



TESIS - BM185407

**PEMILIHAN PROYEK PEMELIHARAAN PERALATAN
PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN METODE AHP
DAN GOAL PROGRAMMING**

**HERY SETIYAWAN
09211650015002**

**Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hery Setiyawan

NRP: 09211650015002

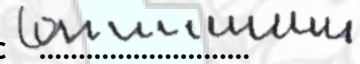
Tanggal Ujian: 12 Agustus 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

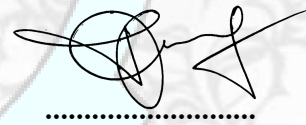
Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
NIP: 195903181987011001


.....

Penguji:

1. Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc(Eng)
NIP: 196506301990031002



.....

2. Imam Baihaqi, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP: 197007211997021001


.....

Kepala Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital




Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP
NIP: 196912311994121076

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMILIHAN PROYEK PEMELIHARAAN PERALATAN PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN METODE AHP DAN GOAL PROGRAMMING

Nama Mahasiswa : Hery Setiyawan
NRP : 09211650015002
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc.

ABSTRAK

PT XYZ *Services* adalah perusahaan penyedia jasa Operasi dan Pemeliharaan (O&M) pembangkit listrik di Indonesia meliputi pengelolaan, pengoperasian, dan pemeliharaan unit pembangkit. Salah satu Unit Jasa O&M adalah Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ dengan kapasitas 2 x 10 MW. Dalam kegiatan operasi dan pemeliharaan pembangkit listrik perlu dilakukan perencanaan dan pemeliharaan peralatan agar dapat berproduksi maksimal, andal, aman dan efisien sehingga dapat dicapai target kinerja unit.

Pemilihan proyek pemeliharaan peralatan yang tepat adalah kunci untuk mendukung kinerja pembangkit listrik, terutama untuk proyek yang bersifat *improvement* besar dan memerlukan biaya besar. Masalah perencanaan pemeliharaan adalah alokasi anggaran yang terbatas untuk mencapai tujuan dari berbagai kriteria dan tujuan pemeliharaan yang saling bertentangan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Goal Programming* (GP). Pada tahap pertama kriteria pemeliharaan yang bersifat kualitatif diukur menggunakan pendekatan AHP. Tahap kedua adalah menggunakan GP dengan memakai bobot kriteria dan alternatif yang didapat dari AHP untuk mengoptimasikan berbagai tujuan terhadap batasan yang ada.

Dari hasil AHP didapatkan bobot dan prioritas kriteria secara berurutan adalah *Safety* (0,539), *Availability* (0,221), *Reliability* (0,140), dan Efisiensi (0,100). Prioritas proyek pemeliharaan dari AHP secara berurutan adalah proyek 1, proyek 3, proyek 2, proyek 4, dan proyek 5. Hasil kombinasi AHP- GP untuk optimasi pemilihan proyek terhadap batasan anggaran Rp. 20 Milyar didapatkan proyek yang optimal adalah proyek 1, proyek 3, proyek 4, dan proyek 5. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menunjang manajemen perusahaan dalam pengambilan keputusan perencanaan dan pemilihan proyek pemeliharaan yang optimal.

Kata Kunci : AHP, GP, Kinerja, Pemilihan Proyek, Pengambilan Keputusan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

A COMBINED AHP-GP FOR MAINTENANCE PROJECT SELECTION IN COAL POWER PLANT

Name : Hery Setiyawan
Sudent ID's : 09211650015002
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc.

ABSTRACT

PT XYZ company is a provider of Operations and Maintenance (O&M) services for power plants in Indonesia including the management, operation, and maintenance of the power plant. One of the business unit is the XYZ Steam Power Plant (PLTU) with a capacity of 2 x 10 MW. In the operation and maintenance of power plants, it is necessary to plan and maintain equipment to be able to produce maximum, reliable, safe and efficient so that unit performance targets can be achieved.

The selection of proper equipment maintenance projects is the key to supporting the performance of power plants, especially for large projects for equipment improvement or replacement which require large costs. The problem of maintenance planning is the limited budget allocation to achieve the objectives of various conflicting criteria and maintenance objectives. This study uses a combination approach of Analytical Hierarchy Process (AHP) and *Goal Programming* (GP). In the first stage qualitative maintenance criteria are measured using the AHP approach. The second stage is to use GP by using the weighting of criteria and alternatives obtained from AHP to optimize various objectives against existing constraints.

From the AHP results obtained weights and priority criteria in sequence are *Safety* (0.539), *Availability* (0.221), *Reliability* (0.140), and *Efficiency* (0.100). The weight or priority of maintenance projects result from AHP in sequence are projects 1, project 3, project 2, project 4, and project 5. The results of the AHP-GP combination for optimization of project selection with a budget constraint Rp. 20 Billion obtained optimal projects are project 1, project 3, project 4, and project 5. The results of this study can be used to support organization management in making optimal planning and selection of maintenance projects.

Keywords: AHP, GP, Performance, Project Selection, Decision Making

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas Rahmat, Taufik dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul *“Pemilihan Proyek Pemeliharaan Peralatan Pembangkit Listrik Menggunakan Metode AHP dan Goal Programming”*. Tesis ini diajukan sebagai bagian dari tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi di Departemen Manajemen Teknologi dengan bidang keahlian Manajemen Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga atas dukungan, motivasi, dan doa.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc. selaku Dosen Pembimbing, yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran, dan ide.
3. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng) dan Bapak Imam Baihaqi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran perbaikan.
4. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D., CSCP, selaku Kepala Departemen Manajemen Teknologi, Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital.
5. Seluruh dosen MMT ITS yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk belajar dan mendalami ilmu Manajemen Industri.
6. Manajemen di PT PJB dan PT PJBS yang banyak memberikan kemudahan selama penulisan.
7. Rekan-rekan yang membantu dalam pengumpulan data dan diskusi.
8. Seluruh dosen MMT ITS yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk belajar dan mendalami ilmu Manajemen Industri.
9. Staf dan karyawan MMT ITS atas bantuan dan informasinya.
10. Rekan-rekan sesama mahasiswa MMT ITS atas segala bantuan, kerjasama, dan dorongan semangat yang diberikan.

Akhirnya penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan. Untuk itu saran dan kritik yang konstruktif akan sangat membantu agar tesis ini dapat menjadi lebih baik.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Permasalahan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	5
2.2 Tipe Pemeliharaan.....	7
2.3 Kriteria Evaluasi Kelayakan Proyek Secara Finansial.....	9
2.4 Indikator Kinerja Pembangkit	9
2.5 Proses Pengambilan Keputusan	12
2.6 Pengambilan Keputusan Multikriteria	13
2.7 Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	14
2.8 <i>Goal Programming</i>	18
2.9 Variasi <i>Goal Programming</i>	20
2.9.1 Generic Goal Programming.....	20
2.9.2 Distance Metric Based Variant.....	20
2.9.3 Decision Variable and Goal Based Variants	22

2.10	<i>Weighted Goal Programming</i>	22
2.11	Perkembangan Penggunaan <i>Goal Programming</i>	23
2.12	Integrasi AHP dan <i>Goal Programming</i>	24
2.13	Analisa Sensitivitas	25
2.14	Posisi Penelitian.....	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Rancangan Penelitian	29
3.1.1	Latar Belakang	30
3.1.2	Perumusan Masalah	30
3.1.3	Penetapan Tujuan Penelitian.....	30
3.1.4	Studi Literatur	30
3.1.5	Pengumpulan Data	30
3.2	Pengolahan Data AHP	31
3.3	Kombinasi AHP dan <i>Goal Programming</i> (GP).....	34
3.3.1	Pemodelan <i>Goal Programming</i>	35
3.4	Analisa Sensitivitas	37
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Informasi Umum Seputar Perusahaan	39
4.2	Proses Perencanaan Operasi dan Pemeliharaan.....	40
4.3	Pengumpulan Data Rencana Pemeliharaan	40
4.3.1	Penganggaran Biaya Proyek Pemeliharaan	42
4.4	Responden Survey AHP	42
4.5	Penetapan Pembobotan Kriteria dan Prioritas Proyek dengan AHP	43
4.5.1	Penyusunan Hierarki dalam Pemilihan Proyek.....	43
4.5.2	Pengolahan Data AHP	44
4.5.3	Hasil Perhitungan Bobot Kriteria.....	45
4.6	Kombinasi AHP dan <i>Goal Programming</i> Untuk Pemilihan Proyek.....	47
4.6.1	Variabel Keputusan.....	47

4.6.2	Perumusan Model Goal Programming	47
4.7	Pemodelan <i>Goal Programming</i>	51
4.8	Perbandingan Pemilihan Berdasarkan AHP dan Kombinasi AHP- GP.....	53
4.9	Analisa Sensitivitas	55
4.9.1	Analisa Sensitivitas Kriteria AHP	55
4.9.2	Analisa Sensitivitas Goal Programming.....	58
4.10	Implikasi Manajerial	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN A.....		67
LAMPIRAN B.....		69
LAMPIRAN C.....		75
LAMPIRAN D.....		95
LAMPIRAN E.....		99
LAMPIRAN F.....		101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-jenis pembangkit listrik <i>thermal</i>	5
Gambar 2.2 PLTU dengan <i>boiler</i> tipe CFB	6
Gambar 2.3 Tahapan Pengambilan Keputusan	14
Gambar 2.4 Struktur Hierarki AHP	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Struktur AHP untuk Pemilihan Proyek Pemeliharaan	32
Gambar 3.3 (a) Struktur AHP; (b) <i>Individual judgment</i> ; (c) <i>Group decision</i>	33
Gambar 3.4 Diagram alir penggunaan kombinasi AHP dan GP.....	35
Gambar 4.1 Peta unit jasa <i>O&M</i> yang dikelola oleh PT XYZ.....	39
Gambar 4.2 Struktur pemilihan proyek pemeliharaan dengan AHP.....	44
Gambar 4.3 Pengolahan AHP dengan perangkat lunak <i>Superdecisions</i>	45
Gambar 4.4 Pemodelan GP menggunakan LINGO.	51
Gambar 4.5 Hasil Pemodelan GP.....	52
Gambar 4.6 Perubahan bobot <i>Availability</i> (EAF) terhadap prioritas proyek.....	56
Gambar 4.7 Perubahan bobot <i>Reliability</i> (EFOR) terhadap prioritas proyek.	56
Gambar 4.8 Perubahan bobot Efisiensi (NPHR) terhadap prioritas proyek.	57
Gambar 4.9 Perubahan bobot <i>Safety</i> terhadap prioritas proyek.	58
Gambar 4.10 Optimasi pemilihan proyek terhadap anggaran yang tersedia	61

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Metode Evaluasi Finansial untuk Proyek.....	10
Tabel 2.2 Skala nilai <i>pairwise comparison</i> Saaty.	16
Tabel 2.3 <i>Random Index</i>	17
Tabel 2.4 Tiga Tipe Prinsip Dasar Tujuan	20
Tabel 2.5 Transformasi Untuk Model <i>Goal Programming</i>	23
Tabel 2.6 Perkembangan penggunaan metode <i>Goal Programming</i>	24
Tabel 3.1 Kebutuhan Data dan Sumber Data.....	31
Tabel 3.2 Fungsi Tujuan <i>Goal Programming</i>	36
Tabel 3.3 Fungsi Batasan <i>Goal Programming</i>	37
Tabel 4.1 Deskripsi Proyek Pemeliharaan	40
Tabel 4.2 Perkiraan Biaya Proyek.....	42
Tabel 4.3 Penentuan Kriteria AHP.....	43
Tabel 4.4 Bobot Masing-masing Alternatif Terhadap Kriteria	46
Tabel 4.5 Hasil AHP Nilai Bobot Kriteria	46
Tabel 4.6 Bobot <i>Overall</i> AHP dan Prioritas Proyek.	47
Tabel 4.7 Variabel Keputusan <i>Goal Programming</i>	47
Tabel 4.8 Fungsi tujuan dan Obyektif.....	48
Tabel 4.9 Batasan dalam <i>Goal Programming</i>	48
Tabel 4.10 Fungsi Tujuan, Obyektif dan Bobot.....	50
Tabel 4.11 Fungsi Batasan <i>Goal Programming</i>	50
Tabel 4.12 Nilai Variabel Keputusan Hasil Pemodelan GP	52
Tabel 4.13 Pencapaian Fungsi Tujuan	53
Tabel 4.14 Perbandingan Hasil AHP dan Solusi Optimal AHP-GP.....	54
Tabel 4.15 Analisa Sensitivitas Perubahan Bobot Kriteria.....	59
Tabel 4.16 Analisa Sensitivitas Perubahan Batasan Biaya Anggaran	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan pembangkit listrik di Indonesia mengalami peningkatan saat ini. Hal ini untuk memenuhi program elektrifikasi Nasional dan mencukupi pertumbuhan pelanggan. Dalam 5 tahun terakhir (2012-2016) penjualan energi listrik PLN mengalami peningkatan rata-rata sebesar 6,7% per-tahun (RUPTL PLN, 2018). Pembangunan pembangkit listrik untuk menyediakan pasokan listrik yang cukup bagi masyarakat sampai ke pelosok.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ merupakan salah satu unit usaha dalam bidang jasa pengelolaan, operasi dan pemeliharaan (*Operation and Maintenance*) unit pembangkit listrik. PLTU tersebut terdiri dari dua unit dengan masing-masing kapasitas unit sebesar 10 MW. Pembangkit tersebut memiliki kontribusi besar untuk menjaga keandalan pasokan energi listrik di wilayah tersebut.

Untuk menjaga produksi, keandalan operasi, efisiensi unit dan *Safety* serta lingkungan hidup perlu dijaga kehandalan dan performance peralatan di unit pembangkit. Target kinerja tersebut tertuang dalam target kinerja dalam O&M *agreement*. Pemeliharaan dan rehabilitasi pada peralatan yang bersifat proyek *improvement* dapat meningkatkan kehandalan dan performance pembangkit (IEE, 1991). Pemeliharaan peralatan pembangkit dalam kategori proyek *improvement* di PLTU XYZ diperlukan karena kondisi *ageing* pada peralatan, perbaikan dan pencegahan gangguan, peningkatan kehandalan operasi dan daya mampu, dan peningkatan efisiensi. Usulan rencana pemeliharaan ini berdasarkan kondisi peralatan (*condition based*), hasil *assessment* peralatan, dan rekomendasi *improvement*.

Sumberdaya yang terbatas untuk proyek menyebabkan perlu dilakukan evaluasi dan pemilihan proyek sehingga sumberdaya dapat dialokasikan kepada proyek pemeliharaan yang penting untuk menjaga dan meningkatkan kinerja.

Evaluasi dan pemilihan melibatkan kriteria yang kuantitatif dan kualitatif. Metode yang umum dipakai dalam evaluasi dan pemilihan proyek pemeliharaan adalah analisa kelayakan operasi, kelayakan finansial, dan analisa risiko. Metode ini masih terdapat kekurangan antara lain kesulitan untuk kriteria yang bersifat kualitatif, penentuan prioritas untuk proyek yang sama-sama terlihat penting, kadangkala masih adanya unsur subyektifitas, belum dapat melakukan optimasi obyektif tujuan yang konflikting terhadap sumberdaya anggaran biaya yang ada dan bila terjadi perubahan persetujuan anggaran biaya.

Metode dalam evaluasi dan pemilihan proyek telah banyak dikembangkan dan diterapkan. Penelitian terdahulu (Ciptomulyono, 2009) mengembangkan model integrasi dari metode *Multikriteria Decision Making* (MCDM) untuk penetapan kriteria evaluasi dan pemilihan proyek yang bersifat kualitatif dan kuantitatif dengan pendekatan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan optimasi sumberdaya dan obyektif tujuan dengan *Multi Objective Decision Making* (MODM) dengan pendekatan *Goal Programming* (GP). Pendekatan dengan menggunakan metode integrasi AHP dan GP direkomendasikan karena dapat menutupi kekurangan masing-masing metode jika digunakan secara terpisah.

Penelitian terdahulu penggunaan metode pendekatan AHP-GP diantaranya adalah AHP-GP untuk pemilihan *instrument* pengukuran survey *Quality Control* pada pelanggan (Badri, 2000), AHP-GP untuk pemilihan perencanaan pembangkit listrik yang berwawasan lingkungan (Ciptomulyono, 2005), AHP-GP untuk evaluasi dan pemilihan kontraktor untuk pekerjaan perbaikan rotor di pembangkit listrik (Rusli dkk., 2013), kombinasi AHP-GP untuk pemilihan strategy pemeliharaan peralatan *electrical* di Pembangkit Listrik Tenaga Air (Özcan, 2017).

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan integrasi AHP-GP untuk pemilihan proyek pemeliharaan yang besar di PLTU XYZ. Tahap pertama metode AHP digunakan untuk menentukan bobot pada kriteria yang bersifat kualitatif dan prioritas alternatif proyek pemeliharaan. Pada tahap kedua GP digunakan untuk melakukan optimasi terhadap sumberdaya anggaran biaya yang tersedia dan fungsi obyektif pencapaian kinerja dengan menggunakan bobot kriteria yang

didapatkan dari metode AHP. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menunjang manajemen perusahaan dalam evaluasi dan pemilihan proyek rencana pemeliharaan peralatan di PLTU XYZ untuk menjaga dan meningkatkan kinerja unit serta melakukan optimasi terhadap biaya anggaran yang tersedia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan maka dilakukan perumusan permasalahan yaitu bagaimana melakukan pemilihan proyek pemeliharaan yang tepat dengan menggunakan metode pendekatan AHP untuk pembobotan kriteria dan prioritas alternatif proyek dan penggunaan kombinasi dengan metode *Goal Programming* untuk optimasi berbagai obyektif tujuan yang *conflicting* untuk memperoleh solusi pilihan proyek pemeliharaan pembangkit yang optimal.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan permasalahan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan bobot dari kriteria dan prioritas alternatif yang diperlukan untuk evaluasi dan pemilihan proyek pemeliharaan peralatan pembangkit
2. Menentukan pilihan proyek pemeliharaan peralatan yang optimal untuk mendukung pencapaian kinerja unit dengan mengacu batasan sumberdaya yang ada.
3. Menganalisa kestabilan pemilihan alternatif proyek pemeliharaan peralatan pembangkit terhadap kriteria dan biaya yang tersedia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah untuk menunjang manajemen perusahaan dalam membuat keputusan pemilihan proyek pemeliharaan peralatan pembangkit dan optimasi terhadap obyektif tujuan dan biaya yang tersedia. Disamping itu juga untuk memperkenalkan metode pengambilan keputusan dengan pendekatan AHP

dan *Goal Programming* yang dapat dimanfaatkan untuk solusi permasalahan lainnya.

1.5 Batasan Permasalahan

Pada penelitian ini dilakukan pembatasan lingkup permasalahan sebagai berikut:

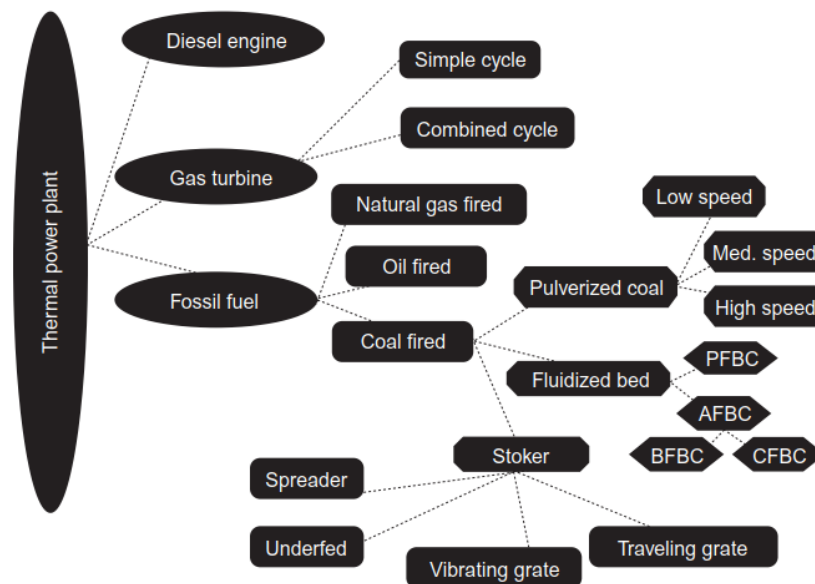
1. Proyek pemeliharaan peralatan mengacu pada usulan pemeliharaan Unit Pembangkit PLTU XYZ tahun 2020 dan perkiraan biaya dan perkiraan anggaran yang tersedia.
2. Penelitian dilakukan pada 5 proyek pemeliharaan untuk *replacement* atau *improvement* yang besar dan penting berdasarkan kondisi peralatan saat ini.
3. Proyek pemeliharaan yang akan dipilih sudah dilakukan analisa kelayakan operasi, kelayakan finansial dan analisa risiko.
4. Kriteria yang akan digunakan mengacu pada kriteria kinerja dalam usulan proposal jasa operasi dan pemeliharaan yang bersifat *controllable* dalam lingkup jasa O&M.
5. Kriteria dianggap tidak saling mempengaruhi satu dengan lainnya dan alternatif proyek dianggap tidak mempengaruhi satu dengan lainnya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara banyak dibangun dikarenakan PLTU berbahan bakar batu bara lebih kompetitif dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar minyak. Jenis-jenis pembangkit *thermal* ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pembangkit PLTU XYZ menggunakan jenis *boiler Circulating Fluidized Bed boiler* (CFB). Teknologi CFB akhir-akhir ini menunjukkan *trend* yang meningkat karena fleksibilitas bahan bakar yang dipakai, operasi yang stabil, dan emisi gas buang rendah sulfur.



Gambar 2.1 Jenis-jenis pembangkit listrik *thermal*



Gambar 2.2 PLTU dengan *boiler* tipe CFB

Salah satu contoh pembangkit listrik dengan tipe *boiler* CFB ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dalam pembangkit listrik terdiri dari banyak sistem dan peralatan di unit utama maupun penunjangnya. Peralatan turbin berfungsi untuk mengubah energi kinetik uap untuk memutar turbin yang digunakan untuk memutar generator listrik. *Generator* berfungsi untuk mengubah energy kinetik dari poros yang terhubung dengan turbin menjadi energi listrik. *Boiler* merupakan sistem peralatan untuk memanaskan air pengisi ketel dan mengubahnya menjadi uap panas lanjut yang digunakan untuk memutar turbin. Tipe *boiler* dan pembakaran pada PLTU batu bara ada beberapa macam yaitu, *pulverize*, *stoker* dan *CFB*. Pada tipe CFB, digunakan pasir sebagai media *fluidisasi* pada area *furnace boiler* sehingga pembakaran dan transfer panas menjadi lebih efisien. Kekurangan CFB adalah karena fluidisasi pasir maka rawan terjadi erosi pada dinding *refractories* dan *tubes* sehingga dapat mengakibatkan penipisan dan kebocoran pada *tubes*. *Failure mode* yang umum terjadi adalah terjadi erosi pada *refractory* dan kebocoran tubes di area *furnace* dan *cyclone*.

Coal Handling system berfungsi untuk transportasi batubara dari penyimpanan sampai dengan silo untuk bahan bakar *boiler*. *Water Treatment System* merupakan sistem pengolahan air dari air laut menjadi air tawar dengan spesifikasi kualitas air pengisi sehingga aman di *boiler*, turbin dan proses lainnya. *Wastewater treatment plant* merupakan fasilitas pengolahan limbah air dari PLTU

sebelum dibuang ke lingkungan agar aman sesuai dengan standar lingkungan hidup.

2.2 Tipe Pemeliharaan

Pemeliharaan pada unit pembangkit dilakukan untuk menjaga *Availability*, kehandalan (*Reliability*), efisiensi, dan *Safety*. Tipe pemeliharaan dan istilah yang umum dipakai (Gulati, 2013) adalah sebagai berikut:

- ***Capital Project Maintenance (CPM)***

Pemeliharaan dalam skala besar dan *overhaul* yang memerlukan biaya besar yang umumnya dimasukkan dalam *capital project* pada besaran biaya tertentu.

- ***Condition Based Maintenance (CBM)***

Pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual kesehatan aset peralatan yang ditentukan dari pengukuran dan pengujian dengan *tools predictive*. CBM dapat mengoptimalkan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* yang sifatnya *time base*. Penggunaan istilah *Condition Based Maintenance (CBM)* dan *Predictive Maintenance (PdM)* adalah sama.

- ***Corrective Maintenance (CM)***

Tindakan perbaikan yang dilakukan berdasarkan hasil observasi atau parameter pengukuran kondisi asset peralatan sebelum atau sesudah peralatan gagal berfungsi.

- ***Operator Based Maintenance (OBM)***

OBM melibatkan operator dalam melakukan pemeliharaan aset peralatan dalam skala *basic* atau ringan. OBM merupakan pemeliharaan yang efektif dari segi biaya dengan pengerjaan *task* pemeliharaan minor secara rutin dan berulang untuk menjaga aset beroperasi secara efisien sesuai fungsi. Dalam rutin kegiatan di unit pembangkit dikenal sebagai FLM (*First Line Maintenance*) yang dilakukan oleh operator.

- ***Predictive Maintenance (PdM)***

Merupakan suatu strategi pemeliharaan berdasarkan kondisi aktual kesehatan aset peralatan yang diketahui dari hasil pengukuran dan pengujian. PdM dapat mengoptimalkan kegiatan *preventive* dan *corrective action* dengan cara

mengoptimalkan *task preventive* atau *corrective* yang bersifat rutin atau *time based*. Kondisi peralatan dapat diukur menggunakan *tools condition monitoring*, *statistical process control (trending)*, *performance* peralatan, atau gejala ketidaknormalan yang dapat dideteksi dengan panca indra. Penggunaan istilah *Predictive Maintenance (PdM)* atau *Condition Based Maintenance* adalah sama.

- ***Preventive Maintenance (PM)***

Merupakan suatu strategi pemeliharaan berupa inspeksi, penggantian komponen, dan overhaul yang dilakukan dalam interval waktu tetap terlepas dari kondisi peralatan pada saat itu. Secara umum inspeksi yang terjadwal dilakukan untuk mengetahui kondisi dari peralatan. Contoh *task PM* antara lain penggantian item meliputi filter, *oil*, *belt*, dan pelumas. *Task PM* peralatan jika diperlukan perbaikan dapat dipisahkan *Work Order (WO)* untuk pekerjaan perbaikan tersebut.

