04. Dapat diartikan bahwa pada sub-kriteria *strength* sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Unutk sub-kriteria ini alternatif yang sesuai adalah *carbon steel.*

Tabel 4. 26 pairwise matrix alternatif material (modulus young)

Compare the relative importance with respect to: Teknik \ Modulus Young

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,17767	4,37345
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,01		

Pada tabel *pairwise matrix* diatas merupakan pembobotan material berdasarkan kriteria yang sudah ditentukan dari masing - masing responden. Pada pembobotan yang sudah diisi, *inconsistency* dari sub-kriteria *modulus young* adalah 0,01 dalam artian pada sub-kriteria ini

konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria *modulus young* alternatif yang paling sesuai adalah *carbon steel*

Tabel 4. 27 pairwise matrix alternatif material (lifetime)

Compare the relative importance with respect to: Teknik \ Lifetime

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	3,77635
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,88817
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

.

Untuk tabel *pairwise matrix* diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,02 yang artinya pada sub-kriteria *lifetime* sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria ini alternatif material yang paling sesuai adalah *high density polyethylene.*

Tabel 4. 28 pairwise matrix alternatif material (fatigue)

Compare the relative importance with respect to: Teknik \ Fatigue

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,36587	4,37345
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,55085
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

Pada tabel *pairwise matrix* diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,05 yang artinya pada sub-kriteria *fatigue* sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria ini alternatif material yang paling sesuai adalah *high density polyethylene.*

Tabel 4. 29 pairwise matrix alternatif material (thermal conductivity)

Compare the relative importance with respect to: Teknik \ Thermal Conductivity

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		2,93016	2,70192
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,02384
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Pada tabel *pairwise matrix* diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,0 yang artinya pada sub-kriteria *thermal conductivity* sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria ini alternatif material yang paling sesuai adalah *carbon steel.*

Tabel 4. 30 pairwise matrix alternatif material (corrosivity)

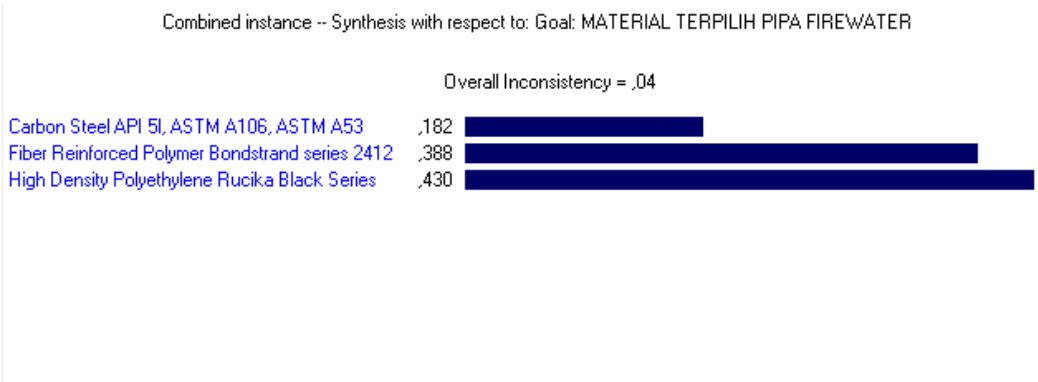
Compare the relative importance with respect to: Teknik \ Corrosivity

	Carbon Stee	Fiber Reinfo	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,12892	4,57305
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,31951
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Untuk tabel *pairwise matrix* diatas didapatkan *inconsistency* sebesar 0,0 yang artinya pada sub-kriteria *corrosivity* sudah konsisten dan dapat dianalisis AHP. Pada sub-kriteria ini alternatif material yang paling sesuai adalah *high density polyethylene.*

3. Hasil Akhir Penentuan Alternatif

Setelah tiap responden memiliki bobot yang dihasilkan dari kuesioner, selanjutnya gabungan dari kesepuluh bobot tersebut dilakukan tahap synthesize. Pada expert choice, synthesize digunakan untuk menghasilkan urutan secara keseluruhan dari 5 responden. Berikut gambar hasil akhir pembobotan alternatif:



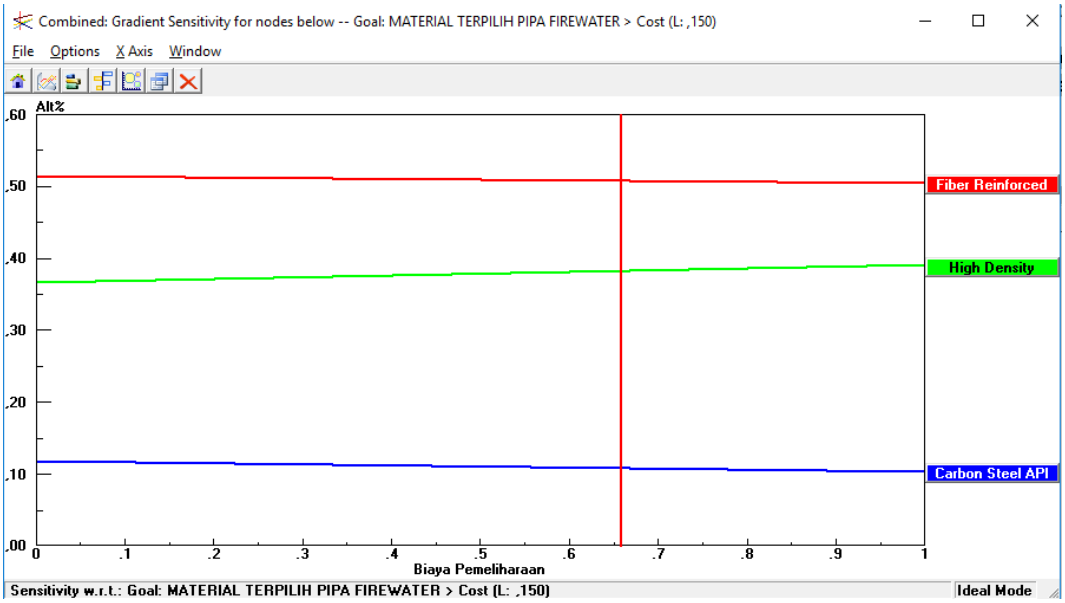
Gambar 4. 5 Hasil Synthesize expert choice

Berdasarkan gambar 4.5 didapatkan bahwa bobot tertinggi adalah pada alternatif material *high density polyethylene* dengan produk data Rucika *black series* mendapat bobot sebesar 0,420 yang bebeda sedikit dengan alternatif material *fiber reinforced polymer* produk data dari Ameron Bondstrand *series 2412* dengan bobot sebesar 0,403. Sedangkan yang terendah adalah alternatif material *carbon steel* dengan tipe API 5L grade B, ASTM A106 grade B, ASTM A53 grade B dengan bobot

sebesar 0,177. Artinya, dengan inkonsistensi yang dibawah 0,1 atau sama dengan 0,1 yaitu 0,03 maka dikatakan alternatif material *high density polyethylene* merupakan alternatif yang paling sesuai untuk pipa *fire water* di PT.B.

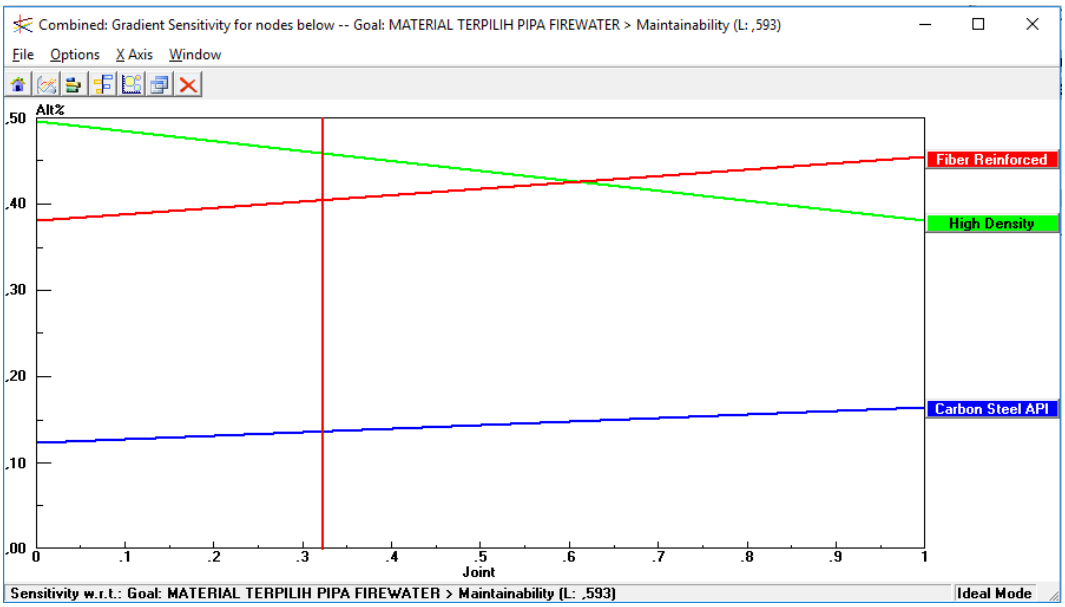
4. Uji Sensitivitas

Setelah hasil sintesis didapatkan, maka secara otomatis grafik sensitivitas akan didapatkan. Grafik sensitivitas menunjukan seberapa besar perubahan dalam bentuk bobot dari alternatif yang ditimbulkan oleh perubahan bobot dari salah satu kriteria. Dikarenakan terdapat 3 kriteria dengan masing – masing memiliki multi/sub-kriteria, maka didapatkan pula 3 grafik sensitivitas.