- ***Reactive Maintenance (RM)***

Pekerjaan pemeliharaan yang diperlukan tiba-tiba dan segera dikarenakan kerusakan peralatan dimana tidak ada perencanaan dan penjadwalan pemeliharaan sebelumnya. Istilah lainnya sama dengan *breakdown* atau *emergency maintenance*.

- ***Run to Failure Maintenance (RTF)***

Merupakan strategi pemeliharaan (*policy*) pada aset peralatan dimana biaya dan dampak kegagalan lebih rendah dibandingkan dengan biaya melakukan *preventive*. Hal dipilih berdasarkan efektifitas ekonomi dengan tidak melakukan PM dan membiarkan aset beroperasi sampai terjadi kegagalan.

- ***Proactive (Maintenance) Work***

Merupakan jumlah pekerjaan pemeliharaan yang sudah diselesaikan untuk menghindari kegagalan dan untuk mengidentifikasi gejala yang dapat menyebabkan kerusakan. *Proactive maintenance* meliputi rutin *preventive maintenance* dan aktivitas *predictive maintenance* dan *task* pekerjaan terkait dengan PM dan PdM tersebut.

2.3 Kriteria Evaluasi Kelayakan Proyek Secara Finansial

Pemeliharaan dengan tipe *capital project maintenance* memerlukan biaya yang lebih tinggi. Sebagai evaluasi kelayakannya dari segi finansial perlu dilakukan. Prinsip evaluasi dengan pendekatan finansial yang paling sering dipakai dalam seleksi proyek adalah dengan menghitung beberapa indikator kinerja finansial untuk setiap rencana *cash flow* alternatif proyek dengan parameter antara lain NPV, IRR, PBP dan DPBP sebagaimana pada Tabel 2.1.

2.4 Indikator Kinerja Pembangkit

Indikator Kinerja Pembangkit dipakai dalam perhitungan kesiapan komersial pembangkit sebagai dasar perhitungan pembayaran kapasitas pembangkit sesuai Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (PJBTL)/ Kesiapan Transfer Tenaga Listrik antara PT PLN (Persero) dengan Perusahaan Pembangkit atau PLN Pembangkitan.

- **Availability Factor (AF):** adalah rasio antara jumlah jam unit pembangkit siap beroperasi terhadap jumlah jam dalam satu periode tertentu. Besaran ini menunjukkan prosentase kesiapan unit pembangkit untuk dioperasikan pada satu periode tertentu.
- **Equivalent Availability Factor (EAF):** adalah ekivalen *Availability Factor* yang telah memperhitungkan dampak dari *derating* pembangkit.
- **Service Factor (SF):** adalah rasio dari jumlah jam unit pembangkit beroperasi terhadap jumlah jam dalam satu periode tertentu. Besaran ini menunjukkan prosentase jumlah jam unit pembangkit beroperasi pada satu periode tertentu.

Tabel 2.1 Perbandingan Metode Evaluasi Finansial untuk Proyek.

Metode	Keunggulan	Kelemahan
<i>Net Present Value</i> (NPV)	Memproyeksikan <i>cash flow</i> menjadi nilai sekarang. Sensitif dengan adanya perbedaan tingkat suku bunga.	Memerlukan informasi tingkat suku bunga Membandingkan hanya dengan investasi modal yang sama
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	Mengkaitkan NPV dengan <i>capital investment Performance</i> dinyatakan sebagai presentase IRR. Dapat diperhitungkan tanpa perlu diketahui tingkat suku bunganya	Kemungkinan terjadinya multiple IRR. Dihitung terlepas dari tingkat suku bunga yang berlaku.
<i>Payback Period</i> (PBP)	Mudah menggunakannya Mengukur resiko proyek Indikator liabilitas proyek	Tidak mempertimbangkan “ <i>time value of money</i> ” Mengabaikan “ <i>cash flow in</i> ” yang masuk setelah PBP
<i>Discounted Payback Period</i> (DPBP)	Sama seperti PBP Mempertimbangkan “ <i>time value of money</i> ”	Mengabaikan “ <i>cash flow in</i> ” yang masuk setelah PBP

(Sumber : Ciptomulyono, 2000)

- **Service Factor (SF):** adalah rasio dari jumlah jam unit pembangkit beroperasi terhadap jumlah jam dalam satu periode tertentu. Besaran ini menunjukkan prosentase jumlah jam unit pembangkit beroperasi pada satu periode tertentu.
- **Planned Outage Factor (POF):** adalah rasio jumlah jam unit pembangkit keluar terencana (*planned outage*) terhadap jumlah jam dalam satu periode. Besaran ini menunjukkan prosentase kondisi unit pembangkit akibat pelaksanaan pemeliharaan, inspeksi dan overhaul pada suatu periode tertentu.
- **Maintenance Outage Factor (MOF):** adalah rasio dari jumlah jam unit pembangkit keluar terencana (*Maintenance outage*) terhadap jumlah jam

dalam satu periode. Besaran ini menunjukkan prosentase kondisi unit pembangkit akibat pelaksanaan perbaikan, pada suatu periode tertentu.

- ***Scheduled Outage Factor (SOF)***: adalah rasio dari jumlah jam unit pembangkit keluar terencana (*planned outage dan maintenance outage*) terhadap jumlah jam dalam satu periode. Besaran ini menunjukkan prosentase kondisi unit pembangkit akibat pelaksanaan pemeliharaan, inspeksi dan *overhaul* pada suatu periode tertentu.
- ***Unit Derating Factor (UDF)***: adalah rasio dari jumlah jam ekivalen unit pembangkit mengalami *derating* terhadap jumlah jam dalam satu periode. Besaran ini menunjukkan prosentase kondisi unit pembangkit akibat *derating*, pada suatu periode tertentu.
- ***Reserve Shutdown Factor (RSF)***: adalah rasio dari jumlah jam unit pembangkit keluar *reserve shutdown* (RSH) terhadap jumlah jam dalam satu periode. Besaran ini menunjukkan prosentase unit pembangkit *reserve shutdown*, pada suatu periode tertentu.
- ***Forced Outage Factor (FOF)***: adalah rasio dari jumlah jam unit pembangkit keluar paksa (FOH) terhadap jumlah jam dalam satu periode. Besaran ini menunjukkan prosentase kondisi unit pembangkit akibat FO, pada suatu periode tertentu.
- ***Forced Outage Rate (FOR)***: adalah jumlah jam unit pembangkit dikeluarkan dari sistem (keluar paksa) dibagi jumlah jam unit pembangkit dikeluarkan dari sistem ditambah jumlah jam unit pembangkit beroperasi, yang dinyatakan dalam persen.
- ***Forced Outage Rate demand (FORd)***: adalah $(f \times \text{FOH})$ dibagi $[(f \times \text{FOH}) + \text{SH}]$. Besaran ini menunjukkan tingkat gangguan *outage* tiap periode operasi yang diharapkan.
- ***Equivalent Forced Outage Rate (EFOR)***: adalah *Forced Outage Rate* yang telah memperhitungkan dampak dari *derating* pembangkit.
- ***Equivalent Forced Outage Rate demand (EFORD)***: adalah $[(f \times \text{FOH}) + (fp \times \text{EFDH})]$ dibagi $[(f \times \text{FOH}) + \text{SH}]$. Besaran ini menunjukkan tingkat gangguan *outage* dan *derating* tiap periode operasi yang diharapkan.

- **Net Capacity Factor (NCF):** adalah rasio antara total produksi *netto* dengan daya mampu *netto* unit pembangkit dikali dengan jam periode tertentu (umumnya periode 1 tahun, 8760 atau 8784 jam).
- **Net Output Factor (NOF):** adalah rasio antara total produksi *netto* dengan daya mampu *netto* unit pembangkit dikali dengan jumlah jam unit pembangkit beroperasi.
- **Plant Factor (PF):** adalah rasio antara total produksi *netto* dengan perkalian antara DMN dan jumlah jam unit pembangkit siap dikurangi jumlah jam ekuivalen unit pembangkit *derating* akibat *forced derating*, *maintenance derating*, *planned derating*, dan *derating* karena cuaca/musim.
- **Sudden outage Frequency (SdoF):** adalah rata – rata jumlah gangguan mendadak unit pembangkit per periode tinjauan.

2.5 Proses Pengambilan Keputusan

Pengambilan merupakan hal yang sering dijumpai dalam praktek kehidupan pribadi, profesional dan bisnis. Pengambilan keputusan mulai dari hal yang sederhana sampai dengan kompleks dan dihadapkan pada banyak pilihan yang *conflicting*.

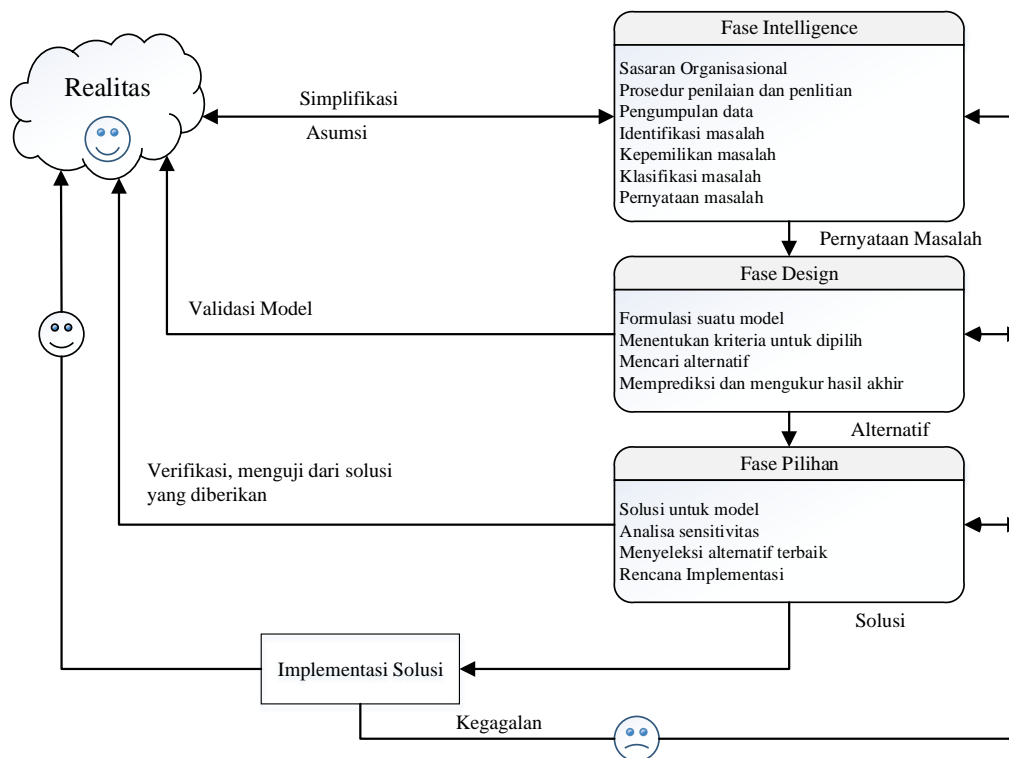
Pengambilan keputusan dapat bersifat rasional dan tidak rasional. Pengambilan keputusan yang rasional didasarkan pada hubungan logis dari parameter yang terukur maka dengan mudah hasil yang obyektif mudah dicapai. Dalam kondisi tertentu pengambilan keputusan ini dapat terpengaruh faktor subyektifitas, persepsi dan *value judgement* yang berbeda-beda sehingga tidak mudah mendapatkan solusi yang obyektif (Ciptomulyono, 2013). Sedangkan pengambilan keputusan tidak rasional didasarkan pada perasaan, emosi, intuisi serta pengalaman pengambil keputusan tanpa memanfaatkan hasil analisis yang ilmiah. Dalam dunia profesional, organisasi khususnya dalam dunia bisnis pengambilan keputusan merupakan hal yang penting dan kritical sehingga proses pengambilan keputusan dan hasilnya perlu dipertanggung jawabkan.

Pengambilan keputusan yang rasional menerapkan prosedur yang sistematis dalam proses pengambilan keputusan tersebut (Tuban dkk, 2005), (Ciptomulyono, 2009). Tahapan pengambilan keputusan pada Gambar 2.3 dijelaskan sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi situasi keputusan yang terkait dengan permasalahan yang akan diselesaikan.
2. Membuat klarifikasi tujuan yang diinginkan oleh pengambil keputusan.
3. Membangkitkan beberapa alternatif untuk mencapai tujuan yang diinginkan.
4. Mendapatkan solusi yang tepat dari model dan melakukan evaluasi berdasarkan kriteria penilaian yang ditetapkan.
5. Memilih dan merekomendasikan implementasi alternatif solusi keputusan kedalam permasalahan nyata.

2.6 Pengambilan Keputusan Multikriteria

Pengambilan keputusan multikriteria (*Multiple Criteria Decision Making*) adalah suatu metode proses pemilihan alternatif untuk mendapatkan solusi optimal dari beberapa alternatif keputusan dengan memperhitungkan kriteria atau obyektif yang lebih dari satu yang berada dalam situasi yang bertentangan (*conflicting*). Paradigma ini berbeda dengan cara pandang metode tradisonal yang hanya menggunakan obyektif tunggal sehingga terjadi penyederhanaan masalah yang terlalu berlebihan sehingga gagal mencari solusi permasalahan karena tidak dapat mengakomodir keberagaman, dinamika dan kondisi yang mengalami konflik tersebut (Ciptomulyono, 2010). Pendekatan yang kompleks mempertimbangkan banyak kriteria yang perlu dirumuskan secara eksplisit, dibandingkan dengan solusi obyektif tunggal yang hanya satu obyektif tunggal sehingga tidak dapat dilakukan *trade off* dengan pencapaian obyektif yang lain.



Sumber : Turban dkk (2005)

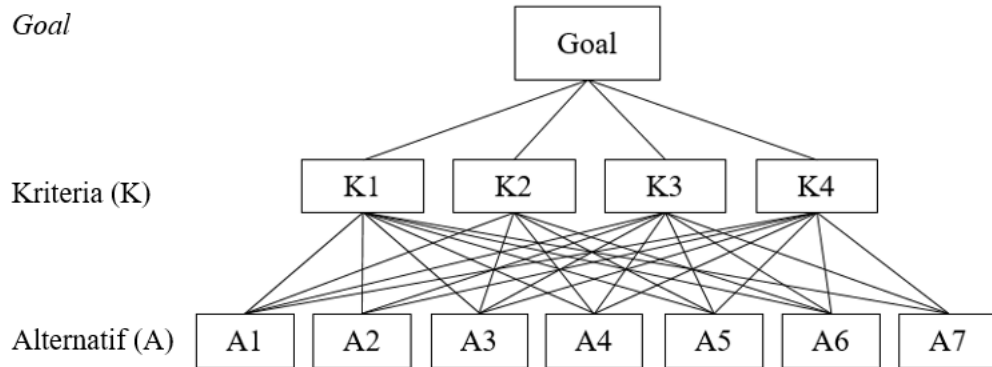
Gambar 2.3 Tahapan Pengambilan Keputusan

2.7 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Diantara teknik pengambilan keputusan yang menonjol adalah penggunaan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang semakin menarik (Ciptomulyono, 2010). AHP adalah suatu metode kuantitatif untuk menentukan peringkat (*ranking*) beberapa alternatif dan memilih salah satu berdasarkan beberapa kriteria yang sudah ditentukan. Tujuan penggunaan metode AHP dalam beberapa penelitian bertujuan untuk mengurangi kompleksitas permasalahan pengambilan keputusan dengan cara yang lebih sistematis dan analitis melalui pengarahannya masing-masing aspek dari hierarki untuk membantu analisis melakukan identifikasi pada alternatif yang diinginkan (Khairaa, 2018).

AHP merupakan proses menentukan bobot numerik untuk menentukan peringkat setiap alternatif berdasarkan kesesuaian alternatif tersebut dengan kriteria-kriteria dari pengambil keputusan. Struktur hierarki AHP ditunjukkan

pada Gambar 2.4. Metode AHP pertama kali dikembangkan oleh Dr. Thomas L. Saaty pada tahun 1980.



Gambar 2.4 Struktur Hierarki AHP

Goal : suatu *goal* diperlukan untuk menentukan kriteria

Kriteria : digunakan untuk mengevaluasi sejumlah alternatif yang ditentukan

Alternatif : alternatif dipilih untuk mencapai *goal*

Langkah-langkah dalam menggunakan metode AHP (Saaty, 1999) adalah sebagai berikut:

1. Mendefinisikan permasalahan dan menentukan solusi yang diinginkan.
Pada langkah ini dilakukan penentuan masalah apa yang akan dipecahkan dengan jelas dan rinci. Masalah tersebut kemudian dicarikan solusi yang memungkinkan untuk pemecahannya. Solusi masalah bisa berjumlah lebih dari satu.
2. Membuat hierarki yang diawali dengan tujuan utama.
3. Menetapkan tingkat hierarki dengan kriteria yang tepat untuk mempertimbangkan atau mengevaluasi alternatif yang disediakan. Kriteria masing-masing memiliki intensitas berbeda untuk setiap hierarki yang ada.
4. Membuat matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap tujuan atau tingkat kriteria di atasnya.

5. Mendefinisikan perbandingan berpasangan untuk mendapatkan beberapa peringkat sebanyak $\frac{n(n-1)}{2}$ buah, dimana n adalah jumlah elemen yang dibandingkan.

Hasil perbandingan setiap elemen akan menjadi nomor 1 sampai 9 yang menunjukkan perbandingan tingkat pentingnya suatu unsur. Jika elemen dalam matriks dibandingkan dengan dirinya sendiri maka hasil perbandingan diberi nilai 1. Skala penilaian perbandingan berpasangan yang diperkenalkan oleh Saaty ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Skala nilai *pairwise comparison* Saaty.

Tingkat Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sedikit memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
5	Lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
7	Sangat lebih penting	Satu elemen sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata dibandingkan elemen pasangannya
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen terbukti mutlak lebih disukai dibandingkan elemen pasangannya pada tingkat keyakinan tertinggi
2, 4, 6, 8	Nilai diantara dua penilaian yang berdekatan	Diberikan bila terdapat keraguan penilaian antara dua penilaian yang berdekatan

Sumber : Saaty (1985).

Tahapan berikutnya adalah sebagai berikut:

- (a) Menghitung nilai *eigen* dan pengujian konsistensi

Indeks konsistensi menggunakan persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{2a(n-1)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

CI = Indeks Konsistensi

λ (lambda) = nilai eigen

n = jumlah data

Sementara rasio konsistensi (CR) menggunakan persamaan (2.2) berikut:

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana RI adalah *Random Index* yang mengacu pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 *Random Index*

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RRI	0.0	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

Sumber : Saaty (1999)

- (b) Mengulangi langkah 3, 4, dan 5 untuk setiap tingkat hierarki
- (c) Menghitung vektor *eigen* dari setiap matriks perbandingan berpasangan yang merupakan bobot dari setiap elemen untuk penentuan unsur-unsur prioritas di tingkat hierarki terendah sampai mencapai tujuan. Perhitungan dilakukan dengan menambahkan nilai dari setiap kolom matriks, membagi setiap kolom dengan nilai total kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks, dan menjumlahkan nilai-nilai dari setiap baris dan membaginya dengan jumlah elemen untuk mendapatkan rata-rata.
- (d) Memeriksa konsistensi hierarki. AHP diukur dalam rasio yang konsisten dengan indeks konsistensi. Konsistensi adalah pendekatan hampir sempurna yang diharapkan untuk menghasilkan keputusan yang sah. Meskipun sulit untuk mencapai konsistensi yang sempurna, diharapkan $\leq 10\%$. Jika nilai *consistency ratio* lebih dari 10% maka revisi terhadap perbandingan berpasangan.

2.8 *Goal Programming*

Goal Programming awalnya diperkenalkan oleh Charnes dkk. (1955), dimana pada saat itu yang digunakan untuk adaptasi *linear programming*. Pengembangan selanjutnya dilakukan oleh Ijiri (1965), Lee (1972) dan Ignizio (1976) yang membawa teknis *Goal Programming* pada penggunaan sebagai alat penelitian. Hal ini menjadikan GP dipergunakan secara luas.

Terminologi dalam *Goal Programming* (Tamiz dkk., 2010) adalah sebagai berikut:

- a. ***Pengambil Keputusan***: adalah mengacu pada orang, organisasi, atau *stakeholder* yang berhubungan dengan pengambilan keputusan suatu permasalahan.
- b. ***Variabel Keputusan***: adalah faktor yang dikendalikan oleh pengambil keputusan. Sebagai contoh suatu perusahaan manufaktur akan memutuskan seberapa banyak produk tertentu akan diproduksi pada bulan berikutnya. Kumpulan variabel keputusan dideskripsikan dengan jelas pada permasalahan dan membentuk keputusan yang akan dibuat. Tujuan dari model *Goal Programming* dapat dilihat sebagai pencarian kombinasi nilai variabel keputusan untuk menentukan titik yang akan memuaskan pengambil keputusan untuk mencapai *goal* dengan batasan yang ada.
- c. ***Kriteria***: merupakan ukuran tunggal dimana hasil dari solusi permasalahan dapat diukur. Banyak kriteria yang muncul dari beberapa penerapan, antara lain:
 1. Biaya
 2. Keuntungan / profit
 3. Waktu
 4. Jarak
 5. Kinerja dari sistem
 6. Strategi perusahaan
 7. Pilihan tertentu yang diminati pengambil keputusan
 8. *Safety*

- d. **Objective**: Suatu obyektif mengacu pada kriteria dengan tambahan informasi yang mengarah pada *maximize* atau *minimize* dimana pengambil keputusan lebih menyukai pada skala kriteria, sebagai contoh meminimalkan biaya atau memaksimalkan kinerja dari sistem. Suatu permasalahan yang obyektifnya dimaksimalkan atau diminimalkan disebut *multi objective optimization problem*. Dalam penerapannya, obyektif ini mengalami *conflicting*, dimana obyektif tidak dapat mencapai nilai yang optimal secara bersamaan. Jika dapat, maka model tersebut dapat diselesaikan sebagai permasalahan dengan obyektif tunggal.
- e. **Goal**: mengacu kriteria dan *level* numerik yang dikenal dengan suatu target *level*, dimana pengambil keputusan menginginkan untuk mencapai kriteria. Ada tiga prinsip *goal* dalam *Goal Programming* sebagaimana pada Tabel 2.4.
- f. **Deviation Variable** atau variabel deviasi mengukur perbedaan diantara target *level* pada kriteria dan nilai yang mampu dicapai pada solusi. Jika nilai tercapai diatas *level* target maka perbedaan nilai didapat dari **positive deviation variable**. Jika nilai dicapai dibawah target *level* maka perbedaan yang diberikan nilai dari **negative deviation variable**.
- g. **Constraint** atau batasan merupakan batasan pada *decision variable* yang harus dipenuhi untuk mendapatkan solusi agar dapat diterapkan. Dalam suatu proyek dikenal batasan-batasan (*constraints*) yaitu anggaran atau biaya, mutu atau kualitas, dan waktu atau jadwal (Pastiarsa, 2015)

Tabel 2.4 Tiga Tipe Prinsip Dasar Tujuan

Tipe goal	Tujuan	Contoh
1	Mencapai target level paling tinggi/banyak	Menjaga biaya sesuai anggaran \$1 Million
2	Mencapai target level paling rendah	Memproduksi sedikitnya 20 item
3	Mencapai target level secara tepat	Memperkerjakan sejumlah 20 pekerja

2.9 Variasi Goal Programming

Variasi *Goal Programming* dalam aplikasinya:

2.9.1 Generic Goal Programming

Suatu pemodelan yang memiliki Q goal maka index dapat ditulis $q=1, \dots, Q$. Definisi variabel pengambilan keputusan ada n sehingga ditulis $\underline{x} = x_1, x_2, \dots, x_n$. Ini merupakan faktor dimana pengambil keputusan harus mengendalikan dan mendefinisikan keputusan yang akan dibuat. Masing-masing *goal* mempunyai nilai yang harus dicapai $f_q(\underline{x})$ pada kriteria yang ditetapkan. Pengambil keputusan menetapkan target pada masing-masing *goal* dan disimbolkan dengan b_q , sehingga formasi *goal* dapat ditulis pada persamaan (2.3):

$$f_q(\underline{x}) + nq - pq = bq \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

2.9.2 Distance Metric Based Variant

2.9.2.1 Lexicographic Goal Programming

Pada masa awal *Goal Programming* lebih banyak menggunakan *lexicographic Goal Programming*, disebut juga *pre-emptive Goal Programming*. Fitur yang membedakan dari *lexicographic Goal Programming* adalah keberadaan jumlah *level* prioritas. Masing-masing *level* prioritas mempunyai sejumlah deviasi yang perlu diminimalkan.

$$\text{Lex Min } a = [h_1(n, p), h_2(n, p), \dots, h_L(n, p)] \dots\dots\dots (2.4)$$

Subject to:

$$\begin{matrix} f_q(x) + n_q - p_q = b_q & q = 1, \dots, Q & \dots\dots\dots (2.5) \\ x \in F \end{matrix}$$

$$n_q, p_q \geq 0 \qquad q = 1, \dots, Q$$

2.9.2.2 Weighted Goal Programming

Pada jenis ini memungkinkan untuk langsung dilakukan *trade-off* diantara semua variabel deviasi yang tidak diinginkan dengan menempatkannya pada pembobotan, *normalizing* pada fungsi tujuan tunggal. *Weighted Goal Programming* kadang disebut juga *non pre-emptive Goal Programming*.

$$\text{Min } a = \sum_{q=1}^Q \left(\frac{u_q n_q}{k_q} + \frac{v_q p_q}{k_q} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Subject to:

$$\begin{matrix} f_q(x) + n_q - p_q = b_q & q = 1, \dots, Q & \dots\dots\dots (2.7) \\ x \in F \end{matrix}$$

$$n_q, p_q \geq 0 \qquad q = 1, \dots, Q$$

2.9.2.3 Chebyshev Goal Programming

Variasi ketiga dari *Goal Programming* diperkenalkan oleh Flavel (1976) yang dikenal dengan *Chebyshev Goal Programming*, karena (L_∞) berarti mengukur jarak yaitu deviasi maksimal dari *goal*, yang berlawanan dengan penjumlahan semua deviasi, akan diminimalkan. *Chebyshev Goal Programming* kadang disebut *Minmax Goal Programming*.

$$\text{Min } a = \lambda$$

Subject to:

$$f_q(x) + n_q - p_q = b_q \qquad q = 1, \dots, Q \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\frac{u_q n_q}{k_q} + \frac{v_q p_q}{k_q} \leq \lambda \qquad q = 1, \dots, Q \dots\dots\dots (2.9)$$

$$x \in F$$

$$n_q, p_q \geq 0 \qquad q = 1, \dots, Q$$

2.9.3 Decision Variable and Goal Based Variants

2.9.3.1 Fuzzy Goal Programming

Fuzzy Goal Programming menggunakan teori fuzzy set yang digunakan pada level Goal Programming.