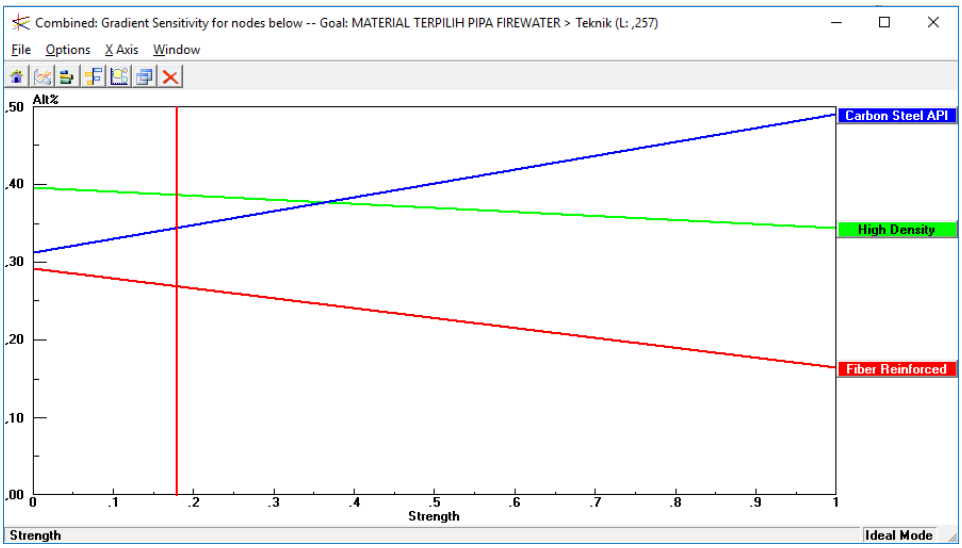
Gambar 4. 6 grafik sensitivitas kriteria cost

Grafik pada kriteria *cost* dengan multi hierarki/sub kriteria biaya pemeliharaan dan biaya investasi (pembelian + instalasi) menunjukan bahwa jika bobot diturunkan atau ditingkatkan maka tetap alternatif material *fiber reinforced polymer* tetap menjadi pilihan yang terbaik.



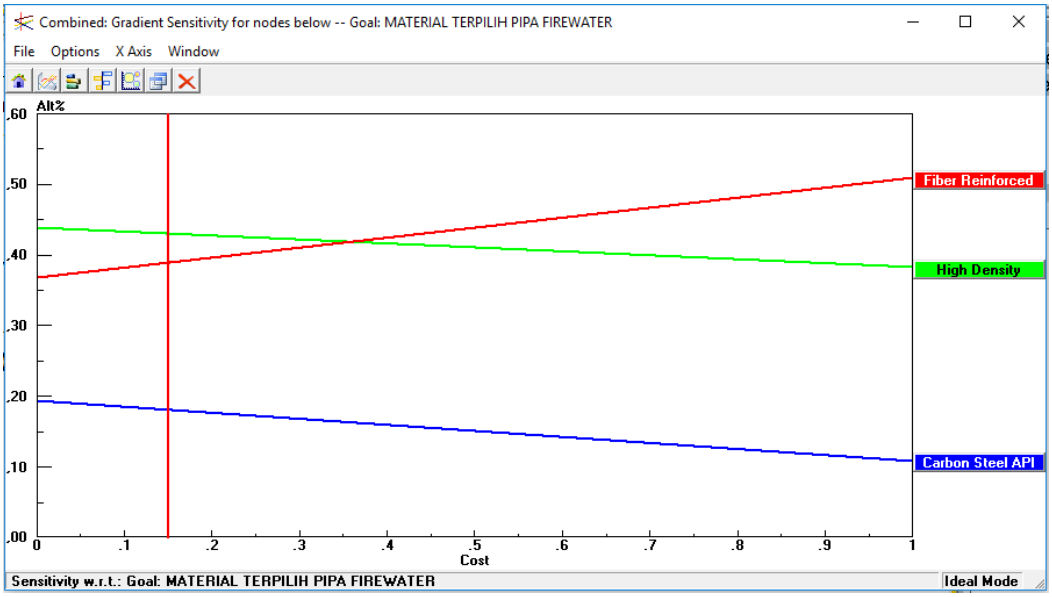
Gambar 4. 7 grafik sensitivitas kriteria maintainability

Sedangkan pada grafik kriteria *maintainability* dengan multi hierarki/sub-kriteria *joint* dan *repair* didapatkan hasil bahwa material *high density polyethylene* merupakan pilihan alternatif terbaik. Tetapi jika bobot *maintainability* meningkat menjadi 7 maka alternatif pilihan terbaik menjadi *fiber reinforced polymer*.



Gambar 4. 8 grafik sensitivitas kriteria teknik

Grafik kriteria teknik dengan multi hierarki/sub-kriteria *strength, modulus young lifetime, fatigue, thermal conductivity, corrosivity* menunjukkan bahwa alternatif terbaik dari kriteria pada grafik diatas adalah alternatif *high density polyethylene.* Akan tetapi jika bobot ditingkatkan menjadi 4 – 5 maka alternatif terbaik menjadi material *carbom steel* ASTM A53 grade B, ASTM A106 grade B, API 5L grade B. Pada material *fiber reinforced polymer* menjadi yang tidak direkomendasikan.



Gambar 4. 9 grafik sensivitas kriteria keseluruhan

Pada gambar 4.9 dengan keseluruhan kriteria (*cost, maintainability,* teknik) menunjukkan bahwa hasil dari uji sensitivitas seluruh kriteria mengacu pada alternatif material *high density polyethylene.* Disusul dengan alternatif material *fiber reinforced polymer* lalu material *carbon steel* pada posisi terakhir.

4.3.3 *AHP Python with Visual Studio Code*

Tahapan ini dilakukan dengan beberapa langkah yang dimulai dari pengisian seluruh hasil kuesioner ke *software codes Python* dengan menggunakan *terminal* dari *visual studio code*. Kemudian dialnjutkan dengan Perhitungan bobot kriteria dan perhitungan bobot alternatif dari masing – masing sub-kriteria. Kemudian perhitungan hasil akhir alternatif dengan menggunakan *microsoft excel*.

1. Pembobotan Kriteria dan *Consitency Ratio*

Yang dilakukan pertama adalah menentukan kritereia terlebih dahulu kemudian membentuk matriks dengan input data yang tertera pada hasil rata – rata kuesioner. Kemudian menghitung *consistency ratio* dari matriks tersebut. Lalu *compare* hasil matrix yang berisi input kriteria dari keseluruhan responden.

```
criteria_l = ('cost', 'maintability', 'teknik')
criteria_m = '.34 .44; 3.1'
criteria = Compare('goal', criteria_m, criteria_l)
criteria.report()
```

Gambar 4. 10 codes AHP criteria

Pada gambar diatas menunjukan persamaan dengan formula . $CI = \frac{\lambda \text{ maks} - n}{n-1}$ kemudian didapatkan *consistency index.* Setelah mendapatkan *consistency index* dilanjutkan mencari *consistency ratio* dengan persamaan formula CR = . $\frac{CI}{RI}$ Untuk *random index* sudah tertera pada bab 2. Lalu didapatkan hasil pembobotan dari 3 kriteria dan *consistency ratio* dari matriks yang sudah diisi.

```
PS E:\must\Must\0. TUGAS AKHIR\P3\coding ahp> python mustofa.py
Name: goal
CR: 0.0869
Weights:
        maintability: 0.5932
        teknik: 0.256
        cost: 0.1507
```

Gambar 4. 11 report codes AHP criteria

Diketahui dari gambar diatas didapatkan *consistency ratio* sebesar 0,0869 yang artinya hasil dari pembobotan kriteria sudah konsisten. Lalu didapatkan hasil pembobotan tertinggi pada kriteria *maintainability* sebesar 0,5932 kemudian kriteria teknik sebesar 0,256, dan kriteria *cost* sebesar 0,1507.