2.9.3.2 Fractional Goal Programming

Fraksional Goal Programming mempunyai satu atau lebih goal. Bentuk persamaannya seperti (2.10):

$$\frac{fq(x)}{gq(x)} + nq - pq = bq \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana $g_q(x)$ merupakan decision fungsi generic dari variabel keputusan. Tipe Goal Programming ini dijelaskan oleh Romero (1991) karena munculnya perencanaan finansial, perencanaan produksi, dan engineering.

2.10 Weighted Goal Programming

Pada jenis ini memungkinkan untuk langsung dilakukan trade-off diantara semua deviasi variabel yang tidak diinginkan dengan menempatkannya pada pembobotan, normalizing pada fungsi tujuan tunggal. Weighted Goal Programming kadang disebut juga non-pre-emptive Goal Programming.

Secara umum Goal Programming diformulasikan pada persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$\text{Min} = \sum_{j=1}^k (w_j^- n_j + w_j^+ n_j) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Subject to:

$$g_i(x) \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i \quad i=1,2,3,\dots,m \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$f(x) + n_j - p_j = f_i \quad j=1,2,3,\dots,k \quad (2.10)$$

$$n_j, p_j \geq 0 \quad j=1,2,3, \dots,k$$

$$x_i \geq 0 \quad i=1,2,3,\dots,n$$

Penetapan fungsi realisasi membutuhkan perubahan bentuk dari *goal* atau kendala (*rigid* atau *non rigid*) $g_i(x) \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i$ menjadi bentuk formulasi *Goal Programming* seperti berikut dibawah:

Programming seperti berikut dibawah:

$$g_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2.13)$$

dan untuk bisa memenuhi pemenuhan suatu *goal* (*flexible* atau *inflexible*), dilakukan penelusuran solusi variabel deviasi yang meminimumkan kan "*non achievement goal*" dengan meminimumkan variabel deviasi positif dan negatif $w_j^- n_j + w_j^+ p_j$. Bentuk transformasi perubahan fungsi kendala menjadi persamaan dalam *Goal Programming* dapat dirumuskan sebagai Tabel 2.5 :

Tabel 2.5 Transformasi Untuk Model *Goal Programming*

Fungsi Kendala	Fungsi <i>Goal</i>	Variabel Deviasi Yang Diminimumkan
$g_i(x) \geq b_i$	$g_i(x) + n_i - p_i = b_i$	n_i
$g_i(x) \leq b_i$	$g_i(x) + n_i - p_i = b_i$	p_i
$g_i(x) = b_i$	$g_i(x) + n_i - p_i = b_i$	$n_i + p_i$

Sumber : (IGNIZIO, 1984)

2.11 Perkembangan Penggunaan *Goal Programming*

Mengacu pada Tamiz, dkk (1998) *trend* perkembangan metode *Goal Programming* ditunjukkan pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Perkembangan penggunaan metode *Goal Programming*

No	Metode	Deskripsi	Jumlah Publikasi
1	<i>Interactive GP</i>	Penggunaan metode ini adalah meningkatkan fleksibilitas model GP dengan memperbolehkan DM terlibat pada solusi proses dan menentukan nilai target dan bobot yang menghasilkan solusi terbaik berdasarkan preferensinya.	8
2	<i>Teaching of GP</i>	Mengajarkan konsep GP penting untuk mendapat <i>modeling</i> yang akurat	4
3	<i>GP for infeasibility analysis</i>	Area yang menarik dilakukan pada analisa resolusi dari ketidaklayakan (<i>infeasibility</i>) dari <i>linear problem</i>	2
4	<i>GP and its interface with artificial intelligence</i>	Penggunaan GP dengan ANN membuka penelitian baru untuk metode <i>hybrid</i> .	2
5	<i>GP in combination with other management science techniques</i>	GP dapat dipadukan dengan teknik metode dari sistem manajemen untuk mendapatkan GP yang lebih akurat disarankan untuk menggunakan Delphi dalam pembobotan	4
6	<i>Stochastic GP</i>	Pada permasalahan dimana parameter pada model GP (nilai <i>goal</i> , koefisien teknis, bobot fungsi <i>achievement</i>) tidak diketahui secara pasti yang dikenal dengan istilah <i>stochastic GP</i> . Dikenal juga sebagai <i>fuzzy GP</i> karena mendekati metode <i>fuzzy</i>	1
7	<i>Non-linear GP</i>	Kebanyakan diterapkan pada kasus yang <i>linear</i> , dimana GP mempunyai fungsi <i>linear</i> dengan fungsi yang diinginkan, <i>goal</i> dan batasan.	1

Sumber : Tamiz, Mehrdad (1998)

2.12 Integrasi AHP dan *Goal Programming*

Penelitian integrasi MCDM dan MODM untuk evaluasi proyek (Ciptomulyono, 2005) menyatakan bahwa kedua metoda *Goal Programming* dan AHP memiliki keterbatasan bilamana dipakai secara terpisah untuk permasalahan

alokasi sumberdaya dalam suatu keputusan. Penggunaan kedua metode secara integrasi memiliki keunggulan dan kelemahan dari masing-masing metoda ini saling melengkapi.

Metode AHP sebagai representasi MCDM sebagai penetapan kriteria preferensi yang bersifat kuantitatif dan kualitatif untuk evaluasi dan pemilihan suatu proyek dan *Goal Programming* sebagai representasi MODM untuk optimasi sumberdaya proyek. Penggunaannya sebagai berikut:

- menggunakan secara langsung kriteria kuantitatif dalam model *Goal Programming* (parameter fungsi obyektif/*goal* dan koefisien vektor pencapaian)
- menetapkan prioritas untuk kriteria kualitatif menurut *judgement* pakar/nara sumber
- menggunakan prioritas yang berasal dari AHP sebagai koefisien dalam variabel keputusan yang berkaitan dengan fungsi obyektif model *Goal Programming*

2.13 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengetahui impact dari adanya ketidakpastian terhadap model pengambilan keputusan yang telah dibuat. Pada penelitian ini analisa sensitivitas dilakukan dengan membuat variasi perubahan terhadap batasan atau kriteria.

2.14 Posisi Penelitian

Penelitian terdahulu dengan metode AHP dan *Goal Programming* atau kombinasi keduanya ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Posisi Penelitian

No	Peneliti	Publikasi	Pokok Masalah	Metode	Hasil
1	Eko Febrianto dan Udisubakti Ciptomulyono (2010),	Pemilihan Proses Pada Perancangan Proses <i>Dried Bacteria Cell</i> (DBC) di PT Ajinimoto Indonesia dengan Metode <i>Goal Programming</i>	Pemilihan peralatan dan teknologi untuk optimasi pengembangan fasilitas <i>dried bacteria cell</i> dengan fungsi tujuan optimasi pada biaya investasi minimal, biaya operasional dan perawatan yang minimal, memaksimalkan pemakaian tenaga kerja, meminimalkan polusi, dan kemudahan ekspansi di masa depan	<i>Goal Programming</i>	Solusi optimal sebagai alternatif dari fungsi tujuan dari sisi <i>cash flow</i> , pengembangan 5 tahun kedepan, biaya operasional menjadi pilihan yang menarik.
2	Akhmad Rusli dan Udisubakti Ciptomulyono (2013)	Pemilihan Kontraktor Perbaikan Rotor di Pembangkit Listrik PT XYZ Dengan Menggunakan Metode AHP dan <i>Goal Programming</i>	Pemilihan kontraktor yang kompeten untuk perbaikan <i>Rotor Turbin</i>	Integrasi AHP dan <i>Goal Programming</i>	Penelitian ini menghasilkan tiga kontraktor yang terpilih yang memberikan hasil yang paling optimal dalam pencapaian tujuan yang diinginkan oleh PT. XYZ.

No	Peneliti	Publikasi	Pokok Masalah	Metode	Hasil
3	Evren Can Özcana, Sultan Ünlüsoyb, Tamer Eren (2017)	<i>A combined Goal Programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants</i>	Penentuan <i>maintenance strategy</i> PM, PdM, CM, <i>Overhaul</i> pada pembangkit Listrik Tenaga Air pada peralatan elektrik.	Topsis, AHP, <i>Goal Programming</i>	Penentuan <i>maintenance strategy</i> yang tepat pada peralatan elektrik sehingga dapat menekan <i>downtime</i> sampai 77%
4	Massimo Bertolini, Maurizio Bevilacqua (2005)	<i>A combined Goal Programming - AHP approach to maintenance selection problem</i>	Penentuan <i>maintenance strategy</i> pada 12 pompa sentrifugal di industri <i>oil refinery</i> dengan mengacu FMEA pompa dan mencapai meminimalkan biaya, penggunaan tenaga kerja, Memaksimalkan <i>score</i> AHP, pada masing-masing kriteria (<i>occurrence, severity, dan detectability</i>)	Kombinasi AHP dan <i>Goal Programming</i>	Aplikasi dari kombinasi GP dan AHP menghasilkan <i>tool</i> yang fleksible dalam mengalokasikan sumberdaya pada <i>maintenance strategi</i> yang berbeda. Hal ini penting oleh pengambil keputusan ketika dihadapkan pada pemilihan obyektif terhadap beberapa batasan.
5	Julieete Willeke C, Udisubakti Ciptomulyono (2010)	Penentuan Prioritas Pengembangan Jenis Kegiatan Sistem Manajemen Keselamatan DI PT. SPIL Dengan pendekatan AHP	Pengembangan Sistem Manajemen Keselamatan untuk mengutamakan aspek keselamatan, perlindungan jiwa di laut, kecelakaan di laut, dan pencemaran lingkungan	AHP	Pengembangan kegiatan manajemen keselamatan posisi tertinggi ke rendah adalah pemeliharaan (0,465), pengawasan kapal (0,276), kegiatan pelatihan (0,075)

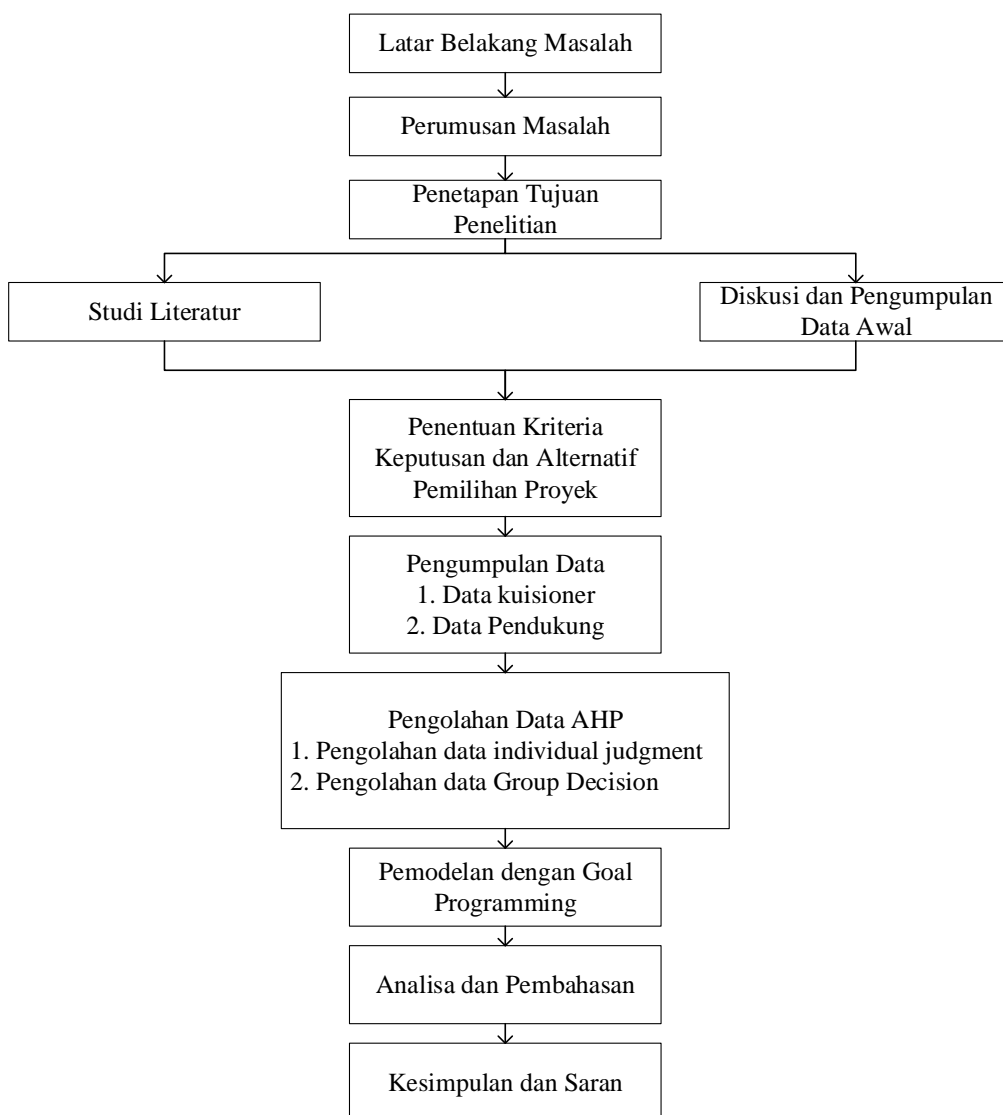
No	Peneliti	Publikasi	Pokok Masalah	Metode	Hasil
6	Bambang Eko Widodo, Udisubakti Ciptomulyono (2012).	Pemilihan Kontraktor Untuk Jasa Konstruksi Dengan Menggunakan Metode AHP (Studi Kasus di Proyek PLN)	Untuk memenuhi proses pengadaan barang dan jasa diperlukan seleksi kontraktor yang baik untuk menghindari kerugian dan resiko	AHP	Penggunaan AHP untuk seleksi kontraktor pada tahap evaluasi proses pengadaan
7	Mohammad Effendi, Suparno (2013)	Pemilihan Pemasok dan Alokasi <i>Order</i> bahan <i>Utama Finned Heat Exchanger</i> Dengan Integrasi Metode <i>Analytic Network Process</i> dan <i>Goal Programming</i> di PT.X Indonesia	Pemilihan pemasok dan alokasi order yang tepat untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengadaan bahan baku dengan pembobotan kriteria pada <i>Benefit, Opportunities, Cost, Risk Subnetwork</i>	ANP dan <i>Goal Programming</i> .	Hasil pemilihan pemasok didapatkan supplier terbaik untuk pipa tembaga, <i>supplier</i> terbaik pada plat aluminium, dan supplier terbaik pada fin aluminium. Optimasi didapatkan untuk jumlah <i>order</i> pada masing-masing <i>supplier</i> tersebut.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Goal Programming* (GP) untuk pemilihan alternatif proyek pemeliharaan. Dalam bab ini akan diuraikan tentang tahapan penelitian agar penelitian sistematis, jelas dan terarah. Tahapan metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1.1 Latar Belakang

Latar belakang dalam penelitian ini menguraikan tentang alasan pentingnya penelitian untuk menunjang pengambilan keputusan pemilihan proyek pemeliharaan di PLTU XYZ.

3.1.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang dihadapi dan kemudian dirumuskan dalam suatu kalimat. Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan pemilihan proyek pemeliharaan yang optimal terhadap pencapaian kriteria kinerja pada PLTU XYZ dan biaya yang tersedia.

3.1.3 Penetapan Tujuan Penelitian

Penetapan tujuan penelitian ini adalah penentuan bobot kriteria pemilihan dan pemilihan proyek pemeliharaan yang optimal di PLTU XYZ.

3.1.4 Studi Literatur

Sebagai landasan dan kerangka berfikir untuk penelitian yang dilakukan maka perlu disertakan konsep dan teori dan penelitian sebelumnya yang mendukung penelitian. Referensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur baik berupa buku, jurnal ilmiah, dan karya tulis lainnya yang mendukung penyelesaian masalah di dalam penelitian.

3.1.5 Pengumpulan Data

3.1.5.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari sumbernya secara langsung dan kemudian diamati dan dicatat saat pertama kali (Sugiyono, 2005). Pengumpulan data primer meliputi hasil diskusi dan *survey* kuisisioner AHP.

3.1.5.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data-data dalam bentuk dokumen atau naskah yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan oleh pihak tertentu (Sugiyono, 2005). Data ini berupa data yang diperoleh dari-data internal, eksternal, dan unit pembangkit. Data-data yang diperlukan ditampilkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kebutuhan Data dan Sumber Data

No	Kebutuhan data	Sumber Data
1	Data usulan proyek yang sudah dilakukan kajian kelayakan operasi, finansial, dan risiko	Dokumen Manajemen Risiko (DMR) yang disusun untuk setiap usulan / perencanaan proyek pemeliharaan.
2	Data usulan biaya proyek pemeliharaan	a. Informasi biaya b. Perkiraan biaya, riwayat biaya
3	Data riwayat pemeliharaan	Data riwayat pemeliharaan dan usulan proyek pemeliharaan
4	Data target kinerja unit dalam O&M <i>Agreement</i> (SLA)	Proposal dan Kontrak O&M

3.1.5.3 Pengolahan dan Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data, analisa data, penyusunan model keputusan dengan AHP, dan pemodelan *Goal Programming*.

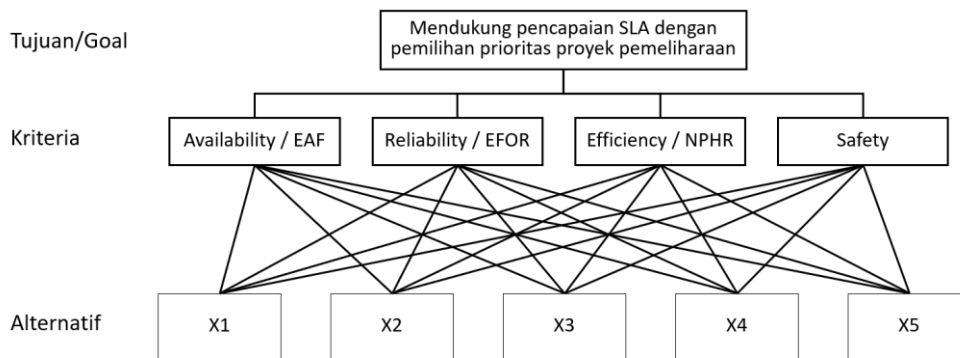
3.2 Pengolahan Data AHP

Tahapan dalam metode AHP adalah sebagai berikut:

1. Menguraikan permasalahan, menentukan *goal* dan menyusun struktur hierarki yang terdiri dari kriteria dan alternatif.

Tujuan yang ingin dicapai adalah mendukung peningkatan kinerja unit melalui pemilihan proyek pemeliharaan yang tepat dan optimal.

Kriteria menggunakan kriteria penilaian kinerja unit pada SLA (*Service Level Agreement*) kontrak jasa O&M. Alternatif terdiri dari proyek pemeliharaan (X_n) yang bersifat besar yang akan diusulkan dalam rencana pemeliharaan. Struktur AHP dalam untuk pemilihan proyek pemeliharaan dengan menggunakan 4 kriteria ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Struktur AHP untuk Pemilihan Proyek Pemeliharaan

2. Menyusun perbandingan berpasangan pada kriteria dan alternatif.

Setelah penyusunan struktur AHP langkah berikutnya adalah penyusunan perbandingan berpasangan pada kuisioner yang akan dibagikan kepada pakar yang terdiri dari pegawai di divisi O&M, *Engineering* di Kantor Pusat dan Bidang Perencanaan Pemeliharaan di Unit PLTU XYZ. Pemilihan responden kuisioner dengan memperhatikan lama waktu bekerja, pengalaman dan posisi saat ini terdiri dari level Manajer, Deputi Manajer dan staf *Engineering*.

3. Perhitungan vektor prioritas.

Setelah data responden terisi langkah berikutnya adalah pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Superdecisions V3.2* untuk perhitungan matrik perbandingan berpasangan dan bobot.

4. Perhitungan dan pengecekan *consistency ratio*

a. *Individual judgement* hasil dari responden

Pengecekan nilai CR masing-masing responden (*individual judgement*) dan memastikan nilai *Consistency Ratio* $\leq 10\%$. Jika nilai lebih dari 10% maka dilakukan umpan balik dan diskusi untuk memperbaiki pemilihan perbandingan berpasangan yang tidak konsisten.

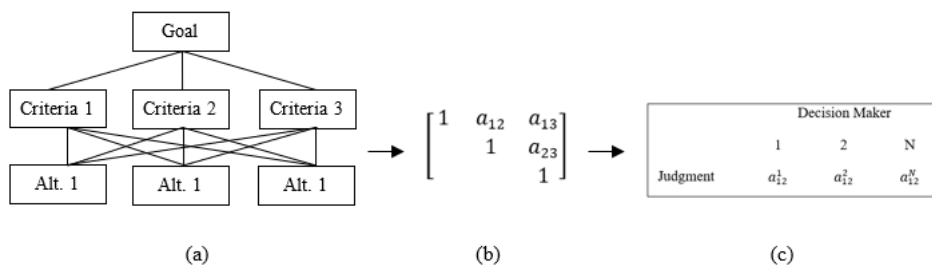
b. *AHP Group Decision*

Menurut Saaty (2000) untuk AHP pada *group decision* dapat dilakukan dengan: (1) konsensus atau *voting* dan (2) dengan *individual judgement*. Pada penelitian ini dilakukan dengan metode *individual judgement* dimana $CR \leq 10\%$.

Kemudian dari *individual judgement* yang sudah konsisten dikombinasi masing-masing perbandingan berpasangan dengan rata-rata geometris (*geometric mean*).

Gambaran proses AHP dengan menggunakan *individual judgment* menjadi *group decision* ditunjukkan pada Sumber : Saaty

Gambar 3.3.



Sumber : Saaty

Gambar 3.3 (a) Struktur AHP; (b) *Individual judgement* ; (c) *Group decision* dari *individual judgement*

Perhitungan *combined judgment* pada persamaan (3.1) berikut:

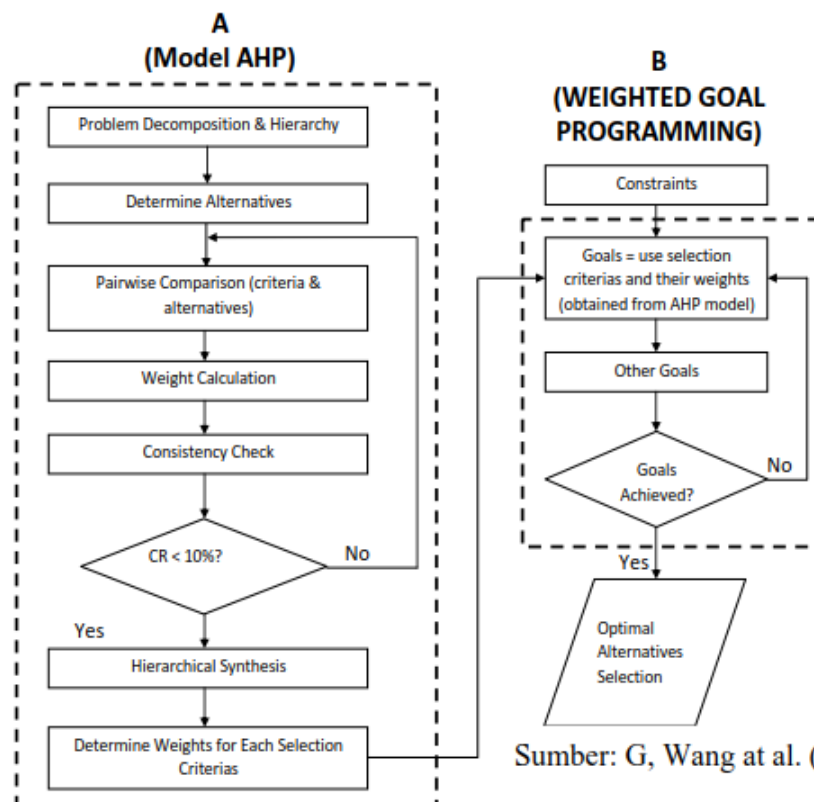
$$\text{Combined judgment } a_{12} = [a_{12}^1 \times a_{12}^2 \times \dots \times a_{12}^N]^{1/N} \quad (3.1)$$

5. Analisa hasil AHP dan pengujian sensitivitas

Hasil AHP yang diperoleh adalah berupa bobot pada kriteria dan alternatif proyek pemeliharaan. Analisa sensitivitas dilakukan pada perubahan bobot kriteria dan pengaruhnya kepada prioritas alternatif.

3.3 Kombinasi AHP dan Goal Programming (GP)

Kombinasi AHP dan GP dengan tahapan sebagai berikut: tahap pertama menggunakan AHP untuk pembobotan kriteria baik secara kualitatif dan kuantitatif. Selanjutnya tahap kedua menggunakan GP untuk optimasi pemilihan proyek pemeliharaan terhadap fungsi tujuan dan alokasi sumberdaya anggaran biaya yang terbatas. Bobot hasil AHP digunakan sebagai masukan formulasi GP. Kombinasi dengan metode GP diperlukan karena metode AHP sendiri tidak dapat digunakan untuk melakukan optimasi alokasi sumberdaya. Diagram alir penggunaan kombinasi AHP dan *Goal Programming* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Sumber: G, Wang at al. (2004)

Gambar 3.4 Diagram alir penggunaan kombinasi AHP dan GP.