2. Pembobotan Sub-Kriteria dan *Consistency Ratio*

Yang dilakukan pertama menginput data dari kuesioner rata – rata keseluruhan sub-kriteria terlebih dahulu kemudian membentuk matriks dengan input data yang tertera pada hasil rata – rata kuesioner. Kemudian menghitung *consistency ratio* dari matriks tersebut. Lalu *compare* hasil matrix yang berisi input sub - kriteria dari keseluruhan responden.

```
# Cost
cost_sub_l = ('pemeliharaan', 'investasi')
cost_sub_m = '1.93'
cost_sub = Compare('cost', cost_sub_m, cost_sub_l)
cost_sub.report()
```

Gambar 4. 12 codes sub-criteria AHP

Pada gambar diatas menunjukan persamaan dengan formula $CI = \frac{\lambda \text{ maks} - n}{n-1}$ (2.9) kemudian didapatkan *consistency index.* Setelah mendapatkan *consistency index* dilanjutkan mencari *consistency ratio* dengan persamaan formula CR = $\frac{CI}{RI}$ (2.10) untuk *random index* sudah tertera pada bab 2. Maka didapatkan hasil pembobotan dari kriteria *cost* dengan sub-kriteria biaya pemeliharaan dan biaya investasi. Kemudian didapatkan *consistency ratio* dari matriks yang sudah diisi.

```
Name: cost
CR: 0.0
Weights:
        pemeliharaan: 0.6587
        investasi: 0.3413
```

Gambar 4. 13 report codes sub-criteria AHP

Diketahui dari gambar diatas didapatkan *consistency ratio* sebesar 0,0 yang artinya hasil dari pembobotan kriteria sudah konsisten. Lalu didapatkan hasil pembobotan tertinggi dari kriteria *cost* yaitu pada sub-kriteria biaya pemeliharaan sebesar 0,6587 kemudian sub-kriteria biaya investasi sebesar 0,3413.

3. Penentuan Alternatif dan *Consistency Ratio*

Setelah menginput data dari kuesioner rata – rata keseluruhan sub-kriteria, kemudian input data rata – rata hasil pemilihan alternatif dari seluruh kuesioner. Kemudian menghitung *consistency ratio* dari matriks tersebut. Lalu *compare*

hasil matrix yang berisi input sub - kriteria untuk menghitung hasil dari pembobotan alternatif dari keseluruhan responden.

```
alt = ('Carbon steel', 'FRP', 'HDPE')
cost_pemeliharaan_m = '.21 .26; 1.32'
cost_pemeliharaan = Compare('cost pemeliharaan', cost_pemeliharaan_m, alt)
cost_pemeliharaan.report()
```

Gambar 4. 14 codes alternative AHP

Inout pada gambar diatas merupakan persamaan rumus (2,9) $CI = \frac{\lambda \text{ maks} - n}{n-1}$ kemudian didapatkan *consistency index.* Setelah mendapatkan *consistency index* dilanjutkan mencari *consistency ratio* dengan persamaan formula CR = $\frac{CI}{RI}$ (2.10) untuk *random index* sudah tertera pada bab 2. Maka didapatkan hasil pembobotan dari alternatif dari sub-kriteria biaya pemeliharaan. Kemudian didapatkan *consistency ratio* dari matriks yang sudah diisi.

```
Name: cost pemeliharaan
CR: 0.0005
Weights:
        FRP: 0.5052
        HDPE: 0.391
        Carbon steel: 0.1038
```

Gambar 4. 15 report codes alternative AHP

Diketahui dari gambar diatas didapatkan *consistency ratio* sebesar 0,0005 yang artinya hasil dari pembobotan alternatif dari sub-kriteria biaya pemeliharaan sudah konsisten. Lalu didapatkan hasil pembobotan alternatif tertinggi dari sub-kriteria biaya pemeliharaan yaitu pada alternatif material FRP sebesar 0,5052 kemudian alternatif material HDPE sebesar 0,391 dan yang terakhir alternatif material *carbon steel* 0,1038.

4. Hasil Akhir Alternatif

Setelah tiap responden memiliki bobot yang dihasilkan dari kuesioner, selanjutnya gabungan dari seluruh bobot tersebut dilakukan perhitungan akhir hasil alternatif dari seluruh kriteria. Pada perhitungan akhir ini akan menggunakan microsoft excel. Berikut hasil akhir pembobotan alternatif:

Tabel 4. 31 Hasil Pemilihan Alternatif dari Python

HASIL PEMILIHAN ALTERNATIF DARI SELURUH KRITERIA			
Carbon Steel	0,597673566	0,1992	PADA HASIL AHP PEMILIHAN ALTERNATIF MATERIAL PIPA FIRE WATER, ALTERNATIF YANG TERPILIH ADALAH MATERIAL HDPE
FRP	1,179687146	0,3932	
HDPE	1,222639288	0,4075	

Pada tabel diatas didapatkan dengan formula rata – rata kriteria 1 dikali rata – rata sub-kriteria 1 kemudian ditambah rata – rata kriteria lain dikali kriteria lain. Didapatkan bobot tertinggi alternatif material terpilih dari seluruh kriterianya adalah alternatif material HDPE dengan bobot sebesar 0,4075, kemudian disusul urutan kedua yaitu alternatif material FRP dengan bobot sebesar 0,3932, dan yang terakhir adalah alternatif material *carbon steel* dengan bobot sebesar 0,1992. Artinya dengan menggunakan *python with visual studio code* mengacu pada alternatif material HDPE.

4.4 Analisa Pembobotan Akhir

Berdasarkan Hasil perhitungan pembobotan, untuk perhitungan AHP dengan software *expert choice* dapat disimpulkan bahwa terdapat selisih 0,042 antara alternatif material *high density polyethylene rucika black series* (0,430) dengan alternatif material *fiber reinforced polymer ameron bondstrand series 2412* (0,388). Sedangkan yang terendah adalah adalah alternatif material *carbon steel* ASTM A53 grade B, ASTM A106 grade B, API 5L grade B (0,182) yang dinilai paling tidak direkomendasikan oleh responden dari berbagai kriteria yang sudah ditentukan.

Untuk perhitungan AHP dengan *python with visual studio code* dapat disimpulkan bahwa terdapat selisih 0,0143 antara alternatif material *high density polyethylene rucika black series* (0,4075) dengan alternatif material *fiber reinforced polymer* (0,3932). Sedangkan yang terendah adalah adalah alternatif material *carbon steel* ASTM A53 grade B, ASTM A106 grade B, API 5L grade B (0,1992) yang dinilai paling tidak direkomendasikan oleh responden dari berbagai kriteria yang sudah ditentukan.

Dari perhitungan 2 wadah yang berbeda yang satu dalam bentuk software *expert* choice dan yang satunya dalam bentuk coding yaitu *python with visual studio code* didapatkan hasil alternatif material yang sama namun beda dalam besarnya angka pembobotan. Berdasarkan tiga total kriteria yang dimiliki, alternatif material

fiber reinforced polymer mendapat bobot yang sebenarnya lebih besar dibandingkan dengan alternatif material *high density polyethylene,* yaitu pada kriteria *cost,* nilai alternatif material HDPE jauh lebih tinggi dari alternatif FRP namun karena pembobotan kriteria *maintainability* melebihi separuh dari kriteria lainnya, maka alternatif HDPE yang memiliki bobot terbesar menjadi hasil akhir sebagai alternatif paling tepat.

Dipilihnya alternatif material HDPE dibandingkan dengan alternatif material FRP didasarkan pada beberapa hal seperti:

1. Berdasarkan latar belakang, pipa *fire water* di PT.B. sering mengalami korosi dan kebocoran, kemudian pada pembobotan kriteria yang diisi oleh responden lebih memprioritaskan kriteria *maintainability* dengan sub-kriteria *joint* dan *repair* agar bisa mengurangi pengaruh dari segi kriteria *cost* (biaya pemeliharaan).
2. Kemudian berdasarkan kriteria teknik dengan beberapa sub kriteria yang pembobotannya juga bisa dibilang tinggi seperti *lifetime, fatigue,* dan *corrosivity* skor terbesar mengarah pada material HDPE, dengan alasan pipa *fire water* di PT.B mengalami kebocoran dan korosi sehingga dapat cepat merusak material.