3.3.1 Pemodelan Goal Programming

Dalam formulasi *Goal Programming* ini terdapat beberapa hal yang harus ditetapkan, yaitu variabel keputusan, susunan prioritas, kendala sasaran dan fungsi tujuan yang diuraikan sebagai berikut:

- Variabel keputusan

X_i = Variabel keputusan untuk memilih proyek pemeliharaan ke- i

$i = 1, 2, \dots, n$

$0 \leq X_i \leq 1$

(X_i bernilai 0-1, dimana 1 berarti proyek pemeliharaan dipilih dan 0 proyek tidak dipilih)

- Susunan prioritas

Untuk prioritas akan ditentukan berdasarkan peringkat yang diperoleh dari AHP, semakin besar nilai bobot yang diperoleh dari AHP, maka semakin tinggi prioritas untuk didahulukan. Bobot w (*weight*) didapatkan dari AHP atau nilai yang ditentukan yang dimasukkan dalam keputusan *Goal Programming*. Berikut urutan prioritas (w) secara sementara:

Prioritas 1 : Meminimalkan biaya proyek (C)

Prioritas 2 : Memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria *Availability*

Prioritas 3 : Memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria *Reliability*

Prioritas 4 : Memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria efisiensi

Prioritas 5 : Memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria *Safety*

- Menentukan fungsi tujuan (*Goal Function*)

Fungsi tujuan meliputi meminimalkan sumberdaya yaitu biaya proyek dan memaksimalkan pencapaian kriteria kinerja *Availability*, *Reliability*, efisiensi dan *Safety*. Nilai bobot (w_i) akan didapatkan dari bobot kriteria AHP. Fungsi tujuan, tujuan sasaran dan bobot untuk fungsi obyektif ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

Fungsi tujuan meminimalkan biaya proyek (C).

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i + n_c - p_c = C \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

Fungsi tujuan memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria *Availability* (A)

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i + n_1 - p_1 = A \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Fungsi tujuan memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria *Reliability* (R)

$$\sum_{i=1}^n r_i x_i + n_2 - p_2 = K2 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Fungsi tujuan memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria Efisiensi (E)

$$\sum_{i=1}^n e_i x_i + n_2 - p_2 = E \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Fungsi tujuan memaksimalkan pencapaian terhadap kriteria *Safety* (S)

$$\sum_{i=1}^n s_i x_i + n_4 - p_4 = S \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

Tabel 3.2 Fungsi Tujuan *Goal Programming*

No	Goal	Fungsi Tujuan	Obyektif	Bobot
1	Meminimalkan biaya proyek (C)	$\sum_{i=1}^n c_i x_i + n_c - p_c = C$	Minimize pc	1
2	Memaksimalkan <i>Availability</i> (A)	$\sum_{i=1}^n a_i x_i + n_1 - p_1 = A$	Minimize n1	w1
3	Memaksimalkan <i>Reliability</i> (R)	$\sum_{i=1}^n r_i x_i + n_2 - p_2 = R$	Minimize n2	w2
4	Memaksimalkan Efisiensi (E)	$\sum_{i=1}^n e_i x_i + n_3 - p_3 = E$	Minimize n3	w3
5	Memaksimalkan <i>Safety</i> (S)	$\sum_{i=1}^n s_i x_i + n_4 - p_4 = S$	Minimize n4	w4

- Menentukan fungsi batasan

Batasan yang dipakai antara lain *system constrain* yaitu minimal 2 proyek dipilih, pemilihan proyek tidak boleh berulang dan batasan lainnya seperti pada Tabel 3.3. Sumber daya dapat dimasukkan dalam *constraints*, namun dalam penelitian ini dimasukkan ke dalam *goal function*.

Tabel 3.3 Fungsi Batasan *Goal Programming*

No	Batasan	Fungsi Batasan
1	Batasan tidak memilih proyek berulang	$X_i = 1$ atau $X_i = 0$
2	Batasan minimal dipilih 2 proyek	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \geq 2$
3	Batasan lainnya	$n_j \geq 0, p_j \geq 0$

Fungsi Obyektif untuk *goal programming* pada persamaan :

$$\text{Min } Z = p_c + w_1n_1 + w_2n_2 + w_3n_3 + w_4n_4 \dots\dots\dots (3.7)$$

3.4 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan pada metode AHP dan *Goal Programming*. Pada AHP, prioritas *overall* dari alternatif sangat dipengaruhi oleh bobot kriteria. Analisa bertujuan untuk mengetahui bagaimana jika bobot kriteria berubah dan pengaruh pada prioritas alternatif.

Pada *Goal Programming* analisa sensitivitas dilakukan pada perubahan bobot yang diperoleh dari AHP dan bagaimana jika batasan anggaran berubah untuk mengetahui pemilihan proyek yang optimal terhadap anggaran biaya yang tersedia.

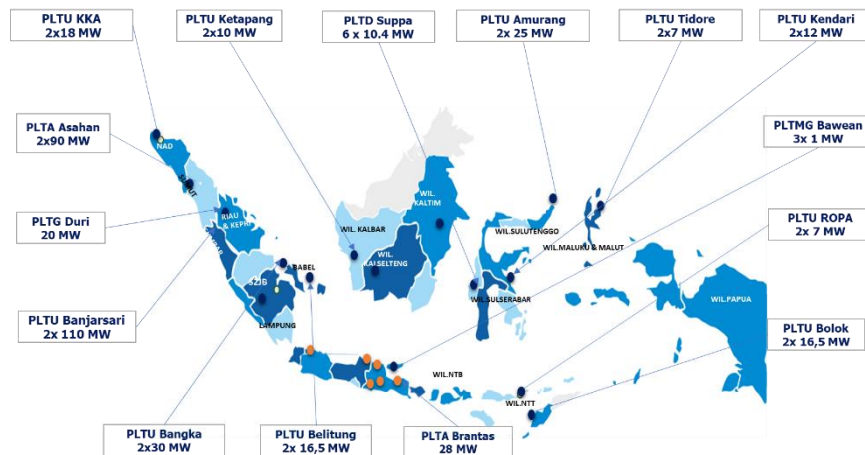
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Informasi Umum Seputar Perusahaan

PT XYZ merupakan perusahaan dalam bidang penyediaan jasa operasi dan maintenance pada pembangkit listrik, meliputi pengelolaan (*asset management*), operasi dan pemeliharaan serta fasilitas pendukungnya pada pembangkit listrik. Jenis pembangkit yang dikelola meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dan Pembangkit Listrik Tenaga Minyak dan Gas (PLTMG). Peta persebaran Unit Jasa O&M ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta unit jasa O&M yang dikelola oleh PT XYZ

Unit PLTU XYZ merupakan salah satu unit usaha jasa O&M yang mengelola, mengoperasikan dan memelihara pembangkit listrik. Pembangkit Listrik XYZ memiliki daya 2x10 MW. Di wilayah sistem operasi, pembangkit ini berkontribusi pada peyediaan energi listrik sebesar 43% dari Daya Mampu Nominal (DMN) sistem sehingga berperan penting untuk keandalan suplai.

4.2 Proses Perencanaan Operasi dan Pemeliharaan

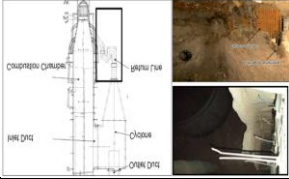



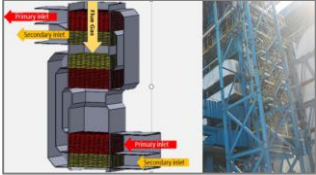
Mengacu pada Tatakelola Pembangkitan perencanaan dan pengendalian Operasi & Pemeliharaan memiliki peran dalam merencanakan dan mengendalikan program-program kerja, rencana operasi dan pemeliharaan mesin pembangkit. Program-program tersebut disusun dengan memperhatikan prinsip manajemen dan optimasi biaya sehingga dihasilkan kinerja yang optimal. Unit Pembangkitan dan Unit Pemeliharaan melakukan sinergi program kerja sehingga dicapai efektifitas dalam mencapai kinerja yang di targetkan.

Perencanaan pemeliharaan dan operasi disusun dengan evaluasi dan perencanaan target kinerja operasi untuk jangka panjang pada RJP (Rencana Jangka Panjang Unit) dalam periode 5 tahun. Selanjutnya di breakdown rencana kerja tahunan dalam RKAU (Rencana Kerja dan Anggaran Unit). Perencanaan dan pengendalian pemeliharaan mengacu pada RJP dan RKAU meliputi pengendalian pemeliharaan yang dilakukan secara periodik bulanan, semester, dan tahunan.

4.3 Pengumpulan Data Rencana Pemeliharaan

Dalam penelitian ini menggunakan alternatif pada 5 proyek pemeliharaan yang besar dan penting bagi unit. Proyek ini memerlukan biaya yang besar, dilaksanakan pada saat *overhaul* karena membutuhkan *shutdown* unit, dan merupakan proyek penting untuk *improvement* kondisi peralatan di unit. Proyek No. 1,2,3, dan 5 untuk menjaga dan meningkatkan kinerja unit dengan penggantian (*replacement*) karena faktor *ageing* peralatan. Proyek No.4 bersifat *improvement* yang bertujuan untuk penambahan fungsi kemampuan dan proteksi dengan *upgrade* atau modifikasi pada peralatan dan sistem proteksi agar unit dapat melakukan *houseload* pada saat terjadi gangguan frekuensi jaringan sehingga unit tidak langsung trip. Karakteristik masing-masing proyek pemeliharaan tidak mempengaruhi satu dengan lainnya. Alternatif proyek pemeliharaan peralatan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 4.1 Deskripsi Proyek Pemeliharaan.

Tabel 4.1 Deskripsi Proyek Pemeliharaan

Variabel	Alternatif	Foto	Deskripsi
X1	Proyek 1: Rehabilitasi <i>refractory boiler</i>		Perbaikan (<i>replacement</i>) pada <i>refractory</i> secara <i>partial</i> pada unit 1 dan 2
X2	Proyek 2: Penggantian <i>line cooling water</i>		Penggantian (<i>replacement</i>) pipa line <i>cooling water</i> media pendingin <i>condenser</i> dan <i>Heat exchanger</i> . Pipa ini berada di <i>underground</i> dan <i>upper ground</i> dari pompa <i>circulating water</i> sampai <i>condenser</i> . Penggantian diperlukan karena terjadi korosi.
X3	Proyek 3: Penggantian <i>valves</i> yang bocor		Penggantian (<i>replacement</i>) <i>Valve</i> di area <i>turbine</i> dan <i>boiler</i> yang mengalami bocor di unit dan 2
X4	Proyek 4: Penormalan <i>houseload</i>		Penambahan (<i>upgrade</i>) Fasilitas <i>houseload</i> berguna unit dapat melakukan <i>houseload</i> ketika terjadi gangguan frekuensi jaringan rendah. Tujuannya agar unit tidak sampai trip dan dapat <i>re-synchrone</i> kembali. Penambahan yang diperlukan <i>fast cut back boiler</i> , <i>fast cut back turbine generator</i> , proteksi sistem 20 KV, dan kemampuan <i>re-synchrone</i> .
X5	Proyek 5: Rehabilitasi <i>air heater</i>		<i>Retubing (replacement)</i> pada <i>tube</i> yang mengalami kebocoran, penipisan, dan korosi pada <i>Air Heater</i> Unit 1 dan 2.

4.3.1 Penganggaran Biaya Proyek Pemeliharaan

Usulan proyek pemeliharaan untuk tahun 2021 diperoleh dari hasil *assessment* terkait kondisi unit dan analisa kelayakan operasi, finansial, serta risiko. Analisa kelayakan finansial meliputi *Net Present Value*, *IRR* dan *Payback Method*. Melalui diskusi dan *brainstorming*, dari sejumlah usulan proyek *improvement* yang diajukan, dipilih 5 proyek pemeliharaan yang penting dalam rangka menjaga keandalan operasi, *improvement* kondisi peralatan saat ini, mencegah terjadinya gangguan pada peralatan dan proyek yang memerlukan biaya yang besar. Perkiraan biaya proyek pemeliharaan ditunjukkan pada Tabel 4.2 Perkiraan Biaya .

Tabel 4.2 Perkiraan Biaya Proyek

No	Proyek Pemeliharaan	Perkiraan Biaya
1	Rehabilitasi <i>refractory boiler</i>	Rp. 2.800.000.000
2	Penggantian <i>line cooling water</i>	Rp. 9.500.000.000
3	Penggantian <i>valves</i> yang bocor	Rp. 4.700.000.000
4	Penormalan <i>houseload</i>	Rp. 7.600.000.000
5	Rehabilitasi <i>air heater</i>	Rp. 3.200.000.000
Total		Rp. 27.800.000.000

4.4 Responden Survey AHP

Data AHP diperoleh melalui kuisioner perbandingan berpasangan untuk kriteria dan alternatif. Responden dipilih dari Divisi Operasi dan Pemeliharaan serta Divisi *Engineering* Kantor Pusat dan Bidang Pemeliharaan di Unit Pembangkit. Jabatan responden pada tingkat Manajer 2 orang, Asisten Manajer 2 orang, Deputi Manajer 1 orang, dan Staf Analis 2 orang. Kualifikasi responden antara lain meliputi perencanaan dan evaluasi operasi dan pemeliharaan, *Engineering*, *Condition Based Maintenance*, Manajemen Efisiensi, Perencanaan jangka panjang unit, dan Ahli K3 Umum. Lama masa kerja di perusahaan rata-rata 10.5 tahun di bidang pembangkitan tenaga listrik. Data *survey* masing-masing responden dapat dilihat pada Lampiran C.

4.5 Penetapan Pembobotan Kriteria dan Prioritas Proyek dengan AHP

4.5.1 Penyusunan Hierarki dalam Pemilihan Proyek

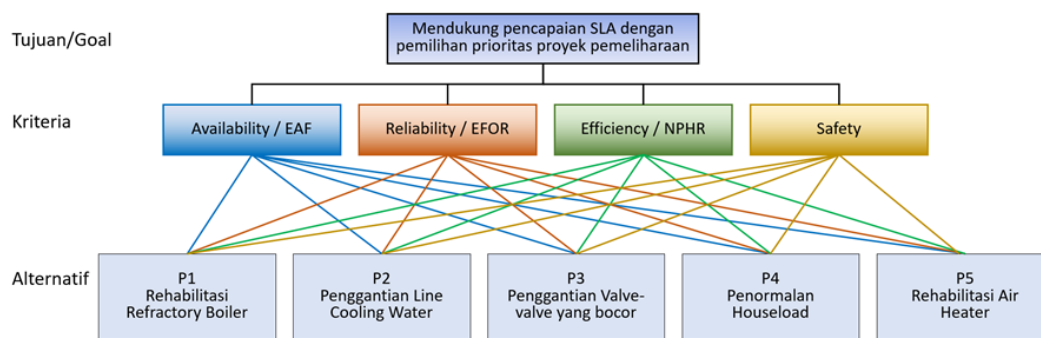
Penentuan kriteria hierarki dan alternatif proyek dalam penelitian ini berdasarkan hasil *focus group discussion* dengan anggota tim perencanaan pemeliharaan dan *engineering*.

Tabel 4.3 Penentuan Kriteria AHP

No	Kriteria AHP	Performance Indicator	Deskripsi
1	<i>Availability</i>	EAF	<i>Equivalent Availability Factor</i> (rasio antara jumlah jam unit pembangkit siap beroperasi terhadap jumlah jam dalam satu periode tertentu) yang telah memperhitungkan dampak dari <i>derating</i> pembangkit atau faktor kesiapan mesin pembangkit untuk beroperasi pada <i>Daya Mampu Netto</i> .
2	<i>Reliability</i>	EFOR	<i>Forced Outage Rate</i> yang telah memperhitungkan dampak dari <i>derating</i> pembangkit atau prosentase jam gangguan dan jam <i>derating</i> yang tidak direncanakan terhadap jumlah jam pelayanan pembangkit dalam satu periode, satuan dalam persen (%).
3	Efisiensi	NPHR	Efisiensi pemakaian bahan bakar yang dikonversikan ke dalam nilai kalori yang dibutuhkan untuk setiap kWh produksi <i>netto</i> yang dibangkitkan oleh Unit pembangkit pada suatu periode dalam satuan kCal/kWh.
4	<i>Safety</i>	Kepatuhan K2	Keselamatan Ketenagalistrikan adalah segala upaya atau langkah-langkah pengamanan instalasi tenaga listrik dan pengamanan pemanfaatan tenaga listrik untuk mewujudkan kondisi handal bagi instalasi dan kondisi aman dari bahaya bagi manusia, serta kondisi ramah lingkungan, dalam arti tidak merusak lingkungan hidup disekitar instalasi tenaga listrik

Penentuan kriteria AHP dalam penelitian ini bersumber dari *performance indicator* unit jasa O&M yang bersifat *controllable* sesuai dengan tahap kontrak. Kriteria kinerja yang dipilih dalam penelitian ini dan kaitannya dengan *performance indicator* ditunjukkan pada Tabel 4.3 dimana menunjukkan kriteria AHP yang mengacu pada *performance indicator* Unit Jasa O&M.

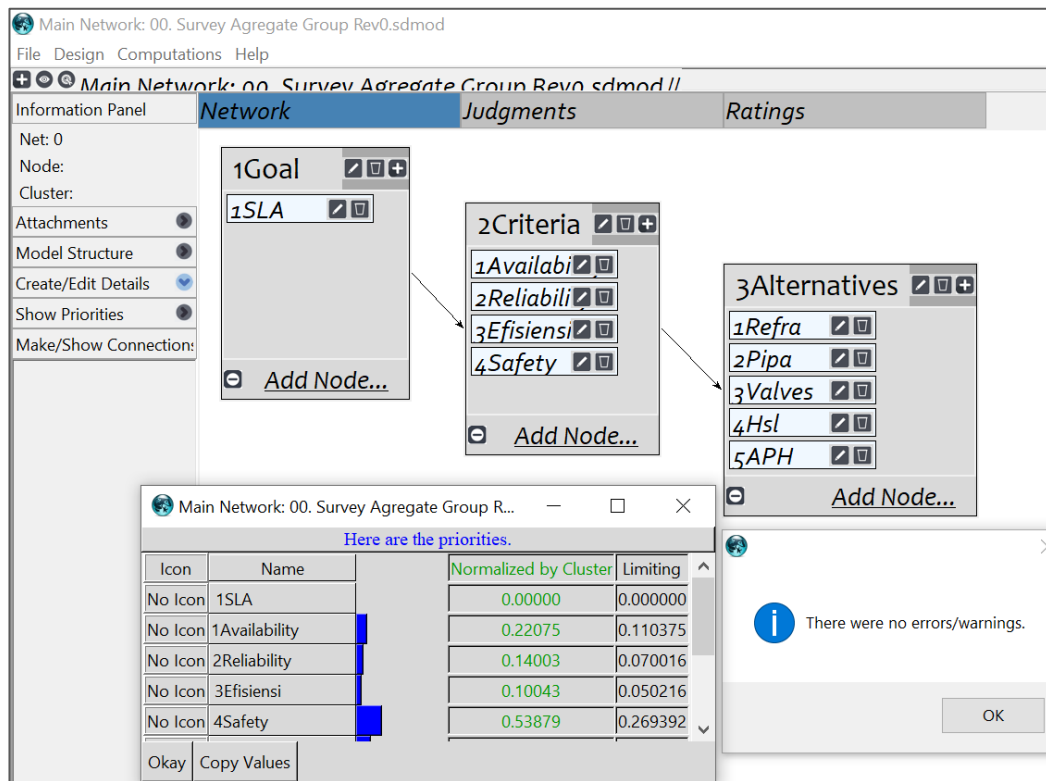
Penentuan alternatif AHP pada proyek pemeliharaan peralatan yang merupakan *capital maintenance project* dengan lingkup penggantian (*replacement*) dan *upgrade* yang memerlukan biaya besar. Penjelasan alternatif proyek dapat dilihat pada Tabel 4.1. Selanjutnya setelah kriteria dan alternatif ditentukan disusun hierarki yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 .



Gambar 4.2 Struktur pemilihan proyek pemeliharaan dengan AHP

4.5.2 Pengolahan Data AHP

Data kuisisioner diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Superdecisions V3.2* (Gambar 4.3). Data masing-masing responden diolah dan dievaluasi konsistensinya sebelum digabungkan dalam *group decision*. Jika *inconsistency* atau *Consistency Ratio (CR)* lebih dari 0.1 maka dilakukan *feedback* dan diskusi untuk perbaikan pengisian kuisisioner perbandingan berpasangan sehingga didapatkan konsistensi yang dapat diterima $CR \leq 0.1$.



Gambar 4.3 Pengolahan AHP dengan perangkat lunak *Superdecisions*

4.5.3 Hasil Perhitungan Bobot Kriteria

Hasil bobot AHP pada tiap-tiap alternatif terhadap masing-masing kriteria yang dipakai ditunjukkan pada Tabel 4.4 dengan nilai *inconsistency* ≤ 0.1 . Masing-masing alternatif mempunyai kontribusi bobot kepada masing-masing kriteria. Misalkan pada kriteria *Availability*, bobot yang berkontribusi pada *Availability* secara berurutan dari yang besar ke kecil adalah proyek 1 (0.345), proyek 4 (0.252), proyek 2 (0.194), proyek 5 (0.136), dan proyek 3 (0.073).

Tabel 4.4 Bobot Masing-masing Alternatif Terhadap Kriteria

Alternatif Proyek	Kriteria			
	<i>Availability</i>	<i>Reliability</i>	<i>Efisiensi</i>	<i>Safety</i>
X ₁	0.345	0.403	0.088	0.289
X ₂	0.194	0.163	0.148	0.194
X ₃	0.073	0.069	0.313	0.300
X ₄	0.252	0.239	0.097	0.110
X ₅	0.136	0.126	0.354	0.107
Total	1	1	1	1
Inconsistency	0.005	0.006	0.003	0.006

Urutan bobot nilai kriteria dari tinggi ke rendah adalah *Safety* (0.539), *Availability* (0.221), *Reliability* (0.140), dan efisiensi (0.100) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.5 dengan nilai *inconsistency* ≤ 0.1 .

Tabel 4.5 Hasil AHP Nilai Bobot Kriteria

Kriteria	Bobot
<i>Availability</i>	0.221
<i>Reliability</i>	0.140
Efisiensi	0.100
<i>Safety</i>	0.539
Total	1
Inconsistency	0.006

Bobot nilai overall alternatif proyek sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.6, secara berurutan dari prioritas adalah Rehabilitasi *refractory boiler*, Penggantian *valves* yang bocor, Penggantian *line cooling water*, Penormalan *houseload*, dan Rehabilitasi *air heater*.

Tabel 4.6 Bobot *Overall* AHP dan Prioritas Proyek.

Alternatif Proyek	Bobot AHP	<i>Decision Preference</i>
x ₁	0.297	Prioritas ke-1
x ₂	0.185	Prioritas ke-3
x ₃	0.219	Prioritas ke-2
x ₄	0.158	Prioritas ke-4
x ₅	0.141	Prioritas ke-5
Total	1	

4.6 Kombinasi AHP dan *Goal Programming* Untuk Pemilihan Proyek

4.6.1 Variabel Keputusan

Variabel keputusan (Xi) yang dipakai dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.7 yang terdiri dari lima alternatif proyek.

Tabel 4.7 Variabel Keputusan *Goal Programming*

No	Variable Keputusan	Alternatif	Deskripsi
1	X1	Proyek 1	Rehabilitasi <i>refractory boiler</i>
2	X2	Proyek 2	Penggantian <i>line cooling water</i>
3	X3	Proyek 3	Penggantian <i>valves</i> yang bocor
4	X4	Proyek 4	Penormalan <i>houseload</i>
5	X5	Proyek 5	Rehabilitasi <i>air heater</i>

4.6.2 Perumusan Model *Goal Programming*

Dari pembobotan AHP untuk kriteria dan alternatif selanjutnya digunakan untuk modelling ke dalam *Goal Programming* untuk mendapatkan optimasi obyektif yang bersifat *conflicting*. Di dalam formulasi terdapat 5 *goal* yang hendak dicapai, dan 3 batasan. Rangkuman dari *goal* pada Tabel 4.8. Jika *goal* diminimalkan, maka pada *objective function*, *slack* positif diminimalkan. Jika

goal dimaksimalkan, maka pada *objective function*, *slack* negative yang diminimalkan.

Untuk batasan yang dipakai dan nilainya ditunjukkan pada Tabel 4.9. Batasan anggaran yang tersedia akan dipakai menjadi *goal constraint*. Sedangkan batasan sistem (*system constraint*) yang lain terdiri dari batasan sistem meliputi:

1. Pemilihan proyek yang sama tidak boleh berulang atau maksimum 1 yaitu menggunakan *Zero One Goal Programming* yang bernilai 1 proyek dipilih dan 0 proyek tidak dipilih
2. Sedikitnya dua proyek yang dipilih.

Tabel 4.8 Fungsi tujuan dan Obyektif

Goal	Fungsi Tujuan	Fungsi Obyektif
1	Meminimalkan biaya investasi proyek	p diminimalkan
2	Memaksimalkan <i>Safety</i>	n diminimalkan
3	Memaksimalkan <i>Availability</i>	n diminimalkan
4	Memaksimalkan <i>Reliability</i>	n diminimalkan
5	Memaksimalkan Efisiensi	n diminimalkan

n adalah deviasi negatif dan p adalah deviasi positif

Tabel 4.9 Batasan dalam *Goal Programming*

Batasan	Uraian Batasan	Nilai Batasan
1	Nilai anggaran biaya yang tersedia	20 Milyar
2	Pemilihan proyek tidak berulang	$0 \leq X_i \leq 1$
4	Setidaknya dipilih 2 proyek	≥ 2
5	Nilai variabel	$X_i, \dots, X_n \geq 0,$ $n_j \geq 0, p_j \geq 0$
6	Sifat variabel keputusan proyek	<i>integer</i> , bernilai 1 atau 0

1. Fungsi tujuan meminimalkan biaya investasi proyek

$$2.8x_1 + 9.5x_2 + 4.2x_3 + 7.6x_4 + 3.2x_5 + n_C - p_C = 20 \quad (4.1)$$

2. Fungsi tujuan memaksimalkan *Safety*:

$$0.289x_1 + 0.194x_2 + 0.300x_3 + 0.110x_4 + 0.107x_5 + n_1 - p_1 = 0.589 \quad (4.2)$$

3. Fungsi tujuan memaksimalkan *Availability*:

$$0.345x_1 + 0.194x_2 + 0.073x_3 + 0.252x_4 + 0.136x_5 + n_2 - p_2 = 0.597 \quad (4.3)$$

4. Fungsi tujuan memaksimalkan *Reliability*:

$$0.403x_1 + 0.163x_2 + 0.069x_3 + 0.239x_4 + 0.126x_5 + n_3 - p_3 = 0.642 \quad (4.4)$$

5. Fungsi tujuan memaksimalkan Efisiensi:

$$0.088x_1 + 0.148x_2 + 0.313x_3 + 0.097x_4 + 0.354x_5 + n_4 - p_4 = 0.667 \quad (4.5)$$

6. Fungsi batasan minimal ada 2 proyek yang dipilih

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq 2 \quad (4.6)$$

7. Fungsi batasan pemilihan proyek yang sama tidak boleh berulang.
 $0 \leq X_i \leq 1$ (for $i = 1, 2, \dots, n$),
 Nilai variabel keputusan $X_i=1$, proyek dipilih atau $X_i=0$, proyek tidak dipilih.

8. Batasan lainnya

$$n_j, p_j \geq 0$$

Pada persamaan (4.2) sampai dengan (4.5), nilai target fungsi tujuan dapat ditentukan berdasarkan target kinerja organisasi atau target manajemen. Dalam penelitian ini, nilai target dibuat sederhana dengan nilai target merupakan penjumlahan bobot terbesar dari dua alternatif proyek terhadap kriteria. Nilai target kriteria yang dipakai ini berbeda dengan nilai aktual target kinerja unit, namun lebih ke nilai bobot kriteria kinerja dan alternatif proyek pemeliharaan

dalam program pemeliharaan di penelitian ini. Nilai kontribusi masing-masing proyek terhadap kriteria ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.10 Fungsi Tujuan, Obyektif dan Bobot

No	Tujuan	Fungsi Tujuan	Obyektif	Bobot
1	Meminimalkan biaya proyek	$2.8X_1 + 9.5X_2 + 4.2X_3 + 7.6X_4 + 3.2X_5 + n_c - p_c = 20$	Minimize p_c	1
2	Memaksimalkan <i>Safety</i>	$0.289X_1 + 0.194X_2 + 0.300X_3 + 0.110X_4 + 0.107X_5 + n_1 - p_1 = 0.589$	Minimize n_1	0.539
3	Memaksimalkan <i>Availability</i>	$0.345X_1 + 0.194X_2 + 0.073X_3 + 0.252X_4 + 0.136X_5 + n_2 - p_2 = 0.597$	Minimize n_2	0.221
4	Memaksimalkan <i>Reliability</i>	$0.403X_1 + 0.163X_2 + 0.069X_3 + 0.239X_4 + 0.126X_5 + n_3 - p_3 = 0.642$	Minimize n_3	0.140
5	Memaksimalkan Efisiensi	$0.088X_1 + 0.148X_2 + 0.313X_3 + 0.097X_4 + 0.354X_5 + n_4 - p_4 = 0.667$	Minimize n_4	0.100

Tabel 4.11 Fungsi Batasan *Goal Programming*

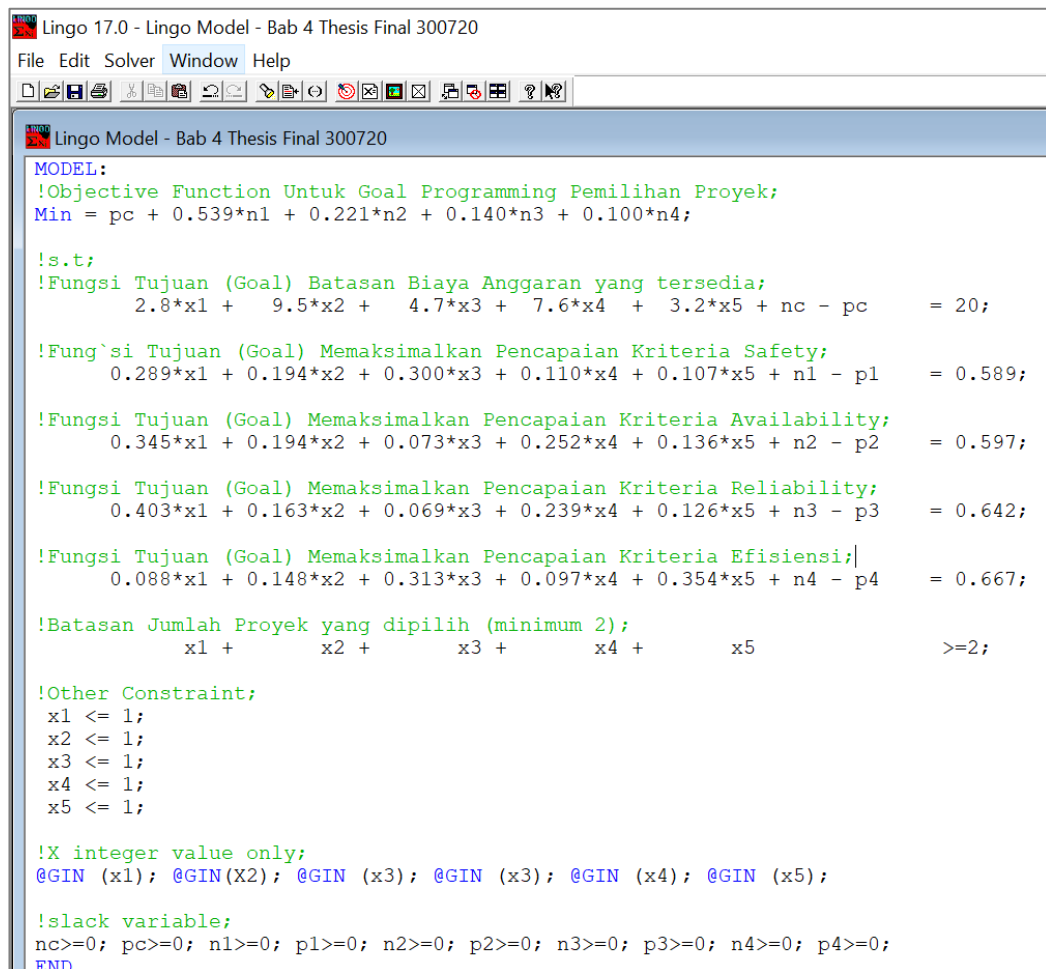
No	Fungsi Batasan	Batasan
1	Batasan tidak memilih proyek berulang	$0 \leq X_i \leq 1$ (untuk $i = 1, 2, \dots, n$) $X_i = 1$, proyek dipilih atau $X_i = 0$, proyek tidak dipilih
2	Batasan minimal dipilih 2 proyek	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \leq 2$
3	Batasan lainnya	$n_j \geq 0, p_j \geq 0$

Fungsi obyektif (*objective function*) model keputusan *Goal Programming*:

$$\text{Minimize } Z = p_c + 0.539n_1 + 0.221n_2 + 0.140n_3 + 0.100n_4 \quad (4.7)$$

4.7 Pemodelan Goal Programming

Pemodelan *Goal Programming* menggunakan perangkat lunak LINGO (*Linear, Integer, Nonlinear, and Global Optimization*) merupakan bahasa pemrograman matematis yang dirancang khususnya untuk formulasi dan menyelesaikan permasalahan optimasi yang luas termasuk *linear programming*, *non-linear programming* dan *integer programming*. Pemodelan GP ke dalam LINGO ditunjukkan pada Gambar 4.4 dimana terdiri dari fungsi obyektif, fungsi tujuan, dan batasan dan hasil penyelesaian ditampilkan pada Gambar 4.5. Nilai variabel keputusan yang dicari ditampilkan pada Tabel 4.7.



```
MODEL:
!Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek;
Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4;

!s.t;
!Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia;
2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 20;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety;
0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability;
0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability;
0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi;|
0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667;

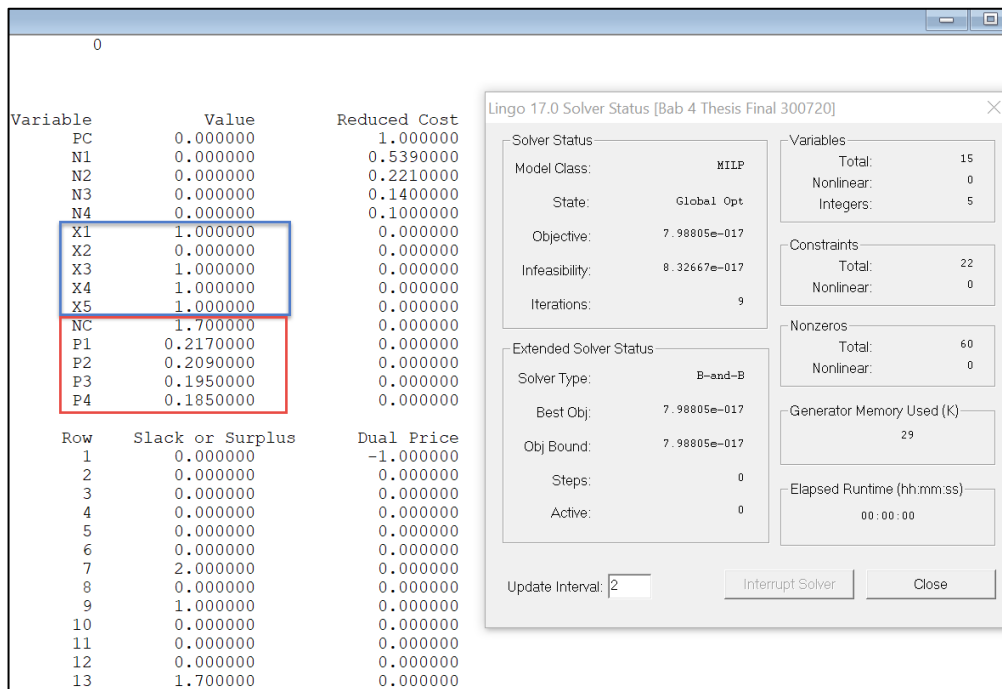
!Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2);
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >= 2;

!Other Constraint;
x1 <= 1;
x2 <= 1;
x3 <= 1;
x4 <= 1;
x5 <= 1;

!X integer value only;
@GIN (x1); @GIN (x2); @GIN (x3); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5);

!slack variable;
nc>=0; pc>=0; n1>=0; p1>=0; n2>=0; p2>=0; n3>=0; p3>=0; n4>=0; p4>=0;
END
```

Gambar 4.4 Pemodelan GP menggunakan LINGO.



Gambar 4.5 Hasil Pemodelan GP

Tabel 4.12 Nilai Variabel Keputusan Hasil Pemodelan GP

Variable Keputusan	Diskripsi	Keputusan
X1 = 1	Proyek 1	Dipilih
X2 = 0	Proyek 2	Tidak dipilih
X3 = 1	Proyek 3	Dipilih
X4 = 1	Proyek 4	Dipilih
X5 = 1	Proyek 5	Dipilih

Hasil penyelesaian pemodelan pemilihan proyek pada biaya anggaran Rp. 20 Milyar adalah proyek 1 (rehabilitasi *refractory boiler*), proyek 3 (penggantian *valves*), proyek 4 (penormalan *houseload*), dan proyek 5 (rehabilitasi *air heater*).

Tabel 4.13 menunjukkan pencapaian fungsi tujuan. Tujuan batasan biaya dapat dicapai dibawah anggaran yang tersedia dengan selisih Rp. 1.7 M.

Tabel 4.13 Pencapaian Fungsi Tujuan

No	Tujuan	Fungsi Tujuan	Selisih di bawah target	Selisih diatas target	Pencapaian Goal
1	Meminimalkan biaya proyek	2.8(1) + 9.5(0) + 4.2(1) + 7.6(1) + 3.2(1) = 18.3	1.7		Tercapai
2	Memaksimalkan <i>Safety</i>	0.289(1) + 0.194(0) + 0.300(1) + 0.110(1) + 0.107(1) = 0.806		0.217	Tercapai
3	Memaksimalkan <i>Availability</i>	0.345(1) + 0.194(0) + 0.073(1) + 0.252(1) + 0.136(1) = 0.806		0.209	Tercapai
4	Memaksimalkan <i>Reliability</i>	0.403(1) + 0.163(0) + 0.069(1) + 0.239(1) + 0.126(1) = 0.834		0.195	Tercapai
5	Memaksimalkan Efisiensi	0.088(1) + 0.148(0) + 0.313(1) + 0.097(1) + 0.354(1) = 0.852		0.185	Tercapai

4.8 Perbandingan Pemilihan Berdasarkan AHP dan Kombinasi AHP-GP.

Dari hasil pemodelan *Goal Programming* diperoleh optimasi pemilihan proyek dan dapat mencapai semua fungsi tujuan untuk memaksimalkan terhadap pencapaian kriteria dengan meminimalkan biaya di bawah batasan Rp. 18,3 Milyar.

Pada Tabel 4.14 (a) ditampilkan perbandingan hasil metode AHP dan kombinasi AHP-GP. Jika hanya metode AHP yang digunakan maka hasil yang didapatkan adalah penentuan prioritas (bobot) proyek saja. Namun dengan menggunakan metode kombinasi AHP-GP hasilnya adalah merupakan pemilihan

pada proyek yang terbaik dimana merupakan hasil optimasi terhadap tujuan dan batasan yang ada.

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil AHP dan Solusi Optimal AHP-GP

a. Perbandingan prioritas hasil AHP dengan pemilihan optimal kombinasi AHP-GP

Proyek	Bobot	Peringkat AHP	Xi	Kombinasi AHP -GP
1	0.297	1	1	Dipilih
2	0.185	3	0	Tidak dipilih
3	0.219	2	1	Dipilih
4	0.158	4	1	Dipilih
5	0.141	5	1	Dipilih

b. Perbandingan biaya dan pencapaian kriteria dari pemilihan proyek

No	Perbandingan	Metode AHP	Metode AHP-GP	Selisih AHP-GP terhadap AHP
1	Proyek dipilih	1, 3, 2	1,3,4,5	-
2	Total anggaran yang tersedia	Rp. 20 M	Rp. 20 M	-
3	Biaya yang diperlukan	Rp. 17 M	Rp. 18.3 M	Rp. 1.3 M
4	Pencapaian kriteria Safety	0.783	0.806	2.94%
5	Pencapaian kriteria Availability	0.612	0.806	31.70%
6	Pencapaian kriteria Reliability	0.635	0.834	31.34%
7	Pencapaian kriteria Efisiensi	0.549	0.852	55.19%

Pada Tabel 4.14 (b) ditampilkan perbandingan biaya yang diperlukan untuk proyek dan pencapaian kriteria pada proyek yang dipilih. Pada metode AHP saja, pemilihan berdasarkan prioritas proyek dan ketersediaan anggaran maka proyek yang dipilih adalah proyek 1, 3, dan 2 dengan total pemakaian sebesar Rp. 17 M. Hasil kombinasi AHP-GP untuk optimasi (memaksimalkan pencapaian kriteria dan meminimalkan biaya proyek) maka didapatkan hasil proyek yang dipilih adalah proyek 1,3,4, dan 5. Biaya kombinasi AHP-GP lebih besar Rp. 1.3 M dari metode AHP namun masih masuk dibawah batasan biaya.

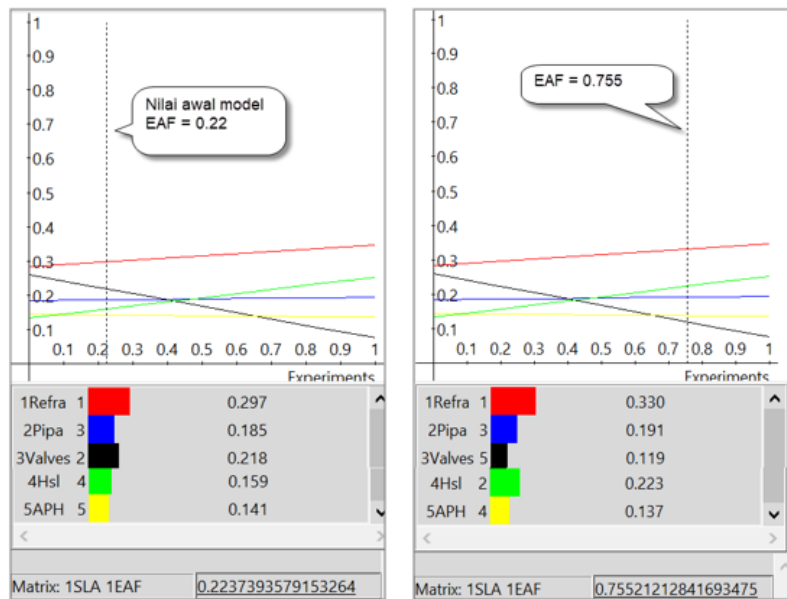
Perbandingan pencapaian kriteria ini didapatkan dari bobot masing-masing alternatif kepada kriteria (Tabel 4.4). Bobot kriteria yang dicapai dengan metode AHP-GP lebih baik (tinggi) daripada hasil yang hanya memakai metode AHP. Penggunaan kombinasi metode GP akan membantu dalam melakukan optimasi alokasi sumberdaya kepada proyek yang memiliki kontribusi kepada memaksimalkan pencapaian kriteria dengan batasan biaya yang tersedia.

4.9 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan pada metode AHP dan *Goal Programming*. Pada AHP, prioritas keseluruhan akan sangat dipengaruhi oleh bobot yang diberikan pada masing-masing kriteria dan perubahannya pada prioritas proyek. Pada GP juga dilakukan analisa perubahan anggaran biaya yang tersedia sehingga dapat diketahui proyek apa saja yang optimal dipilih untuk mencapai *goal* dengan batasan biaya yang tersedia.

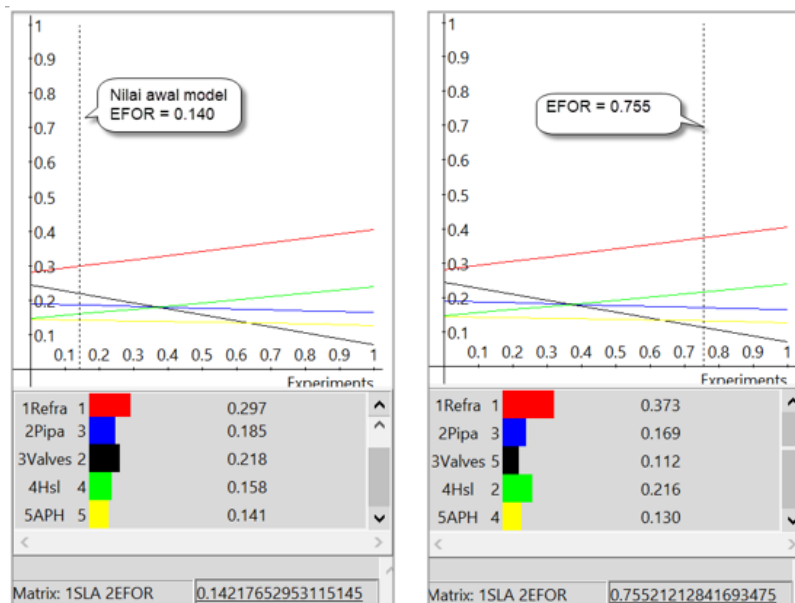
4.9.1 Analisa Sensitivitas Kriteria AHP

Sensitivitas perubahan bobot *Availability* (EAF) terhadap perubahan prioritas proyek ditunjukkan pada Gambar 4.6. Perubahan bobot EAF tidak mempengaruhi prioritas proyek 1 sebagai prioritas pertama. Namun pada bobot EAF diatas 0.40, mulai terjadi perubahan pemilihan prioritas proyek 2 sampai dengan proyek 5.



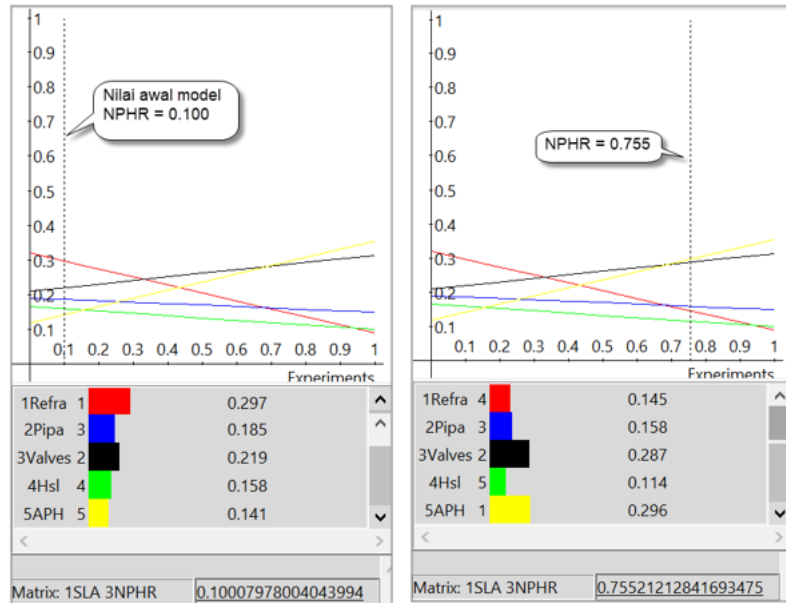
Gambar 4.6 Perubahan bobot *Availability* (EAF) terhadap prioritas proyek.

Sensitivitas perubahan bobot *Reliability* (EFOR) terhadap perubahan prioritas proyek ditunjukkan pada Gambar 4.7. Perubahan bobot EFOR tidak mempengaruhi prioritas proyek 1 sebagai prioritas pertama. Namun pada nilai EFOR diatas 0.34, mulai terjadi perubahan prioritas proyek 2 sampai dengan proyek 5.



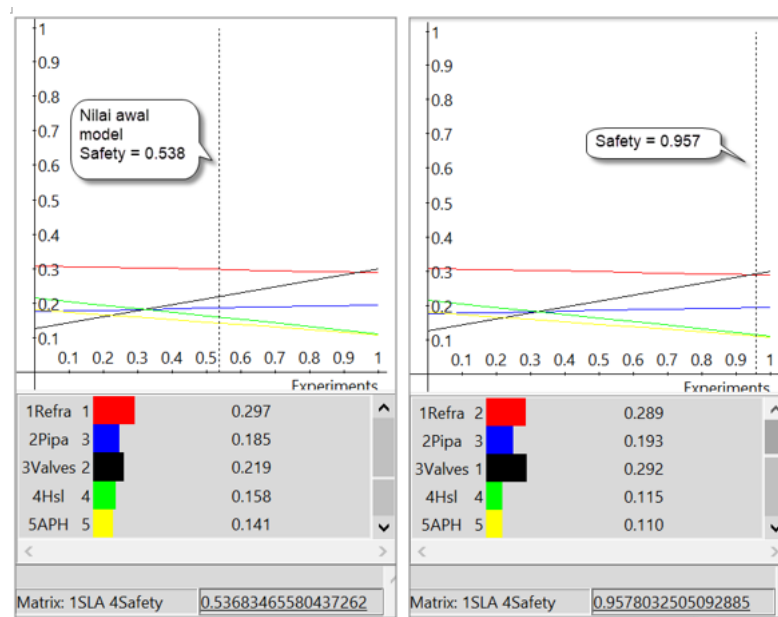
Gambar 4.7 Perubahan bobot *Reliability* (EFOR) terhadap prioritas proyek.

Sensitivitas perubahan bobot Efisiensi (NPHR) terhadap perubahan prioritas proyek ditunjukkan pada Gambar 4.8. Perubahan bobot Efisiensi mempengaruhi prioritas proyek 1. Pada bobot NPHR = 0.342, proyek 3 menjadi prioritas pertama. Pada NPHR diatas 0.700, proyek 5 menjadi prioritas pertama.



Gambar 4.8 Perubahan bobot Efisiensi (NPHR) terhadap prioritas proyek.

Kriteria *Safety* memiliki bobot yang tertinggi diantara kriteria lainnya. Sensitivitas perubahan bobot *Safety* terhadap perubahan prioritas proyek ditunjukkan pada Gambar 4.9. Perubahan bobot *Safety* mempengaruhi proyek 1 sebagai prioritas pertama. Pada bobot *Safety* = 0.957, proyek 1 menjadi prioritas kedua dan proyek 3 menjadi prioritas pertama.



Gambar 4.9 Perubahan bobot *Safety* terhadap prioritas proyek.

4.9.2 Analisa Sensitivitas Goal Programming

4.9.2.1 Analisa Sensitivitas Terhadap Perubahan Bobot Kriteria

Pada analisa sensitivitas GP ini terdapat perubahan nilai bobot *goal* kriteria dengan menggunakan bobot kriteria yang terdapat dalam proposal O&M *agreement* tahap *performance base* sebagai berikut EAF =40%, EFOR = 30%, NPHR = 10% dan *Safety* = 10%, yang akan dijadikan bobot dalam fungsi obyektif dalam persamaan (4.8).

$$\text{Minimize } Z = p_c + 0.111n_1 + 0.444n_2 + 0.333n_3 + 0.111n_4 \quad (4.8)$$

Pada batasan biaya yang tersedia sebesar Rp. 20 M, hasil GP untuk pemilihan proyek yang optimal adalah Proyek 1, Proyek 3, Proyek 4, Proyek 5. Hasil GP dengan perubahan bobot kriteria dengan menggunakan bobot proposal *performance indicator* O&M *agreement* menunjukkan hasil pemilihan proyek yang sama dengan menggunakan GP dari bobot kriteria AHP.