Pada hasil sintesis akhir didapatkan hasil inconsistency sebesar 0.04 yang artinya hasil keseluruhan dari pengisian kuesioner sudah cukup konsisten. Nilai inconsistency yang baik adalah berada pada angka dibawah 0.1. jika setelah disintesis didapatkan angka *inconsistency* yang diatas 0.1 maka akan dilakukan iterasi terhadap responden yang artinya hasil kuesioner responden tersebut tidak dapat digunakan karena tidak konsisten. Nilai inconsistency ini menggambarkan apabila responden menganggap alternatif 1 lebih besar dari alternatif 2 dan alternatif 2 lebih besar dari alternatif 3 dan responden menganggap alternatif 3 lebih besar dari alternatif 1 artinya responden tidak konsisten dengan hasil penentuannya. Dengan ketidakkonsistenan tersebut dapat mempengaruhi hasil pembobotan menjadi buruk dan kurang tepat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dalam tugas akhir ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat 3 kriteria yang akan digunakan sebagai acuan pemilihan alternatif pipa *fire water*. Kriteria tersebut adalah *cost, maintainability,* teknik. Dari 3 kriteria terssebut diidentifikasikan menjadi sub-kriteria. Kriteria *cost* diidentifikasikan menjadi 2 sub-kriteria yaitu sub-kriteria biaya pemeliharaan dan sub-kriteria biaya investasi (biaya pembelian + biaya instalasi). Kemudian untuk kriteria *maintainability* diidentifikasikan menjadi 2 sub-kriteria yaitu sub-kriteria *joint* (metode penyambungan) dan *repair* (metode perbaikan). Lalu pada kriteria teknik diidentifikasikan menjadi 6 sub-kriteria yaitu *strength* (kekuatan material), *modulus young* (kekakuan material), *lifetime* (umur material), *fatigue* (kelelahan pada material), *thermal conductivity* (konduktivitas panas), corrosivity (sifat korosifitas).
2. Terdapat 3 alternatif material yang ketiganya dapat diterapkan di PT.B dari segi *design internal pressure, water hammer, hoop tensile stress,* dan *design fluid velocity*. alternatif tersebut adalah material *carbon steel* dengan tipe API 5L grade B, ASTM A106 grade B, ASTM A53 grade B. pada material carbon steel masih diterapkan di PT.B. Lalu material *fiber reinforced polymer* dengan produk data *ameron bondstrand series 2412.* Pada material FRP ini sudah diterapkan pada pipa *cooling water system* di PT.B. Kemudian material terakhir yaitu *high density polyethylene* dengan produk data *rucika black series*. Pada material HDPE ini ada beberapa perusahaan atau pabrik migas yang sudah menggunakan untuk pipa ini sebagai pipa *fire protection* di Indonesia.
3. Berdasarkan hasil analisis kuesioner dengan metode *analytical hierarchy process* yang dibantu oleh *software expert choice,* alternatif material yang sesuai dengan kriteria yang ditentukan adalah alternatif material *high density polyethylene* produk data dari *rucika black series* dengan skor 0,420.

Lalu disusul dengan alternatif material *fiber reinforced polymer* produk data dari *ameron bondstrand series 2412* dengan skor 0,403. Lalu untuk material yang kurang direkomendasikan adalah alternatif material *carbon steel* dengan tipe API 5L grade B, ASTM A106 grade B, ASTM A53 grade B dengan skor 0,177. Kemudian dengan perhitungan melalui *python with visual studio codes*¸alternatif material yang sesuai dengan kriteria yang ditentukan adalah alternatif material *high density polyethylene* produk data dari *rucika black series* dengan bobot sebesar 0,4075. Lalu disusul dengan alternatif *fiber reinforced polymer* produk data dari *ameron bondstrand series 2412* dengan skor 0,3932. Lalu untuk material yang kurang direkomendasikan adalah alternatif material *carbon steel* dengan tipe API 5L grade B, ASTM A106 grade B, ASTM A53 grade B dengan skor 0,1992.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Saat membuat kuesioner dan menyebarkan kuesioner kepada responden, penting untuk memastikan apakah responden mengerti tujuan dari kuesioner dan cara mengisinya agar maksud responden dan pembuat kuesioner tersampaikan dan juga agar *inconsistency* nya bisa dibawah 0,1.
2. Saat melakukan penelitian khususnya saat mencari bahan studi literatur penting untuk memperluas jaringan data dan bahan bacaan agar data bisa lebih akurat.
3. Untuk penelitian lebih lanjut peneliti disarankan menggabungkan metode AHP dengan metode lain seperti *linear programming* dan lain – lain agar hasil bisa lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers . (2012). *ASME B3.13 Code for Pressure Piping*
2. American Water Works Association . (2012). *AWWA M45 Code for Fiberglass Pipe Design*
3. *American Water Works Association . (2012). AWWA M55 Code for Polyethylene Pipe Design*
4. *Aslani, A., & Aslani, F. (2012). Application of Fuzzy AHP Approach to Selection of Organizational Structural with Consieration to Contextual Dimension.*
5. *Asyari, Y. A. (2015). Proses Pemilihan Vendor di PT FBMI Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Tugas Akhir, Universitas Mercubuana, Jakarta.*
6. *Epoxy Resin – Mechanical Properties*. <www.epoxyworktops.com/epoxy-resin/mech-properties.html, diakses pada 15 Februari 2020 pukul 09.45 WIB>
7. Gunawan, A. D. (1999). Operasi "Memutuskan Dengan Analytical Hierarchy Process". Jakarta: Manajemen
8. Ishizaka, A. & Nemery, P., 2013. *Multi-criteria Decision Analysis Methods and Software.* Chichester: John Wiley and Sons.
9. National Fire Protection Association. (2006). *NFPA 24 code for Fire Protection service*
10. Product Data Sheet." *Bondstrand series 2400"*. Ameron
11. Product Data Sheet."Black Series". Rucika
12. PT B. 2001. *General Specification Piping Material Class, Including Stock Code*. Bontang, PT B.
13. Reichhold. 2009. *FRP Material Selection Guide: An Engineer's Guide to FRP Technology*. Durham: Reichhold, Inc.
14. Rosyid, D.M., 2009. Optimasi: Teknik Pengambilan Keputusan Secara Kuantitatif, ITSPress, Surabaya.

15. Saaty, T. L., 2008. *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World.* Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.

16. Saaty, T. L. & Vargas, L. G., 2012. *Models, Methods, Concepts, and Application of The Analythic Hierarchy Process.* New York: Springer.

17. Sasongko, A., Astuti, I. F. & Maharani, S., 2017. Pemilihan Karyawan Baru dengan Metode AHP. *Jurnal Informatika Mulawarman*, 12(2).

18. Winarto. (2013). Penerapan Analytical Hierarchy Process (AHP) pada Penentuan Bentuk Organisasi (Studi Kasus di PT CVX, Steam and Supply Team). Tesis, Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

LAMPIRAN A

KUESIONER SURVEI PEMILIHAN ALTERNATIF MATERIAL PADA PIPA FIRE FIREWATER : STUDI KASUS REFINERY BONTANG

Kepada Bapak/Ibu/Sdr/i

di Tempat

Dengan Hormat

Saya Musthafa Muhammad Drehem NRP 04311640000135 adalah mahasiswa Institut Teknologi 10 Nopember (ITS) Surabaya Departemen Teknik Kelautan, bermaksud untuk melakukan penelitian dalam rangka penyusunan tugas akhir yang berjudul "Studi Analisis Seleksi Material Pipa Fire Water di Refinery Bontang dengan Metode Analytical Hierarchy Process". Tujuan dan kuesioner ini yaitu untuk memilih alternatif material pipa firewater yang sesuai. Berdasarkan sebelumnya pipa firewater yang digunakan mengunakan carbon steel API 5l grade B, astm A106 grade B, ASTM A53 grade B. dalam kurun waktu 5 tahun pipa ini sering terjadinya korosi, kebocoran dan lain sebagainnya. Maka dari itu metode analytical hierarchy process ini dapat mengatahui alternative dan kriteria-kriteria yang sesuai. Sehubungan dengan hal tersebut, maka saya mengharapkan bantuan responden (expert) kiranya bersedia mengisi kuesioner ini dengan se-obyektif mungkin sesuai dengan pengetahuan responden berdasarkan pengalaman dan rumpun ilmu.

Dalam melakukan pengisian kuesioner ini, dimohon responden untuk membaca petunjuk terlebih dahulu yang telah tertera untuk mempermudah dalam memberikan jawaban serta keakuratan jawaban yang diberikan. Apapun jawaban responden akan sangat berharga bagi penilitian ini.

Atas segala perhatian dan kerjasama responden, saya ucapkan terimakasih.

Hormat saya,

Musthafa Muhammad Drehem

I. PENDAHULUAN

Sistem *Fire Water plant* di suatu perusahaan merupakan salah satu unit yang tidak diharapkan untuk beroprasi. Hal ini dikarenakan system ini merupakan sistem support ketika terjadi kebakaran. Dalam hal ini, sistem *Fire Water* harus *stand-by* karena jika terjadi kondisi darurat (*emergency)* sewaktu-waktu bisa dihidupkan. Karena prinsipnya *Fire Water* adalah untuk kondisi yang *emergency* dan ketika terjadi kebakaran pada suatu *equipment* membuat peranan dari *fire water* ini sangat kritikal, maka perlu untuk meninjau material pada sistem *fire water*.

Dalam kurun tahun 2015 – 2019, pipa *fire water* di PT.B.menggunakan material *carbon steel* ASTM A53, ASTM A106, dan API 5L dengan masing – masing *grade* B sudah mengalami kebocoran sebanyak 28 kali kebocoran dan 4 kali teridentifikasi korosi , oleh karena itu perlu untuk diketahui alternatif material yang sesuai untuk mengganti material *fire water* sebelumnya. Agar lebih komprehensif dan *apple to apple*, maka dilakukan perbandingan material sebelumnya yaitu *carbon steel* dengan tipe ASTM A53, ASTM A106, API 5L grade B yang dibandingkan dengan Ameron Bondtrand series 2412 *(Fibreglass Reinforced Polymer/Epoxy)* dan Rucika Black Series *(High Density Polyethylene/PE 100).*

II. TUJUAN KUESIONER

Untuk memilih alternatif material pipa *fire water* PT.B. yang sesuai dengan kriteria yang diisi dari masing – masing responden.

III. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Pada Kuesioner ini, Bapak/Ibu diminta untuk menentukan nilai dari kriteria – kriteria yang ada. Angka yang dipakai adalah *range* 1 – 9 yang menunujukan tingkatan pembobotan antar kriteria – kriteria yang ada.

Angka 1 sampai dengan 9 tersebut mempunyai arti sebagai berikut:

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua Elemen Sama Penting (*Equally Importance)*

Intensitas Kepentingan	Keterangan
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya (*Slightly More Importance)*
5	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen yang lainnya (*Materially More Importance)*
7	Satu elemen jelas lebih penting daripada elemen lainnya (*Significantly More Importance)*
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai - nilai di antara dua nilai pertimbangan - pertimbangan yang berdekatan (*Compromising Values*)

Contoh Pengisian

1. Diantara Kriteria – kriteria berikut ini, pilihlah tingkatan kriteria pembobotan yang diprioritaskan untuk memenuhi kriteria dari alternatif material yang akan dipilih.

	Sub-Kriteria Kiri Lebih Prioritas								Tingkat Prioritas Sama	Sub-Kriteria kanan Lebih Prioritas								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sub-Kriteria *Cost*																		
Biaya Pemeliharaan											v							Biaya Investasi

Berdasarkan tabel diatas, pada sub-kriteria cost, penilaian biaya investasi lebih di prioritaskan dibandingkan dengan biaya pemeliharaan.

2. Berdasarkan kriteria diatas, pilihlah alternatif material yang sesuai dengan kriteria yang telah di prioritaskan.

	Alternatif Kiri Lebih Terpilih								Tingkat Prioritas Sama	Alternatif kanan Terpilih								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Penilaian Material Terhadap Biaya Investasi																		

Carbon Steel												v						*FRP*
Carbon Steel											*v*							*HDPE*
FRP								*v*										*HDPE*

Berdasarkan tabel diatas, material FRP terhadap penilaian biaya investasi lebih baik dibandingkan dengan material HDPE dan Carbon steel. Tetapi antara HDPE dan Carbon steel, material HDPE terhadap biaya investasi lebih baik dibandingkan Carbon steel.

IV. KUESIONER

1. Informasi Responden

A. Nama :……..

B. Bidang Keahlian :……..

C. Pengalaman Kerja:……..

2. Diantara kriteria – kriteria berikut ini, pilihlah yang paling diprioritaskan dalam memilih suatu material pada pipa *fire water*.

	Kriteria Kiri Lebih Prioritas								Tingkat Prioritas Sama	Kriteria kanan Lebih Prioritas								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kriteria																		
Cost																		*Maintainability*
Cost																		Teknik
Cost																		Environment Friendlines
Maintainability																		Teknik
Maintainability																		Environment Friendlines
Teknik																		Environment Friendlines

	Sub-Kriteria Kiri Lebih Prioritas								Tingkat Prioritas Sama	Sub-Kriteria kanan Lebih Prioritas								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sub-Kriteria *Cost*																		
Biaya Pemeliharaan																		Biaya Investasi
Sub-Kriteria Maintainability																		

Joint																		*Repair*
Sub-Kriteria Teknik																		
Strength																		*Modulus Young*
Strength																		*Lifetime*
Strength																		*Fatigue*
Strength																		*Corrosivity*
Modulus Young																		*Lifetime*
Modulus Young																		*Fatigue*
Modulus Young																		*Corrosivity*
Lifetime																		*Fatigue*
Lifetime																		*Corrosivity*
Fatigue																		*Corrosivity*
Sub-Kriteria *Environment Friendlines*																		
Komposisi																		Dampak Kurang Baik

3. Berdasarkan kriteria – kriteria diatas, pilihlah alternatif material pipa *fire* water yang sesuai dengan prioritas pada kriteria.

	Alternatif Kiri Lebih Terpilih								Tingkat Prioritas Sama	Alternatif kanan Terpilih								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Penilaian Material Terhadap Biaya Pemeliharaan																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Biaya Investasi																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Metode Penyambungan (*Joint)*																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Metode Perbaikan (*Repair)*																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Kekuatan (*Strength)*																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*

Penilaian Material Terhadap Kekakuan (*Modulus Young)*																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Konduktivitas Panas																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Kelelahan (*Fatigue)*																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Korosifitas (*Corrosivity)*																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Komposisi Lingkungan																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*
Penilaian Material Terhadap Dampak Buruk Lingkungan																		
Carbon Steel																		*FRP*
Carbon Steel																		*HDPE*
FRP																		*HDPE*

LAMPIRAN B

UJI KONSISTENSI HIERARKI

1. Responden 1

Compare the relative importance with respect to: Goal: MATERIAL TERPILIH PIPA FIREWATER

	Cost	Maintainab	Teknik	Environme
Cost		4,0	2,0	2,0
Maintainability			4,0	3,0
Teknik				3,0
Environment Friendlines	Incon: 0,09			

Compare the relative importance with respect to: Cost

	Biaya Pem	Biaya Inve
Biaya Pemeliharaan		3,0
Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Pemeliharaan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,04		

Compare the relative importance with respect to: Maintainability

	Joint	Repair
Joint		3,0
Repair	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Joint

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Repair

Compare the relative importance with respect to: Teknik

	Strength	Modulus Y	Lifetime	Fatigue	Thermal Cc	Corrosivity
Strength		5,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Modulus Young			2,0	2,0	3,0	4,0
Lifetime				1,0	3,0	2,0
Fatigue					3,0	4,0
Thermal Conductivity						2,0
Corrosivity	Incon: 0,10					

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Strength

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,07		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Modulus Young

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Lifetime

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Fatigue

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,08		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Thermal Conductivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Corrosivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative importance with respect to: Environment Friendlines

	Komposisi	Dampak Li
Komposisi		2,0
Dampak Lingkungan	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Komposisi

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		6,0	6,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Dampak Lingkungan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		6,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			4,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

2. Responden 2

Compare the relative importance with respect to: Goal: MATERIAL TERPILIH PIPA FIREWATER

	Cost	Maintainab	Teknik	Environme
Cost		3,0	2,0	1,0
Maintainability			4,0	2,0
Teknik				2,0
Environment Friendlines	Incon: 0,07			

Compare the relative importance with respect to: Cost

	Biaya Pem	Biaya Inve
Biaya Pemeliharaan		1,0
Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Pemeliharaan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,04		

Compare the relative importance with respect to: Maintainability

	Joint	Repair
Joint		3,0
Repair	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Joint