Tabel 4.15 Analisa Sensitivitas Perubahan Bobot Kriteria

No	Obyektif	Tujuan Sasaran	Bobot kriteria dari AHP		Bobot Kriteria dari Proposal O&M (Normalized)	
			Bobot	Proyek dipilih	Bobot	Proyek dipilih
1	Meminimalkan biaya proyek	<i>Minimize</i> pc	1	Proyek 1 Proyek 3 Proyek 4 Proyek 5	1	Proyek 1 Proyek 3 Proyek 4 Proyek 5
2	Memaksimalkan <i>Safety</i>	<i>Minimize</i> n1	0.539		0.111	
3	Memaksimalkan <i>Availability</i>	<i>Minimize</i> n2	0.221		0.444	
4	Memaksimalkan <i>Reliability</i>	<i>Minimize</i> n3	0.140		0.333	
5	Memaksimalkan Efisiensi	<i>Minimize</i> n4	0.100		0.111	

4.9.2.2 Analisa Sensitivitas GP Terhadap Perubahan Anggaran Biaya Yang Tersedia

Batasan anggaran biaya sebagai fungsi tujuan batasan sumberdaya (*goal constraints*) yang harus dipenuhi yaitu biaya proyek yang dipilih tidak boleh melebihi anggaran yang tersedia. Dalam pemodelan ini dipakai nilai perubahan anggaran yang tersedia dari -20%, -10%, 0%, +10%, dan +20%.

Hasil pemodelan ditunjukkan pada Tabel 4.16 Tabel (a), dimana perubahan pada anggaran biaya yang tersedia mempengaruhi proyek optimal yang dipilih. Proyek 1 dan Proyek 5 merupakan proyek pemeliharaan yang tetap muncul dipilih pada semua tingkat variasi scenario biaya anggaran. Proyek 1 memiliki prioritas AHP pertama dan biaya yang paling rendah diantara proyek lainnya sehingga selalu menjadi proyek yang terpilih dari pemodelan GP. Proyek 5 selalu terpilih dimana dipengaruhi biayanya terendah setelah proyek 1. Dari pemodelan

ini biaya proyek merupakan faktor penting dalam memenuhi fungsi tujuan meminimalkan terhadap batasan anggaran biaya yang tersedia.

Untuk setiap perubahan anggaran biaya terdapat *slack* yang merupakan nilai selisih dari biaya yang dibutuhkan proyek dan anggaran yang tersedia. *Slack* terbesar pada nilai +10% dan *slack* terendah pada nilai -20% terhadap proyek yang dipilih.

Pada bagian Tabel 4.16 (b), menunjukkan nilai selisih pencapaian fungsi tujuan kriteria (*goal* kriteria). Nilai 0 menunjukkan *goal* kriteria tersebut dapat mencapai atau melebihi target. Pada nilai anggaran yang terbesar +20% semua *goal* kriteria dapat dicapai dengan pilihan proyek.

Tabel 4.16 Analisa Sensitivitas Perubahan Batasan Biaya Anggaran

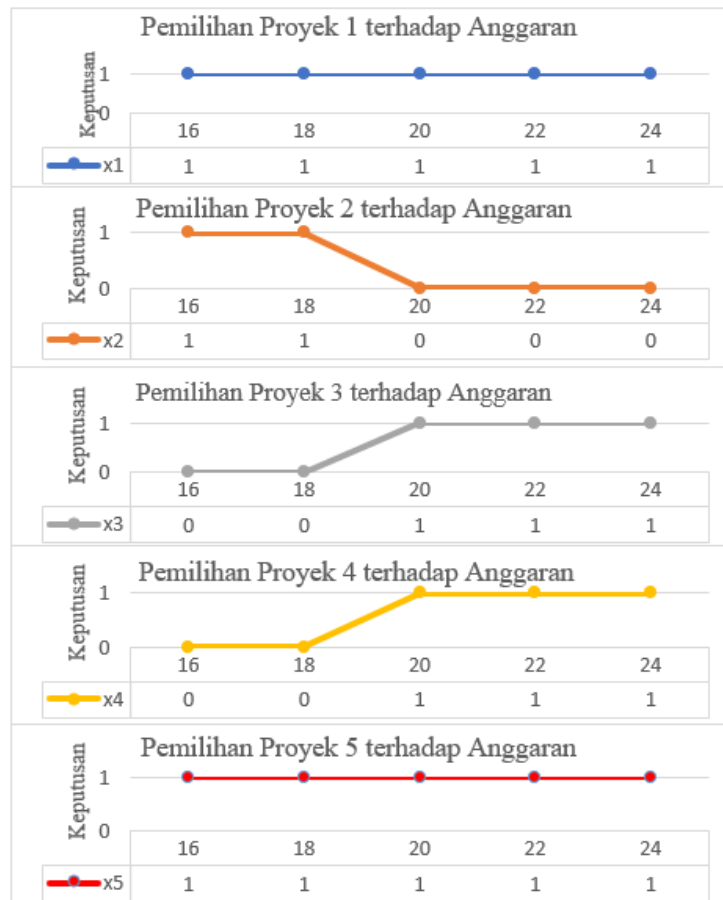
a. Variasi dalam Batasan Biaya

Batasan Anggaran		Proyek Dipilih	Biaya Dipakai	Slack
Perubahan	Nilai (Rp. Milyar)			
-20%	16	1, 2, 5	15.5	0.5
-10%	18	1, 2, 5	15.5	2.5
0%	20	1, 3, 4, 5	18.3	1.7
+10%	22	1, 3, 4, 5	18.3	3.7
+20%	24	1, 3, 4, 5	23.1	0.9

b. Nilai *Goal* dibawah Target dan Diatas Target

Fungsi Tujuan Kriteria	Target	Nilai Selisih Terhadap <i>Goal</i>				
		-20%	-10%	0%	+10%	+20%
<i>Safety</i>	0.589	0.001	0.001	0.217	0.217	0.217
<i>Availability</i>	0.597	0.078	0.078	0.209	0.209	0.209
<i>Reliability</i>	0.642	0.047	0.047	0.192	0.192	0.192
Efisiensi	0.667	-0.077	-0.077	0.185	0.185	0.185

Keterangan : Tanda negatif menunjukkan pencapaian fungsi tujuan dibawah target



Gambar 4.10 Optimasi pemilihan proyek terhadap anggaran yang tersedia

Pada Gambar 4.10 menunjukkan keputusan pemilihan masing-masing proyek proyek terhadap biaya anggaran yang tersedia. Dalam penerapannya untuk perencanaan pemeliharaan di Unit PLTU XYZ model pendekatan AHP ini dapat digunakan untuk menentukan bobot atau prioritas kriteria evaluasi dan proyek. *Goal programming* digunakan untuk optimasi dan juga sebagai analisa skenario “*what if analysis*” terhadap sumberdaya anggaran biaya yang tersedia atau bila ada perubahan anggaran yang tersedia.

4.10 Implikasi Manajerial

Implikasi manajerial dari penelitian ini adalah penggunaan metode pendekatan kombinasi AHP dan GP untuk pemilihan proyek pemeliharaan dapat dimanfaatkan untuk menunjang manajemen dalam pengambilan keputusan pemilihan proyek untuk rencana pemeliharaan terutama untuk proyek yang besar dan penting untuk unit. Metode ini dapat melengkapi kekurangan metode konvensional atau yang umum dipakai saat ini.

Penggunaan pendekatan metode AHP menggunakan struktur hierarki sehingga memudahkan dalam menguraikan permasalahan menjadi lebih terstruktur. Pembobotan pada kriteria dan penentuan prioritas alternatif proyek dilakukan dengan perbandingan berpasangan sehingga lebih mudah dalam menjaga konsistensi pemilihan. Proses AHP dapat dilakukan secara *individual judgement* dari responden pakar atau pengambil keputusan dan kemudian digabungkan dalam *group decision* sehingga dapat meminimalisir pemilihan yang bersifat subyektif.

Tahap kedua adalah menggunakan GP dari bobot kriteria dan alternatif untuk melakukan optimasi alokasi sumberdaya yang tersedia untuk mencapai fungsi tujuan. Target fungsi tujuan dapat ditentukan oleh organisasi. Pada penelitian ini, nilai target fungsi kriteria pada GP secara sederhana diperoleh dari bobot kontribusi terbesar 2 proyek pada masing-masing kriteria dalam lingkup pemilihan pada 5 proyek pemeliharaan tersebut. Pengujian sensitivitas pada model GP dapat dilakukan untuk perubahan dan analisa skenario "*what if analysis*" terhadap perubahan sumberdaya dimana hal ini diperlukan pada penerapannya untuk mencari optimasi pada pemilihan proyek pemeliharaan yang terbaik untuk menunjang pencapaian kinerja jika terdapat perubahan pada anggaran biaya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari penelitian secara keseluruhan dengan menggunakan metode pendekatan AHP – GP pada model keputusan pemilihan proyek pemeliharaan dan saran untuk penyelesaian yang lebih baik maupun untuk penelitian lanjutan.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data pengolahan dan pemodelan dalam penelitian ini diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Urutan prioritas kriteria dalam pemilihan proyek pemeliharaan untuk meningkatkan kinerja berdasarkan hasil AHP pada PLTU XYZ adalah *Safety* (0,539), *Availability* (0,221), *Reliability* (0,140), dan Efisiensi (0,100). Prioritas pemilihan proyek pemeliharaan berdasarkan AHP secara berurutan adalah proyek 1, proyek 3, proyek 2, proyek 4, dan proyek 5.
2. Integrasi model AHP dan GP untuk pemilihan dan optimasi terhadap sumberdaya anggaran sebesar Rp. 20 Milyar menunjukkan proyek yang terpilih adalah proyek 1, proyek 3, proyek 4, dan proyek 5.
3. Hasil analisa sensitivitas perubahan anggaran dari Rp. 16 Milyar sampai dengan Rp. 24 Milyar menghasilkan perubahan pilihan proyek yang paling optimal untuk mencapai obyektif. Proyek 1 dan proyek 5 merupakan proyek yang tetap muncul dipilih, dimana hal ini dipengaruhi oleh biaya proyek tersebut lebih rendah dibandingkan dengan ketiga proyek lainnya.

5.2 Saran

Untuk perbaikan penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan lagi penentuan kriteria berdasarkan perkembangan kriteria organisasi. Pemodelan dengan GP dapat dikembangkan untuk fungsi batasan sumberdaya yang tersedia atau *resource constraint* seperti *manhour*, *labour*, dan waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjunwadkar, A. dan Basu, P. (2016), "A Review of Some Operation and Maintenance issues of CFBC boilers", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 102, hal. 672–694.
- Badri M.A, (2000), "A combined AHP - GP model for quality control systems", *Int. J. Production Economics*, Vol. 72, hal. 27-40
- Bertolini, M. dan Bevilacqua, M. (2005) "A combined *Goal Programming* - AHP approach to maintenance selection problem", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 91, hal. 839–848
- CDF, "Manuals Superdecisions V3x," CDF. [Online] Available: <http://www.superdecisions.com/> . [Accessed: 15 May 2020]
- Ciptomulyono U.(2000),"Pengembangan Model Optimasi Keputusan Multi Kriteria MCDM (Multi Criteria Decision Making) untuk Evaluasi dan Pemilihan Proyek," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ciptomulyono, U. (2005), "Model Multikriteria Analytical Hierarchy Process (AHP) dan *Goal Programming* Untuk Pemilihan Perencanaan Proyek Pembangkit Listrik yang Berwawasan Lingkungan", *Optima*, Vol. 2, No. 3, hal. 134-145.
- Ciptomulyono, U. (2010), "Paradigma Pengambilan Keputusan Multikriteria Dalam Perspektif Proyek dan Industri Yang Berwawasan Lingkungan", Pidato Pengukuhan untuk Jabatan Guru Besar, ITS, Surabaya.
- Effendi, M. (2013), *Pemilihan Pemasok dan Alokasi Order Bahan Utama Finned Heat Exchanger Dengan Integrasi Metode Analytic Network Process dan Goal Programming di PT. X Indonesia*, Tesis Program Magister Manajemen, ITS, Surabaya.
- Febrianto, E. (2010), *Pemilihan Proses Pada Perancangan Proses Dried Bacterial Cell (DBC) Di PT Ajinimoto Indonesia Dengan Metode Goal Programming*, Tesis Program Magister Manajemen, ITS, Surabaya.

- Gulati, R. (2013), *Maintenance and Reliability Best Practice*, 2nd edition, Industrial Press, New York.
- Ho, W. (2007) "Combining Analytic Hierarchy Process and *Goal Programming* for Logistics Distribution Network Design", *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, hal. 714-719.
- Jones, D dan Mehrdad, T. (2010), *Practical Goal Programming*, Springer, New York.
- Khairaa, A. dan Dwivedi, R.K (2018) "State of the Art Review of Analytical Hierarchy Process", *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 4029–4035, India.
- Kumar, Abhishek et.al. (2017) "A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, hal. 596–609.
- Margahayu P. (2020), *Perancangan dan Implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Unit Bisnis Pembangkit di Perusahaan Jasa Operasi dan Pemeliharaan*, Tesis Program Magister Manajemen, ITS, Surabaya.
- North American Electric *Reliability Council* (1991), *Predicting Unit Availability Top-Down Analyses for Predicting Unit Availability*, NERC.
- North American Electric *Reliability Council*, (1995), *Predicting Generating Unit Reliability*, NERC,
- Özcan, E.C., dan Eren T. (2017) "A combined *Goal Programming* – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 78, hal. 1410–1423.
- P.K Nag. (2008), *Power Plant Engineering*, Tata Mc-Graw Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.
- PT PLN (Persero), (2017) *Protap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit*, PT PLN (Persero), Jakarta.
- PT PLN (Persero), (2018), *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2018 s.d 2027*, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.

LAMPIRAN A

Usulan Target Kinerja dalam PLTU XYZ

Rincian	Bobot	2018*	2019	2020	2021	2022	2023
Operasional							
EAF (%)	30%	49,04	69,45	73,15	75,07	79,04	80,68
EFOR (%)	20%	9,80	9,03	8,10	7,49	4,68	3,86
SdOF (%)	10%	9	9	8	7	6	5
NPHR (kCal/kWh)	10%	5158	5108,54	4900,27	4850,26	4790,25	4750,25
Non Operasional							
Proper	10%	-	Menuju Biru	Biru	Biru	Biru	Hijau
Kepatuhan K2	10%	<i>Zero Accident</i>	<i>Zero Accident</i>	<i>Zero Accident</i>	<i>Zero Accident</i>	<i>Zero Accident</i>	<i>Zero Accident</i>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B

Lembar Kuisisioner AHP

KUISIONER PENELITIAN DENGAN METODE AHP

Kepada Yth.

Bapak/Ibu/Saudara(i)

Di Tempat

Dengan Hormat,

Saya atas nama Hery Setiyawan mahasiswa jurusan Manajemen Teknologi Industri – ITS memohon kesediaan Bapak/Ibu/Saudara(i) untuk mengisi kuisisioner ini, guna mengumpulkan data penelitian di Unit Jasa O&M PLTU Ketapang dalam rangka menyelesaikan penelitian dengan Judul **“Pemilihan Prioritas Proyek Pemeliharaan Peralatan Pembangkit Listrik Menggunakan Metode AHP dan Goal Programming di PLTU XYZ”**.

Kesediaan untuk mengisi kuisisioner ini sangat diharapkan, jawaban yang Anda berikan hanya untuk keperluan akademik. Atas kesediaan dan partisipasi Bapak/Ibu/Saudara (i) dalam mengisi kuisisioner ini saya ucapkan banyak terima kasih.

Hormat saya,

Hery Setiyawan

I. Identitas Responden

Nama :

Unit / Jabatan :

Lama Bekerja : tahun



II. Pendahuluan

Struktur analisa dengan metode AHP digambarkan sebagai berikut:



Tujuan / goal : Mendukung pencapaian SLA dengan pemilihan prioritas proyek pemeliharaan

Kriteria : Empat kriteria yang dipakai dalam evaluasi *Analytic Hierarchy Process (AHP)* adalah :

1. **Availability** atau dinyatakan dalam EAF mengacu pada peningkatan kesiapan unit beroperasi dan pencegahan derating
2. **Reliability** atau dinyatakan dalam EFOR mengacu pada pencegahan/pengurangan terjadinya gangguan pembangkit yang menyebabkan keluar paksa dari sistem, pencegahan derating, percepatan recovery jika terjadi gangguan
3. **Effisiensi** atau dinyatakan dalam *Net Plant Heat Rate* mengacu pada peningkatan efisiensi unit atau meminimalisir terjadinya losses energi di unit
4. **Safety** mengacu pada pencegahan terjadinya *unsafe condition* yaitu bahaya yang berpotensi menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja akibat malfungsi atau kegagalan suatu peralatan.

Alternatif: proyek pemeliharaan dalam bentuk program AI yang dalam penelitian ini dibatasi pada 5 proyek

P1: Rehabilitasi refractory boiler

P2: Penggantian pipa line cooling water

P3: Penggantian valve-valve yang bocor

P4: Pernormalan Houseload

P5: Rehabilitasi air heater

Keterangan :

EAF (Equivalent Availability Factor) adalah ekivalen Availability Factor (rasio antara jumlah jam unit pembangkit siap beroperasi terhadap jumlah jam dalam satu periode tertentu) yang telah memperhitungkan dampak dari derating pembangkit

EFOR (Equivalent Force Outage Rate) adalah **Forced Outage Rate** yang telah memperhitungkan dampak dari derating pembangkit.

Forced Outage Rate (FOR): adalah jumlah jam unit pembangkit dikeluarkan dari sistem (keluar paksa) dibagi jumlah jam unit pembangkit dikeluarkan dari sistem ditambah jumlah jam unit pembangkit beroperasi

IV. Petunjuk Pengisian:

Untuk menyamakan pemahaman dan prosedur, maka peneliti sampaikan petunjuk pengisian kuisioner sebagai berikut:

- a. Pilihlah opsi **A** (kolom kiri) atau opsi **B** (kolom kanan) yang mana lebih diutamakan
- b. Berilah penilaian skala tingkat kepentingan (1 s.d 9) pada opsi yang dipilih dengan memberi tanda (⊙) pada skala nilai sesuai opsi (A) atau opsi (B) yang dipilih.
- c. Definisi skala kepentingan :

Tabel Skala Perbandingan Berpasangan

Tingkat kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Sama penting	Kedua opsi mempunyai pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sedikit mendukung satu opsi dibandingkan dengan opsi pasangannya
5	Lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung satu opsi dibandingkan dengan opsi pasangannya
7	Sangat lebih penting	Satu opsi sangat disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata dibandingkan opsi pasangannya
9	Mutlak penting	Satu opsi terbukti mutlak lebih disukai dibandingkan opsi pasangannya pada tingkat keyakinan tertinggi
2,4,6,8	Nilai diantara dua penilaian yang berdekatan	Jika ragu-ragu antara dua skala maka ambil nilai tengahnya, misalkan Anda ragu-ragu antara 3 dan 5 maka pilih skala 4 dan seterusnya.

Contoh Pengisian :

Diberikan Opsi A & B, Anda dapat menilai kepentingan relatif seperti contoh di bawah ini:

1. Jika menurut Anda opsi 'Proyek 2' di kolom B adalah sedikit lebih penting daripada opsi 'Proyek 1' di kolom A, maka Anda menandai di skala 3 dengan (⊙) di sebelah kanan
2. Jika menurut Anda opsi 'Proyek 1' di kolom A sangat penting daripada opsi 'Proyek 3' di kolom B, maka berilah tanda di skala 7 dengan (⊙) di sebelah kiri.
3. Mohon diusahakan penilaian Anda konsisten. Misalnya Anda menyatakan Proyek_2 sedikit lebih penting daripada Proyek_1, dan Proyek_1 Sangat lebih penting daripada Proyek_3, maka penilaian Anda konsisten jika menyatakan Proyek_2 Mutlak lebih penting daripada Proyek_3

	Opsi A	Skala 1-9									Opsi B							
		Mutlak penting	Sangat penting	Lebih penting	Sedikit penting	Sama Penting	Sedikit penting	Penting	Sangat penting	Mutlak penting								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Proyek_1											⊙						Proyek_2
2	Proyek_1			⊙														Proyek_3
3	Proyek_2	⊙																Proyek_3

Arti pengisian diatas adalah:

- i. Proyek_2 sedikit lebih penting daripada Proyek_1
- ii. Proyek_1 sangat penting daripada Proyek_3
- iii. Proyek_2 mutlak lebih penting daripada Proyek_3

V. Daftar Pertanyaan

1. Pertanyaan Level 2

		Sehubungan dengan upaya peningkatan EAF																	
		Menggunakan skala 1 s.d 9 (dimana 9 mutlak penting dan 1 sama pentingnya)																	
		Mohon dipilih (⊙) kepentingan relative opsi A (kolom kiri) atau opsi B (kolom kanan)																	
No	Opsi A	Skala 1-9									Opsi B								
		Mutlak penting	Sangat penting	Lebih penting	Sedikit penting	Sama Penting	Sedikit penting	Penting	Sangat penting	Mutlak penting									
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Rehabilitasi refractory boiler	⊙																	Penggantian pipa line cooling
2	Rehabilitasi refractory boiler																		Penggantian valve-valve yang bocor
3	Rehabilitasi refractory boiler																		Pernormalan house load
4	Rehabilitasi refractory boiler																		Rehabilitasi air heater
5	Penggantian pipa line cooling																		Penggantian valve-valve yang bocor
6	Penggantian pipa line cooling																		Pernormalan house load
7	Penggantian pipa line cooling																		Rehabilitasi air heater
8	Penggantian valve-valve yang bocor																		Pernormalan house load
9	Penggantian valve-valve yang bocor																		Rehabilitasi air heater
10	Pernormalan house load																		Rehabilitasi air heater

Sehubungan dengan upaya penurunan EFOR																			
Menggunakan skala 1 s.d 9 (dimana 9 mutlak penting dan 1 sama pentingnya)																			
Mohon dipilih (⊙) kepentingan relative opsi A (kolom kiri) atau opsi B (kolom kanan)																			
No	Ops A	Mutlak penting		Sangat penting		Lebih penting		Sedikit penting		Sama Penting		Sedikit penting		Penting		Sangat penting		Mutlak penting	Ops B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian pipa line cooling
2	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian valve-valve yang bocor
3	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pernormalan houseload
4	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
5	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian valve-valve yang bocor
6	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pernormalan houseload
7	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
8	Penggantian valve-valve yang bocor	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pernormalan houseload
9	Penggantian valve-valve yang bocor	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
10	Pernormalan houseload	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater

Sehubungan dengan upaya penurunan NPHR																			
Menggunakan skala 1 s.d 9 (dimana 9 mutlak penting dan 1 sama pentingnya)																			
Mohon dipilih (⊙) kepentingan relative opsi A (kolom kiri) atau opsi B (kolom kanan)																			
No	Ops A	Mutlak penting		Sangat penting		Lebih penting		Sedikit penting		Sama Penting		Sedikit penting		Penting		Sangat penting		Mutlak penting	Ops B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian pipa line cooling
2	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian valve-valve yang bocor
3	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pernormalan houseload
4	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
5	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian valve-valve yang bocor
6	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pernormalan houseload
7	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
8	Penggantian valve-valve yang bocor	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pernormalan houseload
9	Penggantian valve-valve yang bocor	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
10	Pernormalan houseload	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater

Sehubungan dengan upaya peningkatan SAFETY																			
Menggunakan skala 1 s.d 9 (dimana 9 mutlak penting dan 1 sama pentingnya)																			
Mohon dipilih (⊙) kepentingan relative opsi A (kolom kiri) atau opsi B (kolom kanan)																			
No	Opsi A	Mutlak penting		Sangat penting		Lebih penting		Sedikit penting		Sama Penting		Sedikit penting		Penting		Sangat penting		Mutlak penting	Opsi B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian pipa line cooling
2	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian valve-valve yang bocor
3	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penormalan houseload
4	Rehabilitasi refractory boiler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
5	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penggantian valve-valve yang bocor
6	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penormalan houseload
7	Penggantian pipa line cooling	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
8	Penggantian valve-valve yang bocor	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Penormalan houseload
9	Penggantian valve-valve yang bocor	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater
10	Penormalan houseload	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rehabilitasi air heater

2. Pertanyaan kriteria level 1

Sehubungan dengan goal : MENDUKUNG PENCAPAIAN SLA MELALUI PRIORITAS PEMELIHARAAN																			
Menggunakan skala 1 s.d 9 (dimana 9 mutlak penting dan 1 sama pentingnya)																			
Mohon ditandai (⊙) kepentingan relative opsi A (kolom kiri) atau opsi B (kolom kanan)																			
No	Opsi A	Mutlak penting		Sangat penting		Lebih penting		Sedikit penting		Sama Penting		Sedikit penting		Penting		Sangat penting		Mutlak penting	Opsi B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	EAF	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	EFOR
2	EAF	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NPHR
3	EAF	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Safety
4	EFOR	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NPHR
5	EFOR	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Safety
6	NPHR	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Safety

*Mohon setelah pengisian file PDF ini di **print as pdf** atau **screenshot** agar hasil pengisian tidak hilang.