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Repair

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

Compare the relative importance with respect to: Teknik

	Strength	Modulus Y	Lifetime	Fatigue	Thermal Co	Corrosivity
Strength		5,0	3,0	3,0	2,0	3,0
Modulus Young			2,0	2,0	3,0	4,0
Lifetime				1,0	2,0	2,0
Fatigue					2,0	2,0
Thermal Conductivity						2,0
Corrosivity	Incon: 0,10					

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Strength

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,07		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Modulus Young

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Lifetime

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Fatigue

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,08		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Thermal Conductivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Corrosivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative importance with respect to: Environment Friendlines

	Komposisi	Dampak Li
Komposisi		1,0
Dampak Lingkungan	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Komposisi

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		6,0	6,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Dampak Lingkungan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			4,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,08		

3. Responden 3

Compare the relative importance with respect to: Goal: MATERIAL TERPILIH PIPA FIREWATER

	Cost	Maintainab	Teknik	Environme
Cost		3,0	4,0	4,0
Maintainability			2,0	4,0
Teknik				2,0
Environment Friendlines	Incon: 0,10			

Compare the relative importance with respect to: Cost

	Biaya Pem	Biaya Inve
Biaya Pemeliharaan		1,0
Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Pemeliharaan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	7,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,06		

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	7,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			5,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,06		

Compare the relative importance with respect to: Maintainability

	Joint	Repair
Joint		2,0
Repair	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Joint

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		2,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Repair

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,05		

Compare the relative importance with respect to: Teknik

	Strength	Modulus Y	Lifetime	Fatigue	Thermal Co	Corrosivity
Strength		1,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Modulus Young			7,0	7,0	7,0	7,0
Lifetime				1,0	1,0	1,0
Fatigue					3,0	1,0
Thermal Conductivity						3,0
Corrosivity	Incon: 0,04					

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Strength

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,04		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Modulus Young

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Lifetime

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,07		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Fatigue

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,07		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Thermal Conductivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,10		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Corrosivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative importance with respect to: Environment Friendlines

	Komposisi	Dampak Li
Komposisi		3,0
Dampak Lingkungan	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Komposisi

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		2,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Dampak Lingkungan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,04		

4. Responden 4

Compare the relative importance with respect to: Goal: MATERIAL TERPILIH PIPA FIREWATER

	Cost	Maintainab	Teknik	Environme
Cost		2,0	2,0	2,0
Maintainability			3,0	2,0
Teknik				2,0
Environment Friendlines	Incon: 0,08			

Compare the relative importance with respect to: Cost

	Biaya Pem	Biaya Inve
Biaya Pemeliharaan		3,0
Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Pemeliharaan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative importance with respect to: Maintainability

	Joint	Repair
Joint		3,0
Repair	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Joint

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Repair

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative importance with respect to: Teknik

	Strength	Modulus Y	Lifetime	Fatigue	Thermal Co	Corrosivity
Strength		5,0	4,0	3,0	4,0	3,0
Modulus Young			3,0	2,0	3,0	4,0
Lifetime				2,0	1,0	3,0
Fatigue					2,0	3,0
Thermal Conductivity						2,0
Corrosivity	Incon: 0,09					

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Strength

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Modulus Young

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Lifetime

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Fatigue

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Thermal Conductivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Corrosivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative importance with respect to: Environment Friendlines

	Komposisi	Dampak Li
Komposisi		3,0
Dampak Lingkungan	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Komposisi

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Dampak Lingkungan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

5. Responden 5

Compare the relative importance with respect to: Goal: MATERIAL TERPILIH PIPA FIREWATER

	Cost	Maintainab	Teknik	Environme
Cost		3,0	2,0	2,0
Maintainability			3,0	2,0
Teknik				2,0
Environment Friendlines	Incon: 0,05			

Compare the relative importance with respect to: Cost

	Biaya Pem	Biaya Inve
Biaya Pemeliharaan		3,0
Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Pemeliharaan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		5,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Cost \ Biaya Investasi (Pembelian dan Instalasi)

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative importance with respect to: Maintainability

	Joint	Repair
Joint		3,0
Repair	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Joint

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Maintainability \ Repair

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative importance with respect to: Teknik

	Strength	Modulus Y	Lifetime	Fatigue	Thermal Co	Corrosivity
Strength		5,0	3,0	3,0	3,0	2,0
Modulus Young			3,0	3,0	4,0	4,0
Lifetime				3,0	2,0	2,0
Fatigue					3,0	2,0
Thermal Conductivity						1,0
Corrosivity	Incon: 0,08					

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Strength

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Modulus Young

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	5,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Lifetime

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			1,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,00		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Fatigue

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Thermal Conductivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		2,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,01		

Compare the relative preference with respect to: Teknik \ Corrosivity

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		3,0	4,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative importance with respect to: Environment Friendlines

	Komposisi	Dampak Li
Komposisi		3,0
Dampak Lingkungan	Incon: 0,00	

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Komposisi

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	2,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			3,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

Compare the relative preference with respect to: Environment Friendlines \ Dampak Lingkungan

	Carbon Ste	Fiber Reinf	High Densi
Carbon Steel API 5l, ASTM A106, ASTM A53		4,0	3,0
Fiber Reinforced Polymer Bondstrand series 2412			2,0
High Density Polyethylene Rucika Black Series	Incon: 0,02		

LAMPIRAN C

Hasil Perhitungan Water Hammer

Data Pompa

no	Pompa	v
		m/s
1	33-GM-2	0,749998945
2	33-GM-1A/B	1,055729277
3	33-GE-4	1,156880564
4	33-GE-3	0,963422104
5	33-GE-15	0,963422104
6	33-GM-9	0,737449635
7	33-GM-10	0,737449635
8	33-GE-11	0,919114351
9	33-GM-15A / 15B	0,749998945
10	33-GE-11A / 11B	1,156880564
11	33-GM-11C	1,156880564
12	33-GM-03A	1,055729277
13	33-GM-03B	1,055729277
14	33-GE-03C	1,055729277
15	33-GE-03D	1,055729277
16	33-GE-05A	1,220485351
17	33-GE-05B	1,220485351
18	33-GE-05C	1,220485351
19	33-GE-05D	1,220485351
20	33-GE-16A	1,220485351
21	33-GE-16B	1,220485351
22	33-GE-16C	1,220485351
23	33-GE-16D	1,220485351

hasil perhitungan water hammer masing – masing pompa untuk material HDPE

33-GM-2

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	42,135	40,840
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	40,378	38,806
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	37,089	35,125
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	25,574	23,288
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	19,412	17,425
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	16,104	14,370
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	13,106	11,644
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	10,413	9,222
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	8,432	7,453
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	6,962	6,147
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	6,209	5,480
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	5,554	4,900
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	4,889	4,312
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	4,347	3,833
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	3,918	3,454
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	3,502	3,087
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	3,113	2,744
						total =	14,773	13,655

33-GM-1A/B

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	59,310	57,488
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	56,838	54,624
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	52,207	49,444
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	36,000	32,781
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	27,325	24,528
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	22,669	20,228
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	18,449	16,391
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	14,657	12,981
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	11,869	10,492
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	9,800	8,653
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	8,740	7,713
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	7,818	6,897
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	6,882	6,070
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	6,120	5,396
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	5,515	4,862
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	4,930	4,345
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	4,382	3,862
						total =	20,795	19,221

33-GM-4

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	64,993	62,996
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	62,284	59,858
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	57,209	54,181
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	39,449	35,921
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	29,943	26,878
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	24,841	22,166
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	20,217	17,961
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	16,062	14,225
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	13,006	11,497
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	10,738	9,482
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	9,577	8,452
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	8,567	7,558
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	7,542	6,651
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	6,706	5,913
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	6,043	5,327
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	5,402	4,761
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	4,802	4,232
						total =	22,787	21,062

33-GM-10

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	41,430	40,157
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	39,703	38,156
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	36,468	34,538
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	25,146	22,898
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	19,087	17,133
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	15,835	14,130
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	12,887	11,449
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	10,239	9,068
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	8,290	7,329
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	6,845	6,044
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	6,105	5,388
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	5,461	4,818
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	4,807	4,240
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	4,275	3,769
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	3,852	3,396
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	3,443	3,035
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	3,061	2,698
						total =	14,526	13,426

33-GM-15

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	54,125	52,462
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	51,869	49,848
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	47,643	45,121
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	32,852	29,914
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	24,936	22,383
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	20,687	18,459
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	16,836	14,957
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	13,376	11,846
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	10,831	9,574
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	8,943	7,896
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	7,975	7,039
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	7,134	6,294
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	6,281	5,539
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	5,585	4,924
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	5,033	4,437
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	4,499	3,965
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	3,999	3,525
						total =	18,977	17,540

33-GM-11

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	51,635	50,049
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	49,483	47,556
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	45,452	43,046
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	31,341	28,539
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	23,789	21,354
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	19,736	17,611
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	16,062	14,270
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	12,761	11,301
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	10,333	9,134
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	8,531	7,533
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	7,609	6,715
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	6,806	6,005
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	5,992	5,284
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	5,328	4,698
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	4,801	4,233
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	4,292	3,783
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	3,815	3,363
						total =	18,104	16,734

33-GM-15A/15B

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	42,135	40,840
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	40,378	47,556
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	37,089	43,046
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	25,574	28,539
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	19,412	21,354
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	16,104	17,611
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	13,106	14,270
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	10,413	11,301
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	8,432	9,134
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	6,962	7,533
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	6,209	6,715
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	5,554	6,005
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	4,889	5,284
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	4,347	4,698
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	3,918	4,233
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	3,502	3,783
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	3,113	3,363
						total =	14,773	16,192

33-GM-03A

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	59,310	57,488
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	56,838	54,624
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	52,207	49,444
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	36,000	32,781
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	27,325	24,528
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	22,669	20,228
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	18,449	16,391
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	14,657	12,981
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	11,869	10,492
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	9,800	8,653
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	8,740	7,713
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	7,818	6,897
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	6,882	6,070
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	6,120	5,396
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	5,515	4,862
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	4,930	4,345
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	4,382	3,862
						total =	20,795	19,221

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2412 in	a 21° ft/s	a 93° ft/s	Ps -> a 21° psig	Ps -> 93° psig
20	1	23,2	1,9	0,075	4160,660	4032,828	68,566	66,460
25	1	26,8	2,3	0,091	3987,246	3831,933	65,709	63,149
32	1	35,0	2,9	0,114	3662,378	3468,530	60,355	57,160
63	2	66,0	5,8	0,228	2525,391	2299,576	41,618	37,896
90	3	94,8	8,2	0,323	1916,859	1720,655	31,589	28,356
110	4	119,9	10,0	0,394	1590,243	1419,012	26,207	23,385
140	5	148,7	12,7	0,500	1294,211	1149,803	21,328	18,948
180	6	187,9	16,4	0,646	1028,231	910,630	16,945	15,007
225	8	233,2	20,5	0,807	832,584	735,999	13,721	12,129
280	10	278,9	25,4	1,000	687,442	607,017	11,329	10,003
315	12	312,8	28,6	1,126	613,086	541,096	10,103	8,917
355	14	348,4	32,2	1,268	548,421	483,841	9,038	7,974
400	16	400,0	36,3	1,429	482,797	425,800	7,956	7,017
450	18	450,0	40,9	1,610	429,300	378,524	7,075	6,238
500	20	500,0	45,4	1,787	386,861	341,046	6,375	5,620
560	22	560,0	50,8	2,000	345,810	304,810	5,699	5,023
630	24	630,0	57,2	2,252	307,426	270,943	5,066	4,465
						total =	24,040	22,827

Hasil perhitungan water hammer masing – masing pompa untuk material FRP

33-GM-2

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	35,659	33,574
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	32,042	29,764
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	29,782	27,456
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	24,533	22,278
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	20,662	18,594
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	17,250	15,422
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	14,970	13,335
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	13,934	12,393
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	12,299	10,916
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	11,281	10,000
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	10,255	9,081
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	8,724	7,714
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	7,333	6,477
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	6,872	6,067
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	6,465	5,706
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	5,779	5,099
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	5,204	4,590
						total =	15,473	14,027

33-GM-1A/B

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	50,195	47,260
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	45,104	41,897
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	41,923	38,649
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	34,534	31,360
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	29,084	26,174
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	24,282	21,709
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	21,073	18,771
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	19,614	17,445
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	17,313	15,365
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	15,880	14,076
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	14,435	12,782
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	12,280	10,858
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	10,322	9,117
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	9,673	8,541
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	9,100	8,033
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	8,135	7,178
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	7,325	6,461
						total =	21,781	19,746

33-GM-4

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	55,004	51,788
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	49,426	45,911
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	45,940	42,352
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	37,842	34,365
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	31,871	28,682
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	26,608	23,789
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	23,092	20,569
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	21,493	19,116
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	18,971	16,837
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	17,401	15,425
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	15,819	14,007
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	13,457	11,899
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	11,311	9,990
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	10,600	9,359
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	9,972	8,802
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	8,914	7,865
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	8,027	7,080
						total =	23,867	21,637

33-GM-15

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	45,806	43,128
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	41,161	38,234
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	38,257	35,269
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	31,514	28,618
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	26,541	23,885
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	22,159	19,811
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	19,230	17,129
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	17,899	15,920
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	15,799	14,022
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	14,491	12,846
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	13,173	11,665
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	11,207	9,909
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	9,419	8,320
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	8,827	7,794
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	8,304	7,330
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	7,423	6,550
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	6,685	5,896
						total =	19,876	18,019

33-GM-10

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	35,062	33,012
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	31,506	29,266
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	29,284	26,997
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	24,122	21,906
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	20,316	18,283
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	16,961	15,164
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	14,720	13,112
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	13,701	12,186
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	12,093	10,733
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	11,092	9,833
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	10,083	8,929
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	8,578	7,585
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	7,210	6,368
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	6,757	5,966
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	6,356	5,611
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	5,682	5,014
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	5,117	4,513
						total =	15,214	13,793

33-GM-11

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	43,699	41,145
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	39,268	36,475
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	36,498	33,647
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	30,065	27,302
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	25,320	22,787
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	21,140	18,900
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	18,346	16,342
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	17,076	15,188
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	15,072	13,377
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	13,825	12,255
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	12,567	11,128
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	10,691	9,453
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	8,986	7,937
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	8,421	7,435
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	7,922	6,993
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	7,082	6,249
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	6,377	5,625
						total =	18,962	17,190

33-GM-15A/15B

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	35,659	33,574
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	32,042	36,475
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	29,782	33,647
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	24,533	27,302
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	20,662	22,787
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	17,250	18,900
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	14,970	16,342
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	13,934	15,188
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	12,299	13,377
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	11,281	12,255
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	10,255	11,128
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	8,724	9,453
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	7,333	7,937
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	6,872	7,435
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	6,465	6,993
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	5,779	6,249
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	5,204	5,625
						total =	15,473	16,745

33-GM-03A

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,3	0,091	3521,185	3315,331	50,195	47,260
80	3	81,8	2,3	0,091	3164,088	2939,094	45,104	41,897
100	4	105,2	2,3	0,091	2940,908	2711,216	41,923	38,649
150	6	159,0	2,7	0,106	2422,550	2199,926	34,534	31,360
200	8	208,8	3,2	0,126	2040,263	1836,114	29,084	26,174
250	10	262,9	3,9	0,154	1703,375	1522,892	24,282	21,709
300	12	313,7	4,5	0,177	1478,271	1316,766	21,073	18,771
350	14	344,4	4,8	0,189	1375,937	1223,776	19,614	17,445
400	16	393,7	5,5	0,217	1214,495	1077,880	17,313	15,365
450	18	433,8	6,0	0,236	1113,958	987,473	15,880	14,076
500	20	482,1	6,6	0,260	1012,653	896,689	14,435	12,782
600	24	578,6	7,7	0,303	861,473	761,726	12,280	10,858
700	28	700,0	9,1	0,358	724,088	639,543	10,322	9,117
750	30	750,0	9,7	0,382	678,549	599,128	9,673	8,541
800	32	800,0	10,3	0,406	638,352	563,485	9,100	8,033
900	36	900,0	11,5	0,453	570,643	503,510	8,135	7,178
1000	40	1000,0	12,8	0,504	513,852	453,259	7,325	6,461
						total =	21,781	19,746