TERIMA KASIH

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

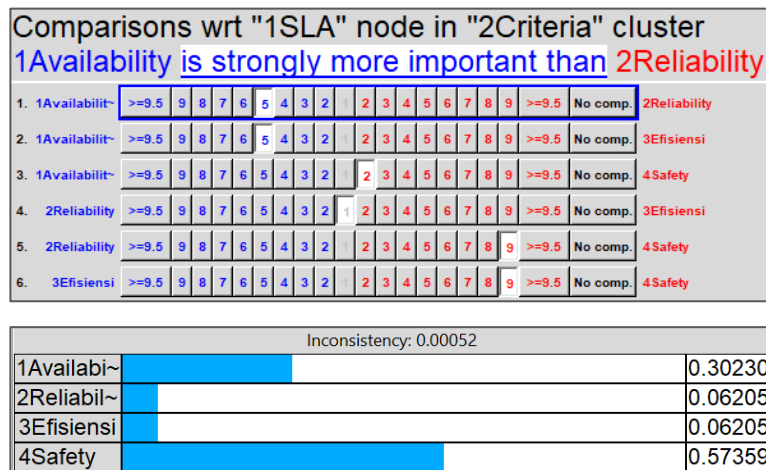
LAMPIRAN C

Pengolahan Data Kuisisioner AHP (Individual Judgement) dengan Perangkat Lunak Superdecisions

C1. Hasil Kuisisioner dan Pengolahan Data Reponden 1

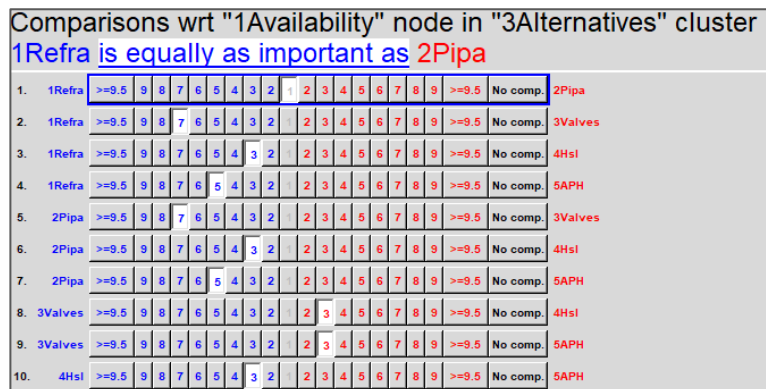
Responden	: R1
Divisi	: O&M
Jabatan	: Manajer O&M
Masa kerja	: 14 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal



Gambar C1.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria



Inconsistency: 0.02920		
1Refra		0.36490
2Pipa		0.36490
3Valves		0.04353
4Hsl		0.14779
5APH		0.07887

Gambar C1.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "2Reliability" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.02920		
1Refra		0.36490
2Pipa		0.36490
3Valves		0.04353
4Hsl		0.14779
5APH		0.07887

Gambar C1.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.01242		
1Refra		0.06380
2Pipa		0.06380
3Valves		0.15347
4Hsl		0.35947
5APH		0.35947

Gambar C1.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi

Comparisons wrt "4Safety" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.00443		
1Refra		0.20925
2Pipa		0.19407
3Valves		0.45717
4Hsl		0.06975
5APH		0.06975

Gambar C1.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap Safety

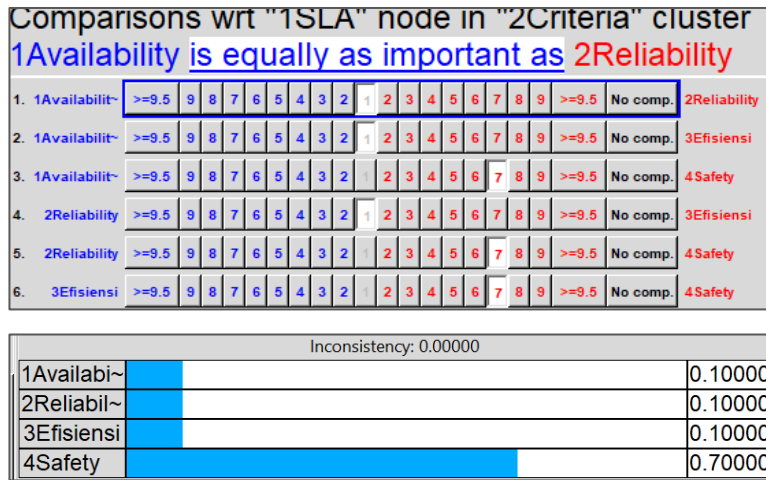
Hasil bobot dan prioritas alternatif R1

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	1Refra	0.1285	0.2569	0.8934	2
	2Pipa	0.1241	0.2482	0.8631	3
	3Valves	0.1438	0.2876	1.0000	1
	4Hsl	0.0581	0.1162	0.4039	4
	5APH	0.0455	0.0911	0.3166	5

C2. Hasil Kuisiner dan Pengolahan Data Reponden 2

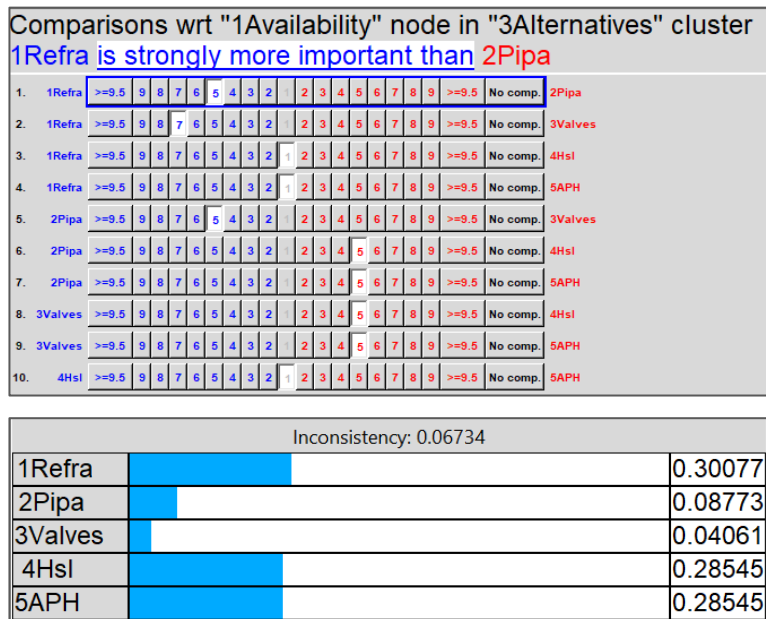
Responden	: R2
Divisi	: <i>Engineering</i>
Jabatan	: <i>Manajer Engineering</i>
Masa kerja	: 12 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal



Gambar C2.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria



Gambar C2.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "2Reliability" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is strongly more important than 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.06734		
1Refra		0.30077
2Pipa		0.08773
3Valves		0.04061
4Hsl		0.28545
5APH		0.28545

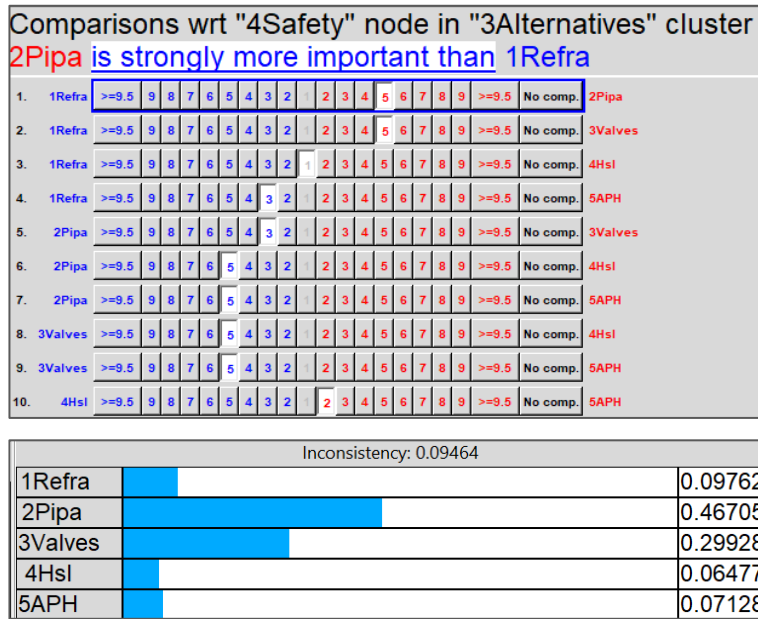
Gambar C2.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is strongly more important than 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.07545		
1Refra		0.13686
2Pipa		0.05706
3Valves		0.23837
4Hsl		0.20355
5APH		0.36416

Gambar C2.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi



Gambar C2.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *Safety*

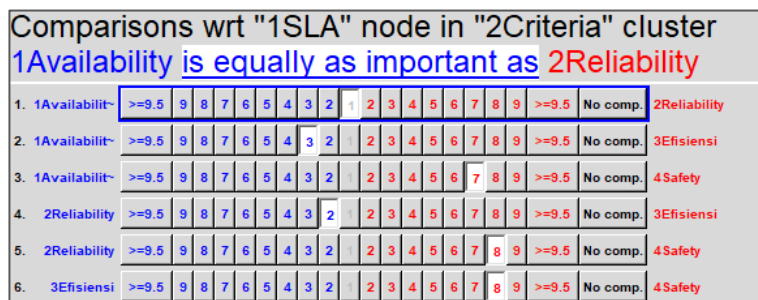
Hasil bobot dan prioritas alternatif R2

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	1Refra	0.0711	0.1422	0.4060	4
	2Pipa	0.1751	0.3502	1.0000	1
	3Valves	0.1207	0.2415	0.6895	2
	4Hsl	0.0614	0.1228	0.3506	5
	5APH	0.0717	0.1434	0.4095	3

C3. Hasil Kuisioner dan Pengolahan Data Reponden 3

Responden	: R3
Bidang	: Pemeliharaan Unit
Jabatan	: Deputi Manajer Pemeliharaan
Masa Kerja	: 11 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal



Inconsistency: 0.03785		
1Availabi~		0.12444
2Reliabil~		0.10691
3Efisiensi		0.05921
4Safety		0.70944

Gambar C3.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria

Comparisons wrt "1Availability" node in "3Alternatives" cluster
2Pipa is extremely more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.02465		
1Refra		0.04192
2Pipa		0.46217
3Valves		0.04330
4Hsl		0.22510
5APH		0.22751

Gambar C3.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "2Reliability" node in "3Alternatives" cluster
2Pipa is equally to moderately more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.03973		
1Refra		0.19730
2Pipa		0.29268
3Valves		0.03213
4Hsl		0.04617
5APH		0.43171

Gambar C3.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster
2Pipa is moderately to strongly more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.06777		
1Refra		0.05772
2Pipa		0.14265
3Valves		0.40985
4Hsl		0.03668
5APH		0.35310

Gambar C3.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi

Comparisons wrt "4Safety" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is strongly more important than 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.02214		
1Refra		0.47321
2Pipa		0.09454
3Valves		0.33794
4Hsl		0.03670
5APH		0.05761

Gambar C3.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap Safety

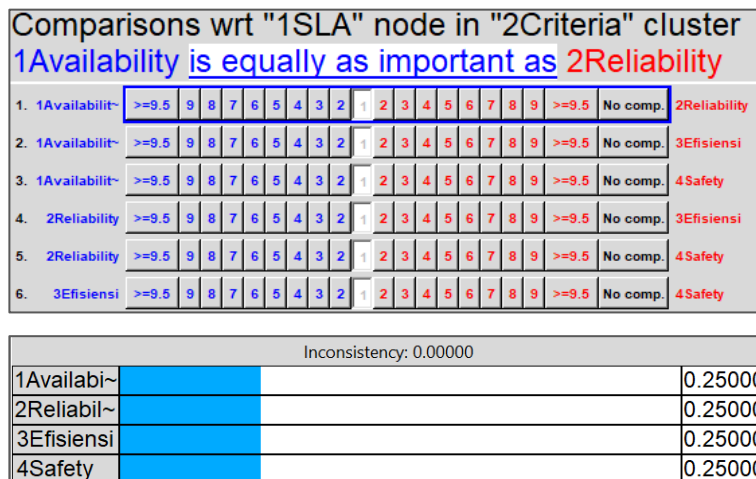
Hasil bobot dan prioritas alternatif R3

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	1 Refra	0.1827	0.3654	1.0000	1
	2 Pipa	0.0822	0.1643	0.4497	3
	3 Valves	0.1364	0.2728	0.7466	2
	4 Hsl	0.0306	0.0612	0.1673	5
	5 APH	0.0681	0.1362	0.3728	4

C4. Hasil Kuisisioner dan Pengolahan Data Reponden 4

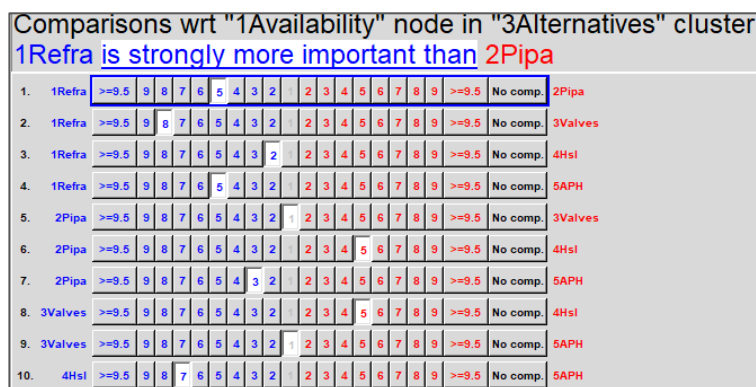
Responden	: R4
Divisi	: <i>Engineering</i>
Jabatan	: <i>Assistant Manajer System Owner</i>
Masa kerja	: 11 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal



Gambar C4.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria



Inconsistency: 0.04715		
1Refra		0.45556
2Pipa		0.09224
3Valves		0.06439
4Hsl		0.33231
5APH		0.05550

Gambar C4.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "2Reliability" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is extremely more important than 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.05015		
1Refra		0.48382
2Pipa		0.06633
3Valves		0.04791
4Hsl		0.35954
5APH		0.04239

Gambar C4.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.01437		
1Refra		0.19807
2Pipa		0.19149
3Valves		0.32702
4Hsl		0.03332
5APH		0.25010

Gambar C4.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi

Comparisons wrt "4Safety" node in "3Alternatives" cluster
 1Refra is extremely more important than 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa	
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves	
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl	
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl	
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	

Inconsistency: 0.06613		
1Refra		0.43628
2Pipa		0.04396
3Valves		0.04557
4Hsl		0.35993
5APH		0.11425

Gambar C4.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap Safety

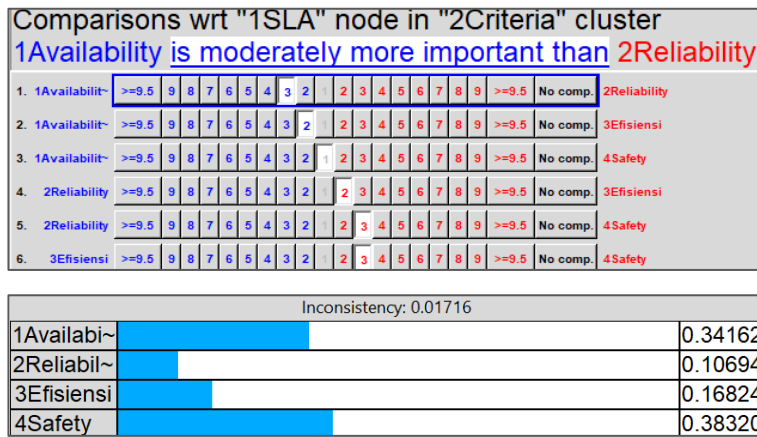
Hasil bobot dan prioritas alternatif

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	1Refra	0.1967	0.3934	1.0000	1
	2Pipa	0.0493	0.0985	0.2504	5
	3Valves	0.0606	0.1212	0.3081	3
	4Hsl	0.1356	0.2713	0.6895	2
	5APH	0.0578	0.1156	0.2937	4

C5. Hasil Kuisisioner dan Pengolahan Data Reponden 5

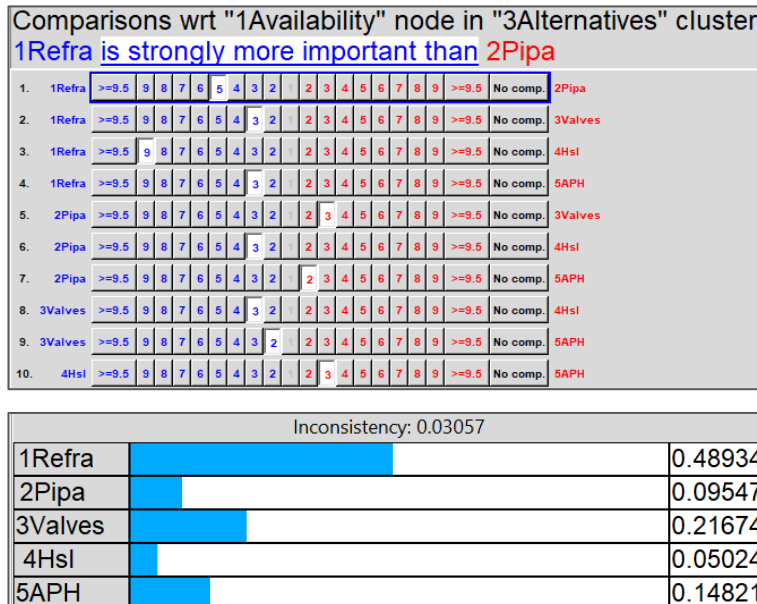
Responden	: R5
Divisi	: <i>Engineering</i>
Jabatan	: <i>Assistant Manajer Technical Supporting</i>
Masa kerja	: 11 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal



Gambar C5.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria



Gambar C5.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster

2Pipa is moderately more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.03610

1Refra		0.04159
2Pipa		0.14758
3Valves		0.44913
4Hsl		0.08217
5APH		0.27953

Gambar C5.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster

2Pipa is moderately more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.03610

1Refra		0.04159
2Pipa		0.14758
3Valves		0.44913
4Hsl		0.08217
5APH		0.27953

Gambar C5.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi

Comparisons wrt "4Safety" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is moderately more important than 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.06559		
1Refra		0.44910
2Pipa		0.09189
3Valves		0.15677
4Hsl		0.05513
5APH		0.24711

Gambar C5.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *Safety*

Hasil bobot dan prioritas alternatif

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	1Refra	0.1516	0.3032	0.9828	2
	2Pipa	0.0520	0.1040	0.3373	4
	3Valves	0.1542	0.3085	1.0000	1
	4Hsl	0.0364	0.0727	0.2357	5
	5APH	0.1058	0.2116	0.6861	3

C6. Hasil Kuisiner dan Pengolahan Data Reponden 6

Responden	: R6
Divisi	: <i>Engineering</i>
Jabatan	: <i>Staff Engineering</i>
Masa kerja	: 10 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal

Comparisons wrt "1SLA" node in "2Criteria" cluster
1Availability is equally as important as 2Reliability

1. 1Availability	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Reliability
2. 1Availability	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Efisiensi	
3. 1Availability	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Safety	
4. 2Reliability	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Efisiensi	
5. 2Reliability	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Safety	
6. 3Efisiensi	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Safety	

Gambar C6.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria

Comparisons wrt "1Availability" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is strongly more important than 2Pipa

1. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves	
3. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
5. 2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves	
6. 2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl	
7. 2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
8. 3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl	
9. 3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10. 4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	

Inconsistency: 0.06980

1Refra		0.38153
2Pipa		0.12131
3Valves		0.03940
4Hsl		0.41978
5APH		0.03799

Gambar C6.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "2Reliability" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is extremely more important than 2Pipa

1. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves	
3. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4. 1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
5. 2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves	
6. 2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl	
7. 2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	
8. 3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl	
9. 3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10. 4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH	

Inconsistency: 0.09850		
1Refra		0.44403
2Pipa		0.10470
3Valves		0.03615
4Hsl		0.37896
5APH		0.03615

Gambar C6.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster
2Pipa is strongly more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.02898		
1Refra		0.05736
2Pipa		0.38184
3Valves		0.21360
4Hsl		0.06043
5APH		0.28678

Gambar C6.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi

Comparisons wrt "4Safety" node in "3Alternatives" cluster
2Pipa is strongly more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.00705		
1Refra		0.07889
2Pipa		0.35933
3Valves		0.39447
4Hsl		0.08842
5APH		0.07889

Gambar C6.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *Safety*

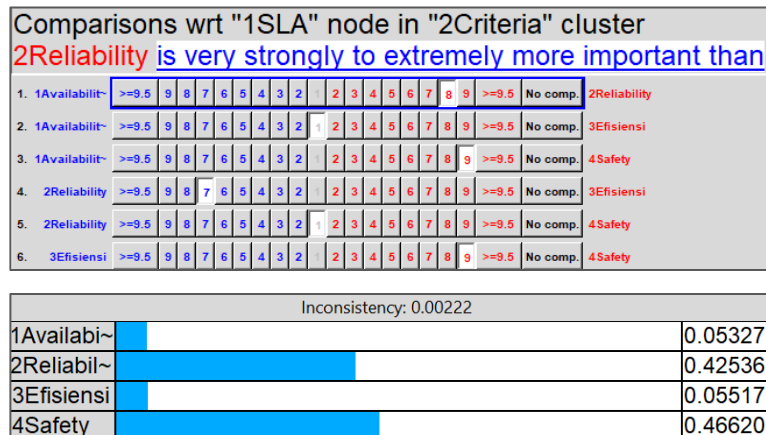
Hasil bobot dan prioritas alternatif R6

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
1Refra		0.895846	0.225594	0.112797
2Pipa		1.000000	0.251822	0.125911
3Valves		0.916818	0.230875	0.115438
4Hsl		0.886215	0.223169	0.111584
5APH		0.272178	0.068540	0.034270

C7. Hasil Kuisisioner dan Pengolahan Data Reponden 7

Responden	: R7
Divisi	: <i>Engineering</i>
Jabatan	: <i>Staf Engineering</i>
Masa Kerja	: 5 tahun

Perbandingan Kriteria terhadap Goal



Gambar C7.1 Perbandingan berpasangan kriteria terhadap goal

Perbandingan alternatif proyek terhadap kriteria

Comparisons wrt "1Availability" node in "3Alternatives" cluster
 1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.02281

1Refra		0.04405
2Pipa		0.04509
3Valves		0.44646
4Hsl		0.23076
5APH		0.23364

Gambar C7.2 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *availability*

Comparisons wrt "2Reliability" node in "3Alternatives" cluster
 1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.01686

1Refra		0.06445
2Pipa		0.06628
3Valves		0.43674
4Hsl		0.04308
5APH		0.38944

Gambar C7.3 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap *reliability*

Comparisons wrt "3Efisiensi" node in "3Alternatives" cluster
1Refra is equally as important as 2Pipa

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.00189		
1Refra		0.05311
2Pipa		0.05341
3Valves		0.42464
4Hsl		0.05462
5APH		0.41422

Gambar C7.4 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap efisiensi




Comparisons wrt "4Safety" node in "3Alternatives" cluster
2Pipa is very strongly to extremely more important than 1Refra

1.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Pipa
2.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
3.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
4.	1Refra	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
5.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Valves
6.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
7.	2Pipa	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
8.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Hsl
9.	3Valves	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH
10.	4Hsl	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5APH

Inconsistency: 0.29897		
1Refra		0.04742
2Pipa		0.20514
3Valves		0.62764
4Hsl		0.02363
5APH		0.09616

Gambar C7.5 Perbandingan berpasangan alternatif terhadap Safety

Hasil bobot dan prioritas alternatif

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
	1Refra	0.0274	0.0548	0.1043	4
	2Pipa	0.0646	0.1292	0.2458	3
	3Valves	0.2628	0.5256	1.0000	1
	4Hsl	0.0223	0.0447	0.0850	5
	5APH	0.1229	0.2458	0.4676	2

LAMPIRAN D

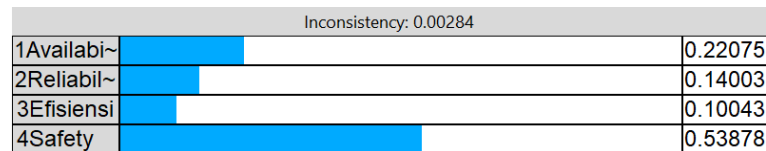
Pairwise Comparison dan Pengujian Konsistensi

- Kriteria Terhadap Goal**

Matrik perbandingan berpasangan disusun berdasarkan *group decision* terhadap masing-masing kriteria dan alternatif. Matrik rata-rata geometrik untuk kriteria *Availability* (EAF), *Reliability* (EFOR), *Efisiensi* (NPHR) dan *Safety* ditunjukkan pada Tabel D1 dan Bobot kriteria terhadap *goal* pada Gambar D1.

Tabel D1 Matrik Perbandingan Berpasangan Kriteria Terhadap Goal

	1Availability	2Reliability	3Efisiensi	4Safety
1Availability	1	1.570	2.438	0.370
2Reliability	0.637	1	1.383	0.263
3Efisiensi	0.410	0.723	1	0.205
4Safety	2.705	3.803	4.886	1



Gambar D1. Bobot kriteria terhadap *goal* ($CR \leq 0.1$)

- Alternatif Terhadap Kriteria Availability**

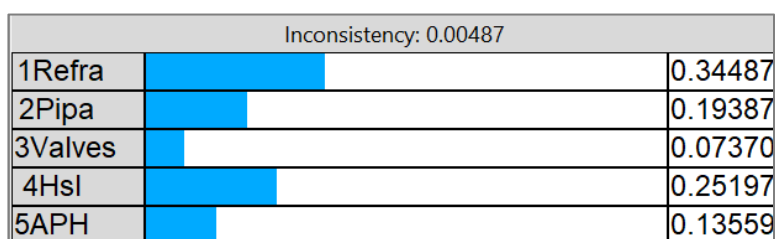
Matrik rata-rata geometrik dari *group judgement* untuk perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria *Availability* (EAF) ditunjukkan pada Tabel D2. Bobot alternatif terhadap kriteria *Availability* pada Gambar D2.

Tabel D2 Matrik Perbandingan Berpasangan Alternatif Terhadap Kriteria *Availability*

	1Refra	2Pipa	3Valves	4Hsl	5APH
1Refra	1	2.027	4.595	1.406	2.221
2Pipa	0.493	1	2.840	0.684	1.680
3Valves	0.218	0.352	1	0.336	0.505
4Hsl	0.711	1.461	2.980	1	1.956
5APH	0.450	0.595	1.979	0.511	1

Keterangan :

- 1Refra = X1 = Rehabilitasi *refractory boiler*
- 2Pipa = X2 = Penggantian *line cooling water*
- 3Valve = X3 = Penggantian *valves* yang bocor
- 4Hsl = X4 = Penormalan *houseload*
- 5APH = X5 = Rehabilitasi *air heater*



Gambar D2 Bobot alternatif terhadap *Availability* ($CR \leq 0.1$)

- **Alternatif Terhadap Kriteria *Reliability*.**

Matrik rata-rata geometrik dari *group judgement* untuk perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria *Reliability* (EFOR) ditunjukkan pada Tabel D3. Bobot alternatif terhadap kriteria *Reliability* pada Gambar D3.