33-GM-05A

NPS mm	in	Pipe ID mm	t Series 2412 mm	t series 2421 in	a 21' ft/s	a 93' ft/s	Ps -> a 21' psig	Ps -> 93' psig
50	2	53,2	2,30	0,091	3521,185	3315,331	58,028	54,636
80	3	81,8	2,30	0,091	3164,088	2939,094	52,143	48,435
100	4	105,2	2,30	0,091	2940,908	2711,216	48,465	44,680
150	6	159,0	2,70	0,106	2422,550	2199,926	39,923	36,254
200	8	208,8	3,20	0,126	2040,263	1836,114	33,623	30,259
250	10	262,9	3,90	0,154	1703,375	1522,892	28,071	25,097
300	12	313,7	4,50	0,177	1478,271	1316,766	24,361	21,700
350	14	344,4	4,80	0,189	1375,937	1223,776	22,675	20,167
400	16	393,7	5,50	0,217	1214,495	1077,880	20,014	17,763
450	18	433,8	6,00	0,236	1113,958	987,473	18,358	16,273
500	20	482,1	6,60	0,260	1012,653	896,689	16,688	14,777
600	24	578,6	7,70	0,303	861,473	761,726	14,197	12,553
700	28	700,0	9,10	0,358	724,088	639,543	11,933	10,539
750	30	750,0	9,70	0,382	678,549	599,128	11,182	9,873
800	32	800,0	10,30	0,406	638,352	563,485	10,520	9,286
900	36	900,0	11,50	0,453	570,643	503,510	9,404	8,298
1000	40	1000,0	12,80	0,504	513,852	453,259	8,468	7,470
						total =	25,180	22,827

LAMPIRAN D

Coding Python with Visual Studio Code

Input Code

```
# Mustofa Tugas Akhir
criteria_l = ('cost', 'maintability', 'teknik')
criteria_m = '.34 .44; 3.1'
criteria = Compare('goal', criteria_m, criteria_l)
criteria.report()

alt = ('Carbon steel', 'FRP', 'HDPE')

# Cost
cost_sub_l = ('pemeliharaan', 'investasi')
cost_sub_m = '1.93'
cost_sub = Compare('cost', cost_sub_m, cost_sub_l)
cost_sub.report()

cost_pemeliharaan_m = '.21 .26; 1.32'
cost_pemeliharaan = Compare('cost pemeliharaan', cost_pemeliharaan_m, alt)
cost_pemeliharaan.report()

cost_investasi_m = '.24 .11; .53'
cost_investasi = Compare('cost investasi', cost_investasi_m, alt)
cost_investasi.report()

cost = Compose('cost', cost_sub, (cost_pemeliharaan, cost_investasi))

# Maintability
main_sub_l = ('joint', 'repair')
main_sub_m = '.48'
main_sub = Compare('main', main_sub_m, main_sub_l)
main_sub.report()
```

```
main_joint_m = '.4 .39; 1.32'
main_joint = Compare('maintability joint', main_joint_m, alt)
main_joint.report()

main_repair_m = '.28 .28; .66'
main_repair = Compare('maintability repair', main_repair_m, alt)
main_repair.report()

# Teknik
teknik_sub_l = ('strength', 'M. Young', 'Lifetime', 'Fatigue', 'Thermal C', 'C
teknik_sub_m = np.array([ [1, 3.62, 0.8, 1.32, 0.56, 0.78], [.28, 1, .72, .78,
# print(teknik_sub_m)
teknik_sub = Compare('teknik', teknik_sub_m, teknik_sub_l, 6, random_index='sa
# teknik_sub_m = '3.62 .8 1.32 .56 .78; .72 .78 .58 .49; 1.43 .61 .92; .39 .61
# teknik_sub_m = '3.62 1/1.25 1.32 1/1.78 1/1.28; 1/1.39 1/1.28 1/1.73 1/2.05;
# teknik_sub = Compare('teknik', teknik_sub_m, teknik_sub_l)
teknik_sub.report()

teknik_strength_m = '2.43 1.75; .39'
teknik_strength = Compare('teknik Strength', teknik_strength_m, alt)
teknik_strength.report()

teknik_young_m = '3.18 4.37; 2'
teknik_young = Compare('teknik M Young', teknik_young_m, alt)
teknik_young.report()

teknik_lifetime_m = '.33 .26; .53'
teknik_lifetime = Compare('Teknik Lifetime', teknik_lifetime_m, alt)
teknik_lifetime.report()
teknik_fatigue_m = '.3 .23; .39'
teknik_fatigue = Compare('Teknik Fatigue', teknik_fatigue_m, alt)
teknik_fatigue.report()

teknik_thermal_m = '2.93 2.7; .98'
teknik_thermal = Compare('Teknik Thermal', teknik_thermal_m, alt)
teknik_thermal.report()

teknik_corrosivity_m = '.24 .22; .76'
teknik_corrosivity = Compare('Teknik Corrosivity', teknik_corrosivity_m, alt)
teknik_corrosivity.report()

main = Compose('main', main_sub, (main_joint, main_repair))
teknik = Compose('teknik', teknik_sub, (teknik_strength, teknik_young, teknik_

goal = Compose('goal', criteria, (cost, main, teknik))
```

Report Terminal

```
PS E:\must\Must\0. TUGAS AKHIR\P3\coding
Name: goal
CR: 0.0869
Weights:
        maintability: 0.5932
        teknik: 0.256
        cost: 0.1507

Name: cost
CR: 0.0
Weights:
        pemeliharaan: 0.6587
        investasi: 0.3413

Name: cost pemeliharaan
CR: 0.0005
Weights:
        FRP: 0.5052
        HDPE: 0.391
        Carbon steel: 0.1038

Name: cost investasi
CR: 0.0024
Weights:
        HDPE: 0.6171
        FRP: 0.3116
        Carbon steel: 0.0713

Name: main
CR: 0.0
Weights:
        repair: 0.6757
        joint: 0.3243

Name: maintability joint
CR: 0.0104
```

```
Name: maintability joint
CR: 0.0104
Weights:
        FRP: 0.4546
        HDPE: 0.381
        Carbon steel: 0.1644

Name: maintability repair
CR: 0.0196
Weights:
        HDPE: 0.4995
        FRP: 0.3787
        Carbon steel: 0.1218

Name: teknik
CR: 0.025163
Weights:
        Thermal C: 0.255745
        Corrosivity: 0.188648
        strength: 0.179164
        Lifetime: 0.165161
        Fatigue: 0.114495
        M. Young: 0.096787

Name: teknik Strength
CR: 0.0427
Weights:
        Carbon steel: 0.491
        HDPE: 0.3442
        FRP: 0.1647

Name: teknik M Young
CR: 0.0159
Weights:
        Carbon steel: 0.6417
        FRP: 0.2287
        HDPE: 0.1296
```

```
Name: Teknik Lifetime
CR: 0.0178
Weights:
        HDPE: 0.5456
        FRP: 0.3301
        Carbon steel: 0.1243

Name: Teknik Fatigue
CR: 0.0519
Weights:
        HDPE: 0.598
        FRP: 0.2922
        Carbon steel: 0.1098

Name: Teknik Thermal
CR: 0.0004
Weights:
        Carbon steel: 0.5844
        HDPE: 0.212
        FRP: 0.2036

Name: Teknik Corrosivity
CR: 0.004
Weights:
        HDPE: 0.4961
        FRP: 0.4014
        Carbon steel: 0.1025

PS E:\must\Must\0. TUGAS AKHIR\P3\coding ahp>
```

BIODATA PENULIS

Musthafa Muhammad Drehem lahir di Jember pada tanggal 28 Februari 1998, merupakan anak bungsu dari 4 bersaudara. Penulis mengampuh pendidikan formal di SD Al – Hikmah Surabaya, SMP Al – Hikmah Surabaya dan SMA Al – Hikmah Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2016, penulis melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi negeri di Surabaya yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Kelautan melalui jalur Mandiri. Selama menempuh masa kuliah, penulis ikut serta dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) sebagai Ketua Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa, Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember (BEM ITS) sebagai Staf Kementerian Aksi dan Propaganda. Selain itu penulis juga berpartisipasi dalam beberapa kepanitiaan kegiatan kampus seperti GERIGI ITS 2017 dan 2018 sebagai Wakil Ketua 1, OCEANO 2018 sebagai Koordinator Social Development, Ini Lho ITS 2018 (ILITS 2018) sebagai koordinator Visits dan masih banyak lainnya. Kemudian penulis juga penerima beasiswa Rumah Kepemimpinan angkatan 9 2018 – 2019. Pada tahun 2019, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Badak NGL *refinery* Bontang pada divisi *Inspection.* Penulis memiliki minat dalam bidang Manajemen Pengambilan Keputusan dan Inspeksi, sehingga pada tugas akhir ini penulis melakukan teknik pengambilan keputusan seleksi material pipa dengan metode *analytical hierarchy process.*

Kontak Penulis :

Email : musthafadrehem@gmail.com / mustafa28drehem@gmail.com

Telepon : 08113221010

LinkedIn : Musthafa Muhammad Drehem