Tabel D3 Matrik Perbandingan Berpasangan Alternatif Terhadap kriteria *Reliability*

	1Refra	2Pipa	3Valves	4Hsl	5APH
1Refra	1	2.639	5.627	1.817	2.928
2Pipa	0.379	1	2.840	0.553	1.399
3Valves	0.178	0.352	1	0.342	0.541
4Hsl	0.550	1.809	2.928	1	1.901
5APH	0.342	0.715	1.849	0.526	1

Inconsistency: 0.00588		
1Refra		0.40303
2Pipa		0.16331
3Valves		0.06922
4Hsl		0.23833
5APH		0.12610

Gambar D3 Bobot alternatif terhadap *Reliability* ($CR \leq 0.1$)

- **Alternatif Terhadap Kriteria Efisiensi.**

Matrik rata-rata geometrik dari *group judgement* untuk perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria Efisiensi (NPHR) ditunjukkan pada Tabel D4. Bobot alternatif terhadap kriteria Efisiensi pada Gambar D4.

Tabel D4 Matrik Perbandingan Berpasangan Alternatif Terhadap Kriteria Efisiensi

	1Refra	2Pipa	3Valves	4Hsl	5APH
1Refra	1	0.661	0.253	0.858	0.255
2Pipa	1.513	1	0.472	1.763	0.405
3Valves	3.947	2.117	1	3.086	0.833
4Hsl	1.165	0.567	0.324	1	0.292
5APH	3.915	2.466	1.201	3.427	1

Inconsistency: 0.00254		
1Refra		0.08759
2Pipa		0.14844
3Valves		0.31289
4Hsl		0.09743
5APH		0.35365

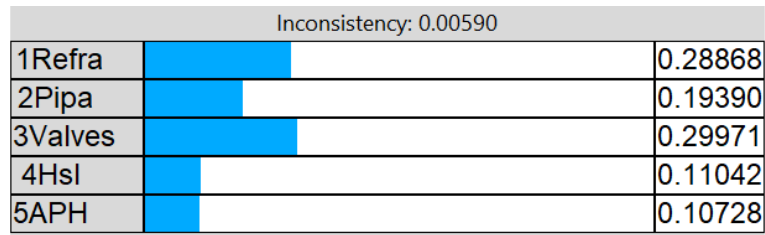
Gambar D4 Bobot alternatif terhadap kriteria efisiensi ($CR \leq 0.1$)

- **Alternatif Terhadap Kriteria Safety**

Matrik rata-rata geometrik dari *group judgement* untuk perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria *Safety* ditunjukkan pada Tabel D5. Bobot alternatif terhadap kriteria *Safety* pada Gambar D5

Tabel D5 Matrik Perbandingan Berpasangan Alternatif Terhadap Kriteria *Safety*

	1Refra	2Pipa	3Valves	4Hsl	5APH
1Refra	1	1.324	0.907	2.449	3.387
2Pipa	0.755	1	0.636	1.944	1.467
3Valves	1.103	1.572	1	2.571	0.000
4Hsl	0.408	0.514	0.389	1	0.000
5APH	0.295	0.682	0.000	0.000	1



Gambar D5 Bobot alternatif terhadap kriteria *Safety* ($CR \leq 0.1$)

LAMPIRAN E

Pemodelan Goal Programming

```
MODEL:
!Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek;
Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4;

!s.t;
!Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia;
2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 20;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety;
0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability;
0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability;
0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642;

!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi;
0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667;

!Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2);
x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >=2;

!Other Constraint;
x1 <= 1;
x2 <= 1;
x3 <= 1;
x4 <= 1;
x5 <= 1;

!X integer value only;
@GIN (x1); @GIN (x2); @GIN (x3); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5);

!slack variable;
nc>=0; pc>=0; n1>=0; p1>=0; n2>=0; p2>=0; n3>=0; p3>=0; n4>=0; p4>=0;
END
```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN F

Lampiran Hasil Pemodelan *Goal Programming*

A. Perubahan Batasan Biaya yang Tersedia -20% (Rp. 16 M)

MODEL:	Variable	Value	Reduced Cost
<code>!Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek;</code>	PC	0.000000	1.000000
<code>Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4;</code>	N1	0.000000	0.5390000
	N2	0.000000	0.2210000
	N3	0.000000	0.1400000
	N4	0.7700000E-01	0.000000
<code>!s.t;</code>	X1	1.000000	-0.8800000E-02
<code>!Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia;</code>	X2	1.000000	-0.1480000E-01
$2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 16;$	X3	0.000000	-0.3130000E-01
	X4	0.000000	-0.9700000E-02
<code>!Fung`si Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety;</code>	X5	1.000000	-0.3540000E-01
$0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589;$	NC	0.5000000	0.000000
	P1	0.1000000E-02	0.000000
<code>!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability;</code>	P2	0.7800000E-01	0.000000
$0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597;$	P3	0.5000000E-01	0.000000
	P4	0.000000	0.1000000
<code>!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability;</code>	Row	Slack or Surplus	Dual Price
$0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642;$	1	0.7700000E-02	-1.000000
	2	0.000000	0.000000
<code>!Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi;</code>	3	0.000000	0.000000
$0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667;$	4	0.000000	0.000000
	5	0.000000	0.000000
<code>!Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2);</code>	6	0.000000	-0.1000000
$x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >= 2;$	7	1.000000	0.000000
	8	0.000000	0.000000
<code>!Other Constraint;</code>	9	0.000000	0.000000
$x1 <= 1;$	10	1.000000	0.000000
$x2 <= 1;$	11	1.000000	0.000000
$x3 <= 1;$	12	0.000000	0.000000
$x4 <= 1;$	13	0.5000000	0.000000
$x5 <= 1;$	14	0.000000	0.000000
	15	0.000000	0.000000
<code>!X integer value only;</code>	16	0.1000000E-02	0.000000
<code>@GIN (x1); @GIN (X2); @GIN (x3); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5);</code>	17	0.000000	0.000000
	18	0.7800000E-01	0.000000
<code>!slack variable;</code>	19	0.000000	0.000000
$nc >= 0; pc >= 0; n1 >= 0; p1 >= 0; n2 >= 0; p2 >= 0; n3 >= 0; p3 >= 0; n4 >= 0; p4 >= 0;$			

B. Perubahan Batasan Biaya yang Tersedia -10% (Rp. 18 M)

<pre> MODEL: !Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek; Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4; !s.t; !Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia; 2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 18; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety; 0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability; 0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability; 0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi; 0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667; !Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2); x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >=2; !Other Constraint; x1 <= 1; x2 <= 1; x3 <= 1; x4 <= 1; x5 <= 1; !X integer value only; @GIN (x1); @GIN (x2); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5); !slack variable; nc>=0; pc>=0; n1>=0; p1>=0; n2>=0; p2>=0; n3>=0; p3>=0; n4>=0; p4>=0; END </pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Value</th> <th>Reduced Cost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PC</td><td>0.000000</td><td>1.000000</td></tr> <tr><td>N1</td><td>0.000000</td><td>0.5390000</td></tr> <tr><td>N2</td><td>0.000000</td><td>0.2210000</td></tr> <tr><td>N3</td><td>0.000000</td><td>0.1400000</td></tr> <tr><td>N4</td><td>0.7700000E-01</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X1</td><td>1.000000</td><td>-0.8800000E-02</td></tr> <tr><td>X2</td><td>1.000000</td><td>-0.1480000E-01</td></tr> <tr><td>X3</td><td>0.000000</td><td>-0.3130000E-01</td></tr> <tr><td>X4</td><td>0.000000</td><td>-0.9700000E-02</td></tr> <tr><td>X5</td><td>1.000000</td><td>-0.3540000E-01</td></tr> <tr><td>NC</td><td>0.5000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P1</td><td>0.1000000E-02</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P2</td><td>0.7800000E-01</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P3</td><td>0.5000000E-01</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P4</td><td>0.000000</td><td>0.1000000</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Row</th> <th>Slack or Surplus</th> <th>Dual Price</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.7700000E-02</td><td>-1.000000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.000000</td><td>-0.1000000</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.5000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.1000000E-02</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.7800000E-01</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.5000000E-01</td><td>0.000000</td></tr> </tbody> </table>	Variable	Value	Reduced Cost	PC	0.000000	1.000000	N1	0.000000	0.5390000	N2	0.000000	0.2210000	N3	0.000000	0.1400000	N4	0.7700000E-01	0.000000	X1	1.000000	-0.8800000E-02	X2	1.000000	-0.1480000E-01	X3	0.000000	-0.3130000E-01	X4	0.000000	-0.9700000E-02	X5	1.000000	-0.3540000E-01	NC	0.5000000	0.000000	P1	0.1000000E-02	0.000000	P2	0.7800000E-01	0.000000	P3	0.5000000E-01	0.000000	P4	0.000000	0.1000000	Row	Slack or Surplus	Dual Price	1	0.7700000E-02	-1.000000	2	0.000000	0.000000	3	0.000000	0.000000	4	0.000000	0.000000	5	0.000000	0.000000	6	0.000000	-0.1000000	7	1.000000	0.000000	8	0.000000	0.000000	9	0.000000	0.000000	10	1.000000	0.000000	11	1.000000	0.000000	12	0.000000	0.000000	13	0.5000000	0.000000	14	0.000000	0.000000	15	0.000000	0.000000	16	0.1000000E-02	0.000000	17	0.000000	0.000000	18	0.7800000E-01	0.000000	19	0.000000	0.000000	20	0.5000000E-01	0.000000
Variable	Value	Reduced Cost																																																																																																														
PC	0.000000	1.000000																																																																																																														
N1	0.000000	0.5390000																																																																																																														
N2	0.000000	0.2210000																																																																																																														
N3	0.000000	0.1400000																																																																																																														
N4	0.7700000E-01	0.000000																																																																																																														
X1	1.000000	-0.8800000E-02																																																																																																														
X2	1.000000	-0.1480000E-01																																																																																																														
X3	0.000000	-0.3130000E-01																																																																																																														
X4	0.000000	-0.9700000E-02																																																																																																														
X5	1.000000	-0.3540000E-01																																																																																																														
NC	0.5000000	0.000000																																																																																																														
P1	0.1000000E-02	0.000000																																																																																																														
P2	0.7800000E-01	0.000000																																																																																																														
P3	0.5000000E-01	0.000000																																																																																																														
P4	0.000000	0.1000000																																																																																																														
Row	Slack or Surplus	Dual Price																																																																																																														
1	0.7700000E-02	-1.000000																																																																																																														
2	0.000000	0.000000																																																																																																														
3	0.000000	0.000000																																																																																																														
4	0.000000	0.000000																																																																																																														
5	0.000000	0.000000																																																																																																														
6	0.000000	-0.1000000																																																																																																														
7	1.000000	0.000000																																																																																																														
8	0.000000	0.000000																																																																																																														
9	0.000000	0.000000																																																																																																														
10	1.000000	0.000000																																																																																																														
11	1.000000	0.000000																																																																																																														
12	0.000000	0.000000																																																																																																														
13	0.5000000	0.000000																																																																																																														
14	0.000000	0.000000																																																																																																														
15	0.000000	0.000000																																																																																																														
16	0.1000000E-02	0.000000																																																																																																														
17	0.000000	0.000000																																																																																																														
18	0.7800000E-01	0.000000																																																																																																														
19	0.000000	0.000000																																																																																																														
20	0.5000000E-01	0.000000																																																																																																														

C. Biaya yang Tersedia +0% (Rp. 20 M) (Base case)

<pre> MODEL: !Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek; Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4; !s.t; !Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia; 2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 20; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety; 0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability; 0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability; 0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi; 0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667; !Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2); x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >=2; !Other Constraint; x1 <= 1; x2 <= 1; x3 <= 1; x4 <= 1; x5 <= 1; !X integer value only; @GIN (x1); @GIN(x2); @GIN (x3); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5); !slack variable; nc>=0; pc>=0; n1>=0; p1>=0; n2>=0; p2>=0; n3>=0; p3>=0; n4>=0; p4>=0; END </pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Value</th> <th>Reduced Cost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PC</td><td>0.000000</td><td>1.000000</td></tr> <tr><td>N1</td><td>0.000000</td><td>0.5390000</td></tr> <tr><td>N2</td><td>0.000000</td><td>0.2210000</td></tr> <tr><td>N3</td><td>0.000000</td><td>0.1400000</td></tr> <tr><td>N4</td><td>0.000000</td><td>0.1000000</td></tr> <tr><td>X1</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X3</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X4</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X5</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>NC</td><td>1.700000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P1</td><td>0.2170000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P2</td><td>0.2090000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P3</td><td>0.1950000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P4</td><td>0.1850000</td><td>0.000000</td></tr> <tr> <th>Row</th> <th>Slack or Surplus</th> <th>Dual Price</th> </tr> <tr><td>1</td><td>0.000000</td><td>-1.000000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>13</td><td>1.700000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.2170000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.2090000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.1950000</td><td>0.000000</td></tr> </tbody> </table>	Variable	Value	Reduced Cost	PC	0.000000	1.000000	N1	0.000000	0.5390000	N2	0.000000	0.2210000	N3	0.000000	0.1400000	N4	0.000000	0.1000000	X1	1.000000	0.000000	X2	0.000000	0.000000	X3	1.000000	0.000000	X4	1.000000	0.000000	X5	1.000000	0.000000	NC	1.700000	0.000000	P1	0.2170000	0.000000	P2	0.2090000	0.000000	P3	0.1950000	0.000000	P4	0.1850000	0.000000	Row	Slack or Surplus	Dual Price	1	0.000000	-1.000000	2	0.000000	0.000000	3	0.000000	0.000000	4	0.000000	0.000000	5	0.000000	0.000000	6	0.000000	0.000000	7	2.000000	0.000000	8	0.000000	0.000000	9	1.000000	0.000000	10	0.000000	0.000000	11	0.000000	0.000000	12	0.000000	0.000000	13	1.700000	0.000000	14	0.000000	0.000000	15	0.000000	0.000000	16	0.2170000	0.000000	17	0.000000	0.000000	18	0.2090000	0.000000	19	0.000000	0.000000	20	0.1950000	0.000000
Variable	Value	Reduced Cost																																																																																																														
PC	0.000000	1.000000																																																																																																														
N1	0.000000	0.5390000																																																																																																														
N2	0.000000	0.2210000																																																																																																														
N3	0.000000	0.1400000																																																																																																														
N4	0.000000	0.1000000																																																																																																														
X1	1.000000	0.000000																																																																																																														
X2	0.000000	0.000000																																																																																																														
X3	1.000000	0.000000																																																																																																														
X4	1.000000	0.000000																																																																																																														
X5	1.000000	0.000000																																																																																																														
NC	1.700000	0.000000																																																																																																														
P1	0.2170000	0.000000																																																																																																														
P2	0.2090000	0.000000																																																																																																														
P3	0.1950000	0.000000																																																																																																														
P4	0.1850000	0.000000																																																																																																														
Row	Slack or Surplus	Dual Price																																																																																																														
1	0.000000	-1.000000																																																																																																														
2	0.000000	0.000000																																																																																																														
3	0.000000	0.000000																																																																																																														
4	0.000000	0.000000																																																																																																														
5	0.000000	0.000000																																																																																																														
6	0.000000	0.000000																																																																																																														
7	2.000000	0.000000																																																																																																														
8	0.000000	0.000000																																																																																																														
9	1.000000	0.000000																																																																																																														
10	0.000000	0.000000																																																																																																														
11	0.000000	0.000000																																																																																																														
12	0.000000	0.000000																																																																																																														
13	1.700000	0.000000																																																																																																														
14	0.000000	0.000000																																																																																																														
15	0.000000	0.000000																																																																																																														
16	0.2170000	0.000000																																																																																																														
17	0.000000	0.000000																																																																																																														
18	0.2090000	0.000000																																																																																																														
19	0.000000	0.000000																																																																																																														
20	0.1950000	0.000000																																																																																																														

D. Perubahan Batasan Biaya yang Tersedia +10% (Rp. 22 M)

<pre> MODEL: !Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek; Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4; !s.t; !Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia; 2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 22; !Fung`si Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety; 0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability; 0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability; 0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi; 0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667; !Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2); x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >=2; !Other Constraint; x1 <= 1; x2 <= 1; x3 <= 1; x4 <= 1; x5 <= 1; !X integer value only; @GIN (x1); @GIN(X2); @GIN (x3); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5); !slack variable; nc>=0; pc>=0; n1>=0; p1>=0; n2>=0; p2>=0; n3>=0; p3>=0; n4>=0; p4>=0; END </pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Value</th> <th>Reduced Cost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PC</td><td>0.000000</td><td>1.000000</td></tr> <tr><td>N1</td><td>0.000000</td><td>0.5390000</td></tr> <tr><td>N2</td><td>0.000000</td><td>0.2210000</td></tr> <tr><td>N3</td><td>0.000000</td><td>0.1400000</td></tr> <tr><td>N4</td><td>0.000000</td><td>0.1000000</td></tr> <tr><td>X1</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X3</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X4</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X5</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>NC</td><td>3.700000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P1</td><td>0.2170000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P2</td><td>0.2090000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P3</td><td>0.1950000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P4</td><td>0.1850000</td><td>0.000000</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Row</th> <th>Slack or Surplus</th> <th>Dual Price</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.000000</td><td>-1.000000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>13</td><td>3.700000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.2170000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.2090000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.1950000</td><td>0.000000</td></tr> </tbody> </table>	Variable	Value	Reduced Cost	PC	0.000000	1.000000	N1	0.000000	0.5390000	N2	0.000000	0.2210000	N3	0.000000	0.1400000	N4	0.000000	0.1000000	X1	1.000000	0.000000	X2	0.000000	0.000000	X3	1.000000	0.000000	X4	1.000000	0.000000	X5	1.000000	0.000000	NC	3.700000	0.000000	P1	0.2170000	0.000000	P2	0.2090000	0.000000	P3	0.1950000	0.000000	P4	0.1850000	0.000000	Row	Slack or Surplus	Dual Price	1	0.000000	-1.000000	2	0.000000	0.000000	3	0.000000	0.000000	4	0.000000	0.000000	5	0.000000	0.000000	6	0.000000	0.000000	7	2.000000	0.000000	8	0.000000	0.000000	9	1.000000	0.000000	10	0.000000	0.000000	11	0.000000	0.000000	12	0.000000	0.000000	13	3.700000	0.000000	14	0.000000	0.000000	15	0.000000	0.000000	16	0.2170000	0.000000	17	0.000000	0.000000	18	0.2090000	0.000000	19	0.000000	0.000000	20	0.1950000	0.000000
Variable	Value	Reduced Cost																																																																																																														
PC	0.000000	1.000000																																																																																																														
N1	0.000000	0.5390000																																																																																																														
N2	0.000000	0.2210000																																																																																																														
N3	0.000000	0.1400000																																																																																																														
N4	0.000000	0.1000000																																																																																																														
X1	1.000000	0.000000																																																																																																														
X2	0.000000	0.000000																																																																																																														
X3	1.000000	0.000000																																																																																																														
X4	1.000000	0.000000																																																																																																														
X5	1.000000	0.000000																																																																																																														
NC	3.700000	0.000000																																																																																																														
P1	0.2170000	0.000000																																																																																																														
P2	0.2090000	0.000000																																																																																																														
P3	0.1950000	0.000000																																																																																																														
P4	0.1850000	0.000000																																																																																																														
Row	Slack or Surplus	Dual Price																																																																																																														
1	0.000000	-1.000000																																																																																																														
2	0.000000	0.000000																																																																																																														
3	0.000000	0.000000																																																																																																														
4	0.000000	0.000000																																																																																																														
5	0.000000	0.000000																																																																																																														
6	0.000000	0.000000																																																																																																														
7	2.000000	0.000000																																																																																																														
8	0.000000	0.000000																																																																																																														
9	1.000000	0.000000																																																																																																														
10	0.000000	0.000000																																																																																																														
11	0.000000	0.000000																																																																																																														
12	0.000000	0.000000																																																																																																														
13	3.700000	0.000000																																																																																																														
14	0.000000	0.000000																																																																																																														
15	0.000000	0.000000																																																																																																														
16	0.2170000	0.000000																																																																																																														
17	0.000000	0.000000																																																																																																														
18	0.2090000	0.000000																																																																																																														
19	0.000000	0.000000																																																																																																														
20	0.1950000	0.000000																																																																																																														

E. Perubahan Batasan Biaya yang Tersedia +20% (Rp. 24 M)

<pre> MODEL: !Objective Function Untuk Goal Programming Pemilihan Proyek; Min = pc + 0.539*n1 + 0.221*n2 + 0.140*n3 + 0.100*n4; !s.t; !Fungsi Tujuan (Goal) Batasan Biaya Anggaran yang tersedia; 2.8*x1 + 9.5*x2 + 4.7*x3 + 7.6*x4 + 3.2*x5 + nc - pc = 24; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Safety; 0.289*x1 + 0.194*x2 + 0.300*x3 + 0.110*x4 + 0.107*x5 + n1 - p1 = 0.589; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Availability; 0.345*x1 + 0.194*x2 + 0.073*x3 + 0.252*x4 + 0.136*x5 + n2 - p2 = 0.597; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Reliability; 0.403*x1 + 0.163*x2 + 0.069*x3 + 0.239*x4 + 0.126*x5 + n3 - p3 = 0.642; !Fungsi Tujuan (Goal) Memaksimalkan Pencapaian Kriteria Efisiensi; 0.088*x1 + 0.148*x2 + 0.313*x3 + 0.097*x4 + 0.354*x5 + n4 - p4 = 0.667; !Batasan Jumlah Proyek yang dipilih (minimum 2); x1 + x2 + x3 + x4 + x5 >=2; !Other Constraint; x1 <= 1; x2 <= 1; x3 <= 1; x4 <= 1; x5 <= 1; !X integer value only; @GIN (x1); @GIN(x2); @GIN (x3); @GIN (x3); @GIN (x4); @GIN (x5); !slack variable; nc>=0; pc>=0; n1>=0; p1>=0; n2>=0; p2>=0; n3>=0; p3>=0; n4>=0; p4>=0; END </pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Value</th> <th>Reduced Cost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PC</td><td>0.000000</td><td>1.000000</td></tr> <tr><td>N1</td><td>0.000000</td><td>0.5390000</td></tr> <tr><td>N2</td><td>0.000000</td><td>0.2210000</td></tr> <tr><td>N3</td><td>0.000000</td><td>0.1400000</td></tr> <tr><td>N4</td><td>0.000000</td><td>0.1000000</td></tr> <tr><td>X1</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X3</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X4</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>X5</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>NC</td><td>5.700000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P1</td><td>0.2170000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P2</td><td>0.2090000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P3</td><td>0.1950000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>P4</td><td>0.1850000</td><td>0.000000</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Row</th> <th>Slack or Surplus</th> <th>Dual Price</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.000000</td><td>-1.000000</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>13</td><td>5.700000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.2170000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.2090000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.000000</td><td>0.000000</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.1950000</td><td>0.000000</td></tr> </tbody> </table>	Variable	Value	Reduced Cost	PC	0.000000	1.000000	N1	0.000000	0.5390000	N2	0.000000	0.2210000	N3	0.000000	0.1400000	N4	0.000000	0.1000000	X1	1.000000	0.000000	X2	0.000000	0.000000	X3	1.000000	0.000000	X4	1.000000	0.000000	X5	1.000000	0.000000	NC	5.700000	0.000000	P1	0.2170000	0.000000	P2	0.2090000	0.000000	P3	0.1950000	0.000000	P4	0.1850000	0.000000	Row	Slack or Surplus	Dual Price	1	0.000000	-1.000000	2	0.000000	0.000000	3	0.000000	0.000000	4	0.000000	0.000000	5	0.000000	0.000000	6	0.000000	0.000000	7	2.000000	0.000000	8	0.000000	0.000000	9	1.000000	0.000000	10	0.000000	0.000000	11	0.000000	0.000000	12	0.000000	0.000000	13	5.700000	0.000000	14	0.000000	0.000000	15	0.000000	0.000000	16	0.2170000	0.000000	17	0.000000	0.000000	18	0.2090000	0.000000	19	0.000000	0.000000	20	0.1950000	0.000000
Variable	Value	Reduced Cost																																																																																																														
PC	0.000000	1.000000																																																																																																														
N1	0.000000	0.5390000																																																																																																														
N2	0.000000	0.2210000																																																																																																														
N3	0.000000	0.1400000																																																																																																														
N4	0.000000	0.1000000																																																																																																														
X1	1.000000	0.000000																																																																																																														
X2	0.000000	0.000000																																																																																																														
X3	1.000000	0.000000																																																																																																														
X4	1.000000	0.000000																																																																																																														
X5	1.000000	0.000000																																																																																																														
NC	5.700000	0.000000																																																																																																														
P1	0.2170000	0.000000																																																																																																														
P2	0.2090000	0.000000																																																																																																														
P3	0.1950000	0.000000																																																																																																														
P4	0.1850000	0.000000																																																																																																														
Row	Slack or Surplus	Dual Price																																																																																																														
1	0.000000	-1.000000																																																																																																														
2	0.000000	0.000000																																																																																																														
3	0.000000	0.000000																																																																																																														
4	0.000000	0.000000																																																																																																														
5	0.000000	0.000000																																																																																																														
6	0.000000	0.000000																																																																																																														
7	2.000000	0.000000																																																																																																														
8	0.000000	0.000000																																																																																																														
9	1.000000	0.000000																																																																																																														
10	0.000000	0.000000																																																																																																														
11	0.000000	0.000000																																																																																																														
12	0.000000	0.000000																																																																																																														
13	5.700000	0.000000																																																																																																														
14	0.000000	0.000000																																																																																																														
15	0.000000	0.000000																																																																																																														
16	0.2170000	0.000000																																																																																																														
17	0.000000	0.000000																																																																																																														
18	0.2090000	0.000000																																																																																																														
19	0.000000	0.000000																																																																																																														
20	0.1950000	0.000000																																																																																																														

